

# UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

Facultat de Medicina i Odontologia

Departament de Cirurgia



**EXPOSICIÓN DE LA OLIVA BULBAR MEDIANTE LOS  
ABORDAJES *FAR LATERAL* Y RETROSIGMOIDEO BAJO.  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA SUPERFICIE EXPUESTA Y  
ÁNGULO DE ATAQUE**

**TESIS DOCTORAL**

AUTOR:

**Pau Capilla-Guasch**

**Licenciado en Medicina por la Universidad de Barcelona**

DIRECTORES:

**Prof. José Manuel González-Darder**

**Prof. Vicent Quilis-Quesada**

TUTOR:

**Dr. Guillermo García-March**

**Valencia, 2021**





TESIS DOCTORAL

**EXPOSICIÓN DE LA OLIVA BULBAR  
MEDIANTE LOS ABORDAJES *FAR LATERAL*  
Y RETROSIGMOIDEO BAJO. ANÁLISIS  
COMPARATIVO DE LA SUPERFICIE  
EXPUESTA Y ÁNGULO DE ATAQUE**

**Autor:**

**Pau Capilla-Guasch**  
Licenciado en Medicina

**Programa de doctorado:**

3139 MEDICINA. Línea de investigación: Neurocirugía

**Centro de realización:**

- Laboratorio de Neuroanatomía Microquirúrgica del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Facultat de Medicina de la Universitat de València (España)
- Laboratorio de microcirugía de Arkansas Neurosciences Institute (Little Rock, USA)

**Directores:**

Prof. José Manuel González-Darder  
Prof. Vicent Quilis-Quesada

**Tutor:**

Dr. Guillermo García-March



D. José Manuel González-Darder, Jefe del Servicio de Neurocirugía del Hospital Clínico Universitario de Valencia y miembro del Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina de València

CERTIFICA:

Que el Licenciado en Medicina D. PAU CAPILLA-GUASCH ha realizado el trabajo: **“EXPOSICIÓN DE LA OLIVA BULBAR MEDIANTE LOS ABORDAJES *FAR LATERAL* Y RETROSIGMOIDEO BAJO. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA SUPERFICIE EXPUESTA Y ÁNGULO DE ATAQUE”** íntegramente bajo su estricta dirección.

Valencia, 07 de febrero de 2021

Dr. José Manuel González-Darder

D. Vicent Quilis-Quesada, miembro adjunto del Servicio de Neurocirugía del Hospital Clínico Universitario de Valencia y miembro del Departamento de Anatomía de la Facultat de Medicina de València

CERTIFICA:

Que el Licenciado en Medicina D. PAU CAPILLA-GUASCH ha realizado el trabajo: **“EXPOSICIÓN DE LA OLIVA BULBAR MEDIANTE LOS ABORDAJES *FAR LATERAL* Y RETROSIGMOIDEO BAJO. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA SUPERFICIE EXPUESTA Y ÁNGULO DE ATAQUE”** íntegramente bajo su estricta dirección.

Valencia, 07 de febrero de 2021

Dr. Vicent Quilis-Quesada

# AGRADECIMIENTOS

A los directores de mi Tesis, los Profesores José Manuel González-Darder y Vicent Quilis-Quesada:

A **José Manuel González-Darder**, “jefe”, más que un profesor y un mentor, el *pater familias* que ha motivado a una nueva generación de neurocirujanos con un mismo propósito: “el trabajo duro y siempre en busca de la excelencia nos hará disfrutar el mundo neuroquirúrgico”. Su ejemplaridad a lo largo de su trayectoria profesional sin abandonar el *gladio* en los momentos más duros pretende ser reflejado en el presente trabajo. Infinitas gracias por la estimulación y seguir puliendo el neurocirujano que soy.

A **Vicent Quilis-Quesada**, no dispongo de palabras ni actos suficientes para agradecer todo el trabajo y confianza que ha depositado a lo largo de toda mi trayectoria profesional. Un mentor, un líder, un amigo y sobretodo un hermano neuroquirúrgico que no ha dudado en sacrificar su tiempo personal para dirigir esta tesis doctoral buscando la perfección. Su personalidad, sus sacrificios y sus “condiciones inhumanas” motivan y motivarán a futuras sagas de neurocirujanos afortunados de ver, a su lado, la neurocirugía como arte. Vicent, has sigut un punt d’inflexió i t’estaré eternament agraït: infinites gràcies!

Al Dr. García-March, por facilitar el desarrollo del presente trabajo, siempre con el corazón en la mano y depositando toda su confianza sobre mi persona. Gràcies!

Al Prof. Evandro de Oliveira y a todo su equipo, en especial Mateus. La filosofía neuroquirúrgica y la línea de trabajo aprendida en su laboratorio del ‘Instituto de Ciencias Neurológicas’ han sido un pilar básico para el desarrollo de este trabajo doctoral. Al Prof. Ali Krisht y a todo su equipo, por hacerlo posible, gracias a sus consejos, experiencia y permitir el acceso a sus instalaciones del ‘Arkansas Neuroscience Institute’.

Al Departament d’Anatomia de la Universitat de València, por hacer posible la realización del trabajo. Sus facilidades e instalaciones han sido la raíz esencial para el desarrollo de la Tesis.

A toda la familia neuroquirúrgica, mis referencias. En especial a Fernando, “Tala el maestro”, su figura ha marcado mi evolución no solo como neurocirujano sino en mi persona. “Gracias maestro”. A Pedro y a Vicente, gracias por enseñarme a andar sobre el mundo neuroquirúrgico.

A Félix, más que un compañero un hermano que apareció gracias a la neurocirugía. Tu generosidad y trabajo duro hasta la fatiga han facilitado en gran parte, el desarrollo de este trabajo. A Luis, Víctor, Esteban, Diego, Cristina, Guille, Carlos, Xavi y Juan Pablo. Gracias a todos, por hacerme ir entre algodones y ser una familia inimaginable.

Al personal del Hospital Clínic Universitari de València, en especial a Mónica, Bea, Cèlia, María, Álvaro, Guillermo y Amparo, gracias por vuestro esfuerzo continuo. A Unai y Patricia, gracias por la ayuda en los aspectos técnicos de este trabajo.

A nes meus amics eivissencs de Sa Bodega i Sa Colomina: es meus orígens. Joan, Vicent, Àlex i Vicente: gràcies per sa vostra confiança, ajuda i estimulació.

A los Capilla i a nes Guasch, desde ben petit m'heu ensenyat sa verdadera definició de família, fent-me veure es valors de sa humilitat i ajudar a nes demés sense esperar res a canvi. Tots es vostres consells i esforços m'han ajudat a lluitar per es meu somni. Vos portaré sempre dins es meu cor. Ángeles i Mari Nieves: cosines i "germanes", gràcies per ensenyar-me a caminar entre lletres i números. A Carmen i Carlos, por hacer de un viaje una gran aventura. A nes meus tius i "güelos" de Ca'n Pere den Cama, Carmen i Jaume, gràcies per ajudar-me a identificar ses figues bones i madures: humilitat, esforç i família.

A nes meus pares, Roberto i Nieves, sacrifici i esforç defineixen aquestes dos persones. Sa seua il·lusió, treball dur i confiança han fet que es meu somni es convertira en realitat. Sou uns referents per a mi i sempre treballaré es futur amb tots es valors que he après a Sa Capelleta.

A ses güeles, en especial, a sa güela Rita, que mitjançant es seu patiment vaig descobrir aquest apasionant món de sa neurocirugia, i que a dia d'avui és es meu treball i sa meua passió.

A Rocío, la mujer de mi vida, gracias por entenderme y ayudarme en mi pasión neuroquirúrgica, por tus consejos. Por todo aquello que hemos vivido juntos y, sobre todo, por la ilusión de un futuro.

Pau

# ABREVIATURAS

**IIpc:** nervio óptico (segundo par craneal)

**IIIpc:** nervio motor ocular común (tercer par craneal)

**IVpc:** nervio troclear (cuarto par craneal)

**Vpc:** nervio trigémino (quinto par craneal)

**VIpc:** nervio motor ocular externo (sexto par craneal)

**VIIpc:** nervio facial (séptimo par craneal)

**VIIIpc:** nervio vestibulococlear (octavo par craneal)

**IXpc:** nervio glossofaríngeo (noveno par craneal)

**Xpc:** nervio vago (décimo par craneal)

**XIpc:** nervio espinal o accesorio (undécimo par craneal)

**XIIpc:** nervio hipogloso (duodécimo par craneal)

**AICA:** arteria cerebelosa anteroinferior

**Fig.:** figura

**Figs.:** figuras

**MPR:** reconstrucción multiplanar

**PICA:** arteria cerebelosa posteroinferior

**RM:** resonancia magnética

**SNC:** sistema nervioso central

**SNP:** sistema nervioso periférico

**TC:** tomografía computerizada



# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> MEDIDAS DIRECTAS. DIMENSIONES DEL OBJETIVO: DISTANCIAS (mm) Y SUPERFICIE (mm <sup>2</sup> ) .....	203
<b>Tabla 2.</b> DISTANCIAS DESDE LA SUPERFICIE DE CADA UNO DE LOS ABORDAJES AL OBJETIVO: MEDICIÓN DIRECTA .....	204
<b>Tabla 3.</b> RESULTADOS DE LAS DISTANCIAS DESDE LA SUPERFICIE HASTA EL OBJETIVO SEGÚN EL ABORDAJE: RETROSIGMOIDEO VS <i>FAR LATERAL</i> .....	204
<b>Tabla 4.</b> DIFERENCIA ENTRE DISTANCIAS A CADA UNO DE LOS PUNTOS DEL OBJETIVO (MEDIDAS DIRECTAS) .....	205
<b>Tabla 5.</b> MEDIDAS DE NEURONAVEGACIÓN. DIMENSIONES DEL OBJETIVO: DISTANCIAS (mm) Y SUPERFICIE (mm <sup>2</sup> ) .....	206
<b>Tabla 6.</b> DISTANCIAS DESDE LA SUPERFICIE DE CADA UNO DE LOS ABORDAJES AL OBJETIVO: MEDICIÓN CON NEURONAVEGACIÓN .....	207
<b>Tabla 7.</b> RESULTADOS DE LAS DISTANCIAS DESDE LA SUPERFICIE HASTA EL OBJETIVO SEGÚN EL ABORDAJE: RETROSIGMOIDEO VS <i>FAR LATERAL</i> .....	207
<b>Tabla 8.</b> DIFERENCIA ENTRE DISTANCIAS A CADA UNO DE LOS PUNTOS DEL (MEDIDAS CON NEURONAVEGACIÓN).....	208
<b>Tabla 9.</b> MEDIDAS EN RM. DIMENSIONES DEL OBJETIVO: DISTANCIAS (mm) Y SUPERFICIE (mm <sup>2</sup> ) .....	213
<b>Tabla 10.</b> DISTANCIAS DESDE LA SUPERFICIE DE CADA UNO DE LOS ABORDAJES AL OBJETIVO: MEDICIÓN EN RM .....	213
<b>Tabla 11.</b> RESULTADOS DE LAS DISTANCIAS DESDE LA SUPERFICIE HASTA EL OBJETIVO SEGÚN EL ABORDAJE: RETROSIGMOIDEO VS <i>FAR LATERAL</i> .....	214
<b>Tabla 12.</b> DIFERENCIA ENTRE DISTANCIAS A CADA UNO DE LOS PUNTOS DEL OBJETIVO (MEDIDAS EN RM) .....	215
<b>Tabla 13.</b> ÁNGULOS DE ATAQUE DESDE LA SUPERFICIE DE CADA UNO DE LOS ABORDAJES AL OBJETIVO: MEDICIÓN EN RM .....	216
<b>Tabla 14.</b> DIFERENCIA ENTRE LOS ÁNGULOS DE ATAQUE	

(MEDIDAS EN RM) .....	216
<b>Tabla 15.</b> NÚMERO DE ESTRUCTURAS NEURALES Y VASCULARES SEGÚN EL ABORDAJE.....	218
<b>Tabla 16.</b> CONTENIDO DEL TRAYECTO EN EL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO: NÚMERO DE ESTRUCTURAS NEURALES Y VASCULARES .....	218
<b>Tabla 17.</b> CONTENIDO DEL TRAYECTO EN EL ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> : NÚMERO DE ESTRUCTURAS NEURALES Y VASCULARES .....	219
<b>Tabla 18.</b> EFECTOS RELATIVOS PARA LAS ESTRUCTURAS NEURALES EN FUNCIÓN DEL ABORDAJE. ....	220
<b>Tabla 19.</b> EFECTOS RELATIVOS PARA LAS ESTRUCTURAS VASCULARES EN FUNCIÓN DEL ABORDAJE. ....	221
<b>Tabla 20.</b> MEDIDAS DIRECTAS. DISTANCIAS (mm): ABORDAJE RETROSIGMOIDEO.....	222
<b>Tabla 21.</b> MEDIDAS DIRECTAS. DISTANCIAS (mm): ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	222
<b>Tabla 22.</b> CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DIRECTAS EN EL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO.....	223
<b>Tabla 23.</b> CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DIRECTAS EN EL ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	224
<b>Tabla 24.</b> MEDIDAS CON NEURONAVEGACIÓN. DISTANCIAS (mm): ABORDAJE RETROSIGMOIDEO .....	225
<b>Tabla 25.</b> MEDIDAS CON NEURONAVEGACIÓN. DISTANCIAS (mm): ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	225
<b>Tabla 26.</b> CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE NEURONAVEGACIÓN: ABORDAJE RETROSIGMOIDEO.....	226
<b>Tabla 27.</b> CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE NEURONAVEGACIÓN: ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	227
<b>Tabla 28.</b> MEDIDAS EN RM. DISTANCIAS (mm): ABORDAJE RETROSIGMOIDEO.....	228
<b>Tabla 29.</b> MEDIDAS EN RM. DISTANCIAS (mm): ABORDAJE	

<i>FAR LATERAL</i> .....	228
<b>Tabla 30.</b> MEDIDAS EN RM. ÁNGULOS DE ATAQUE (°) CON EL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO .....	229
<b>Tabla 31.</b> MEDIDAS EN RM. ÁNGULOS DE ATAQUE (°) CON EL ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	229
<b>Tabla 32.</b> CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESONANCIA MAGNÉTICA: ABORDAJE RETROSIGMOIDEO IZQUIERDO .....	230
<b>Tabla 33.</b> CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESONANCIA MAGNÉTICA: ABORDAJE RETROSIGMOIDEO DERECHO .....	231
<b>Tabla 34.</b> CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESONANCIA MAGNÉTICA: ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> IZQUIERDO .....	232
<b>Tabla 35.</b> CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESONANCIA MAGNÉTICA: ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> DERECHO .....	233
<b>Tabla 36.</b> CONTENIDO TRAYECTOS: N° DE ESTRUCTURAS NEURALES Y VASCULARES CON ABORDAJE RETROSIGMOIDEO .....	234
<b>Tabla 37.</b> CONTENIDO TRAYECTOS: N° DE ESTRUCTURAS NEURALES Y VASCULARES CON ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	234
<b>Tabla 38.</b> CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN RM DE LOS TRAYECTOS: ABORDAJE RETROSIGMOIDEO .....	235
<b>Tabla 39.</b> CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN RM DE LOS TRAYECTOS: ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	236



# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> VISIÓN ANTERIOR DEL TRONCO CEREBRAL.....	25
<b>FIGURA 2.</b> VISIÓN ANTERIOR DEL MESENCÉFALO.....	31
<b>FIGURA 3.</b> CORTE AXIAL DEL MESENCÉFALO .....	36
<b>FIGURA 4.</b> VISIÓN ANTEROLATERAL DE LA PROTUBERANCIA.....	38
<b>FIGURA 5.</b> CORTE AXIAL DE LA PROTUBERANCIA.....	40
<b>FIGURA 6.</b> VISIÓN ANTERIOR DEL BULBO RAQUÍDEO.....	43
<b>FIGURA 7.</b> CORTE AXIAL DEL BULBO RAQUÍDEO.....	45
<b>FIGURA 8.</b> VISIÓN ANTEROLATERAL DE LA OLIVA BULBAR .....	50
<b>FIGURA 9.</b> SUPERFICIE TENTORIAL DEL CEREBELO .....	52
<b>FIGURA 10.</b> SUPERFICIE SUBOCCIPITAL DEL CEREBELO .....	54
<b>FIGURA 11.</b> SUPERFICIE PETROSA DEL CEREBELO.....	55
<b>FIGURA 12.</b> VASCULARIZACIÓN DEL TRONCO CEREBRAL.....	56
<b>FIGURA 13.</b> RELACIONES VASCULONERVIOSAS DE BASE DE CRÁNEO .....	58
<b>FIGURA 14.</b> VASCULARIZACIÓN ARTERIAL DEL TRONCO CEREBRAL .....	60
<b>FIGURA 15.</b> VASCULARIZACIÓN ARTERIAL DE LA OLIVA BULBAR.....	62
<b>FIGURA 16.</b> VASCULARIZACIÓN VENOSA DEL TRONCO CEREBRAL.....	65
<b>FIGURA 17.</b> VASCULARIZACIÓN VENOSA DE LA OLIVA BULBAR .....	67
<b>FIGURA 18.</b> CÓNDILO OCCIPITAL (VISIÓN EXTERNA).....	69
<b>FIGURA 19.</b> CÓNDILO OCCIPITAL (VISIÓN INTERNA).....	70
<b>FIGURA 20.</b> SUPERFICIE POSTERIOR DE LA PORCIÓN PETROSA DEL HUESO TEMPORAL .....	72
<b>FIGURA 21.</b> VÍA DE ENTRADA AL TRONCO A TRAVÉS DE SURCO MESENCÉFÁLICO LATERAL.....	74
<b>FIGURA 22.</b> VÍA DE ENTRADA AL TRONCO A TRAVÉS DEL ÁREA PERITRIGEMINAL .....	76
<b>FIGURA 23.</b> VÍA DE ENTRADA AL TRONCO A TRAVÉS DE LA OLIVA BULBAR .....	79
<b>FIGURA 24.</b> ABORDAJE RETROSIGMOIDEO QUIRÚRGICO .....	81
<b>FIGURA 25.</b> VISIÓN PANORÁMICA DEL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO TRAS LA RETRACCIÓN DEL CEREBELO.....	84

<b>FIGURA 26.</b> ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	87
<b>FIGURA 27.</b> LABORATORIO DE LA UNIVERSITAT DE VALÈNCIA .....	96
<b>FIGURA 28.</b> LABORATORIO ARKANSAS NEUROSCIENCE INSTITUTE.....	97
<b>FIGURA 29.</b> SISTEMA DE FIJACIÓN CRANEAL .....	99
<b>FIGURA 30.</b> INSTRUMENTAL .....	100
<b>FIGURA 31.</b> SISTEMA DE ASPIRACIÓN.....	101
<b>FIGURA 32.</b> MOTOR.....	102
<b>FIGURA 33.</b> MICROSCOPIO.....	103
<b>FIGURA 34.</b> MATERIAL FOTOGRÁFICO.....	105
<b>FIGURA 35.</b> FOTOGRAFÍA ESTEREOSCÓPICA.....	107
<b>FIGURA 36.</b> EQUIPO DE TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA.....	110
<b>FIGURA 37.</b> PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES .....	113
<b>FIGURA 38.</b> INCISIÓN DEL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO .....	118
<b>FIGURA 39.</b> EXPOSICIÓN ÓSEA DEL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO .....	119
<b>FIGURA 40.</b> CRANEOTOMÍA DEL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO .....	120
<b>FIGURA 41.</b> APERTURA DURAL DEL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO.....	121
<b>FIGURA 42.</b> COMPLEJO NEUROVASCULAR SUPERIOR .....	122
<b>FIGURA 43.</b> COMPLEJO NEUROVASCULAR MEDIO .....	123
<b>FIGURA 44.</b> COMPLEJO NEUROVASCULAR INFERIOR .....	124
<b>FIGURA 45.</b> INCISIÓN DEL ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	126
<b>FIGURA 46.</b> PRIMER PLANO MUSCULAR ( <i>FAR LATERAL</i> ).....	128
<b>FIGURA 47.</b> SEGUNDO PLANO MUSCULAR ( <i>FAR LATERAL</i> ).....	129
<b>FIGURA 48.</b> TERCER PLANO MUSCULAR ( <i>FAR LATERAL</i> ) .....	130
<b>FIGURA 49.</b> CUARTO PLANO MUSCULAR ( <i>FAR LATERAL</i> ) .....	132
<b>FIGURA 50.</b> TRIÁNGULO SUBOCCIPITAL I .....	133
<b>FIGURA 51.</b> TRIÁNCULO SUBOCCIPITAL II.....	134
<b>FIGURA 52.</b> TRIÁNGULO SUBOCCIPITAL III .....	135
<b>FIGURA 53.</b> ARTICULACIÓN OCCIPITOATLOIDEA I.....	138
<b>FIGURA 54.</b> ARTICULACIÓN OCCIPITOATLOIDEA II .....	139
<b>FIGURA 55.</b> EXPOSICIÓN ÓSEA DEL ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	141
<b>FIGURA 56.</b> CRANEOTOMÍA DEL ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> I .....	142
<b>FIGURA 57.</b> CRANEOTOMÍA DEL ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> II .....	143

<b>FIGURA 58.</b> FRESADO DEL CÓNDILO OCCIPITAL.....	144
<b>FIGURA 59.</b> CANAL DEL HIPOGLOSO .....	145
<b>FIGURA 60.</b> APERTURA DURAL DEL ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	146
<b>FIGURA 61.</b> PUNTOS ANATÓMICOS REFERENCIALES PARA EL ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	147
<b>FIGURA 62.</b> EXPOSICIÓN INTRADURAL DEL NERVIO HIPOGLOSO ( <i>FAR LATERAL</i> ).....	148
<b>FIGURA 63.</b> EXPOSICIÓN DE LA OLIVA BULBAR ( <i>FAR LATERAL</i> ) .....	149
<b>FIGURA 64.</b> SISTEMA DE NEURONAVEGACIÓN.....	151
<b>FIGURA 65.</b> PROCESO DE NEURONAVEGACIÓN Y REGISTRO .....	152
<b>FIGURA 66.</b> IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS ANATÓMICOS REFERENCIALES EN RM (ABORDAJE RETROSIGMOIDEO) I.....	155
<b>FIGURA 67.</b> IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS ANATÓMICOS REFERENCIALES EN RM (ABORDAJE RETROSIGMOIDEO) II .....	156
<b>FIGURA 68.</b> IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS ANATÓMICOS REFERENCIALES EN RM (ABORDAJE RETROSIGMOIDEO) III .....	157
<b>FIGURA 69.</b> METODOLOGÍA PARA DELIMITAR LOS PUNTOS ANATÓMICOS REFERENCIALES SOBRE EL OBJETIVO (OLIVA BULBAR) .....	158
<b>FIGURA 70.</b> MEDICIONES REALIZADAS CON NEURONAVEGACIÓN .....	160
<b>FIGURA 71.</b> IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS ANATÓMICOS REFERENCIALES EN RM (ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> ) I .....	162
<b>FIGURA 72.</b> IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS ANATÓMICOS REFERENCIALES EN RM (ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> ) II .....	163
<b>FIGURA 73.</b> MEDICIÓN DEL CONTENIDO NEUROVASCULAR DEL TRAYECTO T-G (ABORDAJE RETROSIGMOIDEO) .....	167
<b>FIGURA 74.</b> MEDICIÓN DEL CONTENIDO NEUROVASCULAR DEL TRAYECTO T-J (ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> ) .....	168
<b>FIGURA 75.</b> LOCALIZACIÓN PUNTO A DESDE UN ABORDAJE RETROSIGMOIDEO .....	173
<b>FIGURA 76.</b> LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS B, C Y D DESDE UN ABORDAJE RETROSIGMOIDEO.....	175

<b>FIGURA 77.</b> LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS E Y F EN LA SUPERFICIE DEL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO.....	176
<b>FIGURA 78.</b> CANAL DE TRABAJO (ABORDAJE RETROSIGMOIDEO).....	177
<b>FIGURA 79.</b> DISECCIÓN ARACNOIDEA DEL CANAL DE TRABAJO (ABORDAJE RETROSIGMOIDEO).....	178
<b>FIGURA 80.</b> VISIÓN PANORÁMICA DE LA EXPOSICIÓN OBTENIDA DESDE LA SUPERFICIE (ABORDAJE RETROSIGMOIDEO) .....	180
<b>FIGURA 81.</b> EXPOSICIÓN DEL COMPLEJO NEUROVASCULAR SUPERIOR (ABORDAJE RETROSIGMOIDEO).....	181
<b>FIGURA 82.</b> EXPOSICIÓN DEL COMPLEJO NEUROVASCULAR MEDIO (ABORDAJE RETROSIGMOIDEO).....	183
<b>FIGURA 83.</b> EXPOSICIÓN DEL COMPLEJO NEUROVASCULAR INFERIOR (ABORDAJE RETROSIGMOIDEO).....	185
<b>FIGURA 84.</b> EXPOSICIÓN DEL ABORDAJE FAR LATERAL SIN FRESADO DEL CÓNDILO OCCIPITAL .....	188
<b>FIGURA 85.</b> COMPARACIÓN DE LA EXPOSICIÓN SIN Y CON FRESADO DEL CÓNDILO OCCIPITAL ( <i>FAR LATERAL</i> ) .....	188
<b>FIGURA 86.</b> LOCALIZACIÓN PUNTOS A, B, C, D DESDE UN ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	190
<b>FIGURA 87.</b> LOCALIZACIÓN PUNTOS H, I DESDE LA SUPERFICIE DE UN ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....	191
<b>FIGURA 88.</b> CANAL DE TRABAJO (ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> ) .....	192
<b>FIGURA 89.</b> DISECCIÓN ARACNOIDEA DEL CANAL DE TRABAJO ( <i>FAR LATERAL</i> ).....	194
<b>FIGURA 90.</b> RELACIONES INTRADURALES DE LA ARTERIA VERTEBRAL ( <i>FAR LATERAL</i> ) .....	196
<b>FIGURA 91.</b> LIBERACIÓN AMÍGDALA CEREBELOSA ( <i>FAR LATERAL</i> ) .....	197
<b>FIGURA 92.</b> LOCALIZACIÓN DE LA OLIVA BULBAR TRAS LA DISECCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS NEUROVASCULARES INTERPUESTAS ( <i>FAR LATERAL</i> ).....	199
<b>FIGURA 93.</b> EXPOSICIÓN DE TODOS LOS PUNTOS ANATÓMICOS REFERENCIALES UTILIZADOS EN ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (VISIÓN PANORÁMICA).....	202

<b>FIGURA 94. CANAL DE TRABAJO Y PUNTOS ANATÓMICOS REFERENCIALES DEL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO .....</b>	<b>211</b>
<b>FIGURA 95. CANAL DE TRABAJO Y PUNTOS ANATÓMICOS REFERENCIALES DEL ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> .....</b>	<b>212</b>
<b>FIGURA 96. LABORATORIO DE ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA.....</b>	<b>240</b>
<b>FIGURA 97. COMPARACIÓN DE LAS INCISIONES (RETROSIGMOIDEO VS <i>FAR LATERAL</i>).....</b>	<b>248</b>
<b>FIGURA 98. PORCENTAJE DE RESECCIÓN DEL CÓNDILO OCCIPITAL.....</b>	<b>249</b>
<b>FIGURA 99. ESQUEMA DE FRESADO DEL CÓNDILO OCCIPITAL .....</b>	<b>251</b>
<b>FIGURA 100. ILUSTRACIONES DE LA FASE EXTRADURAL (RETROSIGMOIDEO Y <i>FAR LATERAL</i>) .....</b>	<b>253</b>
<b>FIGURA 101. ILUSTRACIONES DE LA FASE INTRADURAL (RETROSIGMOIDEO Y <i>FAR LATERAL</i>) .....</b>	<b>257</b>
<b>FIGURA 102. ILUSTRACIÓN DE UNA VISIÓN PANORÁMICA DE LOS DOS CANALES DE TRABAJO (RETROSIGMOIDEO Y <i>FAR LATERAL</i>).....</b>	<b>264</b>
<b>FIGURA 103. ESQUEMA VISUAL: TRABAJO A TRAVÉS DE LAS VENTANAS DEL CANAL .....</b>	<b>266</b>



# ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>19</b>
<b>2. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DEL TRONCO CEREBRAL .....</b>	<b>24</b>
2.1. CONSIDERACIONES DEL DESARROLLO EMBRIOLÓGICO .....	25
2.1.1. Mesencéfalo o cerebro medio: .....	27
2.1.2. Rombencéfalo o cerebro posterior:.....	29
2.2.1. Morfología externa. Relaciones anatómicas:.....	30
2.2.2. Morfología interna:.....	32
2.3. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LA PROTUBERANCIA.....	36
2.3.1. Morfología externa. Relaciones anatómicas:.....	37
2.3.2. Morfología interna:.....	38
2.4. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DEL BULBO RAQUÍDEO .....	41
2.4.1. Morfología externa. Relaciones anatómicas:.....	41
2.4.2. Morfología interna:.....	43
2.5. ANATOMÍA DESCRIPTIVA DE LA OLIVA BULBAR .....	48
<b>3. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DEL CEREBELO .....</b>	<b>50</b>
3.1. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LA SUPERFICIE TENTORIAL .....	51
3.2. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LA SUPERFICIE SUBOCCIPITAL.....	52
3.3. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LA SUPERFICIE PETROSA .....	54
<b>4. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA VASCULAR DE LA REGIÓN DEL TRONCO CEREBRAL</b>	<b>56</b>
4.1. CIRCULACIÓN ARTERIAL.....	57
4.1.1. Irrigación arterial del mesencéfalo .....	58
4.1.2. Irrigación arterial de la protuberancia.....	60
4.1.3. Irrigación arterial del bulbo raquídeo.....	61
4.2. CIRCULACIÓN VENOSA.....	63
4.2.1. Venas longitudinales:.....	63
4.2.2. Venas transversales: .....	65
<b>5. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LAS SUPERFICIES ÓSEAS DE LA FOSA POSTERIOR</b>	<b>67</b>
5.1. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DEL CÓNDILO OCCIPITAL .....	68
5.2. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LA SUPERFICIE DE LA PORCIÓN PETROSA DEL HUESO TEMPORAL.....	70
<b>6. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LAS ZONAS DE ENTRADA SEGUROS AL TRONCO CEREBRAL.....</b>	<b>72</b>
6.1. PUNTOS DE ENTRADA SEGUROS AL MESENCÉFALO .....	73
6.1.1. Zona mesencefálica anterior:.....	73
6.1.2. Surco mesencefálico lateral:.....	74
6.1.3. Región intercolicular: .....	75
6.2. PUNTOS DE ENTRADA SEGUROS A LA PROTUBERANCIA.....	75
6.2.1. Zona peritrigeminal:.....	75
6.2.2. Zona supratrigeminal:.....	76
6.2.3. Zona Pontina lateral:.....	77
6.2.4. Zona supracolicular e infracolicular:.....	77
6.3. PUNTOS DE ENTRADA SEGUROS AL BULBO RAQUÍDEO .....	78
6.3.1. Surco anterolateral: .....	78
6.3.2. Surco posterior mediano: .....	78
6.3.3. Oliva bulbar: .....	78
<b>7. ABORDAJES NEUROQUIRÚRGICOS A LA REGIÓN DE LA OLIVA BULBAR.....</b>	<b>79</b>
7.1. ABORDAJE RETROSIGMOIDEO .....	80

7.2.	ABORDAJE FAR LATERAL .....	84
7.3.	OTROS ABORDAJES .....	88
7.4.	COMPARATIVA ABORDAJE RETROSIGMOIDEO Y FAR LATERAL TRASNCONDILAR .....	90
<b>II.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS .....</b>	<b>91</b>
<b>III.</b>	<b>HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS.....</b>	<b>94</b>
1.	HIPÓTESIS DE TRABAJO .....	94
2.	OBJETIVOS .....	95
<b>IV.</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>96</b>
1.	MATERIAL DE TRABAJO .....	97
1.1.	LABORATORIO DE NEUROANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA.....	97
1.1.1.1.	Cefalostato tipo Mayfield.....	98
1.1.1.2.	Instrumental quirúrgico .....	99
1.1.1.3.	Sistema de aspiración.....	100
1.1.1.4.	Motor eléctrico de alta velocidad .....	101
1.1.1.5.	Microscopio quirúrgico.....	102
1.1.2.	Equipo de fotografía.....	103
1.1.3.	Soporte informático:.....	108
1.2.	ESPECÍMENES CADAVÉRICOS.....	108
1.2.1.	Preparación de los especímenes.....	110
1.2.2.	Canalización y lavado de los grandes vasos cervicales .....	110
1.2.3.	Inyección de silicona coloreada .....	113
2.	ESTUDIO ANATÓMICO.....	114
2.1.	DISECCIÓN ANATÓMICA DEL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO .....	116
2.1.1.	Craneotomía .....	119
2.1.2.	Apertura dural y trabajo intradural .....	120
2.2.	DISECCIÓN ANATÓMICA DEL ABORDAJE FAR LATERAL .....	124
2.2.1.	Fase muscular. Disección de la musculatura occípito-cervical.....	126
2.2.2.	Craneotomía suboccipital lateral y resección del arco posterior del atlas .....	139
2.2.3.	Fresado del cóndilo occipital. Abordaje transcondilar.....	143
2.2.4.	Apertura dural y trabajo intradural .....	145
3.	PROTOCOLO DE RECOGIDA DE DATOS.....	149
3.1.	PROTOCOLO DE RECOGIDA DE DATOS PARA EL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO .....	154
3.1.1.	Mediciones realizadas sobre los especímenes cadavéricos:.....	159
3.1.2.	Mediciones realizadas sobre estudios de resonancia magnética de alta definición:..	160
3.2.	PROTOCOLO DE RECOGIDA DE DATOS PARA EL ABORDAJE FAR LATERAL.....	161
3.2.1.	Mediciones realizadas sobre los especímenes cadavéricos:.....	164
3.2.2.	Mediciones realizadas sobre estudios de resonancia magnética de alta definición:.....	165
4.	ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL CONTENIDO NEUROVASCULAR DE LOS TRAYECTOS T-G Y T-J	166
5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	168
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>171</b>
1.	DESCRIPCIÓN DE LA ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA EXPUESTA TRAS LA REALIZACIÓN DE UN ABORDAJE RETROSIGMOIDEO AL COMPARTIMENTO INFERIOR DE LA FOSA POSTERIOR.....	172
1.1.	DISEÑO DEL CANAL DE TRABAJO A LA OLIVA BULBAR.....	172
1.2.	COMPARTIMENTO CISTERNAL DEL CANAL DE TRABAJO .....	177

2.	DESCRIPCIÓN DE LA ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA EXPUESTA TRAS LA REALIZACIÓN DE UN ABORDAJE <i>FAR LATERAL</i> AL COMPARTIMENTO INFERIOR DE LA FOSA POSTERIOR .....	186
2.1.	DESCRIPCIÓN DEL INCREMENTO DE VISIÓN CISTERNAL TRAS LA REALIZACIÓN DE UN ABORDAJE TRANSCONDILAR.....	186
2.2.	DISEÑO DEL CANAL DE TRABAJO A LA OLIVA BULBAR.....	189
2.3.	COMPARTIMENTO CISTERNAL DEL CANAL DE TRABAJO .....	192
3.	CUANTIFICACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE TRABAJO, ÁNGULOS DE ATAQUE Y SUPERFICIE A LA OLIVAR BULBAR PARA CADA UNO DE LOS DOS ABORDAJES .....	200
3.1.	ESPECÍMENES DISECADOS.....	203
3.1.1.	Medidas directas en especímenes anatómicos.....	203
3.1.2.	Medidas de neuronavegación en especímenes anatómicos .....	205
3.2.	MEDICIONES MEDIANTE RESONANCIA MAGNÉTICA .....	208
4.	CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO NEUROVASCULAR EN EL TRAYECTO A LA OLIVA BULBAR PARA CADA UNO DE LOS ABORDAJES .....	217
5.	APÉNDICE: CONJUNTO DE DATOS RECOGIDOS .....	222
5.1.	TABLAS DE MEDIDAS DIRECTAS EN ESPECÍMENES ANATÓMICOS.....	222
5.2.	TABLAS DE MEDIDAS CON NEURONAVEGACIÓN EN ESPECÍMENES ANATÓMICOS.....	225
5.3.	TABLAS DE MEDIDAS CON RM EN PACIENTES ANONIMIZADOS SIN PATOLOGÍA CRANEOCEREBRAL CONOCIDA .....	228
5.4.	TABLAS DEL CONTENIDO NEUROVASCULAR EN LOS TRAYECTOS SEGÚN ABORDAJE (RM). 234	
<b>VI.</b>	<b><i>DISCUSIÓN</i></b> .....	<b>237</b>
1.	DESCRIPCIÓN DE LA ANATOMÍA QUIRÚRGICA Y TÉCNICA DE LOS ABORDAJES RETROSIGMOIDEO Y <i>FAR LATERAL</i> (ACCESO A LA OLIVA BULBAR) .....	238
2.	COMPARACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE TRABAJO, ÁNGULOS DE ATAQUE Y SUPERFICIE A LA OLIVAR BULBAR PARA CADA UNO DE LOS DOS ABORDAJES .....	259
3.	CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO NEUROVASCULAR EN EL TRAYECTO A LA OLIVA BULBAR PARA CADA UNO DE LOS ABORDAJES .....	270
	<i>Del laboratorio al quirófano</i> .....	278
<b>VII.</b>	<b><i>CONCLUSIONES</i></b> .....	<b>281</b>
<b>VIII.</b>	<b><i>BIBLIOGRAFÍA</i></b> .....	<b>283</b>



# I. INTRODUCCIÓN

## 1. ANTECEDENTES

A lo largo de la historia neuroquirúrgica, el tratamiento de lesiones intrínsecas localizadas en el tronco cerebral ha sido tema de mucha controversia. Hasta principios de los años 70 esta patología se consideraba inoperable dada su localización. El tronco cerebral es la estructura anatómica del sistema nervioso central (SNC) que presenta mayor concentración de núcleos y fibras, y su simple manipulación puede conllevar importante morbi-mortalidad. Desde un punto de vista neuroquirúrgico, ha sido motivo de estudio identificar zonas de entrada seguras minimicen la aparición de nuevos déficits para el paciente. A lo largo de este profundo estudio, tras comprender la organización interna del tronco cerebral, se ha podido objetivar una clara división entre las vías motoras y sensitivas, y es en este espacio de transición donde se han buscado las ‘vías de entrada seguras’ (*safe entry zones*) a nivel del tronco cerebral. En este sentido, hay que destacar la figura del Prof. Evandro de Oliveira, considerado un gran referente en el estudio anatómico y microneuroquirúrgico del tronco cerebral desarrollando numerosos estudios relacionados con el tratamiento y acceso a esta compleja región del SNC.<sup>2, 3, 9, 13, 23, 29, 30, 33, 42, 46, 67, 69</sup>

El Prof. Evandro de Oliveira ha sido uno de los neurocirujanos que ha sabido fusionar con gran versatilidad dos filosofías: la anatómica y la quirúrgica. Ha conseguido aplicar la anatomía a la cirugía con grandes resultados a lo largo de toda su trayectoria neuroquirúrgica. En el campo neuroanatómico, fue discípulo del Prof. Albert L. Rhoton Jr., quien sigue siendo considerado en la actualidad el autor de referencia para el estudio de la anatomía microquirúrgica. Su diseño metodológico sigue siendo utilizado en la gran

mayoría de laboratorios de microneurocirugía y sus bases de trabajo son de referencia para el entrenamiento microneuroquirúrgico de futuros neurocirujanos. En el campo microneuroquirúrgico fue discípulo del Prof. MG. Yasargil, quien es considerado el padre de la microneurocirugía moderna. Fue quien introdujo el microscopio quirúrgico en los quirófanos de neurocirugía y elaboró los trabajos y doctrinas que nos han llevado a la práctica neuroquirúrgica actual.

El presente trabajo de investigación, se desarrolla teniendo en cuenta los conocimientos del tronco cerebral desarrollados por el Prof. Evandro de Oliveria. Una vez establecido uno de los puntos de entrada seguros a nivel bulbar, hemos querido evaluar el abordaje más seguro a la oliva bulbar (la principal zona de entrada segura a la región anterolateral del bulbo raquídeo). Siguiendo la filosofía del Prof. Evandro de Oliveira y bajo la dirección del Prof. González-Darder y Prof. Quilis-Quesada hemos utilizado los conocimientos anatómicos obtenidos de la investigación cadavérica para intentar mejorar los resultados de futuras intervenciones microneuroquirúrgicas.

### **Contexto neuroquirúrgico de los trabajos realizados en el tronco cerebral**

Las lesiones del tronco cerebral tienen una gran trascendencia desde el punto de vista médico, ya que las lesiones de tipo vascular e incluso tumoral aparecen predominantemente en pacientes jóvenes (20-40 años). Además, la historia natural de estas lesiones localizadas en el tronco cerebral suele ser catastrófica a corto-medio plazo, por lo que la necesidad de encontrar un tratamiento óptimo que disminuya la morbi-mortalidad se hace imperativo. Actualmente, gracias a los avances en técnica de imagen radiológica estas lesiones intrínsecas del tronco se diagnostican muy frecuentemente en pacientes paucisintomáticos, siendo muchas veces hallazgos casuales. El mejor

conocimiento de la historia natural de la gran mayoría de las lesiones localizadas en el tronco cerebral hace recomendable un tratamiento microquirúrgico de las mismas.<sup>19, 26, 29, 33, 34, 36-38, 49, 64, 67, 69, 82, 89, 92</sup>

En el año 1939, Bailey declaró las lesiones del tronco como un capítulo pesimista de la neurocirugía en cuanto a los resultados posquirúrgicos. Treinta años más tarde, Matson e Ingraham seguían considerando estas lesiones como inoperables. Es a partir de los años 80 cuando se empiezan a practicar cirugías a nivel del tronco cerebral para el tratamiento de lesiones principalmente de origen vascular y tumoral. Los primeros resultados no fueron muy alentadores ya que estos tratamientos presentaban una gran tasa de complicaciones. Algunos estudios reflejan una morbi-mortalidad de alrededor del 30-40%.<sup>19, 26, 29, 33, 34, 36-38, 49, 64, 67, 69, 82, 89, 92</sup>

Las lesiones en el tronco cerebral se pueden dividir según su localización topográfica en 2 grupos: exofíticas y no exofíticas. En las lesiones exofíticas como su nombre indica existe una salida de la lesión del tronco cerebral al espacio subaracnoideo permitiendo su localización en superficie de una forma clara y sencilla. Este tipo de lesiones no generan duda en el manejo terapéutico ya que se abordan por el punto en que se externalizan a la superficie del tronco, así de esta forma no hay que atravesar ninguna zona intacta desde el punto de vista del tejido neurológico. En cambio, las lesiones no exofíticas son aquellas en las que no existe externalización a la superficie del tronco cerebral por lo que aquí se plantea la gran dificultad en el manejo terapéutico. En estas situaciones hay que seleccionar la vía de acceso más segura a la lesión con la finalidad de preservar la función neurológica y disminuir los riesgos quirúrgicos. En este contexto, las lesiones exofíticas localizadas en el tronco se abordan por el punto donde se externalizan del tronco cerebral. En cambio, en las lesiones intrínsecas hay que decidir la mejor vía de acceso para que la neurotomía cause el menor daño neurológico posible dado que están

rodeadas de tejido neural sano y de gran relevancia funcional.<sup>19, 26, 29, 33, 34, 36-38, 49, 64, 67, 69, 82, 89, 92</sup>

En el año 2008 se publica un trabajo anatómico revolucionario dirigido por el Prof. Evandro de Oliveira en el cual se describen zonas de entrada seguras al tronco cerebral (*'safe entry zones'*).<sup>70</sup> Se describen tres regiones anatómicas en las cuales existe una menor cantidad de núcleos y fibras de tejido neurológico relevantes en cuanto a función neurológica. Accediendo el tronco cerebral a través de estas vías se minimiza en gran medida el riesgo de morbi-mortalidad. Se describe una zona de entrada segura para el mesencéfalo (surco mesencefálico lateral), para la protuberancia (área peritrigeminal) y para el bulbo raquídeo (oliva bulbar). Todas estas regiones se sitúan en la superficie antero-lateral, dado que en el tronco cerebral las vías motoras se localizan ventrales y las sensitivas dorsales. Es por ello que las zonas de entradas seguras las localizamos en la zona transicional entre estos dos grandes grupos de vías largas. Gracias a la descripción de estas puertas de entrada al tronco cerebral se empezaron a tratar con mejores resultados las lesiones no exofíticas del tronco cerebral, ya que disminuyó un gran porcentaje la morbi-mortalidad.

Desde el año 2008 en el que el Prof. Evandro de Oliveira describe los tres principales puntos de entrada al tronco cerebral se han ido describiendo nuevos puntos seguros de entrada. Posteriores estudios, como los descritos por K. Yagmurclu, enumeran un gran número de puntos de entrada seguros al tronco cerebral, pero en la práctica clínica habitual se usan básicamente los descritos por Evandro de Oliveira en el 2008.<sup>95</sup> Estos puntos de entrada, plantean la dificultad en cuanto a su exposición quirúrgica, ya que para acceder y obtener un canal de trabajo seguro exigen una gran dificultad técnica y organizativa. Estas zonas de acceso, que habitualmente presentan una superficie de alrededor de 1cm<sup>2</sup>, están rodeadas por un gran número de estructuras, no solo de tejido

neuroológico, sino también estructuras vasculares arteriales y venosas con gran relevancia para la funcionalidad del SNC.

Actualmente existen numerosos abordajes descritos para el acceso al tronco cerebral en función del nivel a tratar. El presente trabajo se centra en el acceso a la cara anterolateral del bulbo raquídeo donde encontramos la oliva bulbar que es uno de los '*safe entry zones*'. A lo largo de la historia neuroquirúrgica, el acceso a la región baja del tronco cerebral ha sido motivo de mucho estudio e inquietud para conseguir una exposición segura minimizando riesgos quirúrgicos. Esta región anatómica es fundamental para mantener la funcionalidad neurológica y además se encuentra rodeada de estructuras vasculares y pares craneales fundamentales para mantener el funcionamiento del organismo. Por lo tanto, obtener abordajes óptimos que ofrezcan la exposición suficiente para tratar con seguridad es fundamental para obtener unos buenos resultados clínicos posquirúrgicos. <sup>1, 5, 14, 15, 18, 20, 42, 68, 99</sup>

Hasta la fecha se han descrito distintos tipos de abordajes quirúrgicos en la literatura con la finalidad de exponer las principales vías de entrada seguras al tronco cerebral y que permitan un trabajo seguro y eficaz. Muchos de los abordajes descritos son técnicamente muy complejos y requieren no solo de un correcto manejo quirúrgico sino también un manejo anestésico muy específico para evitar complicaciones relacionadas con la posición del paciente. Para el acceso a nivel de la oliva bulbar se han descrito principalmente dos abordajes: *far lateral* y retrosigmoideo.

Entre estos dos abordajes existen diferencias técnicas y distintas complicaciones relacionadas con el abordaje (posicionamiento, manejo anestésico, inestabilidad cervical posterior, etc.), por lo que pueden establecerse diversas consideraciones. El abordaje *far lateral*, requiere en muchas ocasiones realizar una cirugía con el paciente sentado (aumentando los riesgos anestésicos), técnicamente más demandante que el

retrosigmoideo. En contraposición el abordaje retrosigmoideo es técnicamente más sencillo y además todo neurocirujano posee una mayor familiaridad ya que es un abordaje muy utilizado en la práctica habitual para el tratamiento de otro tipo de patologías (neurinomas del acústico, meningiomas, tumores epidermoides, etc.).<sup>1, 5, 14, 15, 18, 20, 42, 68,</sup>  
99

En el trabajo desarrollado en las siguientes páginas, planteamos la realización de un estudio anatómico utilizando especímenes cadavéricos que permita comparar objetivamente el las particularidades de cada uno de los abordajes y evaluar las diferencias reales a la hora de abordar la oliva bulbar.

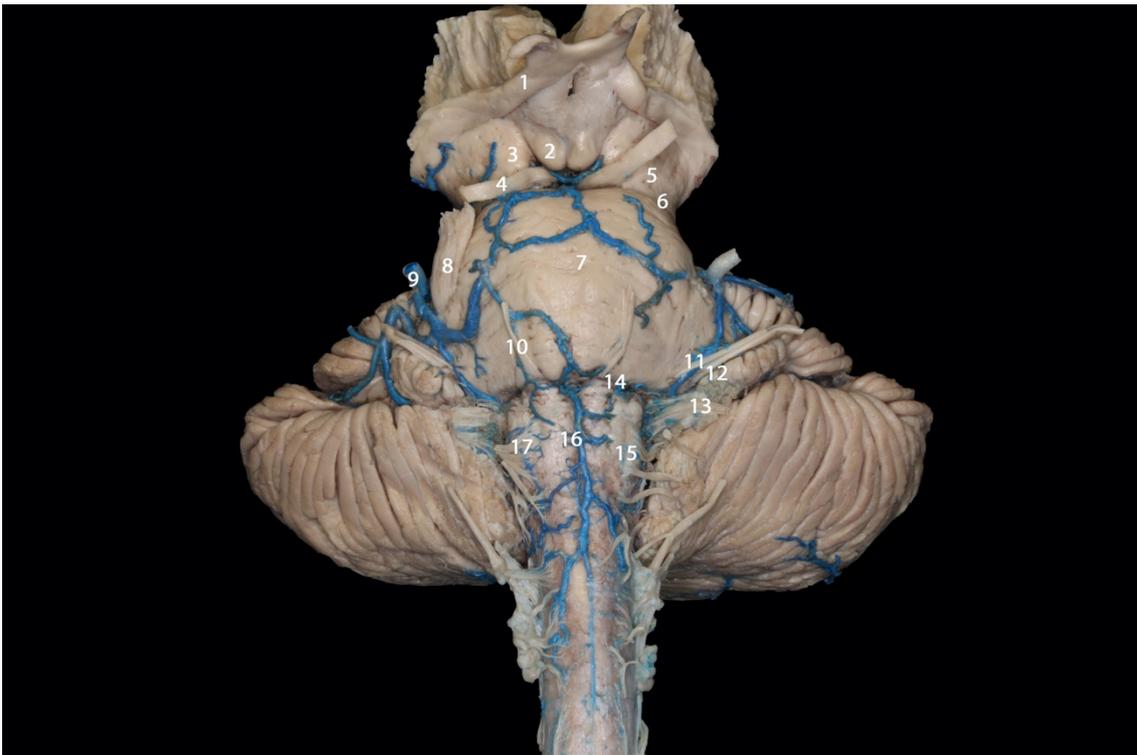
En conclusión, se plantea valorar objetivamente ambos abordajes para establecer la superioridad de uno frente otro más allá de la subjetividad individual del neurocirujano.

A lo largo de esta introducción, se detalla la anatomía del tronco cerebral, con mayor detalle en la cara anterolateral del bulbo raquídeo, así como la anatomía de todas sus vecindades. Con estos conocimientos y utilizando referencias anatómicas identificables evaluaremos de forma objetiva los dos abordajes a la oliva bulbar: *retrosigmoideo* y *far lateral*.

## **2. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DEL TRONCO CEREBRAL**

El tronco cerebral forma el eje central del cerebro ocupando la porción anterior de la fosa posterior y está conformado por el mesencéfalo, la protuberancia y el bulbo raquídeo. Está conformado por agregaciones de neuronas formando núcleos y fibras nerviosas agrupadas en haces llamados tractos, fascículos o lemniscos. Estos elementos de la estructura interna delimitan prominencias o depresiones en la superficie que debemos identificar entendiendo la anatomía microquirúrgica. El tronco cerebral está

formado básicamente por cuatro tipos de estructuras: vías ascendentes y descendentes que conectan la médula espinal con el prosencéfalo; centros reflejos asociados con el control de la respiración, control cardíaco y del nivel de consciencia a través de la formación reticular; núcleos de los nervios craneales (desde el IIIpc al XIIpc) y los pedúnculos cerebelosos (Fig. 1).<sup>53, 65, 71, 75, 96-98</sup>



**FIGURA 1.** Visión anterior del tronco cerebral. 1, tracto óptico; 2 cuerpos mamilares; 3, mesencéfalo; 4, nervio oculomotor común (IIIpc); 5, pedúnculo cerebral; 6, surco mesencéfalo-protuberancial; 7, protuberancia; 8, nervio trigémino (Vpc); 9, vena petrosa superior; 10, nervio motor ocular externo (VIpc); 11, nervio facial (VIIpc); 12, nervio vestibulococlear (VIIIpc); 13, pares craneales bajos: glosofaríngeo, vago y espinal (IXpc, Xpc, XIpc); 14, surco bulboprotuberancial; 15, surco preolivar, nervio hipogloso (XIIpc); 16, bulbo raquídeo, pirámides; 17, oliva bulbar.

## 2.1. CONSIDERACIONES DEL DESARROLLO EMBRIOLÓGICO

Unas dos semanas tras la fecundación, en el embrión tienen lugar procesos que segmentan tres capas germinales que darán lugar a los diferentes tejidos del organismo.

El endodermo, es el responsable de generar los tejidos de revestimiento de distintas cavidades del cuerpo humano, como por ejemplo las mucosas del tubo digestivo y del sistema respiratorio. El mesodermo, dará lugar a la gran mayoría de tejido muscular y conectivo. Finalmente, el ectodermo, que desarrollará la piel y el sistema nervioso.<sup>81, 96-98</sup>

Al inicio de la tercera semana del desarrollo, una porción del ectodermo se diferencia en una región especializada: el neuroectodermo, que será el precursor del sistema nervioso. En la superficie dorsal del embrión se forma un surco neural, y en los bordes laterales del surco se generan dos capas neurales que van invaginándose hasta converger y formar una estructura tubular conocida como tubo neural. Células de las capas neurales se separan del ectodermo para formar grupos celulares que formaran la cresta neural, que discurre lateral al tubo neural. De esta cresta neural, migrarán células que darán lugar al sistema nervioso periférico (SNP).

A los 25 días aproximadamente, la región anterior del tubo neural se invagina en una estructura anterior que dará lugar al encéfalo y tronco cerebral, y una región posterior que dará lugar a la médula espinal. A partir de la cuarta semana esta estructura anterior se irá segmentando produciendo unas estructuras con forma de vesículas. En una primera fase se forman tres vesículas, conocidas como vesículas primarias: prosencéfalo o cerebro anterior, mesencéfalo o cerebro medio y rombencéfalo o cerebro posterior.<sup>82</sup>

A las 6 semanas de gestación el futuro cerebro y tronco del encéfalo continúan el desarrollo y forman las vesículas secundarias:

-El prosencéfalo formará dos vesículas: el telencéfalo y el diencefalo. El telencéfalo formará el cerebro y los ventrículos laterales. El diencefalo dará lugar a diversas estructuras: tálamo, hipotálamo, retina y tercer ventrículo.

-El mesencéfalo no se dividirá en más vesículas. El cerebro medio es una región bien establecida y diferenciada del sistema nervioso ya en las vesículas primarias, es decir, en una fase muy primaria del desarrollo embrionario.

-El rombencéfalo formará dos vesículas: el metencéfalo y mielencéfalo. El metencéfalo corresponderá a la protuberancia, el cerebelo y parte del cuarto ventrículo. Por ello, la conexión del cerebelo más importante con el resto del cerebro se da a través de la protuberancia, por tener estas dos estructuras un origen embrionario en la misma vesícula. El mielencéfalo dará lugar a la estructura adulta conocida como bulbo raquídeo y parte del cuarto ventrículo.

Por lo tanto, las estructuras que formarán el tronco cerebral adulto tienen su origen en las siguientes vesículas primarias: el mesencéfalo (mesencéfalo en el adulto) y rombencéfalo (protuberancia y bulbo raquídeo en el adulto). Todas las estructuras derivadas de estas dos vesículas, excepto el cerebelo, formarán el tronco cerebral del adulto.

### **2.1.1. Mesencéfalo o cerebro medio:**

A finales del tercer mes de desarrollo embrionario el mesencéfalo empieza a presentar una diferencia de crecimiento ponderal comparado con el cerebro anterior y cerebro posterior y, ya al sexto mes, queda reducido al cuerpo peduncular que une el cerebro con el cerebelo y el canal ventricular mesencefálico que une el tercer y cuarto ventrículos. Dos nervios craneales (IIIpc y IVpc), correspondientes a las raíces anteriores de los nervios espinales, saldrán del mesencéfalo. Una sección a través del mesencéfalo en la cuarta semana de desarrollo embrionario muestra las mismas divisiones de núcleos y tractos que en la médula espinal: láminas neurales laterales constituidas por láminas

basal y alar, formadas por una zona marginal, zona endimaria y zona del manto en cada una de las láminas.

En el tercer mes la lámina cuadrigémina se origina de la región dorsal de la lámina alar, como un desarrollo similar al que hace el cerebelo desde la región dorsal de la lámina alar del metencéfalo. La lámina cuadrigémina es considerada como un centro de recepción primario para los nervios relacionados con la vista (los tractos ópticos). Se encuentran los núcleos cocleares conectados con la formación cuadrigeminal por el lemnisco lateral. Durante el desarrollo embrionario, la lámina cuadrigémina se divide en dos colículos inferiores (donde el tracto colicular termina) y dos superiores (que reciben fibras de la retina). De la lámina basal se originan los núcleos del IIIpc y IVpc, los núcleos principales para el suplemento motor de los músculos del globo ocular. Del mesencéfalo también se originarán fibras sensoriales del Vpc que van a la órbita.<sup>96-98</sup>

Desde el tercer mes de desarrollo, el cerebro medio supone una autopista para el desarrollo de diferentes vías neurales que unen el córtex del cerebro anterior con los núcleos de la protuberancia, bulbo raquídeo y médula espinal; circulan también vías aferentes o sensoriales que conectan núcleos de la médula espinal, bulbo raquídeo y cerebelo con el córtex del cerebro anterior.

Los tractos corticoespinales cerebrales se desarrollan en la parte marginal de la lámina basal y formarán los pedúnculos cerebrales (*'crura cerebri'*), mientras que las vías aferentes (el lemnisco medial) se desarrollarán en la zona del manto, formando el tegmentum. Estas divisiones son las que configuran la anatomía de las *'safe entry zones'* del tronco cerebral, donde por ejemplo a nivel del mesencéfalo encontramos el surco mesencefálico lateral que separa las vías motoras de las sensitivas.<sup>96-98</sup>

### 2.1.2. Rombencéfalo o cerebro posterior:

Durante el desarrollo a partir de la cuarta semana también podemos observar unas estructuras similares a las del mesencéfalo: láminas neurales laterales constituidas por láminas basal y alar. Cada lámina neural formará tres zonas: una zona interna o endimaria, una zona media o del manto y una zona externa o marginal. La cavidad que se genera en el cerebro posterior dará lugar al cuarto ventrículo. En su suelo, se desarrollarán la protuberancia y el bulbo raquídeo; y en el techo, se desarrollarán el cerebelo, el velo medular inferior y superior. La protuberancia se formará como un conglomerado compacto de fibras que se divide del bulbo raquídeo a través del surco bulboprotuberancial. En cuanto al bulbo, presentará dos zonas bien diferenciadas: una craneal, con mayor similitud a la organización mesencefálica (donde se localizará la oliva bulbar en su región anterolateral) y una caudal, con una organización interna muy similar a la médula espinal y que servirá de transición del tronco cerebral hasta la misma médula.

A la sexta semana de desarrollo se instaura una disposición de núcleos conectados con los nervios craneales en la zona media o del manto. En la zona del manto de la lámina basal hay tres columnas de células motoras: *células motoras somáticas* (de esta columna se originan los pares craneales VI y XII), *células motoras somáticas laterales* (de esta columna se originan los pares craneales V, VII, IX, X y XI) y *células motoras nucleares espláncicas* (dan lugar a fibras distribuidas por la musculatura del corazón, pulmón y del canal alimentario; representan los núcleos dorsales de los pares craneales IX y X). En la lámina alar se diferencian dos columnas de células sensoriales y de núcleos de recepción: *espláncicas* (reciben fibras de los pares craneales IX y X; conectan con la faringe, corazón, pulmones y canal alimentario, recibiendo impulsos aferentes) y *somáticas* (reciben fibras de las raíces posteriores de los nervios espinales y de las raíces sensoriales del Vpc y VIIIpc).<sup>96-98</sup>

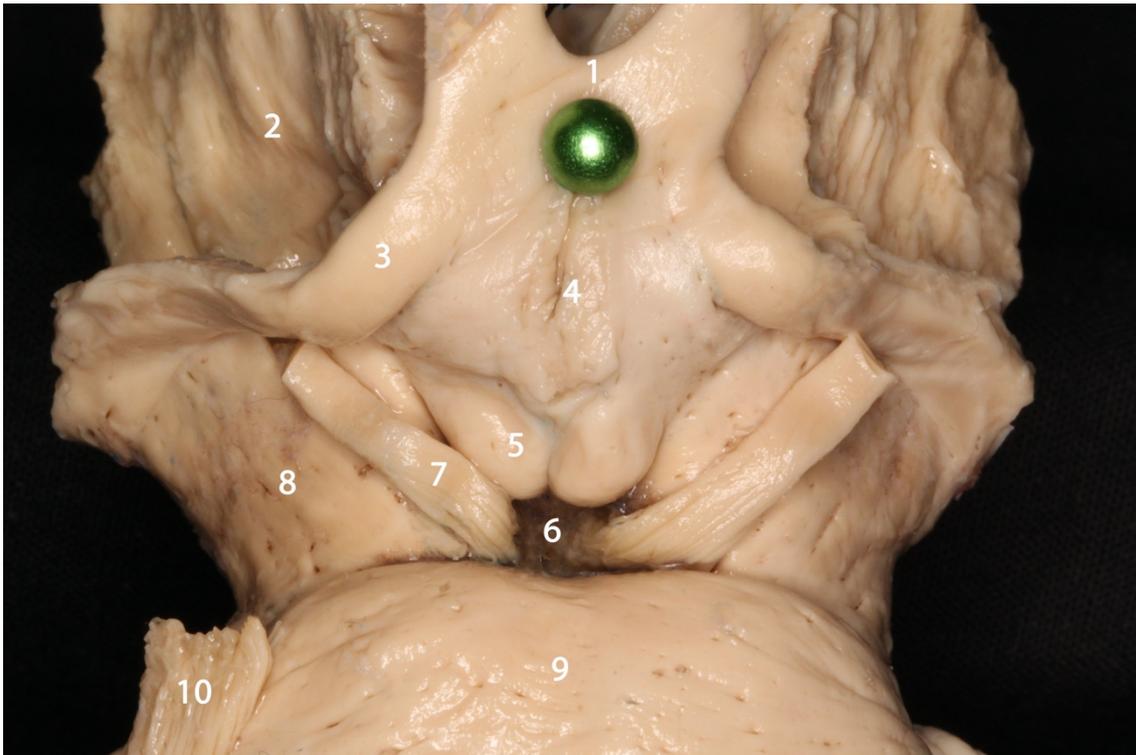
## 2.2. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DEL MESENCÉFALO

El mesencéfalo es la estructura más craneal del tronco cerebral, situado entre la protuberancia y el diencefalo. El mesencéfalo está separado del diencefalo por una línea imaginaria que une los cuerpos mamilares con la comisura posterior.<sup>53, 65, 71, 75, 96-98</sup>

### 2.2.1. Morfología externa. Relaciones anatómicas:

El límite superior del mesencéfalo es el tracto óptico y el límite inferior es el surco mesencéfalo-protuberancial.<sup>53, 65, 71, 75, 96-98</sup>

-Superficie anterior: Los dos pedúnculos cerebrales son divergentes, formando un ángulo de unos 80°, y formando un espacio conocido como fosa interpeduncular. Esta fosa contiene la sustancia perforada posterior y está limitada lateralmente por los nervios oculomotores (IIIpc). La salida del nervio oculomotor se encuentra en el surco medial del pedúnculo cerebral. En algunos especímenes, al fascículo longitudinal del pedúnculo cerebral le cruzan fibras transversales, que se extienden desde la región dorsal del pedúnculo hasta la fosa interpeduncular. Hay tres formaciones de fibras transversales: fascículo de Féré (constituido por fibras aberrantes de la vía piramidal que se unen con el lemnisco medial), *'tenia pontis'* (fibras pontinas que pasan el surco oculomotor) y *'tractus peduncularis transversus'* (fibras que nacen en el colículo superior y parte del inferior discurrendo a través del surco oculomotor) (Fig. 2).



**FIGURA 2. Visión anterior del mesencéfalo. Tronco cerebral preparado para el estudio de la anatomía de superficie del tronco cerebral. 1, quiasma óptico; 2, tálamo; 3, tracto óptico; 4, suelo del tercer ventrículo, receso infundibular; 5, cuerpos mamilares; 6, fosa interpeduncular, sustancia perforada posterior; 7, nervio oculomotor (IIIpc); 8, pedúnculo cerebral ('crus cerebri'); 9, protuberancia; 10, nervio trigémino (Vpc).**

-Superficie posterior: formada por cuadro eminencias redondeadas: dos colículos superiores y dos colículos inferiores, conocido como lámina cuadrigémina.

-Superficie lateral: se divide en dos partes por un surco longitudinal: el surco mesencefálico lateral. Este surco se extiende desde el surco pontomesencefálico hasta el cuerpo geniculado medial. La parte anterior se continúa con los pedúnculos cerebrales y la posterior tiene una forma triangular (limitada por el surco mesencefálico lateral anteriormente, cranealmente por el brazo conjuntival posterior y caudalmente por el pedúnculo cerebeloso superior). Este espacio se llama triángulo lemniscal (triángulo de Reil) y está ocupado por el fascículo acústico.

-Límites superior e inferior: una parte del límite superior se continua con la región subtalámica y otra con la cápsula interna. El límite inferior se continua con la protuberancia.

### 2.2.2. Morfología interna:

El mesencéfalo se divide por una línea imaginaria que cruza el acueducto mesencefálico de Silvio, dando lugar así a una parte posterior llamada tectum y una parte anterior llamada pedúnculo cerebral. Cada pedúnculo cerebral a su vez, se divide por la sustancia negra en dos partes: una anterior (*crus cerebri*) y una posterior (*tegmentum*) (Fig. 3).<sup>53, 65, 71, 75, 96-98</sup>

-Crus cerebri: corresponde a la continuación de la cápsula interna por debajo del tálamo. Tiene un aspecto de media luna y está compuesto por 3 partes: el segmento interno que representa una quinta parte y está formado por fibras frontopontinas (fascículo de Arnold) y por fibras corticonucleares (fascículo geniculado) que se originan desde la porción inferior del giro precentral; el segmento intermedio que representa tres quintas partes y está formado por fibras de la vía piramidal que se originan en el córtex del giro precentral; y el segmento externo que ocupa una quinta parte y está formado por fibras temporopontinas (fascículo de Türk).

-Tegmentum: tiene una forma cuadrada y esta limitado anteriormente por la sustancia negra y por un plano transverso posterior a través del acueducto mesencefálico. El tegmentum está formado por las siguientes estructuras:

- Formación reticular. Está compuesta por un grupo de neuronas y fibras que discurren a través del tronco cerebral. Es una estructura irregular, pero algunos grupos neuronales pueden ser identificados: núcleos del rafe, *locus coeruleus*, sustancia gris periacueductal y el área tegmental ventral. Las fibras que cursan a

través de la formación reticular tienen una trayectoria arqueada y se incluyen: fibras tectobulbares, la radiación *tegmen*, fascículo rubroespinal, pedúnculos cerebelosos superiores, el fascículo longitudinal medial y el lemnisco medial. Las fibras tectobulbares van desde el colículo superior hasta el bulbo raquídeo (estas fibras se intersectan en la línea media (decusación tegmental dorsal o decusación de Meynert). La radiación *tegmen* está formada por fibras rubrotalámicas. El fascículo rubroespinal constituye la decusación tegmental ventral (decusación de Forel).

· Sustancia gris (núcleos de los pares craneales, núcleo rojo y sustancia negra). Los núcleos de los pares craneales son: núcleo del IVpc, IIIpc, y el tracto mesencefálico del núcleo del Vpc.

-El núcleo del IVpc está situado en la región ventral de la sustancia gris periacueductal a nivel del colículo inferior. El IVpc inerva el músculo oblicuo superior en la porción superomedial de la órbita.

-El núcleo del IIIpc forma una columna al nivel del colículo superior, entre la sustancia gris periacueductal y el fascículo longitudinal medial. Contiene tres núcleos: núcleo oculomotor que inerva los músculos rectos superior, medial e inferior, músculo oblicuo inferior y elevador del párpado; núcleo de Perlia (responsable de la convergencia ocular); y núcleo oculomotor accesorio o núcleo de Edinger-Westphal (un núcleo parasimpático que controla los esfínteres y músculos ciliares responsables del reflejo de acomodación).

-El tracto mesencefálico del Vpc que continúa a la protuberancia.

-El núcleo rojo (núcleo de Stilling) es una estructura oval, que se extiende unos 6-7 mm desde la región subtalámica hasta el tercio inferior del pedúnculo. Las fibras aferentes conectadas al núcleo rojo son las vías rubrocerebelosa, la

estriatorubral y la corticorubral. El sistema dentatorubrotalámico está formado por el pedúnculo cerebeloso superior. Esta vía va desde el núcleo dentado hasta llegar al núcleo rojo contralateral. Las fibras eferentes del núcleo rojo son: los fascículos rubrotalámico, rubroespinal y rubrolivar. El fascículo rubrotalámico va desde el polo anterior del núcleo rojo hasta la región externa del tálamo. El fascículo rubroespinal se intersecta con el contralateral dando lugar a la decusación de Forel y finaliza en las neuronas de la asta anterior de la médula espinal. El fascículo rubrolivar se localiza central en el *tegmentum* con fibras que provienen del tálamo y terminarán en la oliva bulbar.

La sustancia negra se extiende desde el surco mesencefálico lateral hasta el surco oculomotor, y desde la región más craneal de la protuberancia hasta el núcleo subtalámico de Luy. Las neuronas de la sustancia negra utilizan dopamina y GABA como neurotransmisores y están involucradas en el control del tono muscular. Tiene conexiones con el córtex cerebral, médula espinal, hipotálamo y núcleos basales.

-Sustancia blanca del mesencéfalo: las fibras localizadas en mesencéfalo se pueden dividir en fibras longitudinales y transversales. Las fibras transversales incluyen la comisura del colículo inferior y la decusación del pedúnculo cerebeloso superior. Las fibras longitudinales incluyen fibras ascendentes, descendentes y de asociación. Las fibras descendentes son: tracto corticoespinal, tracto corticonuclear, tracto corticopontino, tracto tectoespinal y el tracto rubroespinal. Las fibras ascendentes incluyen: los pedúnculos cerebelosos superiores, lemnisco medial, lemnisco lateral, lemnisco espinal y lemnisco trigeminal. <sup>27, 28, 47, 48, 66, 71, 75, 90</sup>

·El lemnisco medial (o banda medial de Reil) discurre a través del tronco cerebral entre el *crus cerebri* y el *tegmentum*. Aparece en el bulbo raquídeo como fibras del núcleo grácil (Goll) y del núcleo cuneado (Burdach), que intersectan en la línea media dando lugar a la decusación piniforme. Desde el mesencéfalo cursa en dirección craneal desde una posición lateral hasta el cuerpo geniculado medial. El lemnisco medial finaliza en el núcleo ventral posterolateral del tálamo, proyectando a través del brazo posterior de la cápsula interna hasta las áreas 3,1 y 2 de Brodmann. Su función es llevar información sensitiva relacionada con: el tacto epicrítico, presión, dirección y amplitud de movimientos, vibración y sensación postural.

·El lemnisco lateral (banda lateral de Reil) aparece en la protuberancia craneal al cuerpo trapezoide, donde se une al lemnisco medial y da una prominencia en la cara externa del pedúnculo, llamada el fascículo lateral del istmo, y finaliza en el colículo inferior. Corresponde a la vía acústica central.

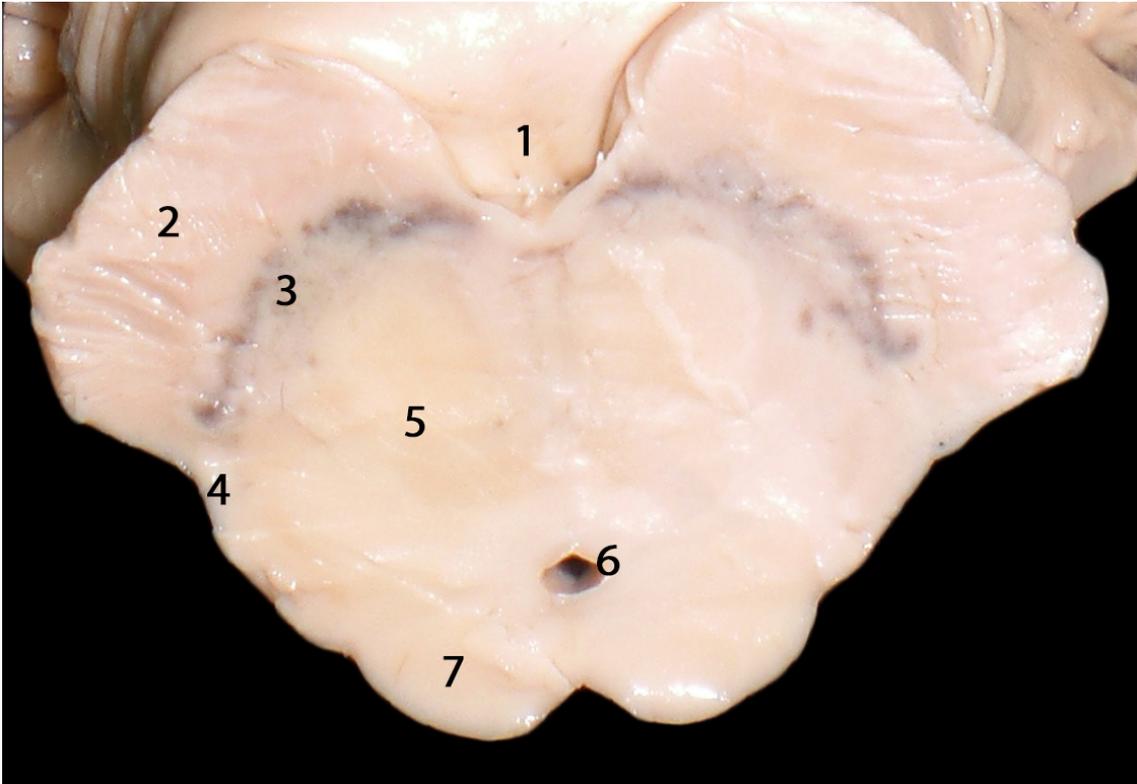
·El lemnisco espinal está formado por la unión de los tractos espinotalámicos anterior y lateral.

·El lemnisco trigeminal conecta los núcleos sensoriales del Vpc al núcleo ventral posteromedial del tálamo.

Las fibras de asociación longitudinales corresponden al fascículo longitudinal medial, localizado anterior al núcleo del IIIpc. Conecta los núcleos de los nervios craneales, especialmente los de los nervios relacionados con los movimientos de la cabeza y del globo ocular.

-Lámina cuadrigémina (tubérculos cuadrigéminos): Hay dos colículos superiores y dos inferiores separados por el surco cruciforme y el triángulo subpineal (de Obersteiner), donde se apoya la glándula pineal. El brazo conjuntival anterior conecta los

colículos superiores con el cuerpo geniculado lateral (relacionado con la vía visual y participa en los movimientos reflejos verticales del globo ocular). El brazo conjuntival posterior conecta el colículo inferior con el cuerpo geniculado medial (vía acústica).



**FIGURA 3.** Corte axial del tronco cerebral para el estudio de la morfología interna del mesencéfalo. 1, fosa interpeduncular; 2, *crus cerebri*; 3, sustancia negra; 4, surco mesencefálico lateral; 5, *tegmentum*; 6, acueducto mesencefálico de Silvio; 7, tectum.

### 2.3. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LA PROTUBERANCIA

La protuberancia, también conocida como puente de Varolio, consiste en una porción del tronco cerebral localizada entre el mesencéfalo y el bulbo raquídeo.<sup>53, 65, 71,</sup>

75, 96-98

### 2.3.1. Morfología externa. Relaciones anatómicas:

La superficie anterior está limitada cranealmente por el surco pontomesencefálico y caudalmente por el surco bulboprotuberancial. Su superficie posterior está limitada cranealmente por una línea imaginaria que cursa caudal a los colículos superiores y caudalmente por una línea imaginaria que cursa al nivel de los ángulos laterales del cuarto ventrículo (Fig. 4).<sup>53, 65, 71, 75, 96-98</sup>

-Superficie anterior: la cara anterior de la protuberancia es convexa en un plano transversal y descansa sobre el clivus. El surco basilar se localiza en la línea media, con el tracto piramidal situado a ambos lados del surco.

-Superficie posterior, lateral, extremos craneal y caudal: la superficie posterior está formada por la parte superior del suelo del cuarto ventrículo (fosa romboidea). Las superficies laterales se continúan con los pedúnculos cerebelosos. El extremo superior se continua con los pedúnculos cerebrales y el inferior con el bulbo raquídeo.



**FIGURA 4.** Superficie anterolateral de la protuberancia en un tronco cerebral disecado para el estudio de su superficie. 1, surco pontomesencefálico; 2, nervio oculomotor (IIIpc); 3, surco basilar de la protuberancia; 4, nervio trigémino (Vpc); 5, nervios facial y vestibulococlear (VIIpc y VIIIpc); 6, flóculo; 7, pedúnculo cerebeloso medio; 8, nervio motor ocular externo (VIpc); 9, surco bulboprotuberancial.

### 2.3.2. Morfología interna:

La protuberancia se divide morfológicamente y fisiológicamente en dos porciones: una parte anterior o base y una parte posterior o tegmentum (Fig. 5).<sup>53, 65, 71, 75,</sup>

96-98

-Base, ‘crus’ de la protuberancia: es la parte anterior y conforma la extensión de los pedúnculos cerebrales continuando hasta las pirámides en el bulbo raquídeo. Está formada por fibras longitudinales y fibras transversales. Las fibras longitudinales se dividen en: tracto corticoespinal, corticonuclear y corticopontino. El tracto corticoespinal a nivel de la base de la protuberancia forma diversos haces de fibras separados y no tiene una estructura compacta como la que se observa a nivel de las pirámides del bulbo raquídeo. El tracto corticonuclear son fibras corticales dirigidas a los núcleos del facial,

trigémino y motor ocular externo. Hay dos tipos de fibras transversales: fibras pontocerebelosas que cursan a través de los pedúnculos cerebelosos medios a través de la vía piramidal y fibras de la vía acústica que van al cuerpo trapezoide.

-Tegmentum: formado por fibras ascendentes, descendentes, de asociación y por núcleos de los pares craneales:

·Sustancia gris: formada por tres grupos de núcleos: el primer grupo ocupa la región externa de la protuberancia y corresponden a los núcleos de los pares craneales (núcleo del Vpc, VIIpc y VIIIpc); el segundo grupo está formado por la oliva superior, el núcleo del cuerpo trapezoide y los núcleos del lemnisco lateral; el tercer grupo está representado por la sustancia gris posterior a la formación reticular (núcleo del VIpc).

-El núcleo del nervio facial (VIIpc) es mixto. La raíz sensorial está representada por el nervio intermedio de Wrisberg. El núcleo motor es pontobulbar, localizado posterior al cuerpo trapezoide y profundo a la raíz del trigémino. Las fibras originadas desde el núcleo motor del facial rodean el núcleo del VIpc. Las fibras sensoriales van al ganglio geniculado y finalizan en el núcleo del tracto solitario (núcleo gustatorio de Nageotte). Estas fibras son responsables de la sensibilidad y gusto de los dos tercios anteriores de la lengua.

-El núcleo del nervio motor ocular externo (VIpc) forma, junto a las fibras del nervio facial que lo rodean, la eminencia redonda. Inervará el músculo recto lateral.

-El núcleo sensorial, núcleo del tracto mesencefálico y núcleo motor del trigémino se localizan en el *tegmentum* de la protuberancia.

-Los núcleos dorsal y ventral cocleares del VIIIpc se localizan en el *tegmentum*. El núcleo dorsal forma una prominencia llamada eminencia acústica

en el ángulo lateral del suelo del cuarto ventrículo. Hay cuatro núcleos vestibulares (superior, inferior, medial y lateral) localizados en el área vestibular.



**FIGURA 5.** Corte axial en el tronco cerebral para el estudio de la morfología interna de la protuberancia. 1, nervio trigémino (Vpc); 2, base, ‘crus’ de la protuberancia; 3, *tegmentum*.

·Sustancia blanca: las fibras longitudinales del *tegmentum* pueden clasificarse en: ascendentes, descendentes y fibras de asociación. Las fibras ascendentes son los lemniscos medial, lateral, trigeminal, espinal y el pedúnculo cerebeloso superior. El lemnisco medial es triangular y se localiza detrás de la vía piramidal próximo al rafe. Está formado por fibras medulares sensoriales que conectan los núcleos grácil (Goll) y cuneado (Burdach) con el tálamo. Las fibras descendentes incluyen: el tracto tectoespinal, rubroespinal, vestibuloespinal, trigéminoespinal y tractos centrales del tegmen. El tracto tectoespinal se origina desde los colículos superiores y acaba en la médula espinal superior. El tracto vestibuloespinal se origina en los núcleos vestibulares y lleva impulsos

relacionados con el control del balance a las motoneuronas espinales. El tracto trigeminoespinal consiste en fibras sensoriales que entran al tronco cerebral a través del nervio trigémino y tienen un curso descendente. Las fibras de asociación corresponden al fascículo longitudinal medial, que se sitúa en la región posterior del *tegmentum*, por debajo del suelo del cuarto ventrículo.<sup>27, 28, 47, 48, 66, 71, 75, 90</sup>

## **2.4. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DEL BULBO RAQUÍDEO**

El bulbo raquídeo es la región más caudal del tronco cerebral. Supone la transición entre las estructuras encefálicas y la médula espinal.<sup>53, 65, 71, 75</sup>

### **2.4.1. Morfología externa. Relaciones anatómicas:**

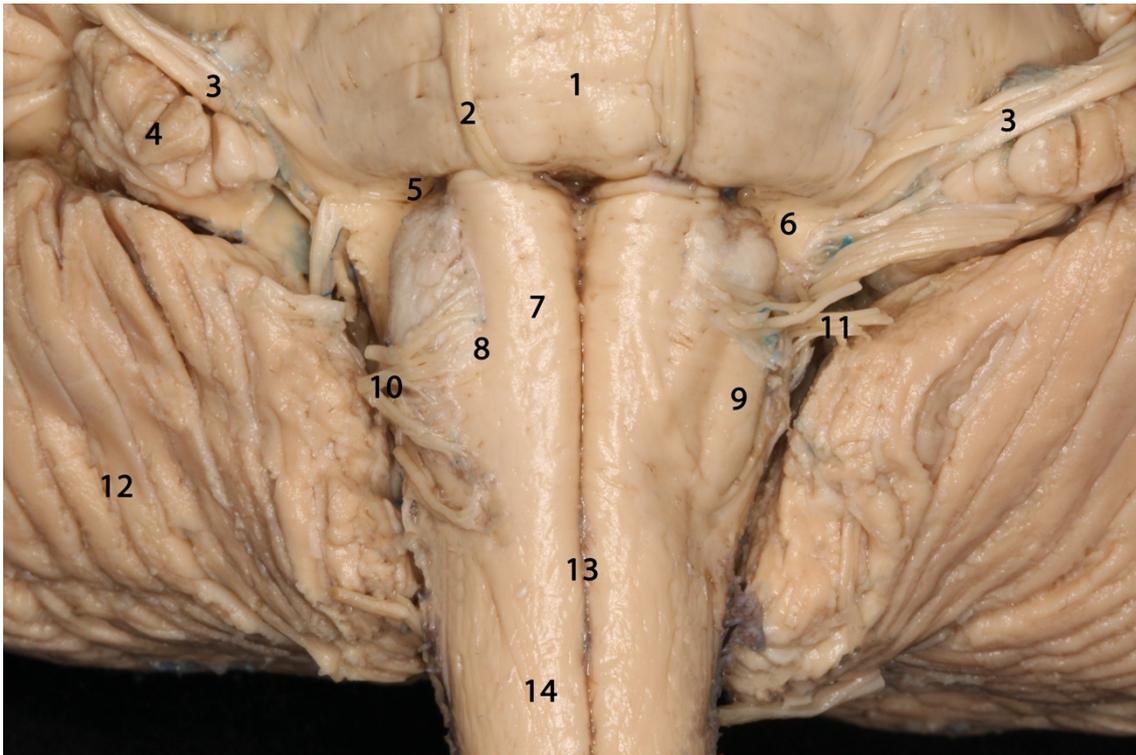
El bulbo raquídeo tiene una forma cónica. Está limitado superiormente por la protuberancia (surco bulboprotuberancial) e inferiormente por un plano horizontal que cursa justo por debajo de la decusación de las pirámides, por encima del primer nervio espinal cervical. El límite óseo de la transición entre la médula espinal y el bulbo raquídeo es un plano imaginario que une la parte central del arco anterior del atlas con el borde superior del tubérculo posterior del atlas (Fig. 6).<sup>53, 65, 71, 75</sup>

-Superficie anterior: en la línea media se encuentra el surco anterior mediano, discurriendo cranealmente hasta la unión bulboprotuberancial y dando el foramen ciego inferior (foramen de Vicq-d'Azyr). Este surco se interrumpe caudalmente por la decusación de las pirámides. Las pirámides anteriores se localizan a ambos lados del surco. El VIpc emerge desde el surco bulboprotuberancial superior a las pirámides. La oliva bulbar está localizada lateralmente y separada de la pirámide por el surco anterolateral, también llamado surco preolivar o surco del hipogloso. Los pares craneales

bajos (IXpc, Xpc y XIpc) se originan del surco posterolateral o surco retrolivar en la región dorsal de la oliva bulbar.

-Superficie posterior: la superficie posterior se divide en una región superior y otra inferior. La región superior representa en la línea media la mitad inferior del cuarto ventrículo, y lateralmente el pedúnculo cerebeloso inferior. La región inferior se divide en dos mitades por el surco mediano posterior. En cada mitad encontramos medialmente el fascículo grácil y lateralmente el fascículo cuneado, separados por el surco intermediario posterior.

-Superficie lateral: es la región del bulbo raquídeo donde se centra el estudio del presente trabajo de tesis doctoral, localizada entre el surco anterolateral y posterolateral. La superficie lateral la podemos dividir en dos zonas diferenciadas: una craneal y otra caudal. En la cara ventral del polo craneal encontramos la oliva bulbar. El límite superior de la oliva bulbar no llega a la protuberancia, y se encuentra separada por una depresión llamada fosa supraolivar, que es donde se origina el nervio facial y nervio intermedio de Wrisberg. Un espacio estrecho con una depresión se localiza posterior a la fosa supraolivar, y es la llamada fosa bulbar lateral, desde donde se origina el nervio vestibulococlear. En la zona caudal ya encontramos una superficie externa muy similar a la de la médula espinal.



**FIGURA 6.** Visión anterior del tronco cerebral para el estudio anatómico de la superficie del bulbo raquídeo. 1, protuberancia; 2, nervio motor ocular externo (VIpc); 3, nervio facial y vestibulococlear (VIIpc y VIIIpc); 4, flóculo; 5, surco bulboprotuberancial; 6, fosita supraolivar; 7, pirámide anterior bulbar; 8, surco preolivar; 9, oliva bulbar; 10, nervio hipogloso (XIIpc); 11, pares craneales bajos (IX, X pc), en su salida del surco retrolivar; 12, superficie petrosa del cerebelo; 13, surco anterior mediano; 14 localización aproximada de la decusación de las pirámides.

#### 2.4.2. Morfología interna:

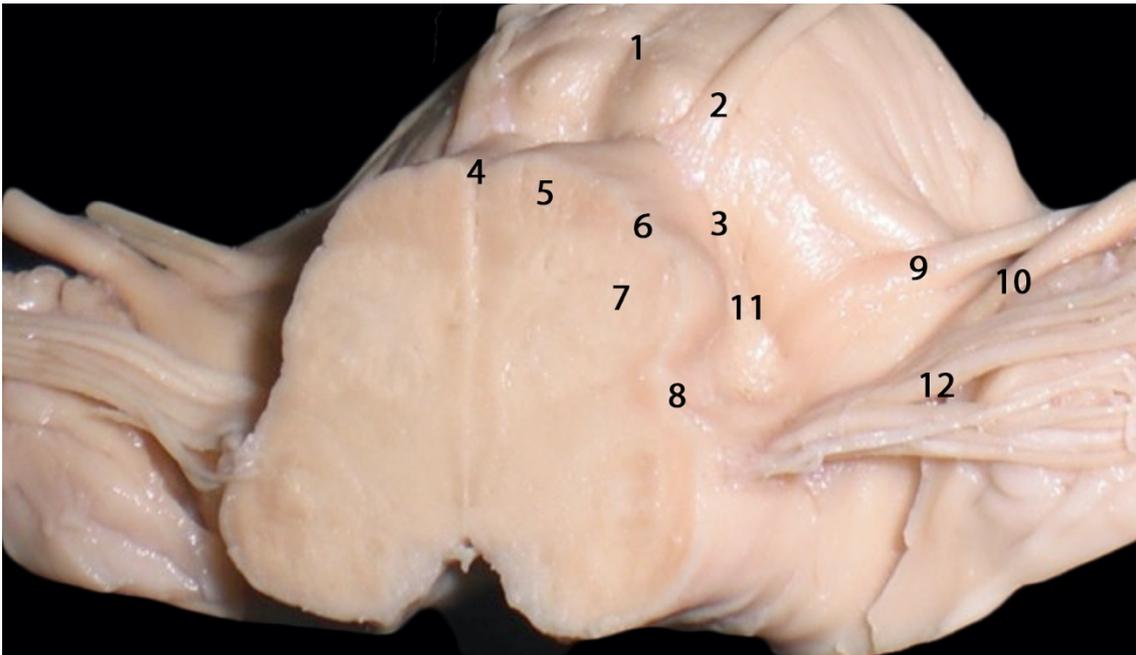
La organización interna del bulbo raquídeo bajo es muy similar a la de la médula espinal, sin embargo, la organización del bulbo superior es muy distinta a la médula.

-Sustancia gris: formada por núcleos de los pares craneales, oliva inferior, núcleo grácil, cuneado, núcleos olivares accesorios dorsal y medial y sustancia gris de la formación reticular.

Los núcleos de los pares craneales son: el núcleo ambiguo (o núcleo anterolateral de Stilling) formado por un grupo de neuronas que forman fibras eferentes viscerales del nervio glossofaríngeo (IXpc), vago (Xpc) y accesorio (XIpc) para inervar los músculos de

la faringe y laringe; núcleo del hipogloso (XIIpc) donde se originan fibras motoras para la inervación de la lengua; núcleo motor dorsal del Xpc (un núcleo motor parasimpático); los núcleos vestibulares, que son núcleos sensoriales que reciben fibras que entran al tronco cerebral a través del nervio vestibular; el núcleo del tracto solitario, que es un núcleo sensorial que recibe aferencias viscerales de fibras de los pares craneales VII, IX y X; el núcleo espinal trigeminal; y el núcleo salivar inferior, formado por fibras ganglionares que siguen al nervio glossofaríngeo (IXpc) para inervar la glándula parótida.

La sustancia gris propia del bulbo raquídeo está conformada por: núcleos grácil y cuneado, núcleo olivar inferior y núcleos olivares accesorios medial y dorsal. Las fibras arcuatas internas se originan de los núcleos grácil y cuneado, y cruzan la línea media para ascender como el lemnisco medial. Los núcleos grácil y cuneado se representan en superficie por los tubérculos grácil y cuneado, respectivamente. El núcleo olivar inferior recibe fibras del córtex cerebral, médula espinal y del núcleo rojo. Se conecta al cerebelo a través de fibras cerebelo-olivares que cruzan la línea media y finalizan en el córtex cerebeloso a través del pedúnculo cerebeloso inferior. Estas estructuras juegan un importante papel en el aprendizaje motor. El núcleo olivar inferior se corresponde en la superficie con la oliva bulbar. Los núcleos olivares accesorios medial y dorsal tienen una estructura, conexiones y funciones similares a los del núcleo olivar inferior, formando todos juntos lo que se conoce como el complejo olivar inferior (Fig. 7).



**FIGURA 7.** Corte axial a nivel de la oliva bulbar para el estudio de la morfología interna del bulbo raquídeo alto. Es de interés para el presente trabajo objetivar la diferencia de densidad en el color del bulbo raquídeo a nivel de la oliva bulbar comparándolo con su región anterior y posterior. Este cambio es debido a la menor densidad de fascículos relevantes para la función neurológica, por lo que la oliva bulbar es considerada un punto de entrada seguro al tronco cerebral. 1, protuberancia; 2, nervio motor ocular externo (VIpc); 3, surco bulboprotuberancial; 4, surco anterior mediano; 5, pirámide anterior bulbar; 6, surco preolivar; 7, oliva bulbar; 8, surco retolivar; 9, nervio facial (VIIpc); 10, nervio vestibulococlear (VIIIpc); 11, fosita supraolivar; 12, pares craneales bajos (IXpc y Xpc).

-Sustancia blanca: la superficie anterolateral contiene los dos fascículos piramidales, el fascículo cerebeloso recto, el fascículo de Gowers y el fascículo ascendente anterolateral. La superficie posterior contiene los fascículos grácil y cuneado. En el bulbo encontramos fibras transversales y longitudinales.<sup>27, 28, 47, 48, 66, 71, 75, 90</sup>

Las fibras transversales son las llamadas arcuatas y se dividen en externas e internas. Las fibras arcuatas internas contienen axones de los núcleos grácil y cuneado en su curso al lemnisco medial y las fibras cerebelo-olivares. Las fibras arcuatas externas cursan en la superficie del bulbo y entran al cerebelo a través del pedúnculo cerebeloso inferior.

Las fibras longitudinales se agrupan en ascendentes, descendentes y de asociación. Las fibras ascendentes están formadas por:

- Fascículos grácil (Goll) y cuneado (Burdach): contienen fibras de las raíces sensitivas de los nervios espinales. El fascículo grácil recoge información de los miembros inferiores, pelvis, abdomen y parte inferior del tórax. El fascículo cuneado recoge información del tórax superior, miembros superiores y cuello. La parte media del bulbo raquídeo alberga los núcleos de estos fascículos, y las fibras que salen de ellos son las llamadas fibras arcuatas internas, representando el origen de la segunda neurona sensitiva, que constituye la porción inicial del lemnisco medial.

- Lemnisco medial: lleva información desde los fascículos grácil y cuneado hasta el núcleo ventral posterolateral del tálamo. Se sitúa próximo a la línea media, posterior al tracto corticoespinal y anterior al tectoespinal.

- Tracto espinotalámico anterior y lateral: se sitúan en la región lateral del bulbo raquídeo, medial al tracto espinocerebeloso anterior. El tracto espinotalámico anterior lleva información sensorial discriminativa (tacto protopático, tacto crudo, y otras sensaciones menos comprendidas fisiológicamente como picor, cosquillas y sensaciones sexuales). El tracto espinotalámico anterior lleva información de dolor, temperatura, información de la piel, huesos, articulaciones, músculos y sensación de llenado vesical y urgencia miccional.

- Tracto espinocerebeloso anterior y posterior: el tracto espinocerebeloso anterior (fascículo de Gowers) se sitúa superficial en la cara lateral del bulbo, entre el núcleo olivar y el tracto espinocerebeloso posterior. Lleva información propioceptiva inconsciente desde las extremidades inferiores y tronco hasta el pedúnculo cerebeloso superior. El tracto espinocerebeloso posterior (fascículo de Flechsig) se sitúa superficial en la cara lateral de la médula entre el tracto espinocerebeloso anterior y el pedúnculo

cerebeloso inferior. Transmite información propioceptiva inconsciente de las extremidades superiores.

· Pedúnculo cerebeloso inferior: también conocido como cuerpo restiforme, se sitúa en los límites laterales de la mitad inferior del cuarto ventrículo, hasta los recesos laterales, donde las fibras se inclinan dorsalmente para entrar en el cerebelo. Está compuesto por fibras cerebelo-olivares, fibras del tracto espinocerebeloso posterior y fibras arcuatas externas.

Las fibras descendentes incluyen:

· Tracto corticoespinal: sus fibras se originan del córtex cerebral y se dirigen a la médula espinal ocupando la porción anterior de las pirámides del bulbo raquídeo. Caudalmente realizan una decusación incompleta, que se continua en su curso como fascículo piramidal anterior y dará lugar a un cruce al fascículo piramidal lateral que se continua en la cara lateral de la médula espinal.

· Tracto corticonuclear: sus fibras se originan desde el córtex cerebral y se dirigen a los núcleos motores de los pares craneales (núcleo ambiguo y del hipogloso), ocupando la región posteromedial de las pirámides de la oliva bulbar.

· Tractos extrapiramidales: formados por el tracto tectoespinal, rubroespinal, vestibuloespinal y reticuloespinal.

· Tracto trigémino-espinal: formado por fibras sensoriales trigeminales que descienden lateralmente al núcleo espinal trigeminal.

· Tracto solitario: formado por fibras viscerales aferentes que entran al tronco cerebral a través de los pares craneales VII, IX y X, y que descienden a través del núcleo del tracto solitario.

Las fibras de asociación están formadas por el fascículo longitudinal medial. En el bulbo raquídeo se localiza posterior al tracto tectoespinal.

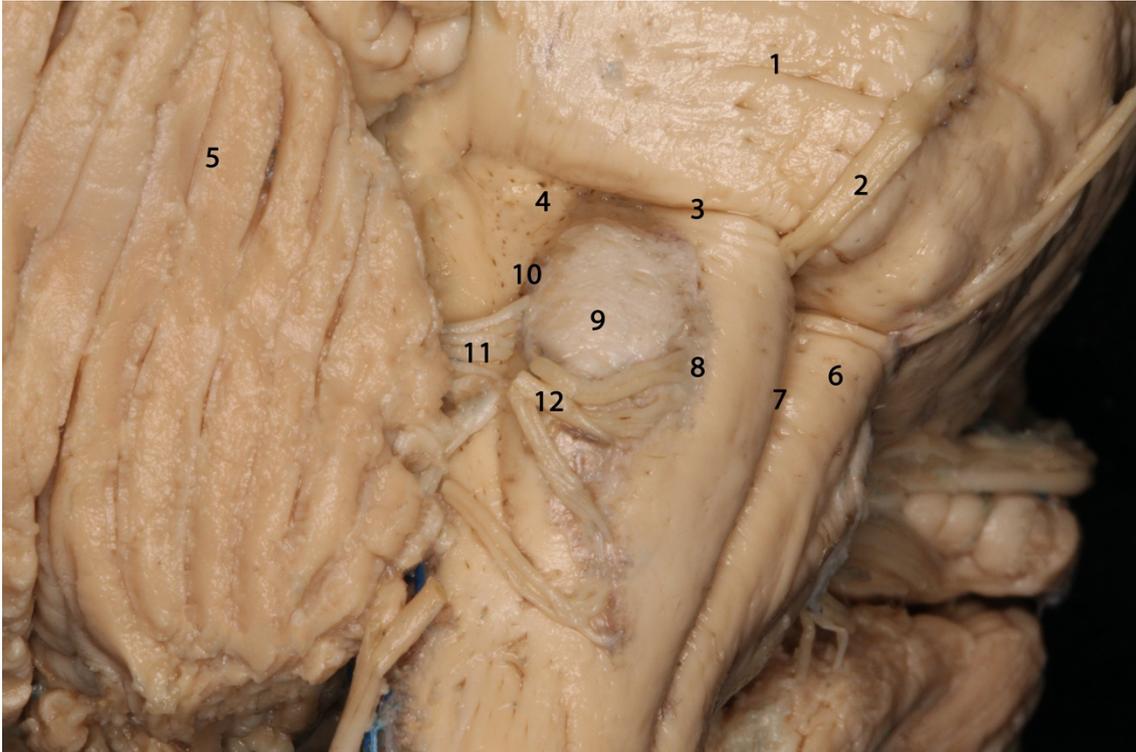
En la sustancia gris y sustancia blanca del bulbo raquídeo también se pueden encontrar importantes centros autonómicos, como el centro respiratorio a nivel de la formación reticular, el centro vasomotor que controla funciones cardiovasculares, el centro del vómito en el área postrema al nivel del núcleo posterior del nervio vago y centros de la tos e hipo.

## **2.5. ANATOMÍA DESCRIPTIVA DE LA OLIVA BULBAR**

La oliva bulbar es el objeto principal de nuestro estudio anatómico (objetivo de nuestros abordajes). Es por ello, que el conocimiento de toda la anatomía que rodea la oliva bulbar será de gran relevancia para comprender el presente estudio de investigación. En la especie humana, el cuerpo olivar mide aproximadamente 1.25 cm de longitud en el eje craneocaudal y se sitúa en la superficie anterolateral del bulbo raquídeo, lateral a la pirámide y separada de ella por el surco anterolateral (surco preolivar o surco hipogloso). Los pares craneales bajos (IX pc, Xpc y XIpc) se originan del surco posterolateral (surco retrolivar) en la región dorsal de la oliva, separándolo del fascículo espinocerebeloso. El extremo superior no llega a la protuberancia, y se encuentra separado por una depresión llamada fosa supraolivar, que es donde se origina el nervio facial y nervio intermedio de Wrisberg. Un espacio estrecho con una depresión se localiza posterior a la fosa supraolivar, la llamada fosa bulbar lateral, desde donde se origina el nervio vestibulococlear. El extremo inferior lo localizamos en el punto aproximado de la decusación de las pirámides. En la superficie inferior de la oliva bulbar cruzan fibras transversales: las fibras arcuatas externas que van al pedúnculo cerebeloso inferior (Fig. 8).<sup>53, 65, 71, 75</sup>

-Surco retrolivar (surco posterolateral): El nervio glossofaríngeo emerge como una única raíz, o rara vez como dos, desde la región superior de la oliva bulbar caudal al origen del nervio facial. En su trayectoria cursa ventral al plexo coroideo en su camino hasta el foramen yugular. El nervio vago se origina caudal al glossofaríngeo como un paquete de raíces en el tercio superior de la oliva, pasando anterior al plexo coroideo en su trayecto al foramen yugular. El nervio espinal se origina en los dos tercios inferiores de la oliva bulbar, del bulbo raquídeo bajo y de los segmentos altos de la médula espinal cervical. Las raíces que emergen del surco retrolivar pueden ser difíciles de separar de las raíces del nervio vago porque habitualmente forman un paquete conjunto de nervios. Las raíces del espinal se dirigen supero-lateralmente desde su origen hasta llegar al foramen yugular.

-Surco preolivar (surco anterolateral): las raíces del nervio hipogloso se originan en el núcleo del hipogloso que se encuentra en el suelo del cuarto ventrículo a nivel del triángulo hipogloso y saldrán por el surco preolivar a nivel de los dos tercios caudales de la oliva bulbar. Estas raíces cursaran en una trayectoria anterolateral a través del espacio subaracnoideo pasando por detrás de la arteria vertebral hasta llegar al canal del hipogloso. Si la arteria vertebral es corta y recta, puede que no contacte con las raíces, pero si la arteria es tortuosa puede desplazar las raíces posteriormente. Habitualmente, antes de entrar en el canal del hipogloso las raíces forman dos paquetes (en algunos casos el canal del hipogloso se encuentra dividido por un tabique óseo).



**FIGURA 8.** Visión anterolateral del bulbo raquídeo para el estudio de la anatomía microquirúrgica de la oliva bulbar. 1, protuberancia; 2, nervio motor ocular externo (VIpc); 3, surco bulboprotuberancial; 4, fosita supraolivar; 5, superficie petrosa del cerebelo; 6, pirámide anterior bulbar; 7, surco anterior mediano; 8, surco preolivar; 9, oliva bulbar; 10, surco retrolivar; 11, pares craneales bajos (IXpc y Xpc); 12, nervio hipogloso (XIIpc).

### 3. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DEL CEREBELO

Conocer en detalle la anatomía microquirúrgica de la superficie cerebelosa es de gran trascendencia en este estudio de investigación, porque en cada uno de los abordajes que se describirán a lo largo de estas líneas es necesario manipular y diseccionar alguna de las superficies del cerebelo para exponer la superficie anterolateral del bulbo raquídeo. Por ello, dado que el cerebelo es un elemento en relación con los abordajes seleccionados, el conocimiento de esta anatomía nos permitirá identificar y diseccionar puntos clave que permitan generar un adecuado canal de trabajo desde la superficie hasta la oliva bulbar.

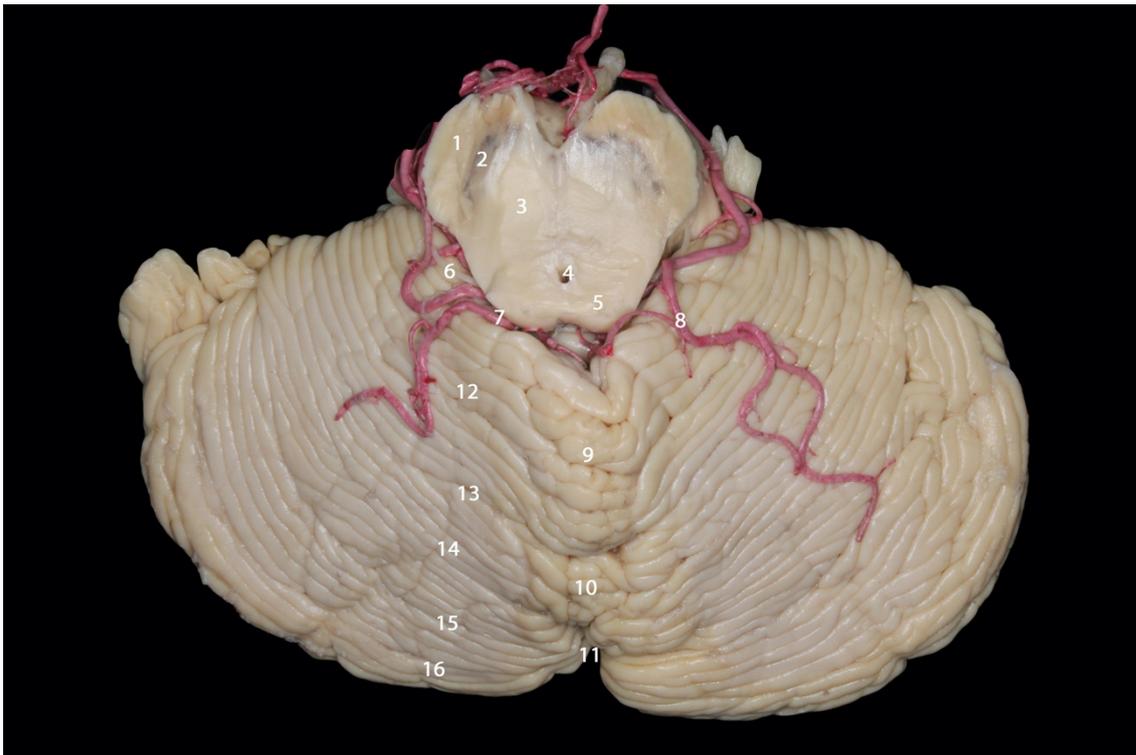
Las superficies corticales cerebelosas se dividen en función de la estructura anatómica con la que guardan relación. La primera, la superficie tentorial, se relaciona con el tentorio; la segunda, la superficie suboccipital, se localiza por debajo del seno transversal y posterior al sigmoideo, proyectada hacia la cara interna del hueso occipital; la tercera, la superficie petrosa, se relaciona con la superficie posterior del hueso petroso.

71, 75

### **3.1. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LA SUPERFICIE TENTORIAL**

La superficie tentorial, como su nombre indica, la localizamos caudal al tentorio. La parte anteromedial, la forma el ápex (vermis anterior) y es el punto más craneal en el cerebelo. En la línea media, encontramos unas hendiduras en la superficie tentorial, conocidas como incisuras cerebelosas anterior y posterior. El tronco cerebral se relaciona con la incisura cerebelosa anterior y la hoz del cerebelo en la incisura posterior. El borde anterior, que separa las superficies tentorial y petrosa, tiene una región lateral que se sitúa paralela al seno petroso superior.<sup>53, 65, 71, 75</sup>

La región hemisférica de la superficie tentorial incluye los lóbulos: cuadrangular, simple y semilunar superior. En la región del vermis se incluye: el culmen, declive y folium (en sentido antero-posterior). La correlación hemisférica-vermiana en sentido antero-posterior es la siguiente: lóbulo cuadrangular y culmen, lóbulo simple y declive, y lóbulo semilunar superior y folium. La superficie tentorial se divide por una gran fisura, la fisura tentorial o fisura primaria, en una parte anterior y otra posterior. La fisura se localiza entre los lóbulos cuadrangular y simple en el hemisferio, y entre el culmen y declive a nivel del vermis. Existe otra fisura menor, la fisura postclival, que separa los lóbulos simple y semilunar superior (Fig. 9).



**FIGURA 9.** Superficie tentorial del cerebelo. 1, pedúnculo cerebral; 2, sustancia negra; 3, tegmentum; 4, acueducto mesencefálico de Silvio; 5, tubérculo cuadrigémino superior; 6, nervio troclear (IVpc); 7, fisura cerebelomesencefálica; 8, segmento cortical de la arteria cerebelosa superior; 9, culmen; 10, declive; 11, folium; 12, lóbulo cuadrangular; 13, fisura primaria; 14, lóbulo simple; 15, fisura postclival; 16, lóbulo semilunar superior.

### **3.2. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LA SUPERFICIE SUBOCCIPITAL**

La superficie suboccipital, localizada caudal al seno transversal, posterior al sigmoideo y enfrentada a la cara interna del hueso occipital, es la más compleja de las tres superficies. Tiene una depresión vertical en la línea media, la incisura cerebelosa posterior, donde descansa el falx del cerebelo. Las fisuras vermo-hemisféricas son depresiones profundas que separan el vermis de los hemisferios cerebelosos. La superficie vermiana tiene una forma de diamante en la incisura. La porción superior es

conocida como pirámide y la porción inferior como úvula, que se proyecta inferiormente entre las amígdalas cerebelosas. El nódulo es la región más caudal del vermis y se encuentra escondido por la úvula. Caudalmente, la incisura cerebelosa posterior se continúa con la vallécula, un espacio subaracnoideo entre las amígdalas que comunica el cuarto ventrículo a través del foramen de Magendie.<sup>71, 75</sup>

La parte hemisférica está formada por los lóbulos: semilunar inferior y parte del superior, biventral y las amígdalas. La parte vermiana está formada por: folium, túber, pirámida y uvúla (en sentido craneocaudal). La superficie suboccipital se divide en una parte anterior y otra posterior por su fisura mayor, la fisura suboccipital. A nivel vermiano, esta fisura separa el túber y la pirámide, y a nivel hemisférico, separa el lóbulo semilunar inferior y biventral. Las amígdalas cerebelosas, un componente hemisférico, son las estructuras más prominentes y bloquean el acceso a la región caudal del cuarto ventrículo. Cada amígdala es una estructura ovoide en la región inferomedial de la superficie suboccipital que se conecta al cerebelo a través de su borde superolateral por un fascículo de fibra blanca conocido como pedúnculo amigdalar (Fig. 10).<sup>53, 65, 71, 75</sup>

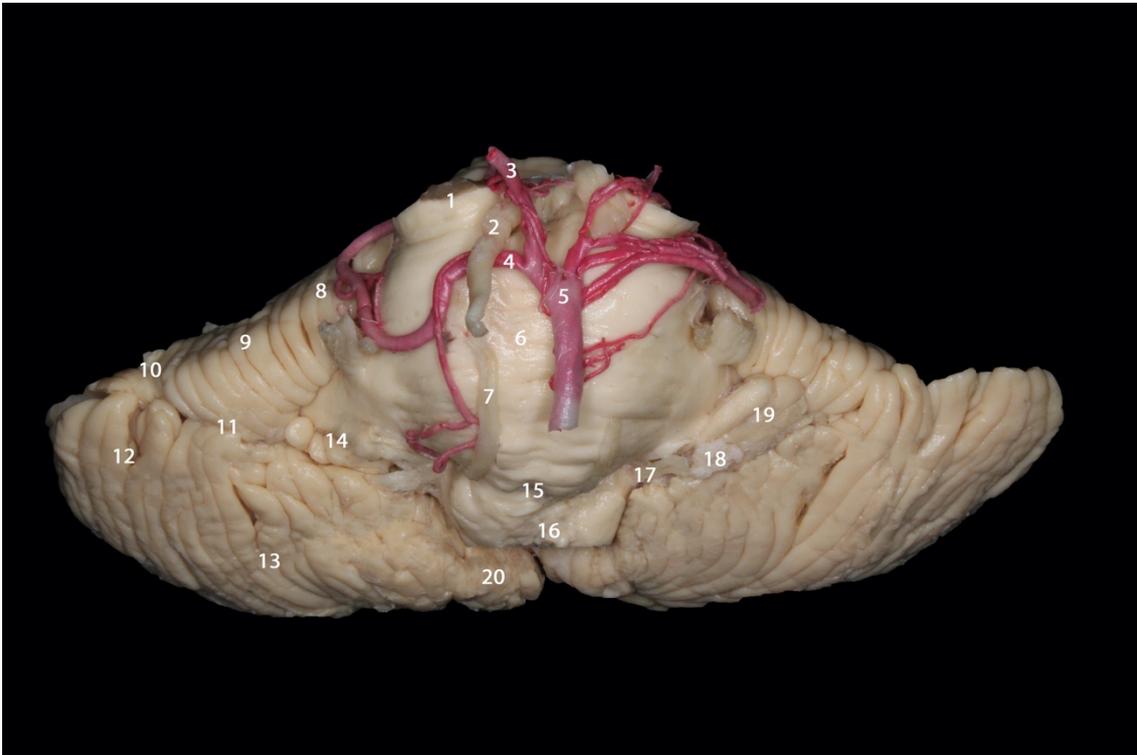


**FIGURA 10. Superficie suboccipital del cerebelo. En esta imagen, la úvula del vermis queda oculta por las amígdalas. 1, lóbulo semilunar superior; 2, fisura horizontal; 3, lóbulo semilunar inferior; 4, fisura suboccipital; 5, lóbulo biventral superior; 6, fisura prebiventral; 7, lóbulo biventral inferior; 8, amígdala cerebelosa; 9, pirámide; 10, fisura cerebelobulbar; 11, bulbo raquídeo; 12, protuberancia; 13, nervio motor ocular externo (VIpc); 14, arteria basilar.**

### **3.3. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LA SUPERFICIE PETROSA**

La superficie petrosa es la que tiene una mayor relación a la hora de realizar los abordajes a estudio. Se enfrenta anteriormente a la superficie posterior del hueso petroso y medialmente al tronco cerebral y cuarto ventrículo. En la región medial hay una depresión, la incisura cerebelosa anterior que es donde asientan el tronco cerebral y cuarto ventrículo. La mitad derecha e izquierdas no están conectadas entre si por el vermis, así como ocurre en la superficie tentorial y suboccipital. La superficie hemisférica esta formada por las alas del lóbulo central y las superficies anteriores de los lóbulos: cuadrangular, simple, biventral, semilunar superior e inferior, las amígdalas y el flóculo.

La mayor fisura en esta superficie es la fisura petrosa, también llamada fisura horizontal, que divide una parte superior y otra inferior. Esta fisura se extiende a la superficie suboccipital entre los lóbulos semilunares superior e inferior (Fig. 11).<sup>71, 75</sup>



**FIGURA 11. Superficie petrosa del cerebelo. Es la superficie más relacionada con los abordajes a estudio. 1, pedúnculo cerebral (mesencéfalo); 2, nervio oculomotor (IIIpc); 3, arteria cerebral posterior; 4, arteria cerebelosa superior; 5, arteria basilar (top); 6, protuberancia; 7, nervio motor ocular externo (VIpc); 8, lóbulo cuadrangular; 9, lóbulo simple; 10, lóbulo semilunar superior; 11, fisura petrosa; 12, lóbulo semilunar inferior; 13, lóbulo biventral; 14, fisura cerebelopontina; 15, surco bulboprotuberancial; 16, bulbo raquídeo; 17, nervio facial y vestibulococlear (VIIpc y VIIIpc); 18, plexo coroideo; 19, flóculo; 20, amígdala cerebelosa.**

#### 4. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA VASCULAR DE LA REGIÓN DEL TRONCO CEREBRAL

Para comprender y optimizar los abordajes al tronco cerebral se requiere una comprensión de las relaciones entre las arterias, venas, pares craneales, tronco cerebral y cerebelo (Fig. 12).<sup>57, 58, 73, 76</sup>



**FIGURA 12.** Visión anterior de un tronco cerebral seccionado para el estudio de las relaciones vasculares. Para la realización de esta tesis doctoral se utilizaron 4 troncos cerebrales inyectados (silicona roja y azul) con la finalidad de realizar un estudio anatómico y de esta forma establecer con más claridad las relaciones entre las arterias, venas, pares craneales, tronco cerebral y cerebelo. 1, mesencéfalo; 2, arteria basilar; 3, arteria cerebral posterior; 4, arterias tálamo-perforantes; 5, arteria cerebelosa superior; 6, vena petrosa superior; 7, protuberancia; 8, vena pontomesencefálica anterolateral; 9, bulbo raquídeo; 10, oliva bulbar, 11, superficie petrosa del cerebelo; 12, vena bulbar anterolateral y venas bulbares transversas.

#### 4.1.CIRCULACIÓN ARTERIAL

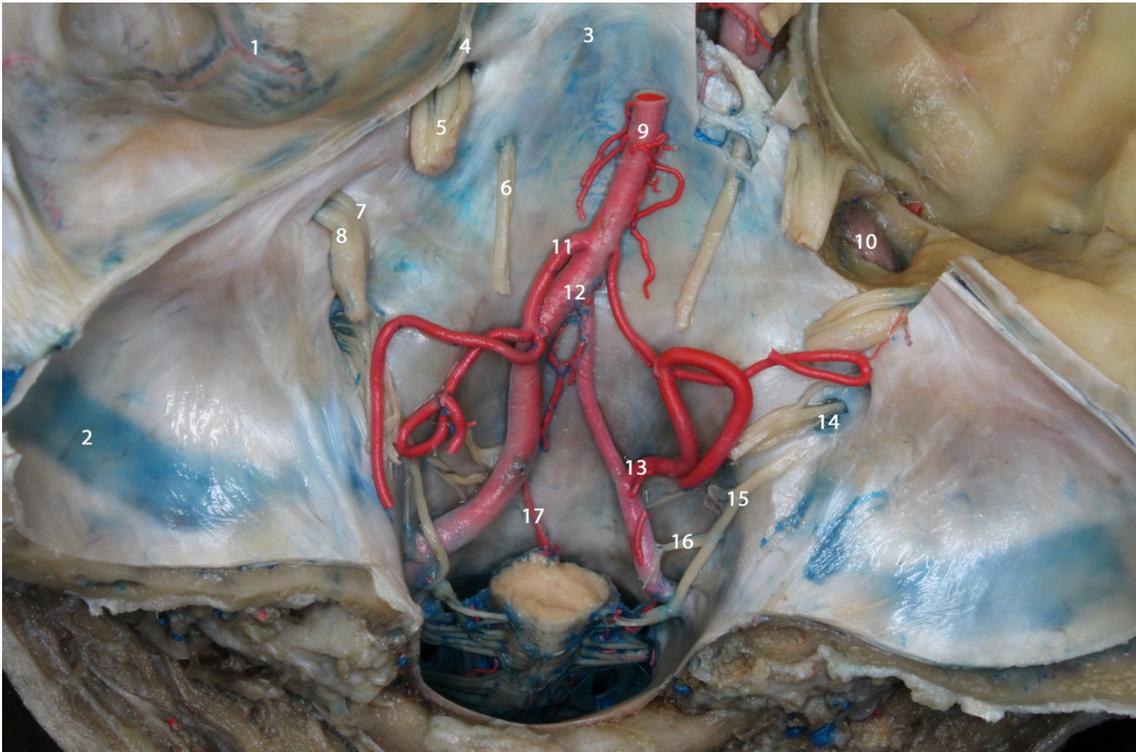
El Prof. Rhoton en su afán de sistematizar el estudio de la anatomía microquirúrgica describe tres compartimentos neurovasculares a nivel del tronco cerebral: un complejo superior relacionado con la arteria cerebelosa superior; un complejo medio relacionado con la arteria cerebelosa anteroinferior (AICA); y un complejo inferior relacionado con la arteria cerebelosa posteroinferior (PICA) (Fig. 13).

En resumen, el complejo neurovascular superior incluye: la arteria cerebelosa superior, mesencéfalo, fisura cerebelomesencefálica, pedúnculo cerebeloso superior, superficie tentorial del cerebelo y los pares craneales IIIpc, IVpc y Vpc. La arteria cerebelosa superior se origina anterior al mesencéfalo, pasando caudal al IIIpc y IVpc, craneal al Vpc, hasta llegar a la fisura cerebelomesencefálica, donde discurre en la superficie del pedúnculo cerebeloso superior y termina dando ramas que irrigan la superficie tentorial del cerebelo.<sup>57, 58, 73</sup>

El complejo neurovascular medio incluye: la AICA (en sus segmentos: pontino anterior, pontino lateral y floculopeduncular), protuberancia, pedúnculo cerebeloso medio, fisura cerebelopontina, superficie petrosa del cerebelo y los pares craneales VIpc, VIIpc, VIIIpc. La AICA se origina a nivel de la protuberancia, en estrecha relación con los pares craneales VIpc, VIIpc, VIIIpc, hasta llegar a la superficie del pedúnculo cerebeloso medio, donde transcurre por la fisura cerebelopontina e irriga la superficie petrosa del cerebelo.<sup>57, 58, 73</sup>

El complejo neurovascular inferior incluye: la arteria vertebral en su segmento V4 intradural, la PICA (en sus segmentos: bulbar anterior, bulbar lateral, amigdalobulbar y telovelamigdal), bulbo raquídeo, pedúnculo cerebeloso inferior, fisura bulboprotuberancial, superficie suboccipital del cerebelo, y los pares craneales IXpc,

Xpc, XIpc y XIIpc. La PICA se origina a nivel del bulbo raquídeo, lo rodea pasando en íntima relación a los pares craneales bajos IXpc, Xpc, XIpc y XIIpc, hasta llegar a la superficie del pedúnculo cerebeloso inferior, y a través de la fisura bulboprotuberancial llegará a la superficie suboccipital para irrigarla.<sup>57, 58, 73</sup>



**FIGURA 13.** Base de cráneo de un espécimen anatómico preparado estudiar los complejos neurovasculares de la fosa posterior. Observamos parte del complejo neurovascular superior (la arteria cerebelosa superior no la observamos en este espécimen y los pares craneales III, IV y V), el complejo neurovascular medio (la AICA y los pares craneales VI, VII, VIII), y el complejo neurovascular inferior (la PICA y los pares craneales IX, X, XI y XII). 1, suelo de la fosa media; 2 seno sigmoideo; 3, clivus; 4, nervio troclear (IVpc); 5, nervio trigémino (Vpc); 6, nervio motor ocular externo (VIpc); 7, nervio facial (VIIpc); 8, nervio vestibulococlear (VIIIpc); 9, arteria basilar; 10, arteria carótida petrosa; 11, arteria cerebelosa anteroinferior (AICA); 12, unión vertebrobasilar; 13, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 14, foramen yugular y pares craneales IX, X y XI; 15, nervio espinal (XIpc); 16, nervio hipogloso (XIIpc); 17, arteria espinal anterior.

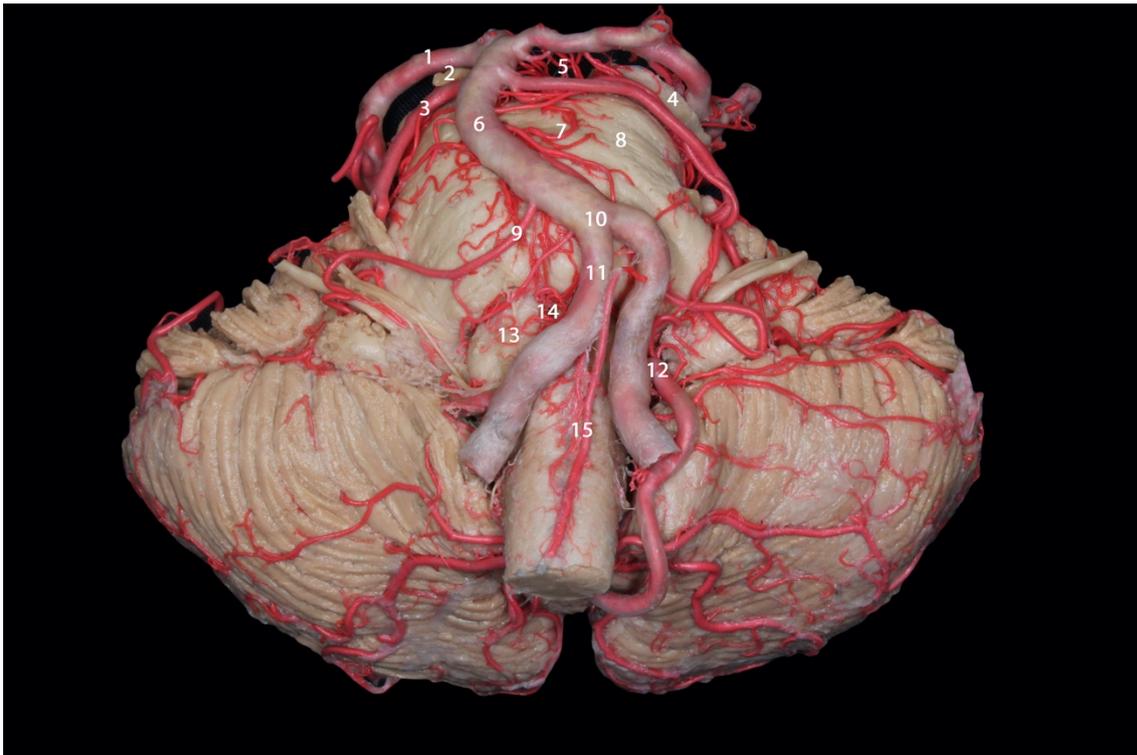
#### 4.1.1. Irrigación arterial del mesencéfalo

La principal irrigación del mesencéfalo viene dada por ramas de la arteria cerebelosa superior. Se divide en cuatro segmentos: pontomesencefálica anterior,

pontomesencefálica lateral, cerebelomesencefálica y cortical. Será principalmente de los tres primeros segmentos desde los cuales emergen ramas perforantes que irrigarán gran parte del mesencéfalo.<sup>57, 58, 73</sup>

Las ramas perforantes se pueden dividir en dos tipos: directas o circunflejas. Las directas tienen un curso directo para entrar al mesencéfalo. Las circunflejas rodean el mesencéfalo antes de entrar en él. Estas últimas se dividen en cortas y largas. Las arterias circunflejas cortas tienen un trayecto corto de 90° o menos antes de penetrar en el mesencéfalo. Las arterias circunflejas largas tienen un trayecto más largo. Ambas arterias, a su vez, generan ramas perforantes en su trayecto que irán penetrando en el mesencéfalo. Generalmente los troncos de la arteria cerebelosa superior dan entre 5-15 arterias perforantes. En orden decreciente, estas ramas terminan generalmente en el tegmentum, fosa interpeduncular (generalmente perforantes directas), pedúnculo cerebral y lámina cuadrigémina.

La arteria basilar también da origen a múltiples arterias perforantes que llegan al mesencéfalo. Las que se originan cerca del origen de la arteria cerebelosa superior seguirán trayectorias similares a las de las perforantes de la cerebelosa superior. Aquellas perforantes que se originan craneal a la arteria cerebelosa superior entrarán a través de la fosa interpeduncular (Fig. 14).



**FIGURA 14.** Tronco cerebral y cerebelo con inyección roja para el estudio de la circulación arterial del tronco. 1, arteria cerebral posterior; 2, nervio oculomotor (IIIpc); 3, arteria cerebelosa superior; 4, pedúnculo cerebral (mesencéfalo); 5, arterias perforantes mesencefálicas (ramas de la arteria cerebelosa superior y cerebral posterior); 6, arteria basilar; 7, arterias perforantes pontinas (ramas de la arteria basilar, cerebelosa superior y cerebelosa anteroinferior); 8, protuberancia; 9, arteria cerebelosa anteroinferior (AICA); 10, unión vertebrobasilar; 11, arteria vertebral; 12, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 13, bulbo raquídeo; 14, arterias perforantes bulbares (ramas de la PICA, y arteria vertebral); 15, arteria espinal anterior.

#### 4.1.2. Irrigación arterial de la protuberancia

La principal irrigación de la protuberancia viene dada por ramas de la arteria cerebelosa anteroinferior (AICA), aunque la región superior también se irriga por perforantes de la arteria cerebelosa superior. La AICA se divide en cuatro segmentos: pontino anterior, pontino lateral, floculopeduncular y cortical. Principalmente, de los dos primeros segmentos se originarán arterias perforantes que entrarán en la protuberancia para su vascularización. <sup>57, 58, 73</sup>

Las ramas perforantes de la AICA pueden dividirse en directas o en recurrentes. Las arterias directas generalmente se originan del segmento pontino anterior e irrigarán

la región anterior de la protuberancia. Del segmento pontino lateral se originan arterias directas que irrigarán la región lateral de la protuberancia y las arterias perforantes recurrentes. Generalmente, estas últimas realizan un 'loop' en el meato acústico antes de coger su curso recurrente a través del nervio facial y vestibulococlear para llegar a la protuberancia. Las arterias recurrentes irrigarán en gran parte la región posterior de la protuberancia y suelo del cuarto ventrículo. Un porcentaje de ramas perforantes pontinas tienen un origen directo de la arteria basilar (Fig. 14).

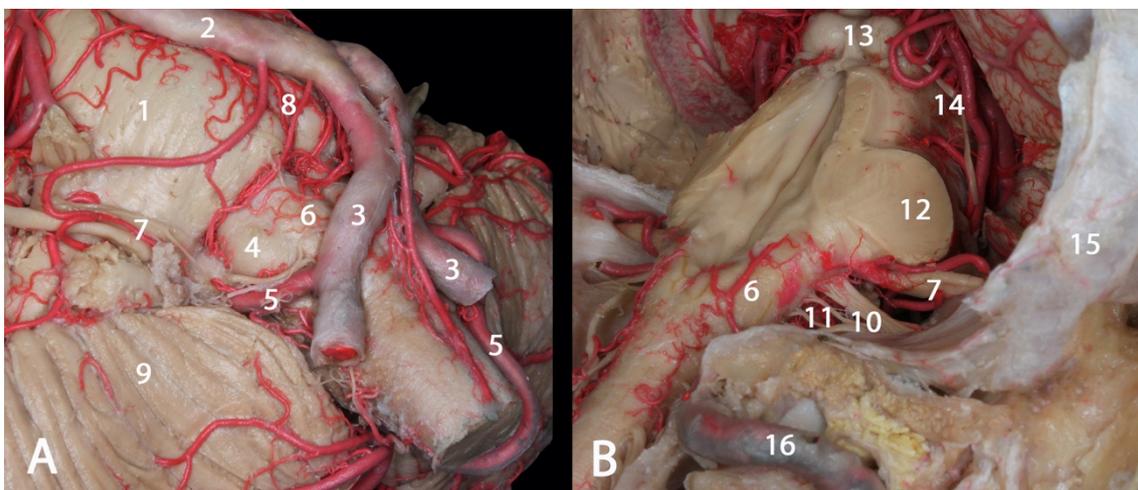
#### **4.1.3. Irrigación arterial del bulbo raquídeo**

La principal irrigación del bulbo raquídeo viene dada por ramas de la arteria cerebelosa posteroinferior (PICA), pero también participan ramas perforantes de la arteria cerebelosa anteroinferior (AICA) para la vascularización del tercio superior del bulbo raquídeo. La PICA tiene el trayecto más complejo y tortuoso de las arterias cerebelosas y se encuentra en íntima relación con la fisura cerebelobulbar. Generalmente, se origina desde la arteria vertebral a nivel de la región inferior de la oliva bulbar, aunque también está descrito un origen extradural desde la arteria vertebral. La PICA se divide en cinco segmentos: bulbar anterior, bulbar lateral, amigdalobulbar, telovelamigdalario y cortical. Principalmente de los tres primeros segmentos se originan arterias perforantes que irrigarán la gran mayoría de superficie del bulbo raquídeo.<sup>57, 58, 73</sup>

Las arterias perforantes se dividen en directas y circunflejas. Las directas tienen un curso recto hasta el bulbo raquídeo. Las circunflejas se dividen en cortas y largas. Las arterias circunflejas cortas no rodean más de 90° al bulbo raquídeo, en cambio las largas lo rodean prácticamente todo. Todas ellas dan ramas perforantes a lo largo de su recorrido. Además, forman anastomosis entre ellas disponiéndose de forma plexiforme en la superficie del bulbo. En cada segmento hay variaciones en cuanto el número de arterias

perforantes que emergen: en el segmento bulbar anterior se originan entre una y dos perforantes, generalmente del tipo circunflejas cortas; en el segmento bulbar lateral emergen entre una y cinco arterias perforantes, predominantemente arterias circunflejas cortas; en el segmento amigdalobulbar emergen entre una y once perforantes, circunflejas largas predominantemente. Estas arterias perforantes entran principalmente en la superficie lateral y posterior del bulbo raquídeo.<sup>57, 58, 73</sup>

La arteria vertebral y la arteria basilar también dan ramas perforantes que irrigarán el bulbo raquídeo. El segmento de la arteria vertebral distal al origen de la PICA es el que da más cantidad de arterias perforantes. Las que se originan proximales a la PICA y distales a la entrada dural de la vertebral son generalmente circunflejas cortas y directas que se dirigen directamente a la superficie lateral del bulbo raquídeo. Las que se originan distales a la PICA y en la unión vertebrobasilar, son generalmente circunflejas largas y cortas que irrigarán la superficie anterior y lateral del bulbo raquídeo (Fig. 15).



**FIGURA 15. Vascularización arterial del bulbo raquídeo.** En la imagen A observamos una visión anterolateral del tronco cerebral centrada a nivel de la oliva bulbar. La imagen B muestra una visión posterolateral del tronco cerebral en un espécimen en el que se ha extraído el cerebelo. 1, protuberancia; 2, arteria basilar; 3, arteria vertebral; 4, oliva bulbar; 5, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 6, bulbo raquídeo; 7, nervio facial y vestibulococlear (VIIpc y VIIIpc); 8, arterias perforantes con origen en arteria basilar y arteria vertebral; 9, superficie petrosa del cerebelo; 10, pares craneales bajos (IXpc, Xpc, XIpc); 11, arterias perforantes a nivel bulbar, ramas de la PICA; 12, pedúnculo cerebeloso medio (a nivel

protuberancial); 13, colículos inferiores; 14, nervio troclear (IVpc); 15, seno sigmoideo; 16, segmento V3 de la arteria vertebral.

## 4.2. CIRCULACIÓN VENOSA

Las venas de la fosa posterior se dividen en cuatro grupos: superficiales, profundas, del tronco cerebral y venas puente. Estas venas terminan como venas puente en tres grupos distintos de drenaje mayor: el grupo galénico (drenan a la vena de Galeno); grupo petroso (drenan en los senos petrosos); y grupo tentorial (drenan a los senos tentoriales).<sup>57, 58, 76</sup>

Las venas del tronco cerebral se clasifican según tres características: la subdivisión del tronco que drenan (mesencéfalo, protuberancia o bulbo raquídeo); la superficie del tronco que drenan (anteromedial, anterolateral, etc.); y la dirección que tienen (longitudinal o transversal). En este apartado se describen las principales venas longitudinales y transversales de la superficie del tronco cerebral (Fig. 16).

### 4.2.1. Venas longitudinales:

-Vena pontomesencefálica anteromedial: discurre en las cercanías de la línea media en la superficie anterior del mesencéfalo y protuberancia. Tiene un segmento mesencefálico que cursa en la fosa interpeduncular, y uno pontino que cursa en las cercanías del surco basilar. El segmento mesencefálico está normalmente formado por dos venas, que suelen ser asimétricas en cuanto a tamaño y se localizan próximas a los nervios oculomotores en las paredes laterales de la fosa interpeduncular. El segmento pontino, que conecta caudalmente con la vena bulbar anteromedial y la vena del surco bulboprotuberancial, se divide en tres partes: superior, media e inferior. Generalmente una de estas tres partes se encuentra ausente. El segmento pontino puede localizarse

lateral al surco basilar, especialmente si las venas transversales pontinas dan lugar a grandes venas puente al seno petroso (Fig. 16).<sup>57, 58, 76</sup>

-Vena bulbar anteromedial: cursa en la fisura bulbar anterior entre las pirámides bulbares. Conecta cranealmente con la vena pontomesencefálica anteromedial y con la vena del surco bulboprotuberancial. Caudalmente conecta con la vena espinal anterior.

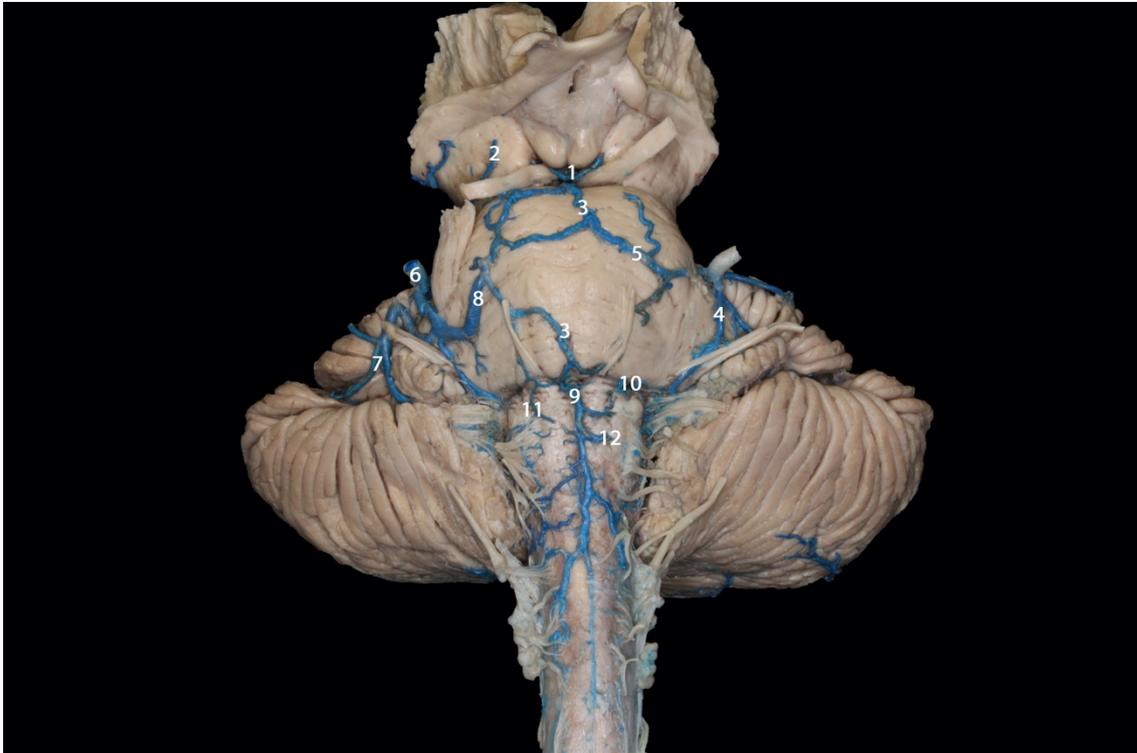
-Vena pontomesencefálica anterolateral: discurre en la región anterolateral del mesencéfalo y protuberancia. A nivel mesencefálico, se anastomosa con las venas basales, pedunculares y la vena del surco pontomesencefálico. En la protuberancia se anastomosa con las venas pontinas transversales. Caudalmente, se une con la vena del surco bulboprotuberancial cerca del origen del VIpc.

-Vena bulbar anterolateral (vena preolivar): cursa en el surco anterolateral bulbar (surco preolivar) entre la pirámide y la oliva bulbar. Se encuentra parcialmente oculta por las raíces del nervio hipogloso. Conecta superiormente con la vena del surco bulboprotuberancial e inferiormente con la vena lateral bulbar o venas bulbares transversales (Fig. 17).

-Vena mesencefálica lateral: discurre dentro o adyacente al surco mesencefálico lateral y drena a la vena basal de Rosenthal cerca del cuerpo geniculado medial. Drena la región posterolateral del mesencéfalo. Su extremo inferior se anastomosa con la vena pontotrigeminal y la vena del surco pontomesencefálico.

-Vena bulbar lateral y vena retrolivar: generalmente hay dos venas longitudinales entre el borde lateral de la oliva bulbar y el foramen de Luschka: una vena anterior pequeña (vena retrolivar) y una vena posterior mayor (vena bulbar lateral). La vena bulbar lateral cursa ligeramente posterior al surco retrolivar a lo largo de las raíces de los pares craneales IX, X y XI. La vena retrolivar cursa habitualmente a lo largo de los dos tercios posteroinferiores del surco retrolivar, anterior a la vena bulbar lateral. Se anastomosa en

el eje inferior de la oliva bulbar con el extremo caudal de la vena bulbar lateral y cranealmente con la vena del surco bulboprotuberancial (Fig. 17).



**FIGURA 16.** Representación de la circulación venosa en la superficie anterolateral del tronco cerebral en un espécimen cadavérico. 1, vena comunicante posterior; 2, vena peduncular; 3, vena pontomesencefálica anteromedial (objétese la falta del segmento medio de la vena); 4, vena de la fisura cerebelopontina; 5, vena pontina transversa; 6, vena petrosa superior; 7, vena hemisférica anterior; 8, vena pontomesencefálica anterolateral; 9, vena bulbar anteromedial; 10, vena del surco bulboprotuberancial; 11, vena bulbar anterolateral (vena preolivar); 12, venas bulbares transversas.

#### 4.2.2. Venas transversales:

-Vena peduncular: emerge en la fosa interpeduncular y se dirige lateralmente alrededor del pedúnculo cerebral caudal al tracto óptico hasta llegar a drenar a la vena basal de Rosenthal. Medialmente se anastomosa con la vena comunicante posterior, que a su vez conecta con la vena peduncular contralateral a nivel de la fosa interpeduncular.

El extremo medial de la vena se localiza en la superficie superomedial del origen del IIIpc. En algunos casos, puede drenar a través de una vena puente a senos del eje tentorial.

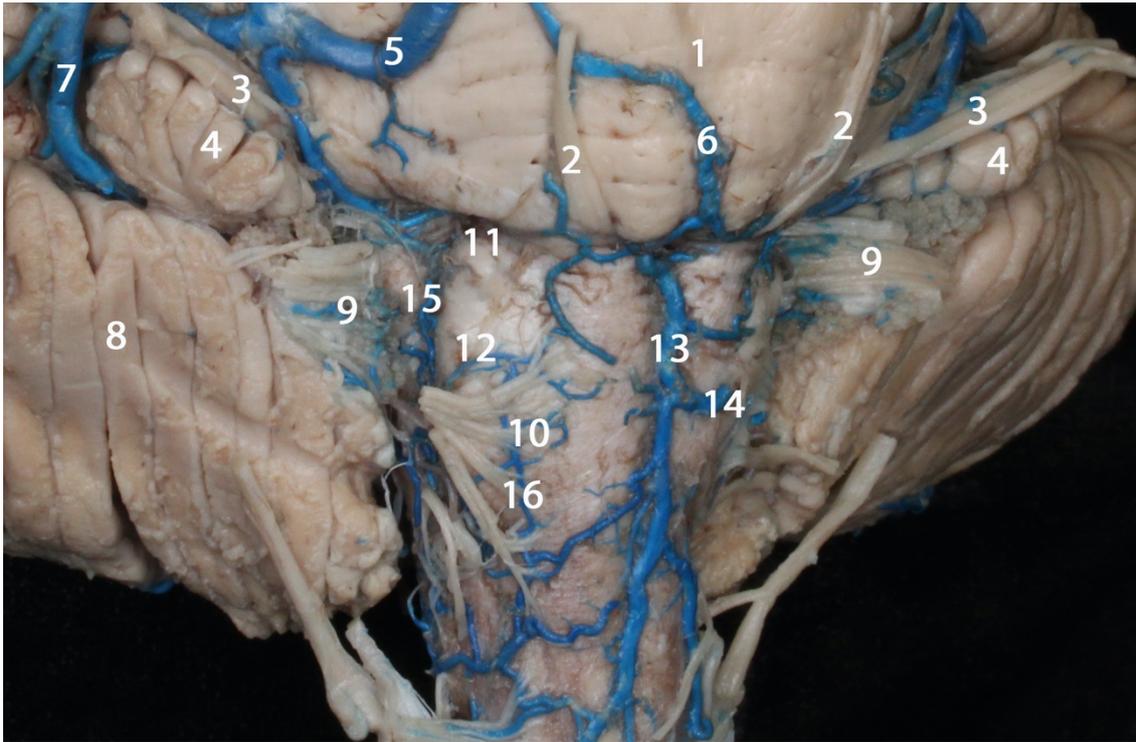
-Vena comunicante posterior: esta vena cursa transversalmente a través de la fosa interpeduncular en la superficie superomedial de los nervios oculomotores, interconectando las venas pedunculares y la vena pontomesencefálica anteromedial.

-Vena del surco pontomesencefálico: suele ser una vena pequeña y no se extiende a lo largo de todo el surco pontomesencefálico. Discurre caudal a los nervios oculomotores y se anastomosa con las venas pontomesencefálicas anterolateral y anteromedial.

-Venas pontinas transversas: son un grupo variable de venas que se distribuyen en la superficie de la protuberancia a distintos niveles. Interconectan la vena pontomesencefálica anteromedial y las venas de la superficie lateral de la protuberancia. En algunos casos, se originan venas puente que drenan al seno petroso inferior.

-Vena del surco bulboprotuberancial: esta vena discurre en el interior o cerca del surco bulboprotuberancial y conecta con las venas longitudinales de la superficie anterior de la protuberancia y bulbo raquídeo. Conecta con la vena bulbar lateral o retrolivar. Puede dar origen a venas puente que conectan con senos venosos alrededor del foramen yugular.

-Venas bulbares transversas: estas venas cruzan la superficie anterolateral del bulbo raquídeo a nivel de las pirámides bulbares o por debajo de las mismas. Interconectan la vena bulbar anteromedial con las venas de la superficie lateral del bulbo. Generalmente son un grupo de dos o tres venas que discurren perpendicularmente a las pirámides y la oliva bulbar y algunas veces dan venas puente que conectan con el seno sigmoideo (Fig. 17).



**FIGURA 17.** Visión anterolateral de la protuberancia y bulbo raquídeo para el estudio de la circulación venosa. 1, protuberancia; 2, nervio motor ocular externo (VIpc); 3, nervio facial y vestibulococlear (VIIpc y VIIIpc); 4, flóculo; 5, vena pontomesencefálica anterolateral; 6, vena pontomesencefálica anteromedial; 7, vena hemisférica anterior; 8, superficie petrosa del cerebelo; 9, pares craneales bajos (IXpc y Xpc); 10, surco preolivar y nervio hipogloso (XIIpc); 11, fosita supraolivar; 12, oliva bulbar; 13, vena bulbar anteromedial; 14, venas bulbares transversas; 15, vena retrolivar; 16, vena preolivar.

## **5. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LAS SUPERFICIES ÓSEAS DE LA FOSA POSTERIOR**

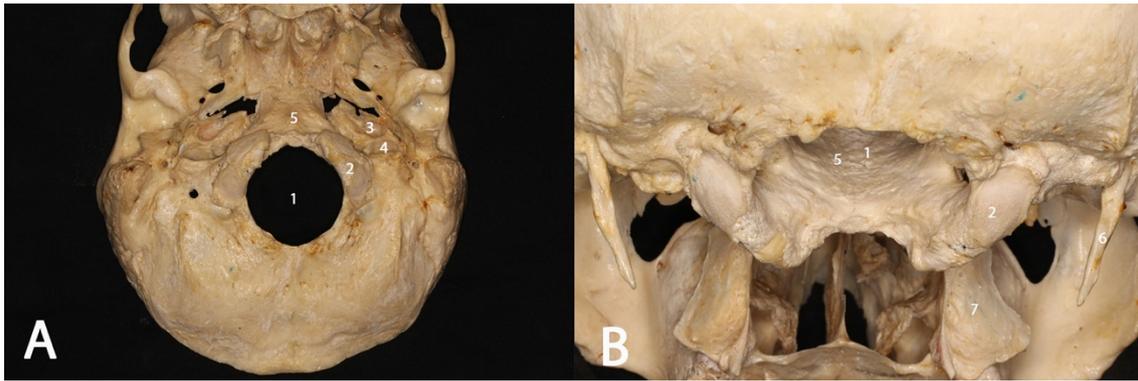
El conocimiento anatómico de las estructuras óseas de la base de cráneo es fundamental para optimizar el canal de trabajo en cada uno de los abordajes descritos. Para poder obtener la máxima visión al objetivo desde la superficie de cada uno de los abordajes es fundamental conocer los obstáculos y relieves óseos, ya que el mejor conocimiento de su anatomía permitirá en algunos casos fresar o eliminarlos para incrementar la visión en el canal de trabajo. Para los abordajes comparados en la presente tesis doctoral será fundamental estar familiarizado con dos estructuras óseas: el cóndilo

occipital para el abordaje *far lateral* y la superficie posterior de la porción petrosa del hueso temporal.<sup>71, 75</sup>

### **5.1. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DEL CÓNDILO OCCIPITAL**

El cóndilo occipital es la única estructura ósea que conecta el cráneo con la columna vertebral. Se localiza en la región anterolateral del reborde del foramen magno en el hueso occipital y tiene una forma ovalada con un tamaño de unos 20-24 mm de longitud. Respecto al plano sagital medio, el cóndilo forma un ángulo de unos 45° con orientación anterior. En el interior de esta estructura ósea se encuentra el canal del hipogloso o también conocido como agujero condíleo anterior, con una dirección anterolateral de 45° respecto al plano sagital medio. Intracranealmente se localiza en la unión del tercio posterior con los dos tercios anteriores del cóndilo. A nivel extracraneal se encuentra en la unión del tercio anterior con los dos tercios posteriores. El canal del hipogloso mide entre unos 17-25 mm de longitud y en su interior discurren tres estructuras: el nervio hipogloso (XIIpc), una arteria meníngea rama de la arteria faríngea ascendente y un plexo venoso.<sup>40, 41, 44</sup>

En el plano axial, el cóndilo occipital se encuentra caudal a los rebordes del foramen magno. Anterior al cóndilo, a nivel del foramen magno, se encuentra el clivus. Lateralmente se localiza el tubérculo yugular, eminencia ósea que se continua lateralmente con el hueso occipital. El tubérculo yugular se localiza entre el foramen yugular cranealmente y el canal del hipogloso caudalmente. En la región posterior y generalmente craneal, se encuentra el foramen condíleo posterior, donde discurren las venas emisarias condíleas que comunican con el seno sigmoideo.<sup>71, 75, 96-98</sup>



**FIGURA 18. Relaciones óseas del cóndilo occipital. Visión inferior de la base de cráneo para mostrar la superficie del cóndilo occipital (A). Se observa el ángulo de unos 45° con orientación anterior que proyecta el cóndilo occipital respecto al plano sagital medio. Visión posterior del cóndilo occipital (B). 1, foramen magno; 2, cóndilo occipital; 3, canal carotídeo; 4, foramen yugular; 5, clivus; 6, apófisis estiloides; 7, apófisis pterigoides.**

El cóndilo occipital constituye un obstáculo en la trayectoria quirúrgica del abordaje *far lateral*. Conocer su anatomía resulta fundamental para poder fresar aquellas porciones que dificultan el acceso y de ese modo optimizar la exposición. Se requiere un conocimiento de las relaciones anatómicas que existen entre el cóndilo occipital con el tubérculo yugular y canal del hipogloso, ya que en este abordaje el fresado tiene como objetivo obtener un mayor ángulo de visión a la región anterolateral del bulbo raquídeo. Como se ha comentado anteriormente, el único punto de unión ósea entre el cráneo y la columna vertebral es el cóndilo, por lo que su fresado podrá ocasionar inestabilidad cráneo-cervical, que va a depender de sus particularidades anatómicas. Esta estabilidad depende en gran parte de los parámetros morfométricos del cóndilo occipital, ya que existen muchas variaciones entre individuos: forma, medidas, etc. La longitud es una característica muy importante desde el punto de vista quirúrgico. Existen clasificaciones que lo dividen en dos tipos: corto (<19 mm) y largo (>19 mm). Los resultados posquirúrgicos en cuanto estabilidad de las condilectomías en los tipos cortos son diferentes de los obtenidos en los largos. El mismo grado de condilectomía puede causar mayor inestabilidad de la unión craneocervical en un cóndilo corto, respecto a un cóndilo

largo, donde se necesitará un mayor fresado del cóndilo para que genere inestabilidad.

(Figs. 18 y 19).<sup>71, 75, 96-98</sup>



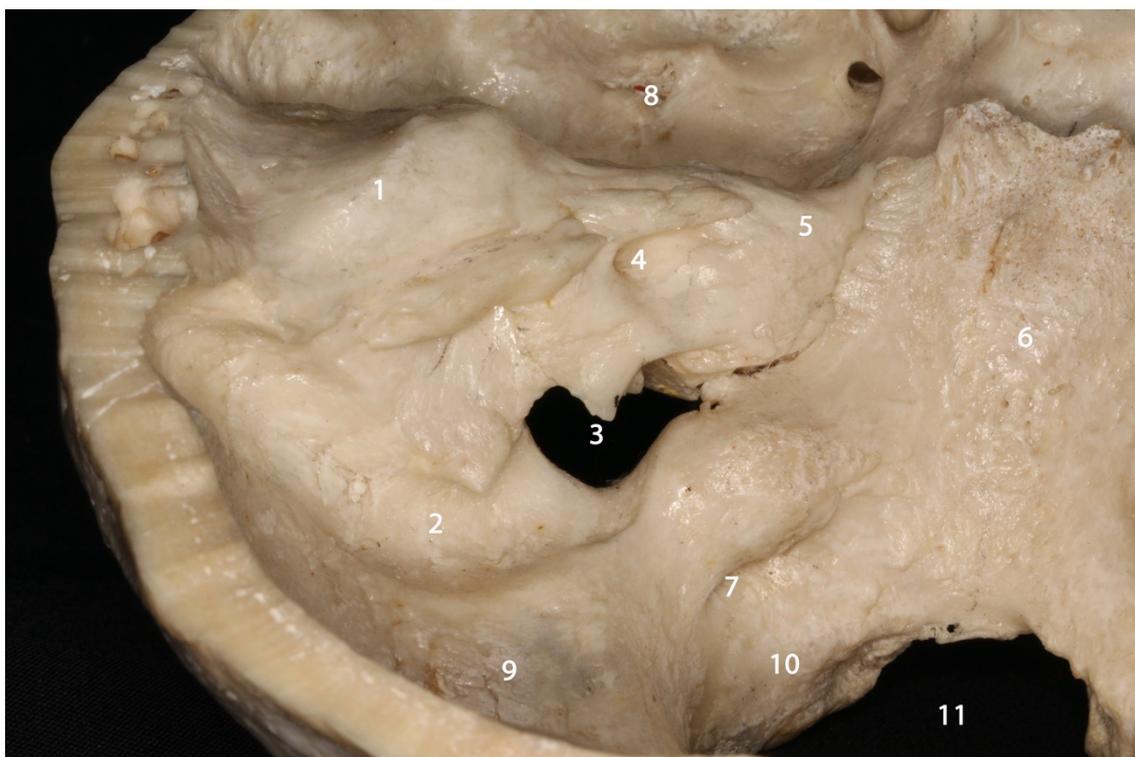
**FIGURA 19.** Visión interna de la base de cráneo para mostrar las relaciones del cóndilo occipital. 1, foramen magno; 2, cóndilo occipital; 3, canal del hipogloso; 4, foramen yugular.

## **5.2. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LA SUPERFICIE DE LA PORCIÓN PETROSA DEL HUESO TEMPORAL**

El hueso temporal se divide en 5 partes: escamosa, petrosa, mastoidea, timpánica y estiloidea. El estudio del hueso temporal resulta fundamental para la correcta ejecución del abordaje retrosigmoideo. La porción petrosa es compacta y en su interior se encuentran estructuras muy relevantes: la cóclea, la zona vestibular, canales semicirculares, canal del facial y canal carotideo.<sup>71, 75, 96-98</sup>

La parte petrosa del hueso temporal es una estructura de forma piramidal localizada entre los huesos occipital y esfenoides. Tiene un ápex, y tres superficies (superior, posterior e inferior). El ápex se localiza en el ángulo entre el ala mayor del hueso esfenoides y hueso occipital. Forma el límite posterolateral del foramen '*lacerum*'. La superficie superior asoma al suelo de la fosa media y su superficie está marcada por la impresión trigeminal donde descansa el ganglio trigeminal de Gasser. Anterolateral al ganglio, se localiza el techo del canal carotideo y posterior al canal se encuentra la eminencia arcuata. Subyacente a la eminencia arcuata se ubica el canal semicircular superior y la región posterior protege los canales semicirculares posterior y lateral.

La superficie posterior de la porción petrosa del hueso temporal (peñasco) es la más relevante en el presente trabajo, y su correcta comprensión estructural fue de gran ayuda en cada uno de los abordajes retrosigmoideos realizados. Esta superficie del peñasco se enfrenta a la fosa posterior y al ángulo pontocerebeloso continuando lateralmente con la superficie mastoidea del hueso temporal. A través de la fisura petroclival el peñasco, en su superficie posterior, se une con la parte clival del hueso occipital. El meato acústico interno se localiza en el punto medio entre el ápex y la superficie basal. En la región más caudal, encontramos el foramen yugular, localizado en la zona terminal inferior de la fisura petro-occipital. La unión de la parte clival del hueso occipital y de la porción petrosa del hueso temporal forman una línea que se extiende desde el foramen yugular hasta el ápex (Fig. 20).



**FIGURA 20.** Visión de la superficie posterior de la porción petrosa del hueso temporal. 1, eminencia arcuata; 2, surco del seno sigmoideo; 3, foramen yugular; 4, conducto auditivo interno; 5, ápex del hueso petroso; 6, clivus; 7, canal del hipogloso; 8, fosa media; 9, fosa posterior; 10, cóndilo occipital; 11, foramen magno.

## **6. ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA DE LAS ZONAS DE ENTRADA SEGURAS AL TRONCO CEREBRAL**

El desarrollo y avance en los complejos abordajes de base de cráneo, el desarrollo de técnicas de neuroimagen y el apoyo al conocimiento anatómico que supone la cirugía asistida por neuronavegación, han permitido a muchos neurocirujanos obtener buenos resultados clínicos en la resección de patología intrínseca del tronco cerebral.

El conocimiento anatómico exhaustivo, así como el desarrollo de la técnica microquirúrgica en base de cráneo adecuadamente simulada y perfeccionada a través de disecciones anatómicas en el laboratorio, permite a los neurocirujanos abordar con mayor seguridad las lesiones intrínsecas del tronco cerebral. Aún así, el tronco cerebral,

estructura neurológica de pequeño tamaño, contiene una rica concentración de núcleos y fibras, cuya simple manipulación puede conllevar una importante morbi-mortalidad. Conocer los principales puntos de entrada seguros al tronco cerebral es la clave neuroquirúrgica para minimizar la agresión quirúrgica en aquellas lesiones que no emergen a la superficie pial o endimaria. Estas zonas, puntos de entrada y trayectorias, constituyen desfiladeros donde las estructuras neurales sensibles y los vasos perforantes se encuentran alejados. Una neurotomía en estas zonas de entrada seguras minimiza el riesgo de daño neurológico. Estas zonas de entrada seguras se han diseñado aprovechando el resultado de la anatomía tras el desarrollo embrionario cuando los principales tractos de fibra motora migran anteriormente y los sensitivos posteriormente. En estas zonas de transición entre tractos existirán las zonas de entrada seguras donde el contenido de estructuras neurales sensibles y número de vasos será mínimo.<sup>16, 19, 24, 51, 63, 65, 70, 95, 100</sup>

## **6.1. PUNTOS DE ENTRADA SEGUROS AL MESENCÉFALO**

### **6.1.1. Zona mesencefálica anterior:**

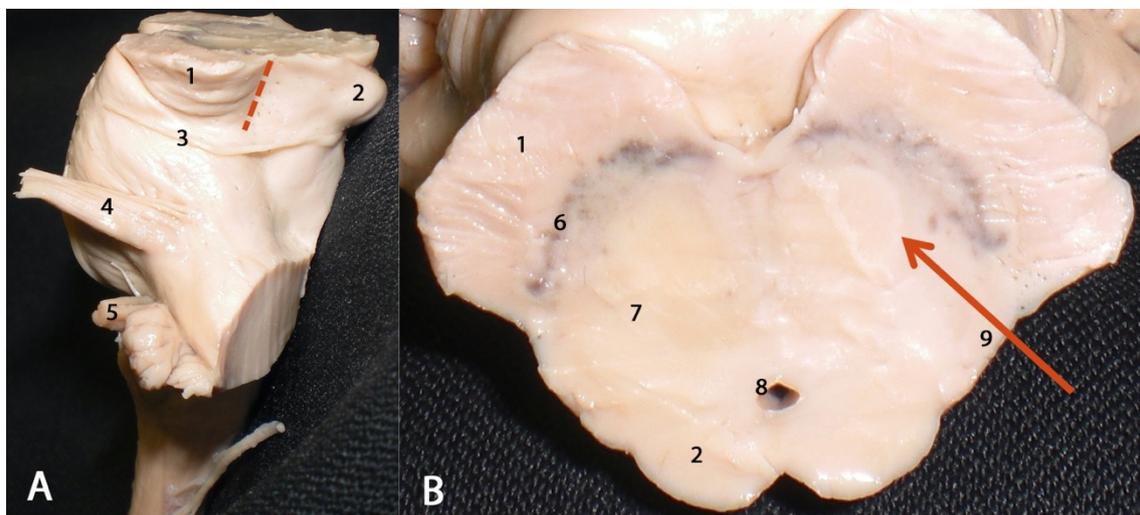
Es un área limitada en el pedúnculo cerebral delimitada medialmente por el tracto y nervio oculomotor y lateralmente por el tracto corticoespinal. Este estrecho corredor se define gracias a que las fibras del tracto corticoespinal se distribuyen principalmente en las tres quintas partes posteriores del pedúnculo y que el núcleo rojo y el circuito nigroestriatal se encuentran más profundos en esa localización.<sup>16, 19, 24, 51, 63, 65, 70, 95, 100</sup>

El punto de entrada dentro de la cisterna interpeduncular está limitado cranealmente por la arteria cerebral posterior y caudalmente por el tronco principal de la arteria cerebelosa superior.

### 6.1.2. Surco mesencefálico lateral:

Esta zona de entrada segura, es el punto de entrada más utilizado a nivel mesencefálico en la práctica quirúrgica (descrito por el Prof. Evandro de Oliveira en el año 2008).<sup>70</sup> Localizado en relación con la vena mesencefálica lateral, este surco separa, en superficie, las porciones peduncular y tegmental del mesencéfalo. Se extiende caudalmente desde el cuerpo geniculado medial del tálamo hasta el surco pontomesencefálico. Este surco lo cruzan diversas estructuras: superiormente el segmento P2P de la arteria cerebral posterior, a nivel central la arteria coroidea posteromedial e inferiormente los segmentos cerebelomesencefálicos de la arteria cerebelosa superior, el IVpc y borde tentorial.

El trayecto discurre entre la sustancia negra anterolateralmente y el lemnisco medial posteriormente. La longitud media del surco es de unos 10 mm y la longitud de trabajo en profundidad es de unos 9 mm (Fig. 21).



**FIGURA 21.** Localización del surco mesencefálico lateral como vía de entrada segura al mesencéfalo (descrito por el Prof. Evandro de Oliveira en el año 2008). En la imagen A observamos la superficie posterolateral del tronco cerebral donde el surco mesencefálico lateral se dispone craneocaudalmente. La línea roja discontinua indica el lugar donde se realiza la neurotomía. En la imagen B se muestra un corte axial del mesencéfalo donde la flecha roja indica el corredor de trabajo seguro. 1, pedúnculo cerebral; 2, tectum; 3, nervio troclear (IVpc); 4, nervio trigémino (Vpc);

**5, nervios facial y vestibulococlear (VIIpc y VIIIpc); 6, sustancia nigra; 7, tegmentum; 8, acueducto mesencefálico de Silvio; 9, surco mesencefálico lateral.**

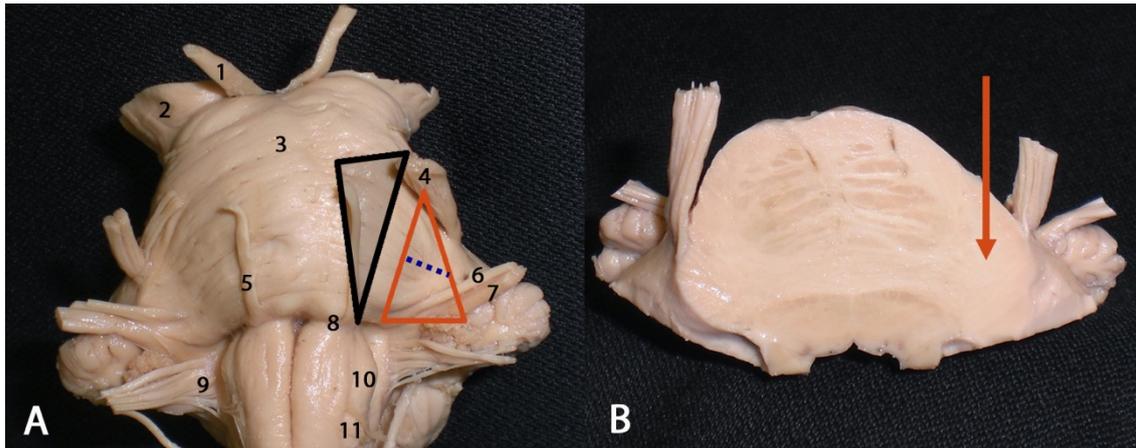
### **6.1.3. Región intercolicular:**

La lámina cuadrigémina representa la superficie dorsal del mesencéfalo. Los colículos superiores están relacionados con el sistema visual, siendo críticos en la fijación visual y movimientos sacádicos. Los colículos inferiores forman parte del sistema auditivo. El área más adecuada para realizar la neurotomía es la región intercolicular, justo en la línea media y en dirección craneocaudal, debido a la dispersión de las fibras en este nivel.

## **6.2. PUNTOS DE ENTRADA SEGUROS A LA PROTUBERANCIA**

### **6.2.1. Zona peritrigeminal:**

Es el punto de entrada seguro más utilizado en la práctica neuroquirúrgica. La superficie anterolateral de la protuberancia se ha considerado tradicionalmente una zona de entrada segura al tronco. Localizada anterior al Vpc, lateral al tracto corticoespinal y anterior a los núcleos motor y sensitivo del Vpc. La zona de entrada en superficie la localizamos anteroinferior al Vpc y anterosuperior a los pares craneales VII y VIII. En el plano axial, la distancia entre el Vpc y el tracto corticoespinal es de unos 5 mm; desde la superficie hasta los núcleos del Vpc es de unos 11 mm. Las fibras de los pares craneales VI, VII y VIII se encuentran posteriores a los núcleos del Vpc (Fig. 22).



**FIGURA 22. Localización del área peritrigeminal como vía de entrada segura a la región anterolateral de la protuberancia (descrita por el Prof. Evandro de Oliveira en el año 2008). Imagen A: visión anterior del tronco cerebral y localización del área peritrigeminal, Superficie triangular con base localizada en la porción inferior, a nivel del surco bulboprotuberancial. El límite medial lo forma el tracto piramidal (triángulo de borde negro). Una mielotomía en esta área conlleva un riesgo bajo de lesionar los núcleos del VIpc, VIIpc, y VIIIpc, que se encuentran posteriores y mediales al núcleo del Vpc. La distancia entre el Vpc y la vía piramidal se encuentra entre 4-6 mm. Los núcleos del Vpc se encuentran en profundidad a unos 9-12 mm. La línea azul discontinua marca el lugar y dirección de la neurotomía en el área peritrigeminal. Imagen B: corte axial a nivel de la protuberancia, donde la flecha roja marca el corredor de trabajo mediante el acceso a través del área peritrigeminal. 1, nervio oculomotor (IIIpc); 2, pedúnculo cerebral; 3, superficie anterior de la protuberancia; 4, nervio trigémino (Vpc); 5, nervio motor ocular externo (VIpc); 6, nervio facial (VIIpc); 7, nervio vestibulococlear (VIIIpc); 8, surco bulboprotuberancial; 9, pares craneales bajos (IXpc y Xpc) en el surco retrolivar; 10, oliva bulbar; 11, nervio hipogloso (XIIpc) en el surco preolivar.**

### 6.2.2. Zona supratrigeminal:

Localizada justo craneal a la salida de las raíces del Vpc desde el tronco cerebral y por encima del pedúnculo cerebeloso medio. Aprovechando la localización posterolateral del pedúnculo cerebeloso medio, es posible disecar a través de las fibras pontinas transversas medial o anterolateralmente, dorsal a la trayectoria del tracto corticoespinal.

### **6.2.3. Zona Pontina lateral:**

Se trata de un corredor seguro entre la intersección entre el pedúnculo cerebeloso medio a nivel de la protuberancia y la salida de los nervios Vpc, VIIpc y VIIIpc. Sin embargo, se trata de una vía muy estrecha con limitada movilidad vertical.

### **6.2.4. Zona supracolicular e infracolicular:**

Son unos puntos de entrada seguros a nivel del suelo del cuarto ventrículo. La fosa romboidea esconde diversas estructuras cuya simple manipulación puede incrementar la morbi-mortalidad. Referencias anatómicas en la superficie pueden ayudarnos a proteger estructuras neurológicas cruciales localizadas en las profundidades del suelo ventricular. En el suelo del cuarto ventrículo, el nervio facial rodea el núcleo del VIpc y, conjuntamente, a este nivel forman una estructura combinada conocida como colículo facial. El fascículo longitudinal medial se encuentra paralelo al surco mediano. Los núcleos de los pares craneales X y XII se localizan caudales a la estría ‘medullaris’.

Un punto de entrada seguro a este nivel es el área paramediana supracolicular que mide unos 14 mm en el eje craneocaudal, entre el colículo facial y la decusación del IVpc, un milímetro lateral a la línea media aproximadamente. El núcleo motor del Vpc limita la entrada lateralmente, localizado unos 7 mm lateral a la línea media. El otro punto de entrada seguro, es el área paramediana infracolicular, que se sitúa entre el colículo facial y los límites superiores del núcleo del nervio hipogloso y núcleo dorsal del nervio vago. Se extiende unos 10 mm en el eje vertical y medio milímetro lateral a la línea media.

El surco mediano del suelo del cuarto ventrículo también se considera un punto de entrada seguro a la protuberancia, aunque simples retracciones pueden causar alteraciones del movimiento ocular por daño en el fascículo longitudinal medial.

## **6.3. PUNTOS DE ENTRADA SEGUROS AL BULBO RAQUÍDEO**

### **6.3.1. Surco anterolateral:**

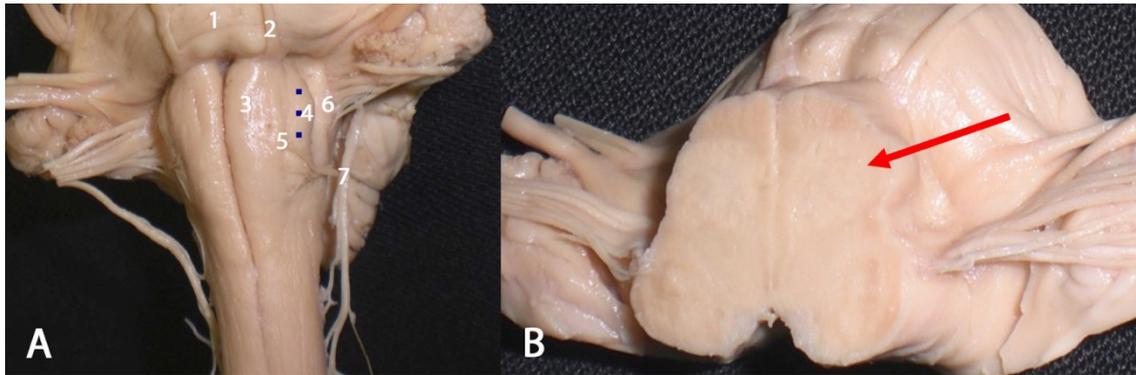
Se localiza lateral a la pirámide bulbar donde las raíces del nervio hipogloso emergen. El corto espacio entre estas raíces y las del nervio de C1 coincide con la decusación del tracto corticoespinal. Una disección oblicua paramediana puede evitar el tracto corticoespinal y dirigirse a las lesiones del bulbo raquídeo anteroinferior.

### **6.3.2. Surco posterior mediano:**

Una neurotomía a nivel del surco mediano posterior permite un corredor a la región central e inferior del bulbo raquídeo, de una forma similar a los abordajes que se realizan en la médula espinal para lesiones intramedulares.

### **6.3.3. Oliva bulbar:**

Es uno de los puntos descritos por el Prof. Evandro de Oliveira y el más usado en la práctica quirúrgica para el tratamiento de lesiones intrínsecas del bulbo raquídeo. La oliva bulbar, como se ha descrito en puntos anteriores, es una estructura oval en la superficie lateral del bulbo raquídeo limitada medialmente por el surco anterolateral y las pirámides y posteriormente por el surco posterolateral. En un corte axial a nivel del núcleo olivar inferior, las fibras del nervio hipogloso lo separan del tracto corticoespinal que discurre en la pirámide bulbar y del lemnisco medial. Posteriormente la oliva bulbar está limitada por los tractos espinotalámico y tectoespinal. Evandro de Oliveira identificó una zona de disección segura a través de la oliva, permitiendo un acceso de unos 7 mm en profundidad y una exposición vertical de unos 14 mm (Fig. 23).



**FIGURA 23.** Disección anatómica del tronco cerebral para mostrar la zona de entrada segura a nivel del bulbo raquídeo a través de la oliva bulbar (descrita por el Prof. Evandro de Oliveira en el año 2008). Imagen A: visión anterolateral de la región más caudal del tronco cerebral donde encontramos la oliva bulbar (4). La línea azul discontinua marca la zona de neurotomía para el acceso seguro y tratamiento de patología intrínseca a este nivel. Imagen B: observamos un corte axial a través de la oliva bulbar. La flecha roja muestra el corredor de trabajo. 1, protuberancia; 2, nervio motor ocular externo (VIpc); 3, pirámide bulbar; 4, oliva bulbar; 5, surco anterolateral o preolivar, nervio hipogloso (XIIpc); 6, surco posterolateral o retrolivar, pares craneales bajos (IXpc y Xpc); 7, nervio espinal (XIpc).

## **7. ABORDAJES NEUROQUIRÚRGICOS A LA REGIÓN DE LA OLIVA BULBAR**

Los abordajes a la región anterolateral del tronco cerebral suponen un gran reto anatómico y microquirúrgico. El tronco cerebral se relaciona con la superficie dorsal del clivus y caudalmente con el foramen magno. Es una estructura rodeada de cisternas y en íntima relación con los grandes vasos del sistema vertebrobasilar. El espacio cisternal localizado entre la cara anterolateral del tronco cerebral y las estructuras óseas localizadas alrededor de la fisura petroclival, es un espacio limitado e inmerso de estructuras neurovasculares de gran relevancia. Todo este contexto anatómico dificulta la maniobrabilidad microquirúrgica para el acceso a la región de la oliva bulbar.

A lo largo de los años, se han descrito varios abordajes neuroquirúrgicos a la fosa posterior para el tratamiento de patología extrínseca: neurinomas del acústico, meningiomas, malformaciones arteriovenosas, aneurismas, tumores epidermoides, etc.

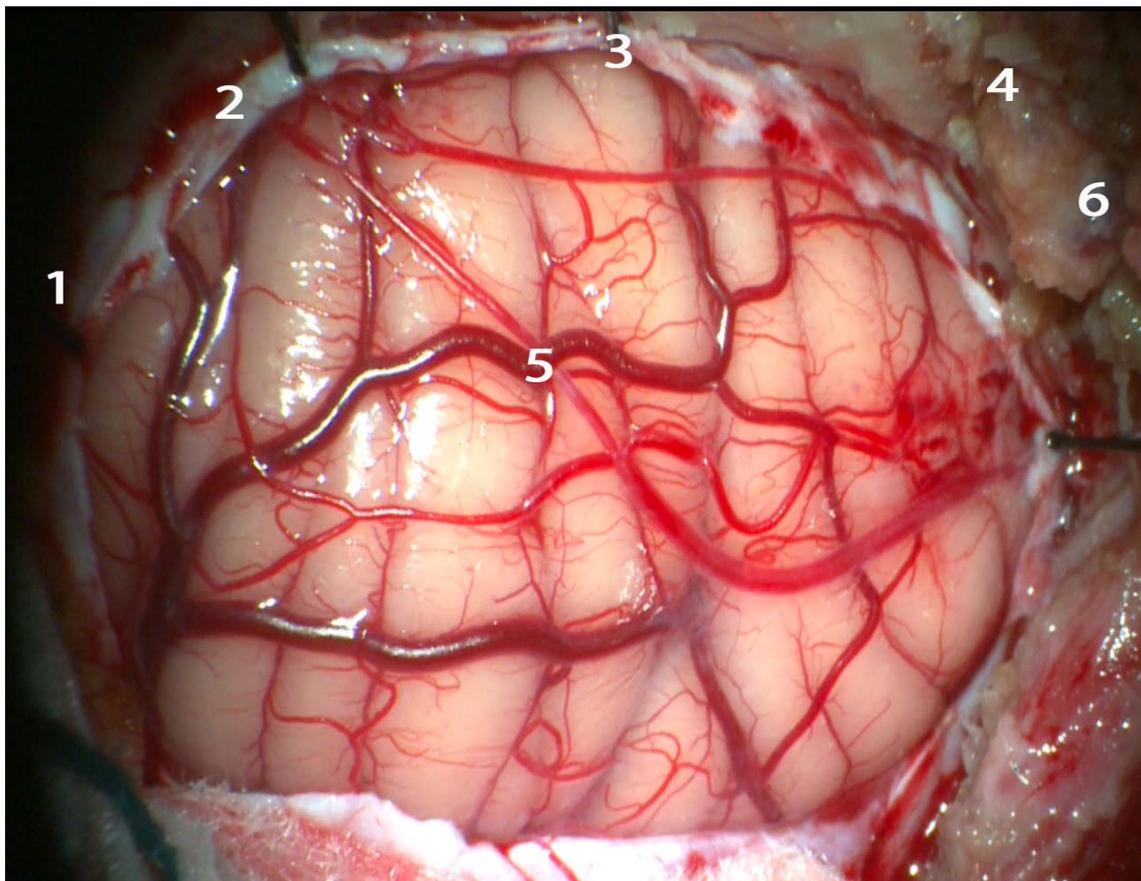
Aquellos abordajes descritos para el tratamiento de la patología de fosa posterior, fueron adaptados para el acceso y exposición de las zonas de entrada seguras al tronco cerebral.

Para el tratamiento de la patología no exofítica del bulbo raquídeo destacan principalmente dos abordajes: el abordaje retrosigmoideo y el *far lateral*. Existen grandes diferencias entre estos dos abordajes: técnicas, tiempo quirúrgico, posicionamiento, morbilidad asociada, etc. Estos dos abordajes, que permiten la exposición de la oliva bulbar, ofrecen diferentes exposiciones de la misma. Hasta la fecha, tras una revisión bibliográfica, no existe una cuantificación real del grado de exposición para cada uno de los abordajes. Por lo tanto, este trabajo de tesis doctoral se centra en conocer las diferencias de ángulo de ataque, distancia de trabajo y superficie de exposición para cada uno de los abordajes, que permita poder seleccionar el abordaje más adecuado. Existen otros abordajes descritos, que han sido desestimados por su escasa utilización y mayores limitaciones a la hora de exponer la oliva bulbar.<sup>1, 5, 14, 15, 18, 20, 42, 68, 99</sup>

## **7.1. ABORDAJE RETROSIGMOIDEO**

El abordaje retrosigmoideo o suboccipital lateral es un abordaje clásico que a lo largo de la historia neuroquirúrgica se ha utilizado fundamentalmente para el tratamiento de los *schwanomas* vestibulares. Hoy en día, se utiliza también como corredor para alcanzar de forma segura determinadas lesiones localizadas en la cara anterolateral del bulbo raquídeo o de la protuberancia. El primer autor en introducir una craneotomía suboccipital lateral fue Walter Dandy en los años veinte del siglo XX. Cuarenta años más tarde Rand y Kurze perfeccionaron la técnica quirúrgica de este abordaje.<sup>11, 12, 21, 43, 59, 62, 68, 80, 96-98</sup>

Este abordaje nos proporciona un acceso al ángulo pontocerebeloso con exposición del hemisferio cerebeloso (superficie suboccipital y petrosa), la porción lateral de la protuberancia, los pares craneales IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI y el complejo vertebrobasilar. En la región más caudal del abordaje se tiene acceso a la región craneal y anterolateral del bulbo raquídeo donde localizamos la región superior de la oliva bulbar.



**FIGURA 24.** Craneotomía retrosigmoidea para el tratamiento de un paciente con un cavernoma bulbar anterolateral. 1, seno transverso; 2, transición entre el seno transverso y sigmoideo; 3, seno sigmoideo; 4, apófisis mastoides; 5, superficie suboccipital del cerebelo; 6, arteria occipital.

El posicionamiento del paciente puede ser variado en función de las preferencias del cirujano: decúbito supino con la cabeza lateralizada contralateralmente a la lesión, semisentado, decúbito lateral o posición den banco de plaza (*park bench*). Se realiza una incisión retroauricular vertical o con ligera curvatura posterior de unos 8 cm. Tras una

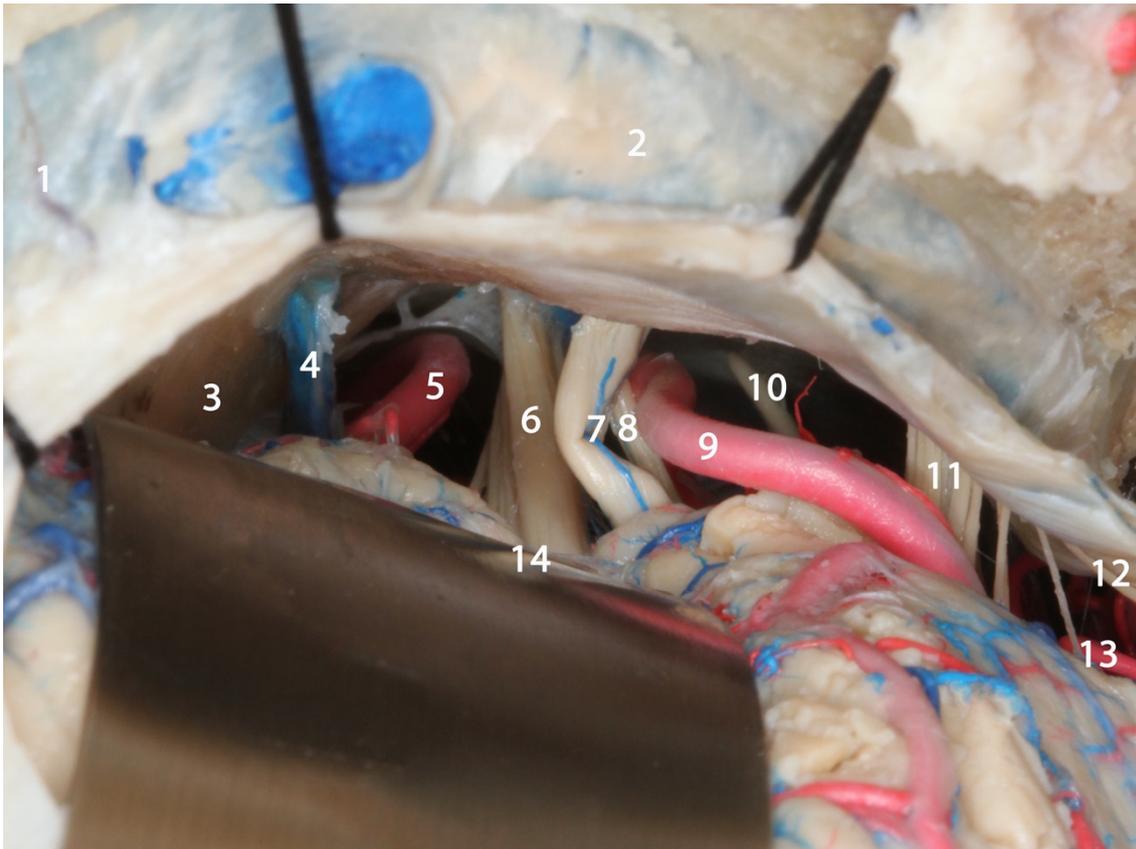
disección de partes blandas se localiza la apófisis mastoides en la región más caudal de la incisión, donde existen un gran número de inserciones musculares. Aparte de algunos músculos atávicos pericraneales y periauriculares, las fibras que se desinsertarán son las más superficiales de los fascículos mastoideo y occipital del músculo esternocleidomastoideo, que cubren las inserciones del esplenio.

En una segunda fase, se realiza una craneotomía suboccipital lateral de unos 3 x 3 cm. Un agujero de trépano colocado por debajo del *asterion* permite el acceso a la duramadre de la fosa posterior del borde inferior del ángulo formado por el seno transversal y sigmoideo. Tomando este agujero como referencia se puede realizar, en pacientes jóvenes, una craneotomía ajustada a los bordes inferior del seno transversal y posterior del seno sigmoideo. con exposición del seno transversal cranealmente y al seno sigmoideo lateralmente. La duramadre se abre en forma de “C” siguiendo el borde de los senos expuestos parcialmente. Tras la apertura dural, bajo magnificación con el microscopio quirúrgico, la superficie petrosa del cerebelo se retrae cuidadosamente hasta exponer la cisterna cerebelobulbar, para, tras su apertura, permitir salida de líquido cefaloraquídeo. La sección de las bridas aracnoideas existentes entre el cerebelo, pares craneales y vasos libera tensión y permite realizar una manipulación menos traumática para exponer las estructuras localizadas en profundidad. Tras la relajación del cerebelo, podemos separarlo de la superficie posterior del peñasco, y de esta forma, en función de la dirección de trabajo tendremos acceso a determinadas zonas del tronco. La retracción medial del hemisferio permite el acceso a la zona del ángulo pontocerebeloso (AICA, VIIpc y VIIIpc); la retracción inferior del hemisferio permite el acceso al sector superior donde localizamos la arteria cerebelosa superior y Vpc; la retracción superior del hemisferio permite acceso a la región superior del bulbo raquídeo con los pares craneales bajos que se dirigen al foramen yugular y la arteria cerebelosa posteroinferior (PICA) y

es en este caso cuando hablamos del abordaje retrosigmoideo bajo. El acceso a la región inferior del tronco estará limitado por el cóndilo occipital, que dificultará la manipulación y ángulo de visión.

Determinadas lesiones, en especial cavernomas ubicados en la porción anterolateral de la protuberancia y del bulbo raquídeo, pueden ser abordadas por vía suboccipital lateral retrosigmoidea utilizando las zonas seguras en el tronco para la cortectomía y disección del tejido nervioso descritas en apartados anteriores.

El abordaje retrosigmoideo se trata de un abordaje de escasa complejidad y muy versátil al que todo neurocirujano debe estar familiarizado. Además, comparado con otros abordajes de fosa posterior, a nivel de estabilidad craneocervical, presenta mínima morbilidad posquirúrgica al ser un abordaje que no precisa realizar un fresado de superficies articulares y en el que la musculatura nugal no sufre grandes desinserciones (Figs. 24 y 25).



**FIGURA 25.** Abordaje retrosigmoideo tras apertura dural y retracción del hemisferio cerebeloso, donde apreciamos una visión panorámica de la exposición. La zona de trabajo queda delimitada por el seno transversal y sigmoideo en superficie. En profundidad el canal de trabajo lo localizamos entre la superficie posterior del hueso petroso y la superficie petrosa del cerebelo. 1, seno transversal; 2, seno sigmoideo; 3, tentorio; 4, vena petrosa superior; 5, arteria cerebelosa superior; 6, nervio trigémino (Vpc); 7, nervio vestibulococlear (VIIIpc); 8, nervio facial (VIIpc); 9, arteria cerebelosa anteroinferior (AICA); 10, nervio motor ocular externo (VIpc); 11, nervio glosofaríngeo y nervio vago (IXpc y Xpc); 12, nervio espinal (XIpc); 13, rama de la arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 14, retractor separando la superficie petrosa del cerebelo.

## **7.2. ABORDAJE FAR LATERAL**

El abordaje *far lateral*, es un abordaje clásicamente utilizado para el tratamiento de la patología que involucra la región anterior del foramen magno, la porción inferior del clivus y de la charnela occipitocervical. En cierto modo, puede considerarse como una extensión inferior y lateral del abordaje retrosigmoideo. Hoy en día este abordaje presenta variantes, descritas por el Prof. Rhoton, en función del trabajo de fresado que se

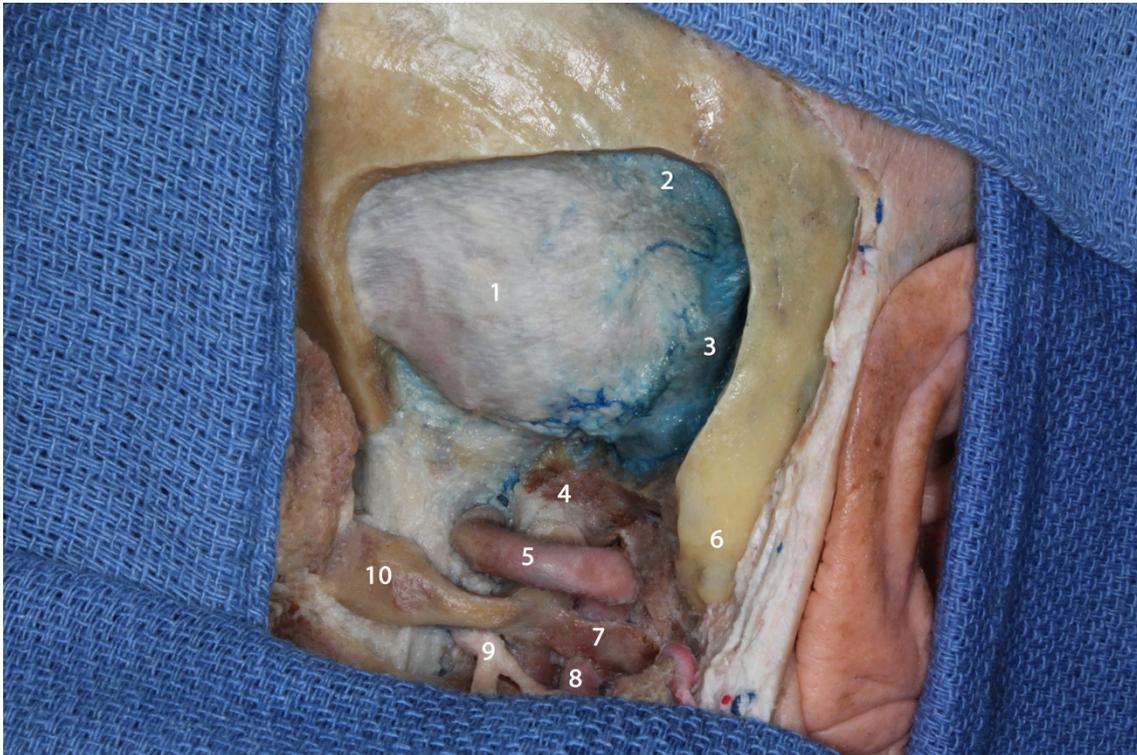
realice en relación con el cóndilo occipital: retrocondilar (sin fresado), transcondilar (resecando parte del cóndilo occipital hacia el canal del hipogloso), supracondilar (resecando el tubérculo yugular del hueso occipital), paracondilar (trabajando lateral al cóndilo hacia el golfo yugular) e infracondilar (fresando la masa lateral del atlas hasta la apófisis odontoides). Desde un punto de vista anatómico el abordaje quirúrgico comprende tres fases. Una primera fase es esencialmente muscular, configurado por cuatro planos musculares con íntimas relaciones con la arteria vertebral, que termina en el plano óseo de la charnela occipitocervical. Una segunda fase de craneotomía y disección extradural que comprende las extensiones transcondilar, supracondilar, paracondilar e infracondilar. La tercera y última fase es intradural, donde se establecen las relaciones con las estructuras nerviosas y vasculares.<sup>10, 17, 22, 25, 32, 45, 50, 54, 56, 61, 74, 84, 93, 94, 96-98</sup>

El abordaje se puede hacer colocando al paciente en diferentes posiciones y la elección final de la posición operatoria depende de varios factores, entre ellos la preferencia del cirujano. La posición lateral es laboriosa y debe asegurar un buen almohadillado de la axila y brazo contralateral. La posición en decúbito supino con la cabeza girada o la mesa rotada unos 45° es también laboriosa y puede comprometer la función respiratoria en pacientes obesos. La posición semisentada con la cabeza girada, la posición semiprono (park bench) o en prono rotando la mesa unos 45° son también alternativas. En la posición semisentado, una de las posiciones más estandarizadas, el paciente se coloca con la cabeza neutra levemente rotada. Generalmente se realiza una incisión en herradura con el eje terminal lateral 3-4 cm caudal a la apófisis mastoides, aproximadamente a la altura del borde inferior del ángulo de la mandíbula, y el eje medial hasta la apófisis espinosa de C2. La línea superior de la incisión se realiza perpendicular a los dos ejes verticales inmediatamente caudal a la protuberancia occipital externa. En

este abordaje se desinserta gran parte de la musculatura nuchal hasta exponer la unión craneocervical. Aunque en el abordaje quirúrgico es innecesaria la disección individual músculo por músculo de la mayor parte de los músculos de la zona, el conocimiento detallado de los mismos permite familiarizarse de forma más profunda con las relaciones anatómicas. La capa muscular superficial está formada por los músculos planos de la nuca (trapecio y esternocleidomastoideo) y las dos capas intermedias por los músculos largos de la misma (*splenius capitis*, *semiespinalis capitis*, *splenius colli*, *longissimus capitis*). La capa muscular profunda, conocida como triángulo suboccipital (*rectus capitis posterior major*, oblicuo inferior, oblicuo superior), es la que presenta más relevancia desde el punto de vista quirúrgico debido a su estrecha relación con el segmento V3 de la arteria vertebral. La arteria vertebral tiene aquí un diámetro de 4-5 mm, siendo frecuentemente mayor la del lado izquierdo, denominada en este caso dominante.

En la segunda fase del abordaje, se realiza una craneotomía suboccipital lateral, que expone el seno sigmoideo y transversal con apertura del foramen magno. Un aspecto esencial es que incluya siempre el fresado radical del reborde del agujero occipital hasta donde sea posible, previamente a cualquier extensión extradural transcondilar o supracondilar. La resección o no de otros elementos óseos y el grado de remoción de los mismos, incluyendo el cóndilo occipital, tubérculo yugular, articulaciones, láminas y apófisis que forman parte del atlas y el axis dependen de las necesidades de la patología a tratar, con independencia de que se trate de lesiones intradurales o extradurales. En el presente estudio de tesis doctoral, la variante del abordaje utilizada es la transcondilar, con la finalidad de obtener un mejor acceso a la cara anterolateral del tronco cerebral inferior y con una eliminación de la mitad homolateral del arco posterior del atlas para aumentar la exposición de la unión bulbomedular. Así pues, se le suma un fresado del sector posterior del cóndilo occipital en su tercio posteromedial. Hay que tener en cuenta,

que, en algunos pacientes, en función de la morfología y particulares individuales del cóndilo, podemos generar una inestabilidad craneocervical que requiera una fijación posterior (Fig. 26).



**FIGURA 26.** Craneotomía suboccipital lateral en la realización de un abordaje far lateral transcondilar. Se realiza la craneotomía exponiendo parcialmente el seno transverso y seno sigmoide. En la imagen observamos el arco posterior de C1, previo a su retirada y el cóndilo occipital antes de fresarlo. 1, duramadre sobre la superficie suboccipital del cerebelo; 2, seno transverso; 3, seno sigmoide; 4, cóndilo occipital; 5, segmento V3 de la arteria vertebral; 6, apófisis mastoideas; 7, proceso transverso de C1; 8, segmento V2 de la arteria vertebral; 9, segundo nervio espinal; 10, arco posterior de C1.

La apertura dural se realiza en sentido vertical, comenzando en la región suboccipital posterior al seno sigmoideo y prosiguiendo hasta la región cervical justo medial a la entrada de la arteria vertebral. Cranealmente la apertura dural se puede extender en función de las necesidades. Se debe evacuar líquido cefaloraquídeo de la cisterna magna para movilizar mejor las estructuras cerebelosas, y tras separar la amígdala cerebelosa y superficie petrosa se tendrá acceso a la región anterolateral del

bulbo raquídeo. Tras conseguir una relajación suficiente, en una primera visión panorámica se identifican las principales estructuras neurovasculares en relación con la unión bulbomedular: nervio espinal, pares craneales bajos, nervio hipogloso, la arteria vertebral y sus principales ramas (arteria cerebelosa posteroinferior y espinal posterior).

### **7.3. OTROS ABORDAJES**

Existen otros abordajes descritos que permiten el acceso a la región bulbar, sin embargo, son abordajes que presentan mayor dificultad técnica. En la actualidad, uno de los conceptos de la microneurocirugía radica en la preservación anatómica de las estructuras funcionales, y es por ello que la selección adecuada de un abordaje frente a otro resultará fundamental para obtener mejores resultados clínicos. Los abordajes que se mencionan a continuación permiten exponer la región de la oliva bulbar, sin embargo, su realización supone una desproporción entre la complejidad técnica que exigen para el rango de exposición a la oliva bulbar obtenido. Además, debido a la proximidad de estructuras relevantes como por ejemplo senos venosos, nervio facial, etc, se pueden producir lesiones inherentes al abordaje que hagan aumentar la morbilidad posquirúrgica.<sup>5, 8, 39, 68, 77, 96-98</sup>

Dentro de estos abordajes englobamos principalmente los abordajes presigmoideos. Alguno de estos, se libera de su cobertura ósea al seno sigmoideo para permitir su movilización y así incrementar ángulos de visión a regiones más profundas de la base de cráneo. Existen múltiples variantes del abordaje presigmoideo a la fosa posterior: retrolaberíntico, transcrusal, translaberíntico, transótico y transcoclear. Cada una de las variantes tiene como objetivo incrementar el fresado del hueso temporal, eliminando los relieves óseos, y así aumentar la visión en los canales de trabajo; a pesar

de ello, se puede aumentar la morbilidad debido a lesiones de pares craneales, como por ejemplo el VIIpc o VIIIpc. El abordaje retrolaberíntico es un abordaje presigmoideo que tiene como finalidad preservar la audición, en el que se realiza una mastoidectomía y se eskeletoniza el seno sigmoideo para exponer la duramadre presigmoidea posterior a los canales semicirculares.

Los abordajes petrosos se centran principalmente en el tratamiento de la patología de la región petroclival, ofreciendo una excelente visión a la región superior y media del clivus y que generalmente se han utilizado para el tratamiento de meningiomas. Este abordaje, como concepto inicial, fue descrito por Hakuba en 1977, quien realizó un abordaje petroso para el tratamiento de un meningioma clival, combinando una craneotomía supra e infratentorial con una laberintectomía parcial. Además, a lo largo de los años este abordaje se ha utilizado combinado con otros, como por ejemplo petrosectomías totales o bien abordajes transcondilares, en función de las necesidades de cada cirugía. Además de la patología extra-axial, otro tipo de lesiones pueden ser abordadas mediante abordajes petrosos, como por ejemplo lesiones no exofíticas del tronco cerebral. <sup>5, 8, 39, 68, 77, 96-98</sup>

Si los comparamos con el abordaje retrosigmoideo y el *far lateral*, estos abordajes requieren un fresado óseo más extenso, se expone una mayor superficie cisternal con lo que se incrementa el riesgo de complicaciones posquirúrgicas: fistulas liquóricas, pseudomeningoceles, etc., además del riesgo de lesionar estructuras de base de cráneo con funcionalidad relevante que se interponen en el trayecto de estos abordajes. Bajo nuestra experiencia, la tasa de complicaciones y complejidad de estos abordajes es desproporcionada con el grado de exposición que puedan ofrecer sobre la oliva bulbar, por lo que no se han utilizado como abordajes principales a la oliva bulbar en el desarrollo de esta tesis doctoral.

#### **7.4. COMPARATIVA ABORDAJE RETROSIGMOIDEO Y FAR LATERAL TRANSCONDILAR**

A lo largo del presente trabajo de investigación se realiza una comparación del abordaje retrosigmoideo y *far lateral* transcondilar. En los últimos años, autores como Spetzler, han considerado estos dos abordajes como las dos principales vías de acceso a la oliva bulbar sin establecer preferencia en la selección de uno frente a otro. El abordaje retrosigmoideo es un abordaje técnicamente más sencillo que el *far lateral*, y además presenta menor morbilidad posquirúrgica a nivel de la estabilidad craneocervical. Sin embargo, la región inferior de la oliva bulbar supone una zona limítrofe para el abordaje en la que no hay estudios cuantitativos en la literatura que demuestren el grado de exposición de la oliva bulbar con dicho abordaje. Por lo tanto, el presente estudio de tesis doctoral tiene como objetivo comparar de forma cuantitativa los siguientes parámetros: distancia de trabajo, ángulo de exposición y área de exposición para cada uno de los abordajes.

Hoy en día no existe unanimidad en la literatura neuroquirúrgica que nos permita seleccionar un abordaje concreto, ya que se ofrecen diversos abordajes para llegar a la oliva bulbar sin unas diferencias cuantitativas establecidas. De esta forma, el objetivo final de este trabajo pretende evaluar la superioridad de uno frente al otro para la exposición de la oliva bulbar, a partir de la cuantificación de parámetros objetivos.<sup>1, 5, 14,</sup>

15, 18, 20, 42, 68, 99

## II. JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS

De la patología neuroquirúrgica que asienta en el tronco cerebral, son los cavernomas las lesiones más frecuentemente diagnosticadas, aunque también asientan otro tipo de lesiones como metástasis o tumores gliales. Se estima que los cavernomas del sistema nervioso central tienen una prevalencia de entre un 0,4-0,9% en toda la población. En el tronco cerebral (mesencéfalo, protuberancia y bulbo raquídeo) su incidencia se estima en alrededor del 10 al 35% de todos los cavernomas, con una predilección por la protuberancia (1:3:1). Podemos estimar que, en la población general, aproximadamente 0,5-1 de cada 100.000 personas puede presentar una lesión cavernomatosa a nivel bulbar.<sup>13, 23, 36-38</sup>

Las lesiones del tronco cerebral tienen gran trascendencia desde el punto de vista médico debido a su elevada morbi-mortalidad. Actualmente, gracias a los avances en técnica de imagen radiológica estas lesiones se diagnostican muy frecuentemente en pacientes paucisintomáticos, siendo muchas veces hallazgos casuales. El mejor conocimiento de la historia natural de la gran mayoría de las lesiones localizadas en el tronco cerebral hace recomendable un tratamiento microquirúrgico de las mismas dado su elevado riesgo neurológico y vital. En cuanto a los cavernomas, el porcentaje de pacientes diagnosticados entre los 20 y 40 años es muy elevado, llegando en algunas series clínicas hasta un 60% de los pacientes. En un estudio reciente de la historia natural de los cavernomas de tronco cerebral desarrollado por Gross et al.<sup>37</sup> que combina datos de tres estudios prospectivos, se ha visto que la tasa total de hemorragia de los cavernomas es de un 2,4% por paciente/año. Aunque la localización del cavernoma no es un factor de riesgo por sí mismo, se correlaciona con un curso clínico peor si la localización es en el tronco cerebral, con un estudio de Porter et al.<sup>66</sup> donde se cita una tasa de eventos clínicos adversos anuales de hasta el 10,6% para esta localización. La morbilidad neurológica

relacionada con cavernomas bulbares incluye: tetraparesia progresiva, disfagia, disminución del reflejo nauseoso, parálisis ipsilateral del paladar y cuerda vocal, voz nasal, disestesias, etc.<sup>2, 3, 9, 13, 23, 29, 30, 33, 42, 46, 67, 69</sup>

En este contexto, la región del bulbo raquídeo plantea grandes dificultades debido a la gran compactación de las estructuras neurales que lo conforman. En comparación con la protuberancia y el mesencéfalo, el bulbo raquídeo tiene un diámetro axial mucho menor, y, por lo tanto, volúmenes de sangrado menores pueden producir mayor morbimortalidad. Una de las zonas de entrada seguras al bulbo es la oliva bulbar, localizada en la región anterolateral y rodeada por importantes estructuras neurovasculares. Su localización en las proximidades del foramen magno ha motivado el uso de distintos abordajes. En los últimos años se ha generalizado el uso del abordaje retrosigmoideo y el abordaje *far lateral*, sin embargo, la selección de cada uno de los abordajes se ha realizado en función de la experiencia empírica y preferencias personales del cirujano. Técnicamente existen grandes diferencias entre ambos abordajes, siendo el abordaje *far lateral* el más complejo al implicar mayores desinserciones musculares, mayor extensión de la craneotomía, mayor duración del abordaje, etc. En cuanto a la morbilidad posquirúrgica relacionada con el abordaje, es también el abordaje *far lateral* el que presenta mayor tasa de fracaso a nivel de la estabilidad cráneo-cervical. La importante desinserción de la musculatura nugal y el fresado de un porcentaje de cóndilo occipital (en la extensión transcondilar) puede acabar generando cierto grado de inestabilidad cervical que requiera una estabilización occipito-cervical.<sup>31, 35, 60, 88, 91</sup>

Los criterios de selección actuales para las lesiones no exofíticas bulbares puras se basa en la experiencia personal y preferencias del cirujano, aunque bien es verdad que grupos de trabajo, como el dirigido por el Prof. Spetzler han recomendado el uso del

abordaje retrosigmoideo siempre que haya una extensión de la lesión a la protuberancia.

2, 3, 4, 5

Sobre esta línea de trabajo se centra el presente trabajo de investigación, que tiene como motivación describir las principales diferencias objetivas de los dos principales abordajes utilizados para el acceso a la oliva bulbar. Los parámetros analizados serán:

-Distancia de trabajo: se relaciona con la precisión del cirujano. A menor distancia de trabajo mayor precisión de trabajo.

-Ángulo de ataque desde la superficie del abordaje: se relaciona con la visión al objetivo y maniobrabilidad del cirujano. A mayor ángulo de ataque más rango de visión y maniobrabilidad dispondrá el cirujano.

-Superficie de exposición: grado de visualización del objetivo (oliva bulbar) final.

El objetivo final será valorar la superioridad o no de un abordaje sobre al otro en base a criterios objetivos y proponer las indicaciones particulares de cada uno de ellos.



### III. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

#### 1. HIPÓTESIS DE TRABAJO

El presente estudio se basa en la **hipótesis fundamental** de que la exposición y ángulo de ataque obtenidos mediante el abordaje *far lateral* a la región de la oliva bulbar es superior a los resultados del abordaje retrosigmoideo clásico.

La **hipótesis operativa** considera que es posible equiparar la exposición y ángulo de ataque obtenidos en un abordaje *far lateral* utilizando un abordaje retrosigmoideo bajo para exponer la totalidad de la oliva bulbar, siendo dicha comparación valorable cualitativa y cuantitativamente.

La **hipótesis secundaria** se basa en la posibilidad de que el conocimiento anatómico de los límites inferiores del abordaje retrosigmoideo bajo pueda justificar en casos seleccionados la utilización de este abordaje para el tratamiento quirúrgico de lesiones íntrecas de la cara anterolateral del bulbo raquídeo sin necesidad de utilizar un abordaje más complejo como es el *far lateral*.

## 2. OBJETIVOS

- 1- Describir y evaluar los aspectos anatómicos que condicionan la fase extradural e intradural de cada uno de los dos abordajes: retrosigmoideo bajo y *far lateral*.
- 2- Definir en especímenes cadavéricos la superficie del objetivo (oliva bulbar).
- 3- Diseñar un canal de trabajo desde la superficie craneal hasta el objetivo (oliva bulbar) para cada uno de los dos abordajes: retrosigmoideo bajo y *far lateral*.
- 4- Evaluar el canal de trabajo desde la superficie de cada uno de los abordajes hasta la oliva bulbar: distancias y ángulos de ataque.
- 5- Cuantificar las estructuras neurales y vasculares presentes en cada una de las trayectorias de los dos abordajes evaluados.
- 6- Realizar un análisis estadístico comparativo de los datos obtenidos sobre cada uno de los abordajes.
- 7- Evaluar en función de los resultados objetivos obtenidos la superioridad de uno de los abordajes sobre el otro.

## IV. MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo ha sido realizado en los laboratorios de neuroanatomía microquirúrgica de Valencia (España) y Little Rock (Arkansas, USA). Gran parte del trabajo fue planificado, realizado y analizado en nuestras instituciones de la Facultad de Medicina de Valencia: Laboratorio de Neuroanatomía Microquirúrgica, fruto de la colaboración del Departamento de Anatomía y Embriología Humana y del Servicio de Neurocirugía del Hospital Clínico Universitario de Valencia (Figs. 27 y 28).

De inestimable valor fue la colaboración junto al Prof. Ali Krisht para el análisis y correlación clínica de aquellos aspectos evaluados en la presente tesis doctoral.



**FIGURA 27.** Imagen de parte del laboratorio de Neuroanatomía Microquirúrgica del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Facultad de Medicina de la Universitat de València (España) donde se llevaron a cabo la mayoría de disecciones anatómicas. El trabajo en este laboratorio fue supervisado por los Profesores González-Darder y Quilis-Quesada.



**FIGURA 28.** Imagen del laboratorio que dirige el Prof. Ali Krisht: Arkansas Neuroscience Institute (Little Rock, Arkansas, USA) donde se realizaron parte de las disecciones durante los meses de enero y febrero del 2019.

## **1. MATERIAL DE TRABAJO**

### **1.1. LABORATORIO DE NEUROANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA**

Un 80% de las disecciones anatómicas se realizaron en el Laboratorio de Neuroanatomía Microquirúrgica del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Facultat de Medicina de la Universitat de València (España). Este laboratorio cuenta actualmente con 3 puestos de trabajo, con 2 microscopios quirúrgicos, material microquirúrgico, 1 craneostato de 3 pines (DORO®), sistema de aspiración y material y tecnología fotográfica para realizar fotografía 2D y 3D de las disecciones y procedimiento.

El resto de disecciones se realizaron en el laboratorio de microcirugía de Arkansas Neurosciences Institute (Little Rock, USA) dirigido por el Prof. Ali Krisht. Este laboratorio se fundó en el año 2006 en Little Rock (Arkansas, USA) dirigido por el Prof. Ali Krisht y Dr. M. Aboud. El Dr. Ali Krisht fue uno de los discípulos de quien es el neurocirujano con más impacto en el desarrollo del mundo neuroquirúrgico actual: el Prof. Dr. M.G. Yasargil. Las áreas neuroquirúrgicas en las que se ha centrado su carrera han sido principalmente la cirugía de base de cráneo y la patología vascular cerebral. Además de sus logros como neurocirujano, el Dr. Krisht es también en la actualidad un líder en investigación, desarrollo de nuevas técnicas y en la preparación y entrenamiento de neurocirujanos que desde países de todo el mundo viajan a Arkansas para estudiar y desarrollar proyectos en su laboratorio. Es un neurocirujano reconocido mundialmente por el desarrollo de abordajes quirúrgicos a la región del seno cavernoso y otros muchos más aspectos científicos.

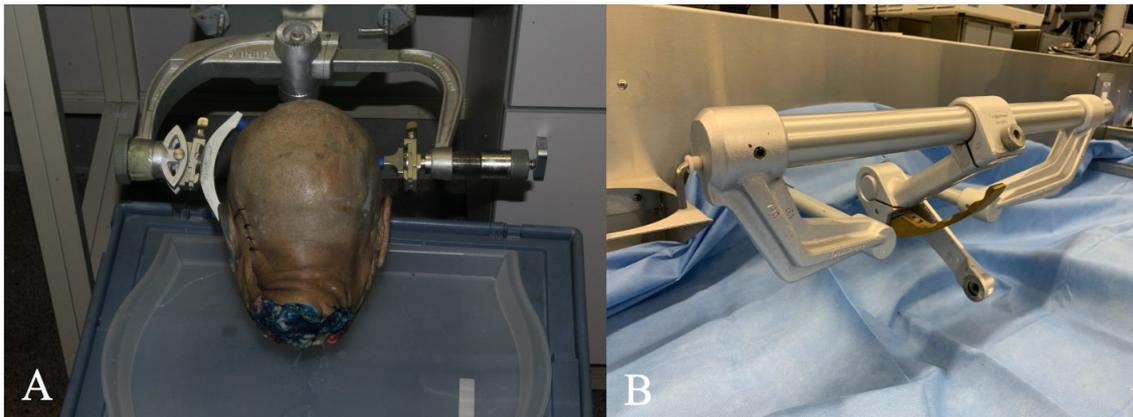
Desde la creación del laboratorio de microcirugía del Arkansas Neurosciences Institute (Little Rock, USA) numerosos neurocirujanos internacionales se han formado y entrenado en la anatomía microquirúrgica y técnicas de disección. El laboratorio se compone de 20 estaciones de trabajo, todas ellas dotadas con microscopio quirúrgico, motor eléctrico de alta velocidad, mecanismo de soporte con craneostato de 3 pines, instrumental microquirúrgico y sistema de aspiración.

### **1.1.1. Materiales de trabajo en el laboratorio**

#### **1.1.1.1. Cefalostato tipo Mayfield**

Para poder simular en el laboratorio el posicionamiento neuroquirúrgico y con el fin de hacer más cómodo y seguro el trabajo de disección, craneotomía y fresado se utilizó un sistema de fijación con un cefalostato 3 pines tipo Mayfield (DORO®) como los que

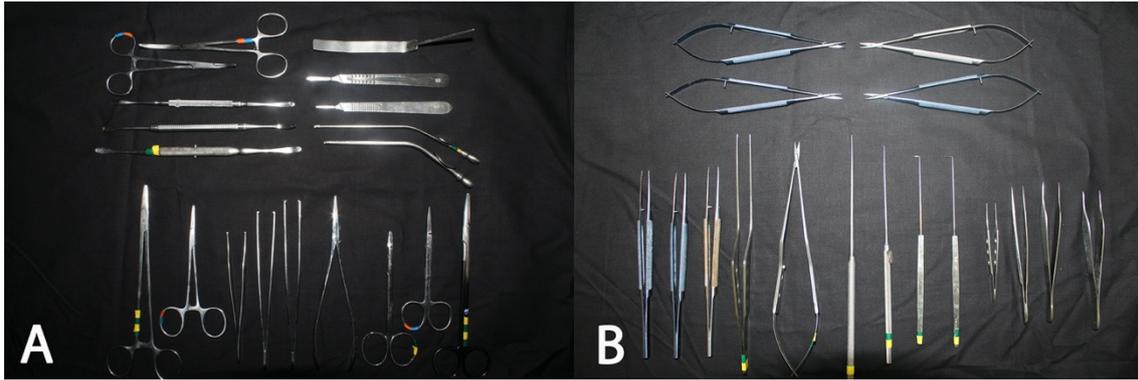
se usan en el ámbito quirúrgico con pacientes reales. Este cefalostato permite la movilización de la cabeza en los tres ejes del espacio y, una vez se selecciona la posición, la cabeza queda fijada e inmovilizada. Además, es un sistema muy versátil que permite el anclaje de distintos sistemas: referencias para la sujeción de colgajos, fijación del brazo articulado de lectura óptica para la neuronavegación, etc (Fig. 29).



**FIGURA 29. Sistema de fijación 3 pines tipo Mayfield (DORO®). En la imagen A presentamos una cabeza fijada y preparada para el inicio de un abordaje far lateral. En la imagen B observamos el brazo de palanca y articular del craneostato.**

#### **1.1.1.2. Instrumental quirúrgico**

En el laboratorio se utilizó una gran variedad de instrumental quirúrgico general en el que se incluye: mangos de bisturí, hojas de bisturí (desde el nº11 al nº23), espátulas de madera, material de sutura (vycril y monofilamento), disectores, pinzas, etc. Así mismo, se precisó de material específico para llevar a cabo los abordajes: microdisectores (Rhoton; Yasargil), tijeras, microtijeras. Todo este material permite simular los abordajes quirúrgicos realizados en los quirófanos de neurocirugía (Fig. 30).



**FIGURA 30. Instrumental quirúrgico.** La imagen A se muestra material quirúrgico utilizado de forma general en la realización de los abordajes: pinzas, mangos de bisturí, disectores, etc. En la imagen B se muestra el material de microcirugía formado por microdisectores (Rhoton y Yasargil), microtijeras y pinzas de relojero utilizado preferentemente en las fases intradurales.

### 1.1.1.3. Sistema de aspiración

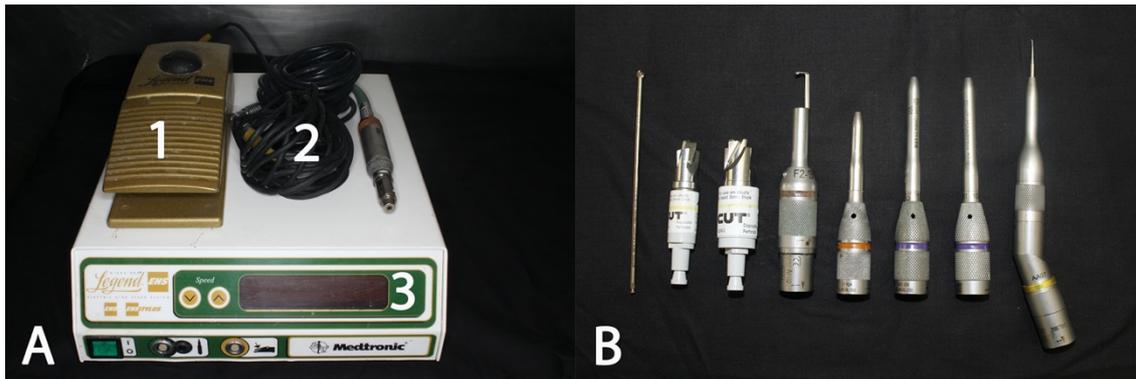
Durante las disecciones los especímenes anatómicos deben ser periódicamente irrigados con agua para evitar la sequedad y daño en las estructuras anatómicas más frágiles. Además, durante la fase de craneotomía y fresado es mandatorio irrigar con agua para evitar el acúmulo de polvo óseo y generar humo nocivo para el ambiente de la sala de disección. Para recoger el acúmulo de agua y limpiar los campos anatómicos se utilizó un sistema de aspiración eléctrico (Fig. 31).



**FIGURA 31.** Sistema de aspiración eléctrico dotado con reservorio y manguera de drenaje universal para adaptar diferentes cabezales de aspiración en función de la fase del abordaje. En la imagen se muestra con una cánula de aspiración modelo Fraizer (ConMed®).

#### **1.1.1.4. Motor eléctrico de alta velocidad**

Para la realización de craneotomías, fresado y resección del arco posterior de C1 se utilizó un motor eléctrico de alta velocidad que permite el acople de distintos cabezales para el uso de fresas de distinto tamaño en función de la zona del campo quirúrgico donde se pretendía trabajar. Se usó un Motor Midas Rex Legend EHS Stylus High-Speed Surgical Drill de Metronic® (Fort Worth, Texas, USA). Para este motor usamos distintos cabezales con tamaños de las fresas desde 0,5mm a 5mm y distintos tipos: diamantada, sierra o mixtas (en función de la necesidad de corte, pulir o realizar osteotomías) (Fig. 32).



**FIGURA 32. Motor eléctrico Midas Rex Legend EHS Stylus High-Speed Surgical Drill de Medtronic® (Fort Worth, Texas, USA). En la imagen A se muestra la consola (3) que permite ajustes de velocidad de giro, dirección de giro y zonas de conexión para el pedal de acción (1) y mango del motor (2). En la imagen B se muestra la variedad de cabezales, fresas y trépanos adaptables al mango.**

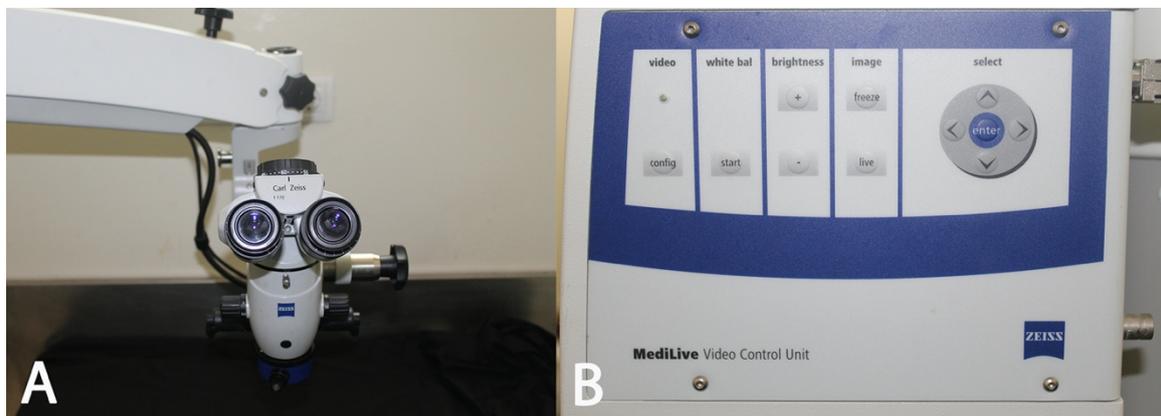
### 1.1.1.5. Microscopio quirúrgico

La aparición del microscopio quirúrgico supuso un punto de inflexión en los resultados de la práctica neuroquirúrgica. Desde su aparición los resultados médicos mejoraron considerablemente: disminución de mortalidad, disminución de la morbilidad neurológica, mayores tasas de resección completa en patología tumoral, etc. Por todo ello, en la práctica diaria, todo neurocirujano debe estar familiarizado con su uso. La capacidad de aumento y calidad de visión que nos proporciona permite realizar procedimientos de gran complejidad técnica con mayor seguridad.

El uso del microscopio también se extendió a los laboratorios, iniciando su uso en el famoso laboratorio del Prof. Albert L. Rhoton, Jr (George Shrader Coulter Microsurgical Anatomy Lab, Gainesville, Florida, USA), actualmente cerrado tras su fallecimiento en febrero de 2016.

En el presente estudio de investigación se utilizó un microscopio quirúrgico para aumentar la precisión y calidad de las disecciones, un OPMI Pico de Carl Zeiss®. Se trata de un microscopio versátil, muy sencillo, ligero y de fácil adaptación a los campos de disección anatómica. Sus características técnicas son: cambiador de aumento manual de Carl Zeiss®, escala 1:6 en 5 pasos; lente del objetivo con diferentes distancias focales de

f= 200 mm a f= 400 mm, en pasos de 50 mm; lente de objetivo de enfoque preciso: 200, 250, 300 mm; tubo binocular principal; tubo giratorio 0-180°, f= 170 mm; tubo giratorio 0-180°, tubo giratorio 0-180°, f= 200 mm; tubo plegable f170/f260; iluminación halógena de 100W. El microscopio está montado en el estativo de suelo S100: 90 kg aproximados el conjunto del sistema. Montado sobre una base móvil (650 mm x 625 mm) de 4 ruedas con sistema de frenado y bloqueo. El brazo articulado del microscopio presenta un alcance máximo de 1730 mm, lo que gracias a sus tres ejes de pivote permite una gran adaptación al campo de disección (Fig. 33).



**FIGURA 33. Microscopio quirúrgico OPMI Pico de Carl Zeiss®. En la imagen A se muestra el sistema de visión y lentes con distancia focal, intensidad luminosa y zoom regulables. En la imagen B se muestra el panel de control localizado en la base del microscopio que permite regular los parámetros de calidad de imagen.**

### **1.1.2. Equipo de fotografía**

Para el registro de todas las fases del estudio anatómico se utilizó material fotográfico de alta gama para obtener una máxima resolución en las imágenes y permitir una representación 3D de las fotografías para mejor comprensión espacial de los conceptos anatómicos.

Para la captura de fotografías para su posterior visualización en 3D, se utilizó un trípode con barra de desplazamiento lateral que permite una doble captura, ojo izquierdo

y ojo derecho (técnica de visión estereoscópica): Manfrotto® MT055XPRO (Cassola, Italy).

El cuerpo de cámara digital utilizado fue un sistema Canon® EOS 1300D (Tokyo, Japón), dotado de sensor CMOS APS-C de 18 MP, ISO 100-6400, 100-6400 en incrementos de 1 punto. Sensibilidad ISO ampliable hasta H: 12.800. Durante la grabación de vídeo Auto (100-6.400), 100-6.400 en incrementos de 1 paso. Disparo en ráfaga a 3.7 frames por segundo; vídeos Full HD y LCD Clear View con formato 3:2 de 7,7 cm (3.0) y 1.040.000 píxeles. Para la obtención de imágenes con mucho aumento o con necesidad de mostrar detalles muy significativos del campo quirúrgico se usó un objetivo para obtención de imágenes ‘Macro’ Canon® 100/2.8 L Macro IS USM (Tokyo, Japón). Para imágenes panorámicas y de poca necesidad de detalle macroscópico se utilizó un objetivo estándar Canon® EF-S 18-55mm IS (Tokyo, Japón). Para la iluminación del campo anatómico y evitar el exceso de sombra se utilizó un flash circular Canon® MR-14 EX II Macro Flash (Tokyo, Japón), que permite un cómodo acople al objetivo y al cuerpo de la cámara (Fig. 34).



**FIGURA 34. Equipo de fotografía utilizado para el registro iconográfico de todos los procesos de disección anatómica y abordajes realizados en este presente trabajo de tesis doctoral. Este equipo esta formado por un flash circular (1), cuerpo de la cámara y objetivo (2), barra de desplazamiento lateral para captura de fotografías estereoscópicas (3) y trípode (4).**

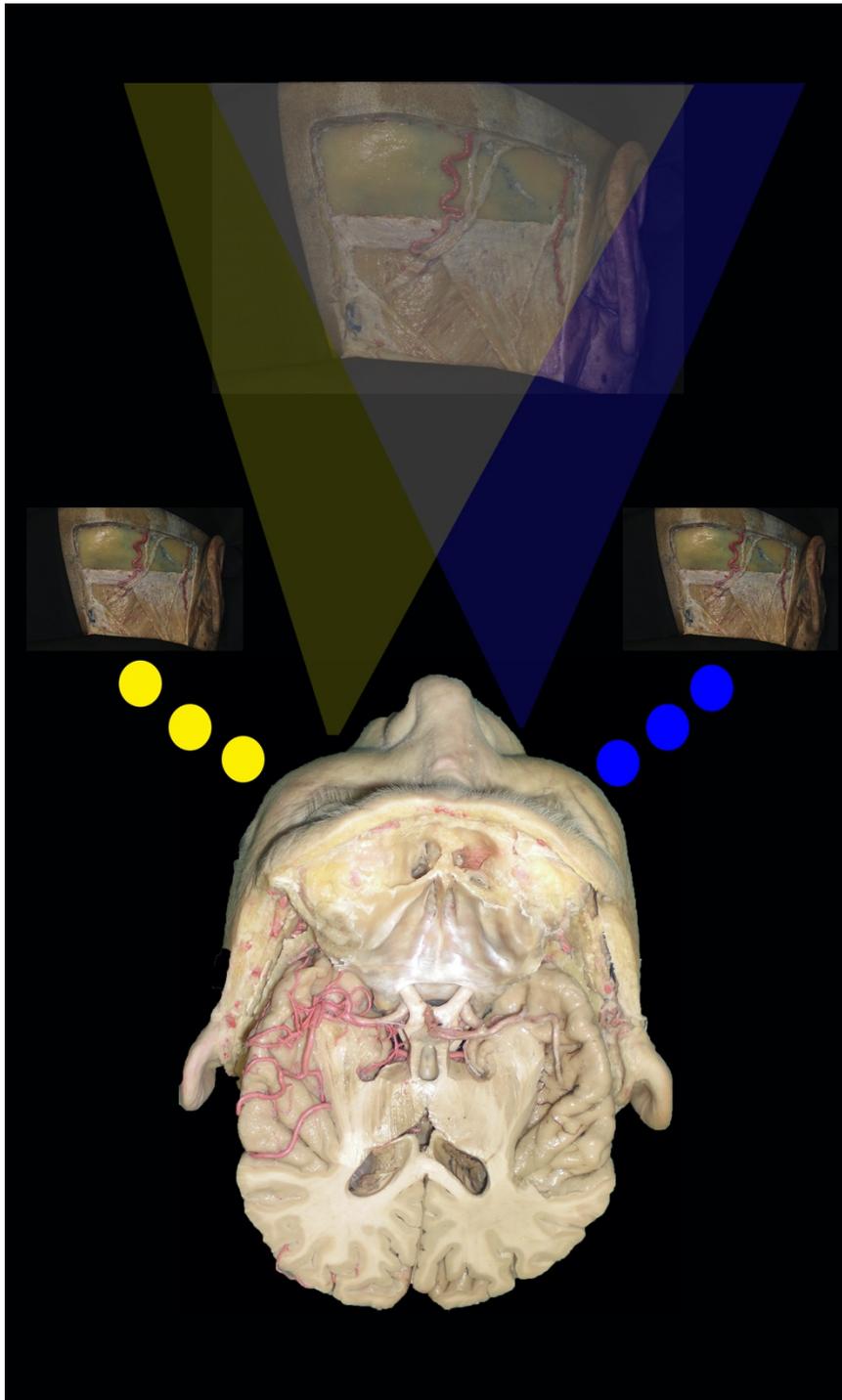
Las imágenes obtenidas fueron editadas numéricamente con el uso del software Adobe® Photoshop CC 2019 (Adobe World Headquarters, San José, California, USA).

### **Metodología para la toma de fotografías estereoscópicas (3D)**

Para realizar esta técnica tuvimos en cuenta el principio básico de visión tridimensional. Cuando los dos ojos enfocan un objeto, los ejes visuales convergen en el mismo punto, por lo que ambos ojos perciben la misma parte del entorno. Sin embargo, los ojos no están en el mismo punto del espacio, sino que están separados unos 5-7 centímetros. Por lo tanto, las imágenes son diferentes. Ven el mismo objeto, pero con una

perspectiva algo distinta. El ojo izquierdo ve la imagen un poco desde la izquierda, y el ojo derecho la ve un poco desde la derecha. Son lo suficientemente similares como para que el córtex cerebral las pueda fusionar, y lo suficientemente diferentes como para que se haga una idea de la perspectiva. Al final, el cerebro hace un procesado de ambas y ve la imagen centrada. El resultado es una sola imagen que obtendríamos con un hipotético ojo central (la llamada visión ciclópea) pero con una intensa sensación de relieve (Fig. 35).

La fotografía estereoscópica se basa en este concepto. Existen muchos métodos para la obtención de imágenes tridimensionales y para la realización de este trabajo de investigación se utilizó un sistema con la cámara acoplada a un trípode con barra de desplazamiento lateral. Así pues, siempre se realizó la misma metodología: primero se realizó una fotografía correspondiente para el ojo izquierdo, desplazando la cámara por la barra lateral a la izquierda y enfocando el punto central de la imagen. Una vez realizada la fotografía izquierda, se desplazó la cámara hacia la derecha hasta sobrepasar la mitad del campo de visión obtenido para la imagen izquierda. Acto seguido se rotó el cuerpo para centrar de nuevo y enfocar al mismo punto utilizado en la imagen izquierda. Finalmente se obtienen dos fotografías: las correspondientes al ojo izquierdo y al ojo derecho. Por medio de gafas estereoscópicas o proyecciones polarizadas, el ojo izquierdo verá la imagen izquierda y el ojo derecho la imagen derecha, con lo que nuestro cerebro recreará la imagen tridimensional.<sup>78, 79</sup>



**FIGURA 35.** Representación esquemática del concepto para comprender la fotografía estereoscópica. El ojo izquierdo (amarillo) y el ojo derecho (azul) obtienen dos imágenes similares, pero no idénticas. Estas dos imágenes enfocadas en el mismo punto serán procesadas en el cerebro y dará como resultado una imagen única con una intensa sensación de relieve.

Se usó el software PowerPoint de Microsoft® Office (Redmond, Washington, USA) para montar las imágenes con el uso de unos modelos predefinidos ('templates') para la proyección en monitores 3D. Se usó un monitor TV LG® Ultra HD 4K 3D (Seúl, Corea del Sur) para visualizar las imágenes estereoscópicas.

### **1.1.3. Soporte informático:**

Todo el proceso de edición de la tesis doctoral fue realizado en un ordenador MacBook Pro (13 pulgadas, 2019, cuatro puertos Thunderbolt 3), con un procesador 2,4 GHz Intel Core i5 de 4 núcleos, memoria de 8GB 2133 MHz LPDDR3, disco de arranque Macintosh HD, gráficos Intel Iris Plus Graphics 655 1536 MB con el sistema operativo macOS Catalina 10.15.3.

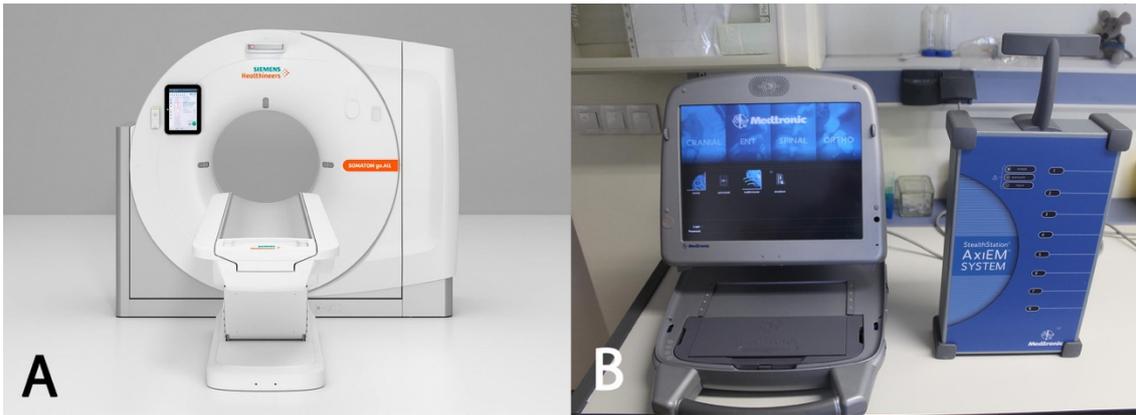
Para la elaboración y escritura del trabajo se utilizaron los programas Word y Excel incluidos en la aplicación informática Microsoft® Office (Redmond, Washington, USA).

## **1.2. ESPECÍMENES CADAVÉRICOS**

Para completar el presente trabajo se utilizaron un total de 10 cabezas y 4 troncos cerebrales (seccionados cranealmente por encima de los colículos superiores y caudalmente a nivel de la médula espinal cervical alta): 2 cabezas y 1 tronco cerebral fueron preparadas y disecadas en el 'Arkansas Neuroscience Institute' (Little Rock); 8 cabezas y 3 troncos cerebrales fueron preparadas y disecadas en el Laboratorio de Neuroanatomía Microquirúrgica del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Facultat de Medicina de la Universitat de València.

Para la simulación de los abordajes quirúrgicos se utilizaron un total de 10 cabezas (40 abordajes) de especímenes cadavéricos adultos sin antecedentes de patología craneoencefálica conocida, previamente fijados con formaldehído al 10% durante un mínimo de 60 días e inyectados con silicona: rojo para los vasos arteriales y azul para el sistema venoso. En cada una de las cabezas se realizaron 4 abordajes con la siguiente metodología: primero se realizó un abordaje retrosigmoideo y segundo un abordaje *far lateral* transcondilar, quedando finalmente una apertura desde el seno transversal a C2 a lo largo de la base de cráneo donde se pudo evaluar ambos abordajes simultáneamente y de forma individual. A continuación, se repitió el mismo procedimiento en el lado contralateral. Las disecciones se llevaron a cabo tras la autorización del Departamento de Anatomía y Embriología Humana en los especímenes disecados en sus instalaciones de la Universitat de València; y para las disecciones realizadas en el ‘Arkansas Neuroscience Institute Microsurgical Anatomy Laboratory’ las disecciones se realizaron siguiendo la normativa legal del Estado de Arkansas mediante la autorización ética.

Las 8 cabezas estudiadas en el laboratorio de neuroanatomía microquirúrgica del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Universitat de València, fueron sometidas previamente y tras la realización de los abordajes a estudios de tomografía computerizada (TC) de múltiples cortes. Estos estudios fueron realizados, con autorización ética, mediante un tomógrafo con capacidad de generar imágenes multicorte (Siemens Somatom go All) de Siemens Medical Systems, Inc., Erlangen, Germany. Tras la obtención de los estudios y una vez realizados los abordajes en los especímenes se transfirieron los estudios de imagen a la estación Stealth Viz Treon (Medtronic Surgical Navigation Technologies, Louisville, USA) para su neuronavegación (Fig. 36).



**FIGURA 36.** La imagen A muestra una muestra representativa del equipo de tomografía axial utilizado (Siemens Somatom go All). En la imagen B se muestra la estación de trabajo Stealth Viz Treon (Medtronic Surgical Navigation Technologies).

Para el estudio de la anatomía del tronco cerebral, 4 troncos cerebrales (8 olivas bulbares) fueron preparados según la técnica de Klinger para el estudio de la fibra blanca. En esta técnica los especímenes se fijaron en formaldehído al 10% un mínimo de 60 días, posteriormente se retiró la aracnoides y se procedió a una fase de congelación a  $-16^{\circ}\text{C}$  durante un mínimo de 14 días.

### **1.2.1. Preparación de los especímenes**

Todos los especímenes que llegaron en primera instancia al laboratorio de cada uno de los centros procedían de donantes, mayores de edad, de ambos sexos, anonimizados y sin patología craneal ni cerebral conocida. Éstos llegaban habiendo sido previamente embalsamados con formaldehído al 10% durante un mínimo de 2 meses. Tras analizar su correcto estado y seleccionar los especímenes, éstos fueron guardados en cubos de plástico con formaldehído al 5-7% para su conservación entre sesiones de disección.

### **1.2.2. Canalización y lavado de los grandes vasos cervicales**

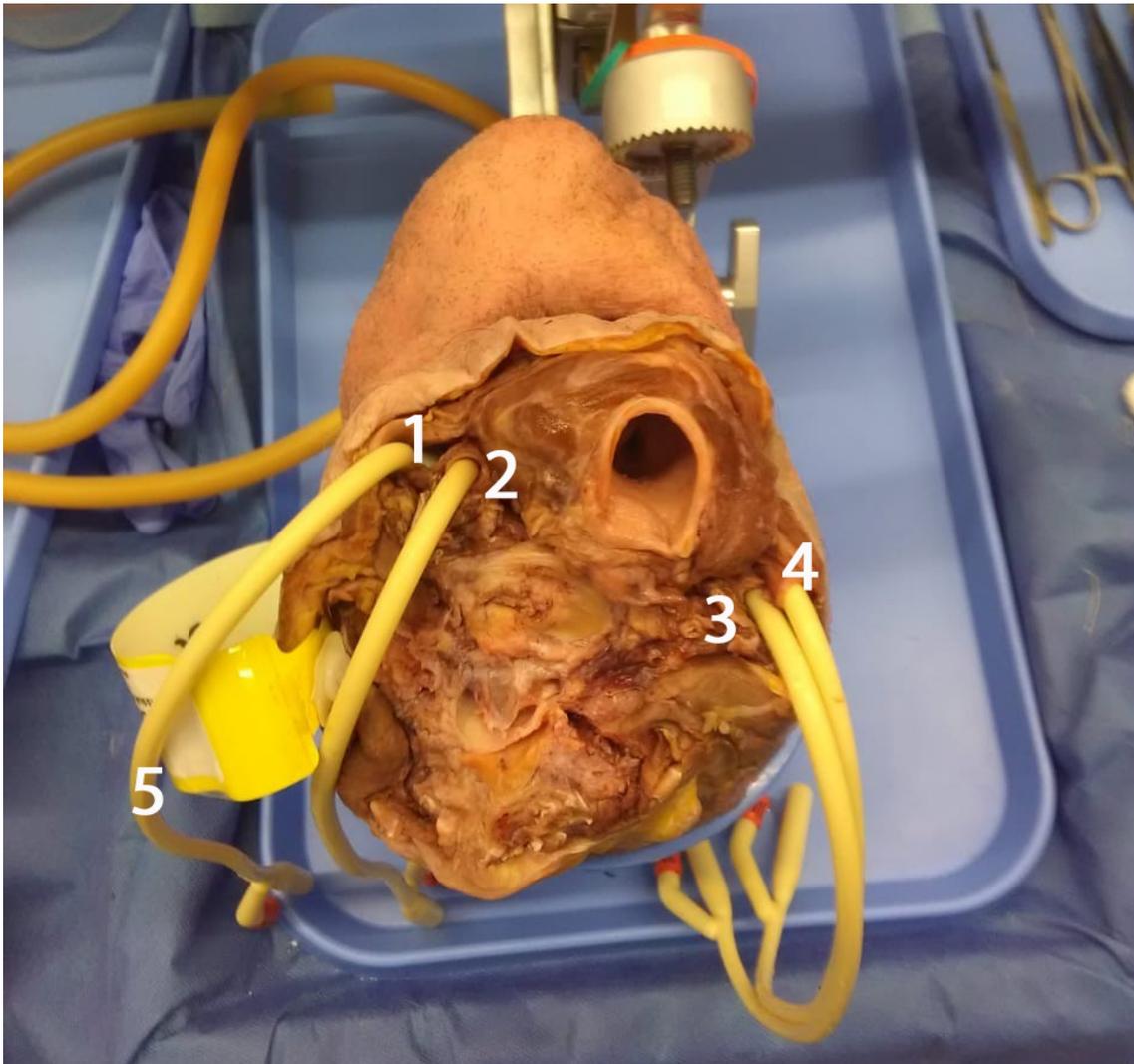
Una vez embalsamados los especímenes se procedió a la búsqueda de los principales vasos del sistema arterial y venoso en la región cervical subaxial. De esta forma se

disecaron parcialmente las arterias carótidas comunes (izquierda y derecha), arterias vertebrales (izquierda y derecha) y venas yugulares internas (izquierda y derecha). Tras la exposición más proximal (unos 2-3 cm) de los vasos, se suturaron unas cánulas de silicona con seda de 2/0. La arteria carótida común se identifica fácilmente y presenta un diámetro muy accesible con una pared muscular gruesa que facilita la canalización de los tubos de silicona. Sin embargo, en las arterias vertebrales y las venas yugulares es más compleja la canalización. Las arterias vertebrales quedan ocultas entre los forámenes transversos de las vértebras cervicales y los vasos tiene un diámetro menor. Las venas yugulares internas se identifican fácilmente y tienen un diámetro grande que facilita la canalización, por otro lado, presentan una pared muy fina que dificulta un cierre hermético de la sutura. La finalidad de canular los principales vasos de la región cervical es permitir un lavado intenso de los coágulos que se generan en el sistema arterial y venoso tras la muerte (Fig. 37).<sup>7, 52, 83</sup>

El lavado del sistema venoso presenta una mayor complejidad debido a que las paredes de los vasos son más finas, por lo que soportan menor presión en la fase de lavado, y porque precisamente el sistema venoso es el que tiene más tendencia a generar coágulos más grandes en el sistema. En cambio, en el sistema arterial se puede aplicar mayor presión de lavado debido a la gran resistencia de los vasos. El lavado se realiza con agua corriente a presión a través de los vasos canulados. El protocolo de lavado se realiza aislado cada uno de los sistemas y realizando el lavado individual de cada uno de ellos. En nuestros especímenes primero se lavó el sistema arterial de las arterias carótidas comunes: para ello se claman las arterias vertebrales y venas yugulares internas, realizándose un lavado intenso hasta que el agua sale limpia por la carótida contralateral. A continuación, se lavó el sistema de las arterias vertebrales: se clamaron ambas arterias carótidas comunes y venas yugulares internas, lavándose las arterias vertebrales hasta que

el agua corriente salía clara y transparente por la arteria contralateral. Por último, se lavó el sistema venoso: se clamparon ambas carótidas comunes y vertebrales, y de una forma muy cuidadosa se inyectó una presión media-baja para evitar la ruptura de las paredes del sistema venoso.

Este lavado se hizo de forma manual, evitando sistemas de control de presión. Los sistemas manuales permiten una adecuación de las presiones en función de las resistencias, así como una evaluación constante del funcionamiento del sistema. Se trata de un método “artesanal” que en nuestra opinión evita complicaciones (extravasación) y permite un óptimo preparado de los vasos para su inyección.



**FIGURA 37. Imagen de la fase de canalización de los sistemas arteriales y venosos. Se observa como han sido canuladas en primera instancia las arterias carótidas comunes (2,3) y las venas yugulares internas (1,4) con los tubos de silicona (5).**

### **1.2.3. Inyección de silicona coloreada**

Tras un intenso lavado de los sistemas arteriales y venosos se procedió a la inyección de silicona azul para el sistema venoso y silicona roja para el sistema arterial, para poder ilustrar todos los procesos de disección con una mayor claridad. La silicona usada es incolora y para dar la coloración azul y roja se usaron colorantes (pintura acrílica como las que se usan en pintura artística). Para la inyección de la silicona, es necesario hacerla menos espesa para que se pueda distribuir correctamente por toda la vascularización distal. Para disolverla se utilizó aguarrás, de forma que así se permite una distribución

homogénea de la silicona. La mezcla aguarrás-silicona utilizada fue aproximadamente en proporción 2:1 para el sistema arterial y 1:1 para el sistema venoso. Se utilizaron unos 200 ml de silicona para cada espécimen (unos 80 ml para el sistema arterial y unos 120 ml para el sistema venoso).<sup>7, 52, 83</sup>

Tras tener todos los pasos previos correctamente realizados, una vez preparada toda la silicona (roja y azul), se inició la inyección de los vasos del sistema arterial: en primer lugar, unos 20-30 ml por cada carótida y unos 10 ml por cada vertebral; a continuación, se inyectaron las venas yugulares internas: unos 60 ml por cada yugular. La técnica de inyección fue manual, desclampando cada vaso individualmente y liberando el contralateral cuando la presión era límite para permitir la salida por el lado contralateral.

Finalmente, tras la correcta inyección en todos los sistemas, se clamparon todos los vasos y se dejó el espécimen 24-48 horas en reposo (en formaldehído) para permitir una correcta coagulación de la silicona.

## **2. ESTUDIO ANATÓMICO**

A continuación, procedemos a la descripción, exposición y valoración de los aspectos anatómicos de relevancia en nuestro estudio. Para ello, primero se seleccionaron los especímenes cadavéricos compuestos de 10 cabezas sin patología previa conocida fijadas en formol e inyectadas con rojo y azul de silicona. Con estos especímenes correctamente preparados para la investigación se realizó un plan de trabajo consistente en la realización de 40 abordajes (20 retrosigmoideos y 20 *far lateral*). Aplicando un protocolo de trabajo anatómico en cada espécimen, en primer lugar, se realizó un abordaje retrosigmoideo en el lado derecho. Una vez registrada la iconografía y obtenidos los datos de interés, se procedió a la realización de un abordaje *far lateral* del mismo lado

ampliando la incisión y craneotomía previas. Tras completar el estudio del lado derecho se realizó el mismo procedimiento para el lado izquierdo. De esta forma en una misma cabeza se realizaron 4 abordajes (2 abordajes en el lado derecho y 2 en el izquierdo). Además, se utilizó una cabeza adicional para obtener imágenes anatómicas de un abordaje *far lateral* sin artefactos previos: incisión, craneotomía, etc.

Tras la realización de cada uno de los abordajes se tomaron mediciones directas de los datos de interés: distancia de trabajo a la oliva bulbar, ángulo de ataque y superficie de exposición. Para el registro de estas mediciones existen numerosas limitaciones como son las dificultades técnicas para el registro (el campo expuesto y la profundidad del objetivo, de dimensiones pequeñas, representó una limitación dada las características de los sistemas de medición directa), la variabilidad entre observadores, etc.

Por estas razones, bajo nuestra experiencia, los datos obtenidos en los especímenes anatómicos por medición directa, no son por si solos extrapolables a la práctica neuroquirúrgica. Es por ello, que el presente trabajo de investigación se completó con la toma de medidas indirectas mediante neuronavegación de los especímenes cadavéricos. Dicha neuronavegación se aplicó tras la realización de TC de corte fino en cada espécimen. Las tomas de datos indirectos se realizaron con la estación de trabajo, identificando los puntos referenciales obtenidos a partir de las disecciones y simulaciones quirúrgicas. Estos puntos se identificaron en los tres planos ortogonales (axial, sagital y coronal) y procesando los cálculos de distancias y ángulos mediante el uso de la interfaz del neuronavegador (cranial 4.0).

Por lo tanto, en el estudio anatómico se registraron dos tipos de mediciones:

1. Mediciones directas medidas con cinta métrica y pie de rey en los especímenes
2. Mediciones indirectas medidas por neuronavegación

Por otra parte, dado que el tamaño muestral utilizando especímenes cadavéricos es limitado, se decidió aumentar dicha muestra mediante el uso de resonancias magnéticas cerebrales de pacientes sin patología craneal ni cerebral previa conocida. Se usaron resonancias magnéticas de alta resolución (3DT2, multicorte, de 0.8 mm de espesor). Mediante el uso de software para el procesamiento de imágenes médicas Horos®, se analizaron 30 resonancias magnéticas (60 lados) con el uso de puntos referenciales anatómicos definidos tras la realización de las disecciones en los especímenes anatómicos.

## **2.1. DISECCIÓN ANATÓMICA DEL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO**

El abordaje retrosigmoideo, también conocido como suboccipital lateral, tiene sus orígenes cuando Dandy utilizó una craneotomía suboccipital lateral para la resección de un tumor del ángulo pontocerebeloso. Se trata de un abordaje muy utilizado en la práctica diaria neuroquirúrgica para el tratamiento de múltiples patologías: tumores del ángulo pontocerebeloso, patología vascular de fosa posterior, descompresión microvascular del V nervio craneal, etc. Destaca la sencillez del abordaje, así como su versatilidad.<sup>11, 12, 21, 43, 59, 62, 68, 80, 96-98</sup>

Este abordaje quirúrgico fue realizado en los especímenes anatómicos siguiendo las instrucciones directas y protocolos de disección definidos y publicados en material bibliográfico por los directores del presente estudio de investigación (el Prof. González-Darder y el Prof. Quilis-Quesada), además de tener en cuenta otros autores con publicaciones registradas en la literatura.

En el contexto quirúrgico el paciente puede ser colocado en varias posiciones según las preferencias del cirujano: decúbito supino con la cabeza lateralizada hacia el

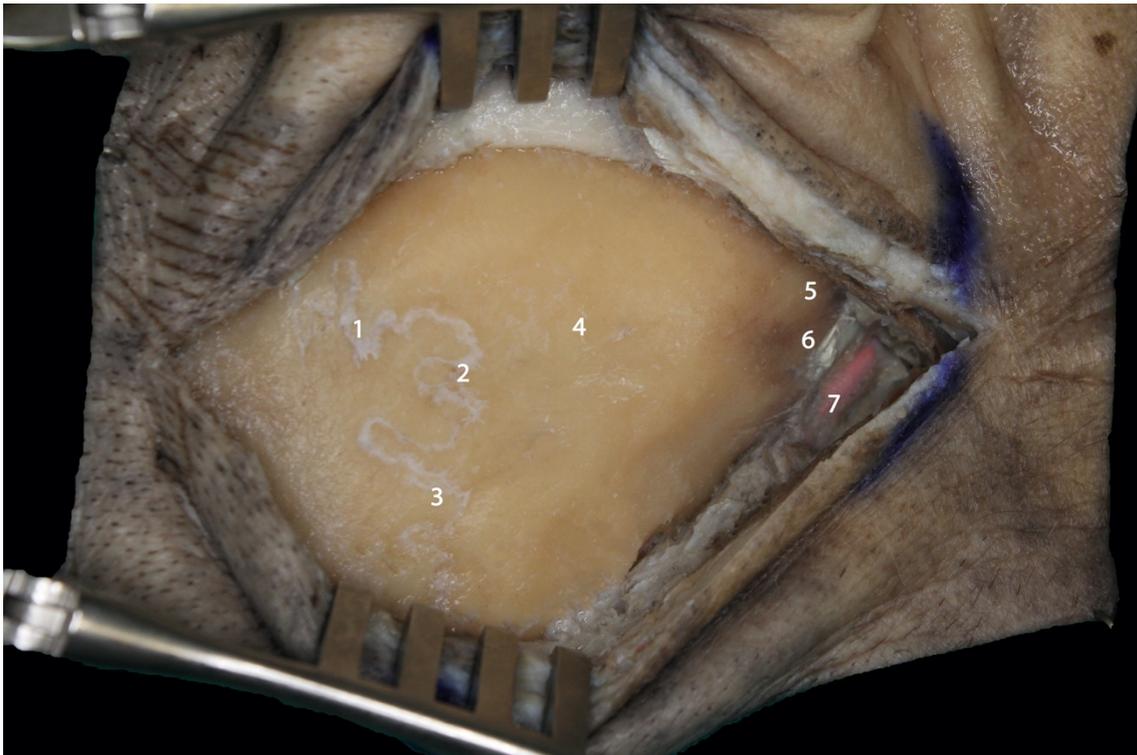
lado contralateral, posición semisentado con la cabeza flexionada y rotada homolateral a la lesión o la posición en banco de plaza (*park bench*) con la cabeza rotada 120° del plano axial y flexionada. Habitualmente, en nuestro ámbito quirúrgico, utilizamos la posición de decúbito supino con la cabeza lateralizada hacia el lado contralateral, por lo que en este trabajo se utilizó dicha posición.

El craneostato de 3 pines fue colocado en las cabezas con 2 pines en la línea media posterior (con el pin inferior aproximadamente en la protuberancia occipital externa) y el pin contralateral en la línea media anterior aproximadamente en la línea de implantación del pelo en la frente. En todos los especímenes se realizó la misma incisión estándar: una incisión retroauricular vertical ligeramente curvada posteriormente de unos 6-7 cm de longitud, 1-2 cm posterior al pabellón auricular. Los puntos craneométricos en dicha localización son difícilmente palpables, sin embargo, existen referencias posibles: el borde inferior del seno transversal se proyecta en un punto aproximado que corresponde a la unión entre el primer y segundo cuarto superior del pabellón auricular, proyectándose anteriormente con una línea imaginaria que une el arco zigomático. La incisión la situamos 1-2 cm craneal a la línea del borde inferior del seno transversal, para de esta forma exponer el punto craneométrico *asterion*. Éste es el punto craneal más relevante, y corresponde a la confluencia de las suturas lambdoidea (parieto-occipital), occipitomastoidea (temporo-occipital) y parietomastoidea (temporo-parietal). Localizado aproximadamente a 6,5 cm del inion, a 5 cm de la punta de la mastoidea y a unos 4,5 cm de la espina de Henle, el *asterion*, nos marca en profundidad la localización aproximada de la transición del seno transversal al sigmoideo (Fig. 38).<sup>11, 12, 21, 43, 59, 62, 68, 80, 96-98</sup>



**FIGURA 38.** Incisión retroauricular para la realización de un abordaje retrosigmoide derecho. La incisión discurre 1 cm posterior al pabellón auricular con una disposición vertical ligeramente curvada posteriormente. Ésta se extiende cranealmente unos 2 cm a la localización aproximada del borde inferior del seno transversal e inferiormente hasta la punta de la apófisis mastoidea. El borde inferior del seno transversal lo localizamos aproximadamente como una línea imaginaria que une en sentido anteroposterior el arco cigomático y la unión entre el primer y segundo cuarto superior del pabellón auricular. 1, arco cigomático; 2, pabellón auricular; 3, localización aproximada del *asterion*; 4, localización aproximada del borde inferior del seno transversal; 5, apófisis mastoidea.

Tras la apertura de la incisión, cranealmente se profundiza hasta la región parieto-temporo-occipital y caudalmente se seccionan parcialmente las inserciones del músculo esternocleidomastoideo y de la musculatura profunda. Caudalmente el límite de la exposición estará en la arteria occipital y sus venas satélites, que cruzan en dirección superomedial tras emerger medialmente al músculo digástrico (Fig. 39).

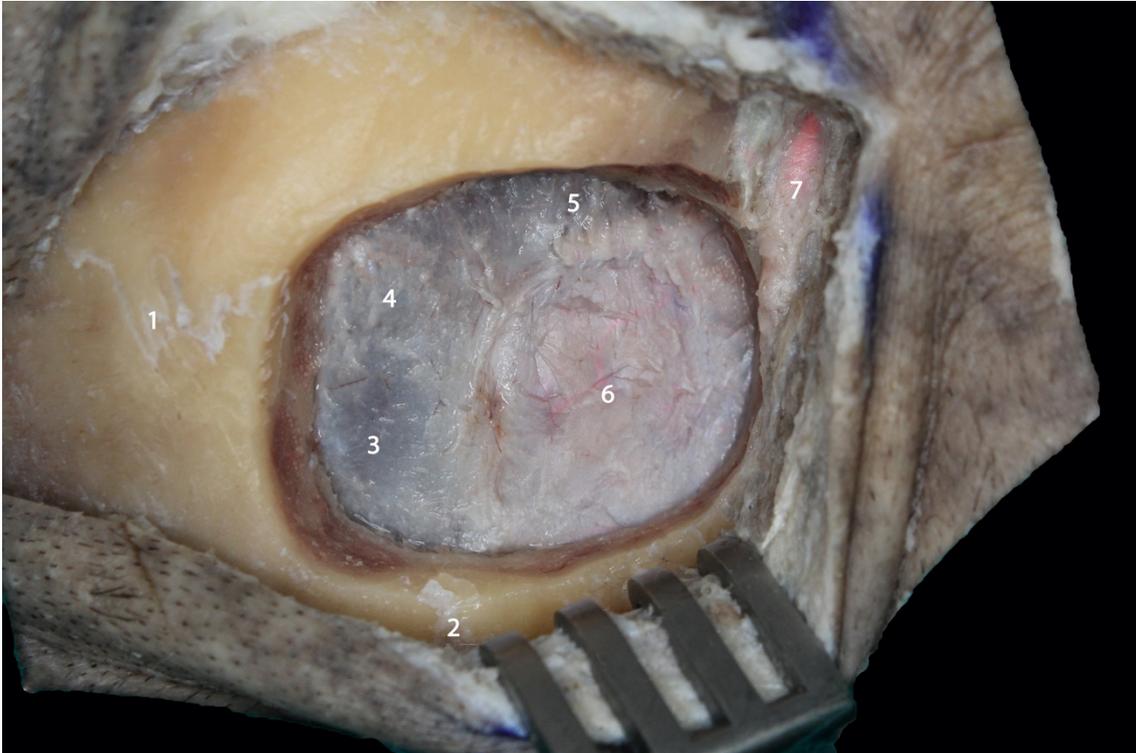


**FIGURA 39.** Exposición ósea tras separar los bordes de la incisión y disecar el colgajo perióstico. Algunas de las referencias de la figura 38 se localizan directamente sobre la superficie craneal. Caudalmente la disección se limitó en la arteria occipital y se seccionaron parcialmente las inserciones de la musculatura nual en la apófisis mastoides. 1, sutura temporo-parietal; 2, asterion; 3, sutura parieto-occipital; 4, sutura temporo-occipital; 5, apófisis mastoides; 6, ranura digástrica; 7, arteria occipital.

### 2.1.1. Craneotomía

En todos los especímenes se realizó una craneotomía estándar de aproximadamente 30 x 30 mm limitada al seno transversal cranealmente y al seno sigmoideo anteriormente. En primer lugar, se hizo un trépano de entrada a nivel de la región caudal al *asterion* para tener acceso al plano dural. Tomando este punto de referencia se realizó una craneotomía con sierra, ajustada a los bordes inferior y posterior del seno transversal y sigmoideo respectivamente. Tras la retirada del colgajo óseo se montó una fresa de 4 mm para completar los bordes de la craneotomía y dejar expuestos parcialmente el seno transversal (borde inferior) y seno sigmoideo (borde posterior). La

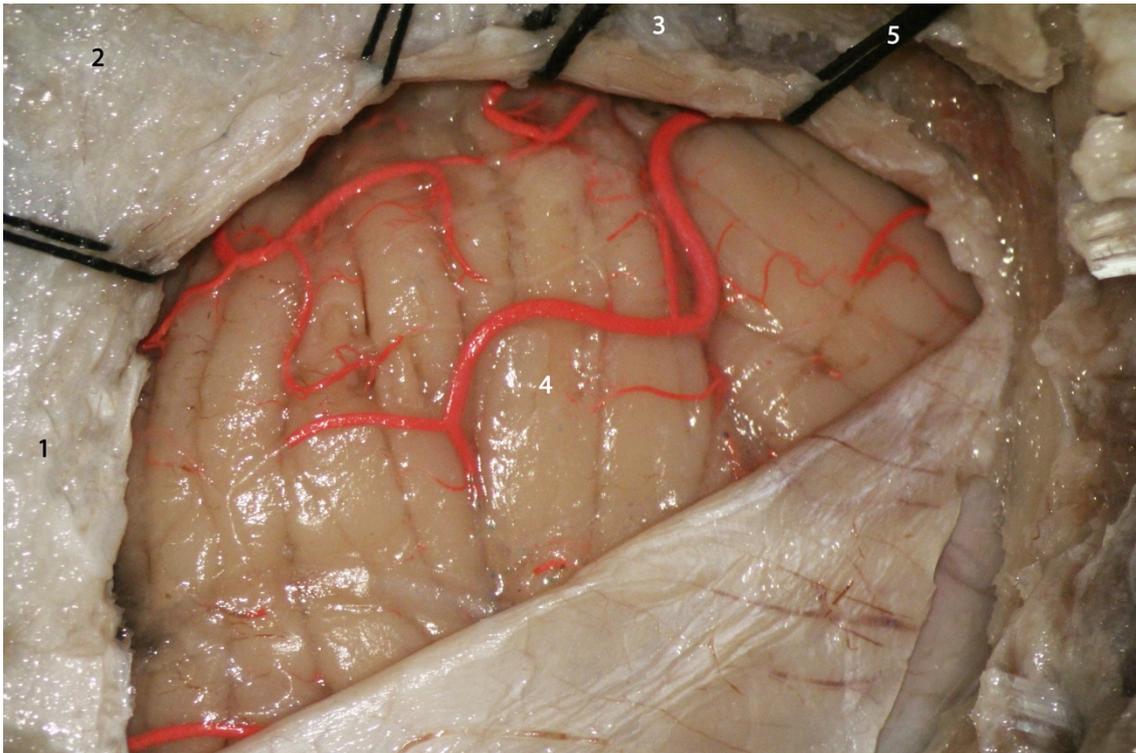
resección ósea en sentido caudal no pasó del punto donde la escama occipital se hace horizontal (Fig. 40).<sup>11, 12, 21, 43, 59, 62, 68, 80, 96-98</sup>



**FIGURA 40.** Exposición del plano dural tras completar la craneotomía suboccipital lateral. Nuestra ventana de trabajo queda centrada en el punto 6, con límite anterior el borde posterior del seno sigmoideo, límite superior el borde inferior del seno transversal y caudalmente limitado por la horizontalidad de la escama del hueso occipital. 1, sutura temporo-parietal; 2, sutura parieto-occipital; 3, seno transversal; 4, punto de transición entre seno transversal y sigmoideo (punto aproximado donde se localizaba el asterion en la superficie ósea); 5, seno sigmoideo; 6, duramadre sobre la superficie cortical del cerebelo; 7, arteria occipital.

### 2.1.2. Apertura dural y trabajo intradural

La apertura dural se realizó muy próxima a los contornos de los bordes inferior y posterior del seno transversal y sigmoideo respectivamente. Finalmente, la duramadre se abrió en forma de letra “C” rebatiendo el colgajo dural posteriormente hacia la línea media. Se aplicaron puntos de tracción sobre la duramadre remanente alrededor de los senos para aumentar la ventana de visión (Fig. 41).<sup>11, 12, 21, 43, 59, 62, 68, 80, 96-98</sup>

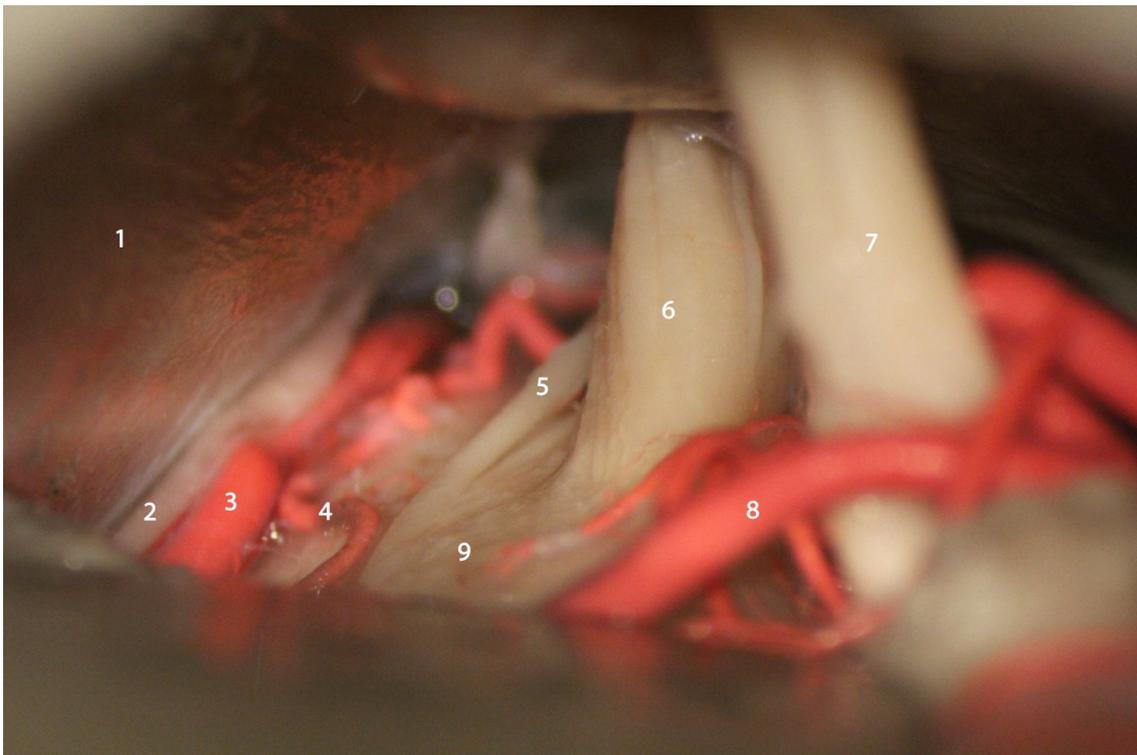


**FIGURA 41.** Imagen del espécimen tras la apertura de la duramadre. Se aplicaron puntos de tracción próximos a los senos transverso y sigmoideo para elevar la duramadre y obtener así, una mayor ventana de visión. Se observa la exposición de la superficie suboccipital lateral del cerebelo. 1, borde inferior del seno transverso; 2, punto de transición entre seno transverso y sigmoideo; 3, seno sigmoideo; 4, superficie suboccipital lateral del cerebelo; 5, puntos referenciales de suspensión dural.

En el paciente vivo, se puede relajar la superficie cerebelosa mediante la evacuación de líquido cefalorraquídeo de las cisternas, principalmente de las cisternas cerebelopontina y cerebelobulbar. De esta forma, tras relajarse las estructuras al evacuar líquido cefalorraquídeo, se permite la retracción de la superficie petrosa del cerebelo de una forma menos lesiva. Sin embargo, en los especímenes no podemos llevar a cabo esta maniobra y hay que aprovechar al máximo la disección aracnoidea para eliminar la mayor tensión posible y poder retraer la superficie petrosa del hemisferio cerebeloso simulando la técnica quirúrgica. Finalmente, se colocaron unos separadores de espátula plana, sostenidos con un extensor autoestático, en la posición que nos interesó para el abordaje a la oliva bulbar.

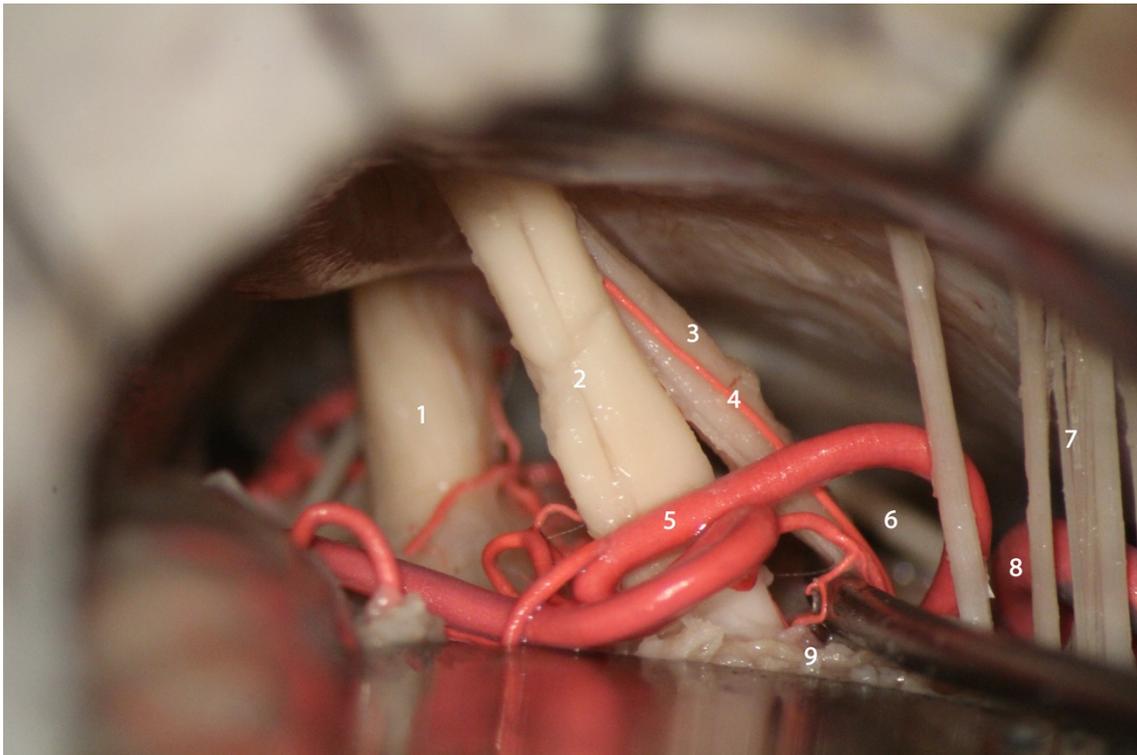
Mediante el abordaje retrosigmoideo se pudieron exponer los 3 grupos neurovasculares del ángulo pontocerebeloso descritos por el Prof. Rhoton:<sup>71,75</sup>

-Complejo neurovascular superior: se incluyen el nervio troclear (IVpc), el nervio trigémino (Vpc), la arteria cerebelosa superior con sus correspondientes ramas y el complejo venoso petroso superior (Fig. 42).



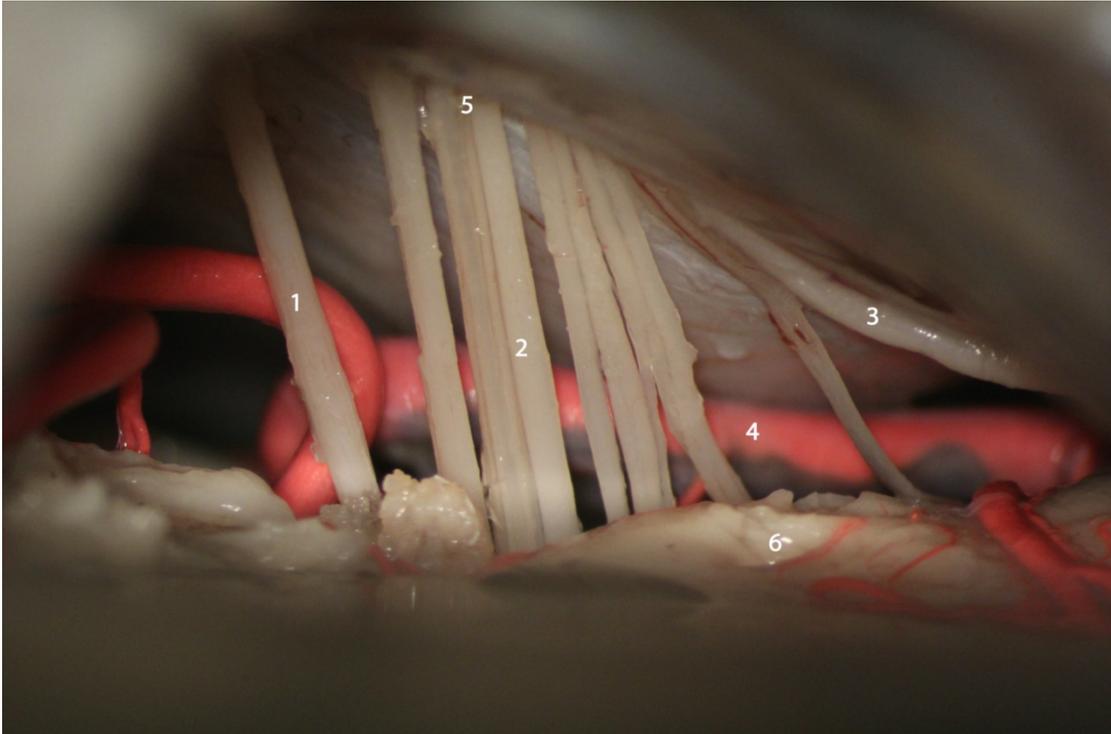
**FIGURA 42.** Tras la disección de la aracnoides se rebatió la superficie petrosa del cerebelo para visualizar los compartimentos neurovasculares. En esta imagen observamos el complejo neurovascular superior: nervio troclear (IVpc), nervio trigémino (Vpc) y arteria cerebelosa superior. Además, en el extremo derecho de la figura se puede observar parte del complejo neurovascular medio. 1, tentorio; 2, nervio troclear (IVpc), 3, arteria cerebelosa superior; 4, ramas de la arteria cerebelosa superior; 5, rama motora del nervio trigémino (Vpc); 6, nervio trigémino; 7, nervio vestibulococlear (VIIIpc); 8, arteria cerebelosa anteroinferior (AICA); 9, protuberancia.

-Complejo neurovascular medio: se incluye el nervio motor ocular externo (VIpc), nervio facial (VIIpc), nervio vestibulococlear (VIIIpc) y la arteria cerebelosa anteroinferior (AICA) (Fig. 43).



**FIGURA 43.** Imagen panorámica tras la retracción de la superficie petrosa del cerebelo, centrada en el complejo neurovascular medio: nervio motor ocular externo (VIpc), nervio facial (VIpc), nervio vestibulococlear (VIIIpc) y arteria cerebelosa anteroinferior (AICA). En el extremo izquierdo de la figura se visualiza parte del complejo superior y en el derecho parte del complejo inferior. 1, nervio trigémino (Vpc); 2, nervio vestibulococlear (VIIIpc); 3, nervio facial; 4, arteria laberíntica; 5, arteria cerebelosa anteroinferior (AICA); 6, nervio motor ocular externo (VIpc); 7, pares craneales bajos (IXpc, Xpc); 8, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 9, flóculo.

-Complejo neurovascular inferior: se incluye el nervio glossofaríngeo (IXpc), nervio vago (Xpc), nervio espinal (XIpc), nervio hipogloso (XIIpc) y la arteria cerebelosa posteroinferior (PICA). El abordaje retrosigmoideo evaluado en el presente trabajo consistió en la exposición de la oliva bulbar a través de la exposición y disección del complejo neurovascular inferior. (Fig. 44).



**FIGURA 44.** Imagen tras la retracción de la superficie petrosa del cerebelo centrada en el complejo neurovascular inferior. En esta proyección podemos observar los pares craneales IX, X y XI, pero no el surco preolivar con el XIIpc. La zona de trabajo de nuestro interés en la investigación será la comprendida entre el surco preolivar y retrolivar. De esta forma, para poder proyectar la visión anterior y caudalmente y visualizar dicho contenido estaremos limitados por el seno transversal cranealmente y seno sigmoideo anteriormente. 1, nervio glossofaríngeo (IXpc); 2, nervio vago (Xpc); 3, nervio espinal (XIpc), 4, arteria cerebelosa posteroinferior; 5, foramen yugular; 6, superficie posterolateral del bulbo raquídeo.

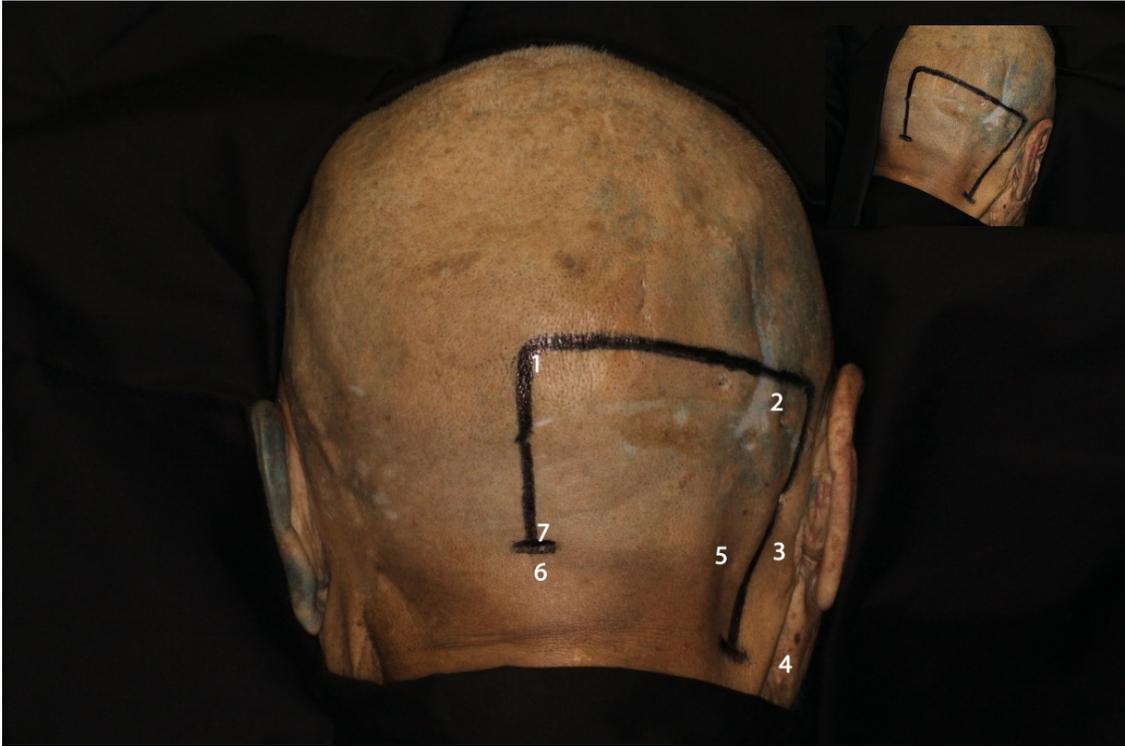
## **2.2. DISECCIÓN ANATÓMICA DEL ABORDAJE *FAR LATERAL***

Este abordaje quirúrgico fue realizado en los especímenes anatómicos siguiendo las instrucciones directas y protocolos de disección definidos y publicados en material bibliográfico por los directores del presente estudio de investigación (el Prof. González-Darder y el Prof. Quilis-Quesada), además de tener en cuenta otros autores con publicaciones registradas en la literatura.

La cabeza se fijó con el cefalostato Mayfield®, de tres pines, con dos pines en la línea temporal superior contralaterales al lado del abordaje y un pin en la línea temporal superior ipsilateral simulando la posición quirúrgica del cefalostato. A nivel quirúrgico el abordaje se puede realizar posicionando al paciente de distintos modos (decúbito lateral, semisentado, decúbito prono) en función de las preferencias del neurocirujano. Para la realización de los abordajes anatómicos, la cabeza se fijó simulando la posición semisentado, permitiendo una adecuada exposición de la región suboccipital.

El abordaje *far lateral* incluye: la disección de la musculatura occipito-cervical, realización de una craneotomía suboccipital lateral con resección del arco posterior del atlas, fresado del cóndilo occipital, apertura dural y trabajo intradural. La incisión cutánea se puede realizar de varias formas según la literatura. En nuestro trabajo se realizó la misma incisión en todos los especímenes cadavéricos. Con el objetivo de configurar una incisión en herradura con el eje terminal lateral 3-4 cm caudal a la apófisis mastoides (aproximadamente a la altura del borde inferior del ángulo de la mandíbula), y el eje medial a la altura de la apófisis espinosa de C2, se identificaron referencias anatómicas palpables: protuberancia occipital externa, arco posterior C1, proceso transverso de C1, la apófisis espinosa de C2 y la apófisis mastoides. El segmento horizontal de la incisión se situó inmediatamente caudal a la protuberancia occipital externa (Fig. 45).<sup>10, 17, 22, 25,</sup>

32, 45, 50, 54, 56, 61, 74, 84, 93, 94, 96-98



**FIGURA 45.** Posicionamiento de la cabeza simulando el campo quirúrgico para la realización de un abordaje *far lateral* derecho en la posición semisentado. En el contexto quirúrgico esta posición favorece el retorno venoso y el sangrado es menor, pero se deben incrementar las medidas de prevención frente al embolismo gaseoso. La cabeza se situó en posición prácticamente neutra, levemente rotada a la derecha y flexionada. En la figura se representa la incisión cutánea con origen del eje medial a nivel del borde superior de la apófisis espinosa de C2 dirigiéndose cranealmente hasta la protuberancia occipital externa. El eje superior perpendicular de la incisión se dirige lateralmente hasta llegar a unos 2 cm anterior al punto aproximado donde situaríamos el punto craneométrico *asterion*. El eje medial desciende pasando por la punta de la mastoides hasta llegar a la altura del ángulo de la mandíbula, aproximadamente 4-5 cm caudal a la mastoides. 1, *inion* o protuberancia occipital externa; 2, posición aproximada del *asterion*; 3, apófisis mastoides; 4, borde inferior del ángulo de la mandíbula; 5, proceso transversal de C1; 6, apófisis espinosa de C2; 7, arco posterior de C1.

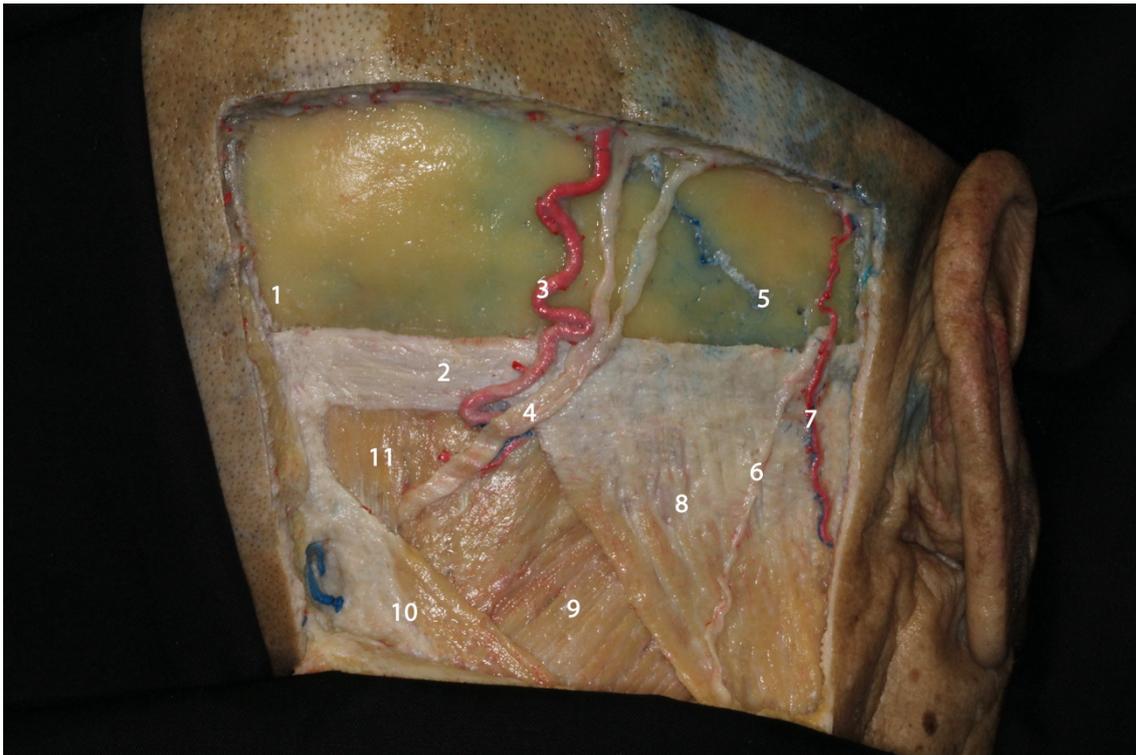
### 2.2.1. Fase muscular. Disección de la musculatura occípito-cervical

Tras delimitar la incisión, el colgajo cutáneo se rebatió caudal y medialmente con el objetivo de preservar su vitalidad mediante ramas de la arteria occipital. En el ámbito quirúrgico por regla general no se realiza una disección músculo a músculo, sino que se realiza un colgajo músculo-cutáneo que incluye los planos superficiales de la musculatura con el fin de mantener en bloque la potente musculatura de la región occípito-cervical.

Sin embargo, en la presente tesis, en el estudio anatómico se realizó una disección plano por plano de toda la musculatura de la región occípito-cervical, para comprender la configuración tridimensional y relaciones anatómicas con implicaciones directas en el abordaje.<sup>17, 84</sup>

En la región de la nuca podemos diferenciar un total de cuatro planos musculares: un primer plano superficial, dos intermedios y uno profundo.

· Primer plano (superficial): está formado por los músculos planos de la nuca, los músculos trapecio medialmente y esternocleidomastoideo lateralmente. El músculo trapecio se inserta en la protuberancia occipital externa y en la porción medial de la línea nugal superior. Lateralmente, el músculo esternocleidomastoideo se inserta en el borde lateral de la apófisis mastoides y en la porción lateral de la línea nugal superior (Fig. 46).



**FIGURA 46.** Exposición del primer plano muscular (musculatura superficial) tras rebatir el colgajo cutáneo caudalmente. La musculatura superficial se disecó con pulcritud del tejido graso y fibroso para preservar las fibras musculares y las estructuras vasculonerviosas. En el primer plano se objetiva el músculo trapecio medialmente y el músculo esternocleidomastoideo lateralmente ambos con inserción común en la línea nuchal superior. 1, protuberancia occipital externa; 2, línea nuchal superior; 3, arteria occipital; 4, nervio occipital mayor; 5, *asterion*; 6, nervio occipital menor; 7, arteria auricular posterior; 8, músculo esternocleidomastoideo; 9, músculo esplenio de la cabeza (*splenius capitis*); 10, músculo trapecio; 11, músculo semiespinoso (*semispinalis capitis*).

·Segundo plano: compuesto por el músculo esplenio de la cabeza (*splenius capitis*). Entre los bordes anterior del trapecio y posterior del esternocleidomastoideo se objetivan las fibras oblicuas con proyección caudal y latero-medial del músculo esplenio de la cabeza. Este potente músculo se inserta en la línea nuchal superior por debajo de los músculos del primer plano y en la apófisis mastoides también caudal al esternocleidomastoideo (Fig. 47).



**FIGURA 47.** Tras la desinserción de los músculos esternocleidomastoideo y trapecio de la línea nuchal superior se rebatieron caudalmente para exponer el segundo plano muscular. En la figura se objetivan las fibras del músculo esplenio de la cabeza con una dirección caudal en sentido posteromedial. 1, protuberancia occipital externa; 2, línea nuchal superior; 3, arteria occipital; 4, nervio occipital mayor; 5, *asterion*; 6, arteria auricular posterior; 7, músculo esplenio de la cabeza (*splenius capitis*); 8, músculo semiespinoso (*semispinalis capitis*).

·Tercer plano: compuesto por los músculos semiespinoso (*semispinalis capitis*) y longuísimo de la cabeza (*longissimus capitis*). Éstos son conocidos como un grupo de músculos largos. El músculo semiespinoso se inserta en la escama del hueso occipital entre la línea nuchal superior e inferior y el músculo longuísimo de la cabeza en la apófisis mastoides. Estos músculos se dirigen caudalmente para insertarse en las apófisis espinosas de las vértebras cervicales y dorsales. Más lateralmente se inserta en la mastoides el músculo elevador de la escápula y el vientre posterior del músculo digástrico. La arteria occipital entra en el campo caudal y medial al vientre posterior del digástrico y circula craneal y superficial al músculo oblicuo superior y al longuísimo de la cabeza (Fig. 48).

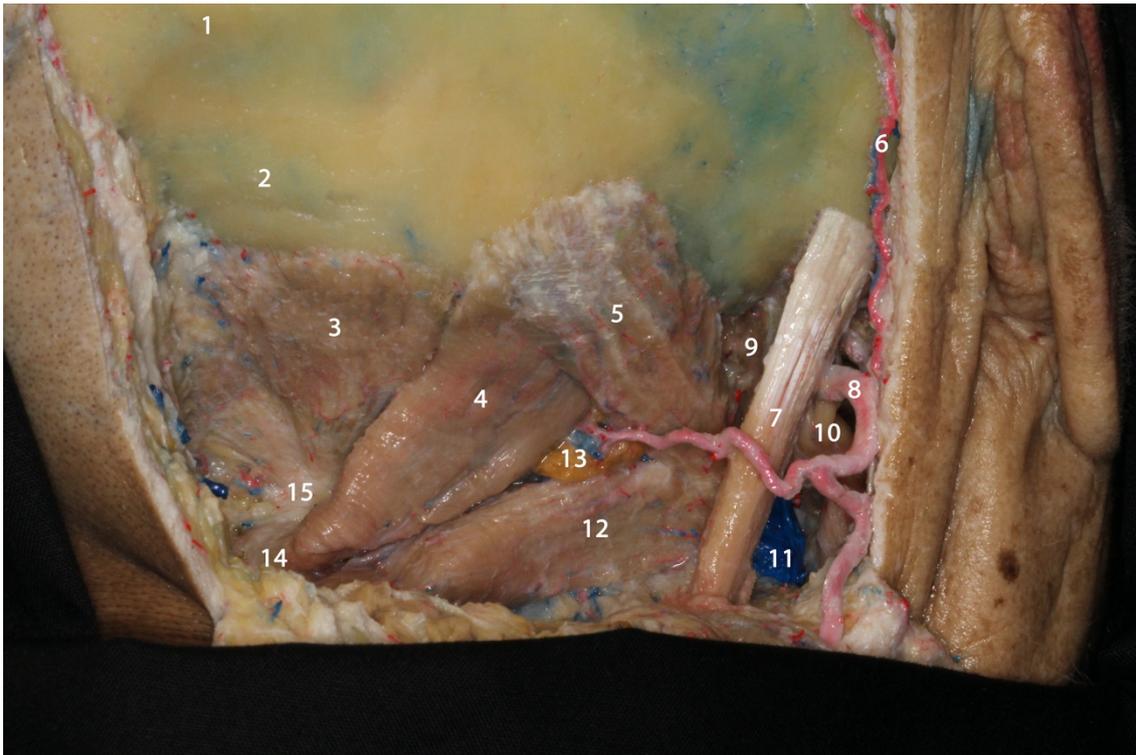


**FIGURA 48.** Tras la desinserción del músculo esplenio de la cabeza de la línea nucal superior y de la apófisis mastoides se rebatió caudalmente para exponer el tercer plano muscular configurado por el longuísimo de la cabeza y semiespinoso. En la figura se observa como la arteria occipital entra en el campo anatómico caudal y medial al vientre posterior del digástrico circulando craneal y superficial al músculo oblicuo superior y al longuísimo de la cabeza. 1, protuberancia occipital externa; 2, línea nucal superior; 3, arteria occipital; 4, nervio occipital mayor; 5, asterion; 6, arteria auricular posterior; 7, apófisis mastoides; 8, músculo longuísimo de la cabeza (*longissimus capitis*); 9, vena yugular interna; 10, vientre posterior del músculo digástrico; 11, músculo oblicuo superior; 12, músculo semiespinoso (*semispinalis capitis*).

·Cuarto plano (profundo): compuesto por los músculos rectos y oblicuos que conforman el triángulo suboccipital: medialmente el músculo recto posterior mayor (*rectus capitis posterior major*), craneal y lateralmente el músculo oblicuo superior, caudal y lateralmente por el músculo oblicuo inferior. Estos músculos son cortos y potentes con una morfología cónica. El músculo recto posterior mayor se inserta en la apófisis espinosa de C2 y cranealmente a nivel de la línea nucal inferior. El músculo oblicuo superior tiene un trayecto oblicuo con inserción desde la apófisis transversa de

C1 hasta la línea nuchal inferior por encima del músculo recto posterior mayor. El músculo oblicuo inferior tiene un trayecto oblicuo desde la apófisis espinosa de C2 hasta el proceso transversal de C1. En este plano muscular hay otros músculos cortos de interés anatómico. El músculo recto posterior menor (*rectus capitis posterior minor*), localizado medialmente al músculo recto posterior mayor. Éste se inserta en el tubérculo posterior del atlas y se dirige verticalmente hasta insertarse en la línea nuchal inferior. Finalmente, el músculo recto lateral (*rectus capitis lateralis*) transcurre desde el proceso transversal de C1 hasta el proceso yugular del hueso occipital delimitando el borde posterior del foramen yugular en su salida extracraneal.

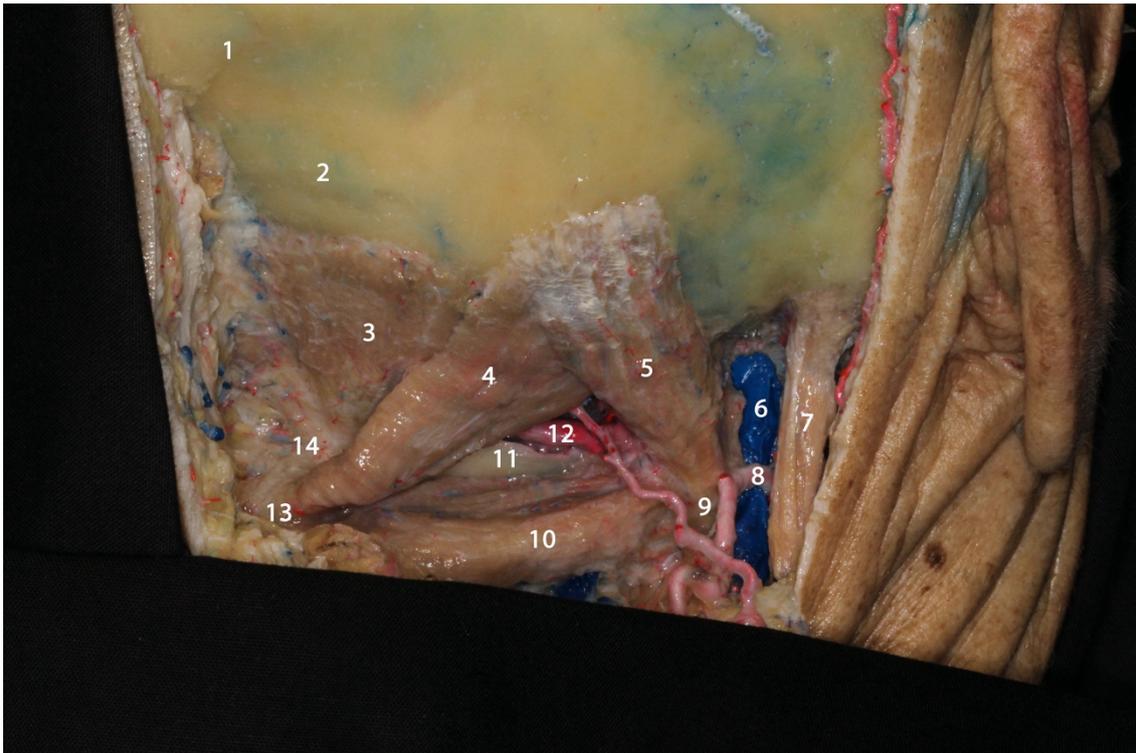
El triángulo occipital cumple una función referencial anatómica y quirúrgica ya que en su interior se localiza y expone la arteria vertebral. Este triángulo se encuentra relleno de tejido adiposo y fibroso con un importante plexo venoso que rodea la arteria vertebral en su segmento V3. Una vez eliminado el tejido fibroadiposo y plexo venoso se identifica perfectamente la arteria vertebral y caudalmente el primer nervio espinal (Figs. 49, 50, 51 y 52).<sup>17, 84</sup>



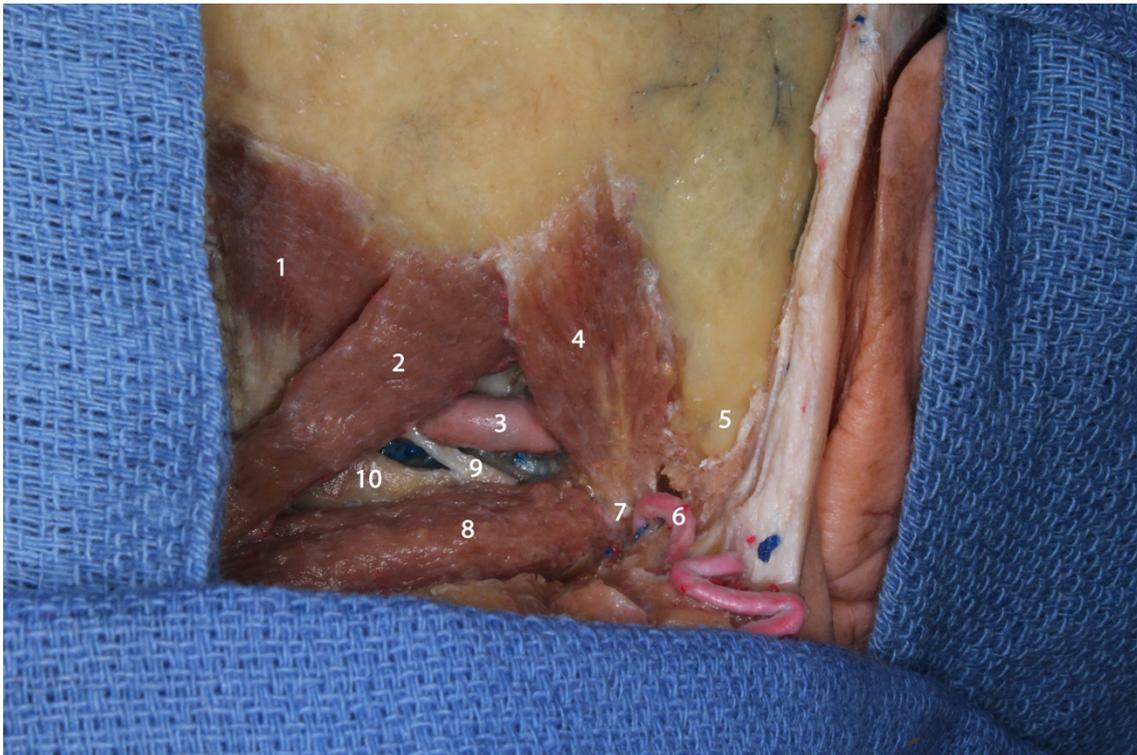
**FIGURA 49.** En esta figura el músculo semiespinoso se desinsertó de la línea nucal superior y se rebatió caudalmente para exponer la musculatura del cuarto plano (musculatura profunda). Se delimita el triángulo suboccipital configurado por tres músculos cortos y de forma cónica: el músculo recto posterior mayor (desde la apófisis espinosa de C2 hasta la línea nucal inferior en una dirección superoexterna), el músculo oblicuo superior (desde el proceso transverso de C1 hasta la línea nucal inferior por encima del recto posterior mayor) y el músculo oblicuo inferior (desde la apófisis espinosa de C2 hasta el proceso transverso de C1 lateralmente). En el interior del triángulo objetivamos en la presente figura el tejido fibroadiposo y plexo venoso que recubren la arteria vertebral y el primer nervio espinal sobre el arco posterior de C1. A su vez, medial a los músculos del triángulo suboccipital se identifica el músculo recto posterior menor. Lateralmente se identifica el músculo recto lateral que une el proceso transverso de C1 y el proceso yugular, recubriendo el borde posterior del foramen yugular. 1, línea nucal superior; 2, concha occipital; 3, músculo recto posterior menor; 4, músculo recto posterior mayor; 5, músculo oblicuo superior; 6, arteria auricular posterior; 7, músculo longuísimo de la cabeza; 8, arteria occipital; 9, músculo recto lateral; 10, vientre posterior del músculo digástrico; 11, vena yugular interna; 12, músculo oblicuo inferior; 13, tejido fibroadiposo y plexo venoso del triángulo suboccipital; 14, apófisis espinosa de C2; 15, tubérculo posterior del arco de C1.



**FIGURA 50.** El músculo longuísimo de la cabeza y el músculo recto lateral se desinsertaron y se rebatieron caudalmente para exponer detalladamente la musculatura del triángulo suboccipital. 1, línea nugal superior; 2, concha occipital; 3, músculo recto posterior menor; 4, músculo recto posterior mayor; 5, músculo oblicuo superior; 6, vena yugular interna; 7, vientre posterior del músculo digástrico; 8, arteria occipital; 9, proceso transverso de C1; 10, músculo oblicuo inferior; 11, borde superior del arco posterior de C1; 12, tejido fibroadiposo y plexo venoso del triángulo suboccipital; 13, apófisis espinosa de C2; 14, túberculo posterior del arco de C1.



**FIGURA 51.** El contenido fibroadiposo y plexo venoso del triángulo suboccipital fue disecado con pulcritud para exponer el segmento V3 de la arteria vertebral, arco posterior de C1 y primer nervio espinal. Destacar en esta figura que como se verá más adelante en los puntos anatómicos de interés, la superficie que ocupa el músculo oblicuo superior queda delimitando gran parte de nuestra zona de ángulo de ataque a la oliva bulbar. 1, línea nuchal superior; 2, concha occipital; 3, músculo recto posterior menor; 4, músculo recto posterior mayor; 5, músculo oblicuo superior; 6, vena yugular interna; 7, vientre posterior del músculo digástrico; 8, arteria occipital; 9, proceso transverso de C1; 10, músculo oblicuo inferior; 11, borde superior del arco posterior de C1; 12, arteria vertebral; 13, apófisis espinosa de C2; 14, túberculo posterior del arco de C1.



**FIGURA 52.** Imagen en otro espécimen anatómico del triángulo suboccipital. Es de interés en esta imagen valorar las relaciones musculares del triángulo y la configuración espacial de las estructuras anatómicas en su interior de craneal a caudal: arteria vertebral, primer nervio espinal (C1) y borde superior del arco posterior de C1. 1, músculo recto posterior menor; 2, músculo recto posterior mayor; 3, arteria vertebral; 4, músculo oblicuo superior; 5, apófisis mastoides; 6, arteria occipital; 7, proceso transversal de C1; 8, músculo oblicuo inferior; 9, primer nervio espinal (C1); 10, arco posterior de C1.

Tras exponer el contenido del triángulo suboccipital se procedió a la disección de los músculos del cuarto plano muscular (profundo) para tener una visión completa de las estructuras vasculonerviosas subyacentes y de la unión occípito-cervical. El músculo oblicuo superior se desinsertó de la línea nucal inferior y se rebatió inferolateralmente; el músculo recto posterior mayor se desinsertó de la línea nucal inferior y se rebatió inferomedialmente; el músculo oblicuo inferior se desinsertó del proceso transversal de C1 y se rebatió inferomedialmente; y el músculo recto posterior menor se desinsertó de la línea nucal inferior y del túberculo posterior de C1 para tener una mejor visualización anatómica de la región occípito-cervical. Tras ser rebatidos todos los planos musculares

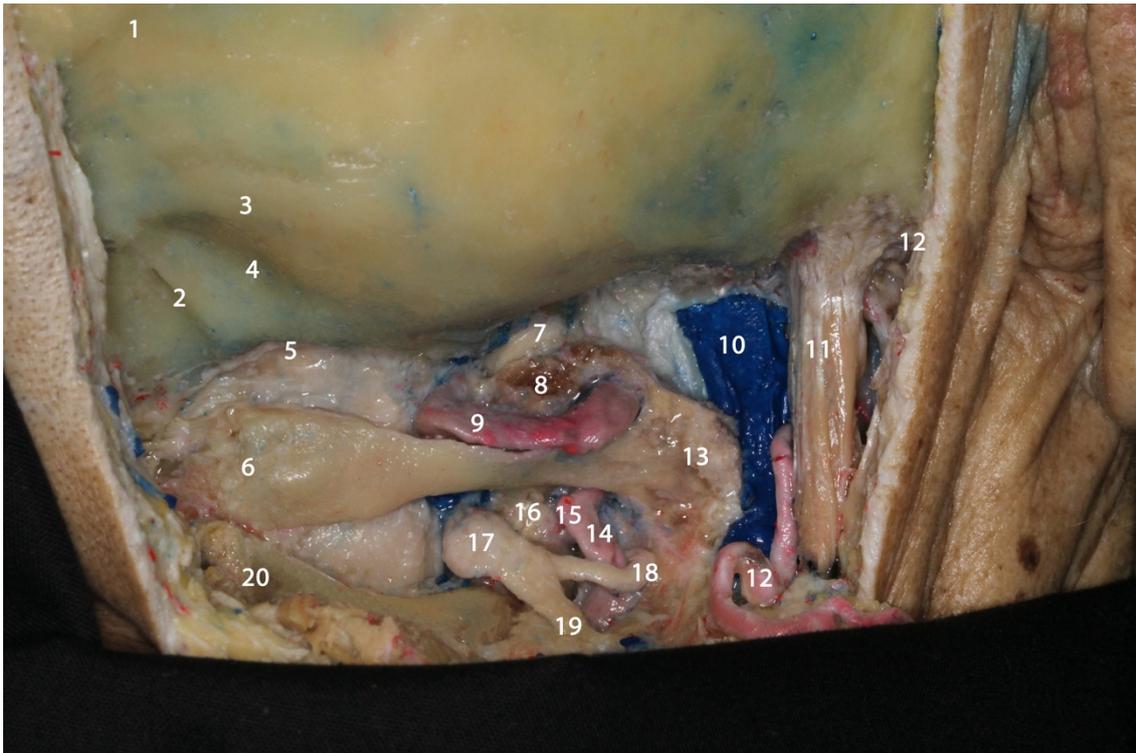
quedaron expuestos tres tipos de estructuras (Figs. 53 y 54):<sup>10, 17, 22, 25, 32, 45, 50, 54, 56, 61, 74, 84, 93, 94, 96-98</sup>

·Arteria vertebral: la arteria vertebral se identifica inicialmente en el triángulo suboccipital (segmento V3). Dicho segmento se extiende desde el foramen transverso de C1 hasta que atraviesa la duramadre. En el foramen transverso de C1 existe un prominente anillo fibroso que rodea la arteria vertebral. El segmento V3 de la arteria vertebral emite una serie de ramas que pueden ser a veces variables en su origen. Por regla general se origina un ramo muscular y la arteria meníngea posterior. Además de estas ramas, está descrito en la bibliografía el origen extradural de la arteria cerebelosa posteroinferior en un 10 % de los casos aproximadamente.<sup>73</sup> Sin embargo, no se pudo observar tal variante anatómica en los especímenes disecados. Tras la retirada de la musculatura pudimos identificar también la porción distal del segmento V2 o intertransversario. En este segmento la arteria discurre a través de los forámenes transversos de las vértebras cervicales hasta llegar al foramen transverso de C1. En este segmento se originan varios ramos arteriales musculares. En todo este trayecto, desde la región cervical hasta la entrada intradural, la arteria vertebral está rodeada y en contacto con estructuras óseas y a su vez protegida y rodeada por un importante plexo venoso. Por regla general, la arteria vertebral del lado izquierdo fue de mayor calibre, siendo éste el lado dominante.

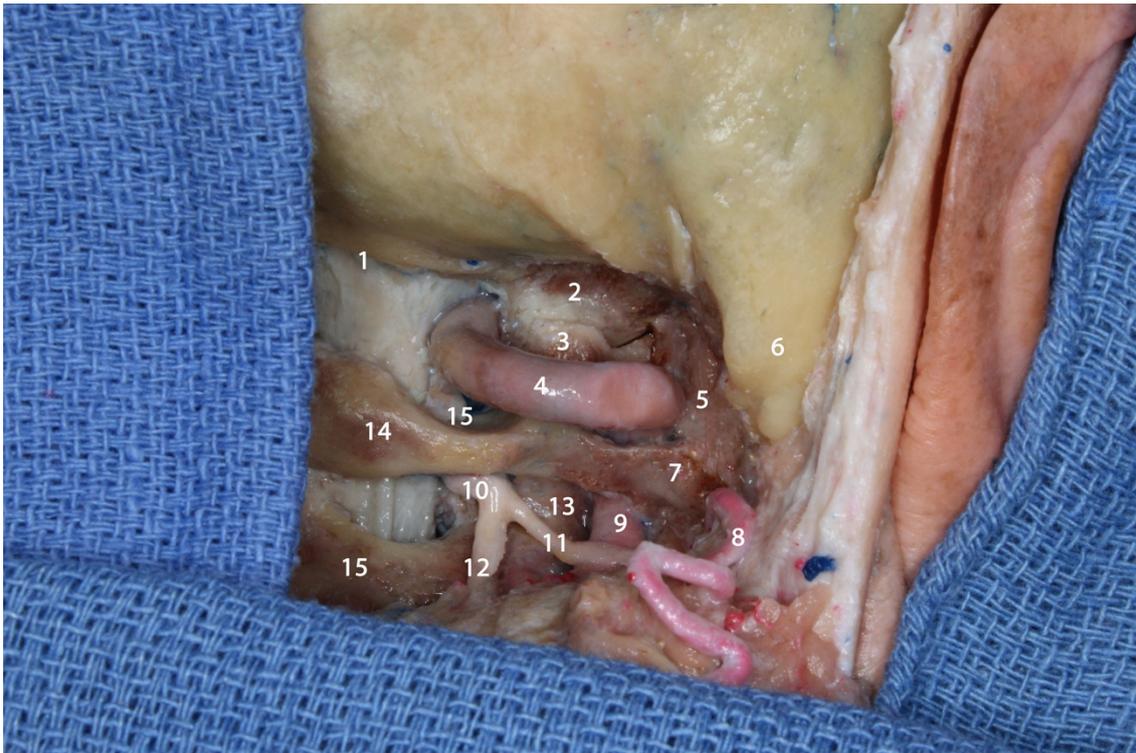
·Primer y segundo nervios espinales: una vez se rebatió la musculatura del triángulo suboccipital, los primeros nervios espinales fueron identificados. El primer nervio espinal (C1) se localiza caudal a la arteria vertebral en su segmento V3 y craneal al borde superior del arco posterior de C1. El segundo nervio espinal (C2), aparece en la región posterolateral del canal medular entre C1 y C2, con el ganglio visible posterior a la articulación atloaxoidea. Distalmente al ganglio, el nervio se divide en una rama anterior y otra posterior. La rama anterior se relaciona con el segmento V2 de la arteria

vertebral. En cambio, la rama posterior tiene un trayecto posterior rodeando el músculo oblicuo inferior y origina dos ramas: una craneal que forma el nervio occipital mayor y aparece en el tercer plano muscular a través del músculo semiespinoso; y una rama medial que se distribuye a través de la musculatura nual.

·Elementos osteoligamentosos (articulación occipitoatloidea C0-C1): tras rebatir la musculatura suboccipital se identificaron las estructuras óseas de mayor relevancia para el abordaje *far lateral*: la unión cráneo-cervical y la articulación occipitoatloidea (C0-C1). El cóndilo occipital se localiza en la porción anterolateral del foramen magno, con una morfología ovalada y una orientación de unos 45° en dirección anteromedial con respecto al plano sagital medio. El canal del hipogloso se localiza en el interior del cóndilo occipital, siendo un elemento referencial de este abordaje. En su interior discurren las siguientes estructuras: nervio hipogloso (XII pc), una arteria meníngea rama de la arteria faríngea ascendente y un rico plexo venoso. El trayecto del canal lo podemos delimitar desde su origen intracraneal hasta su salida extracraneal. Intracranealmente el canal del hipogloso se localiza posterior a nivel del cóndilo (entre el tercio posterior y los dos tercios anteriores) y extracranealmente lo identificamos anterior (entre los dos tercios posteriores y el tercio anterior). A su vez, el cóndilo occipital, considerado como el eje central de nuestro abordaje *far lateral*, presenta una serie de relaciones anatómicas relevantes que delimitan el campo de trabajo. Lateralmente y en profundidad, encontramos el tubérculo yugular, localizado entre el foramen yugular cranealmente y con el canal del hipogloso caudalmente. Anterior al cóndilo occipital se localiza el clivus, borde anterior del foramen magno. La vertiente posterior del cóndilo occipital presenta un número variable de depresiones donde las venas emisarias condíleas penetrarán para conectar el plexo venoso de la arteria vertebral con el seno sigmoideo.<sup>40, 41, 44</sup>



**FIGURA 53.** En la presente figura la musculatura del cuarto plano (profunda) se desinsertó y se rebatió caudalmente para exponer el contenido vasculonervioso y osteoligamentoso profundo al triángulo suboccipital. Objetivamos la arteria vertebral con un inicio caudal en su segmento V2 a nivel del foramen transverso de C2, dirigiéndose cranealmente para dar un giro de 90° tras pasar el foramen transverso de C1 y dar así el segmento V3 o horizontal de la arteria. En el espacio atloaxoideo posterolateral observamos la salida del segundo nervio espinal C2 con sus dos ramas distales al ganglio. En el centro de la figura se centra la articulación occipitoatloidea (C0-C1), que como se verá en los siguientes puntos configurará el eje central de visión de nuestro abordaje. 1, línea nuchal superior; 2, cresta occipital externa 3, línea nuchal inferior; 4, concha occipital; 5, reborde posterior del foramen magno; 6, arco posterior de C1; 7, cóndilo occipital (C0); 8, cara articular superior de la masa lateral del atlas; 9, segmento V3 de la arteria vertebral; 10, vena yugular interna; 11, vientre posterior del músculo digástrico; 12, apófisis mastoides; 13, proceso transverso de C1; 14, segmento V2 de la arteria vertebral; 15, ramo muscular arterial del segmento V2; 16, articulación atloaxoidea (C1-C2); 17, segundo nervio espinal en el ganglio (C2); 18, rama anterior de C2; 19, rama posterior de C2; 20, apófisis espinosa de C2.



**FIGURA 54.** Imagen tras la retirada de la musculatura del triángulo suboccipital en otro espécimen anatómico. 1, reborde posterior del foramen magno; 2, cóndilo occipital; 3, cara articular superior de la masa lateral del atlas; 4, segmento V3 de la arteria vertebral; 5, musculo recto lateral; 6, apófisis mastoides; 7, proceso transverso de C1; 8, arteria occipital; 9, segmento V2 de la arteria vertebral; 10, segundo nervio espinal en el ganglio (C2); 11, rama anterior de C2; 12, rama posterior de C2; 13, articulación atloaxoidea (C1-C2); 14, arco posterior de C1; 15, lámina de C2.

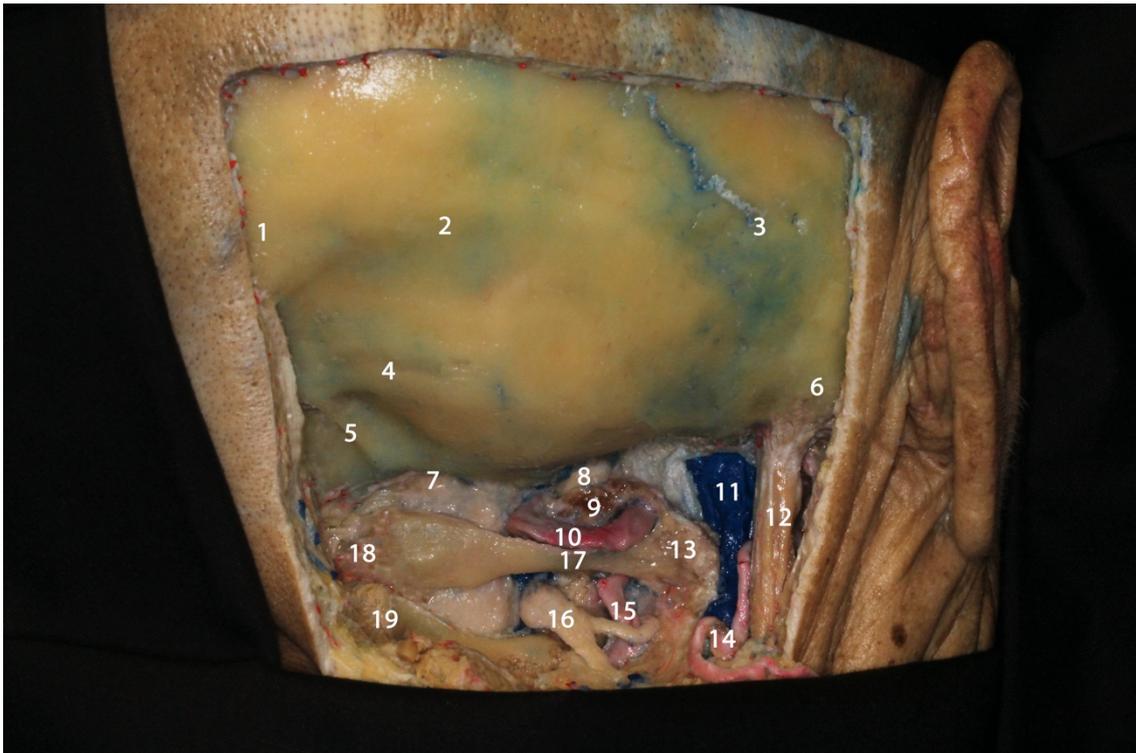
### 2.2.2. Craneotomía suboccipital lateral y resección del arco posterior del atlas

Para la realización del presente estudio de investigación se realizó una craneotomía estándar para el abordaje *far lateral* común descrito en la literatura. Siguiendo el protocolo en todos los especímenes se realizó una craneotomía suboccipital lateral, exponiendo el seno sigmoideo y seno transversal con apertura del foramen magno. Se resecó el arco posterior de C1, desde el tubérculo posterior hasta su proceso transverso lateral.<sup>10, 17, 22, 25, 32, 45, 50, 54, 56, 61, 74, 84, 93, 94, 96-98</sup>

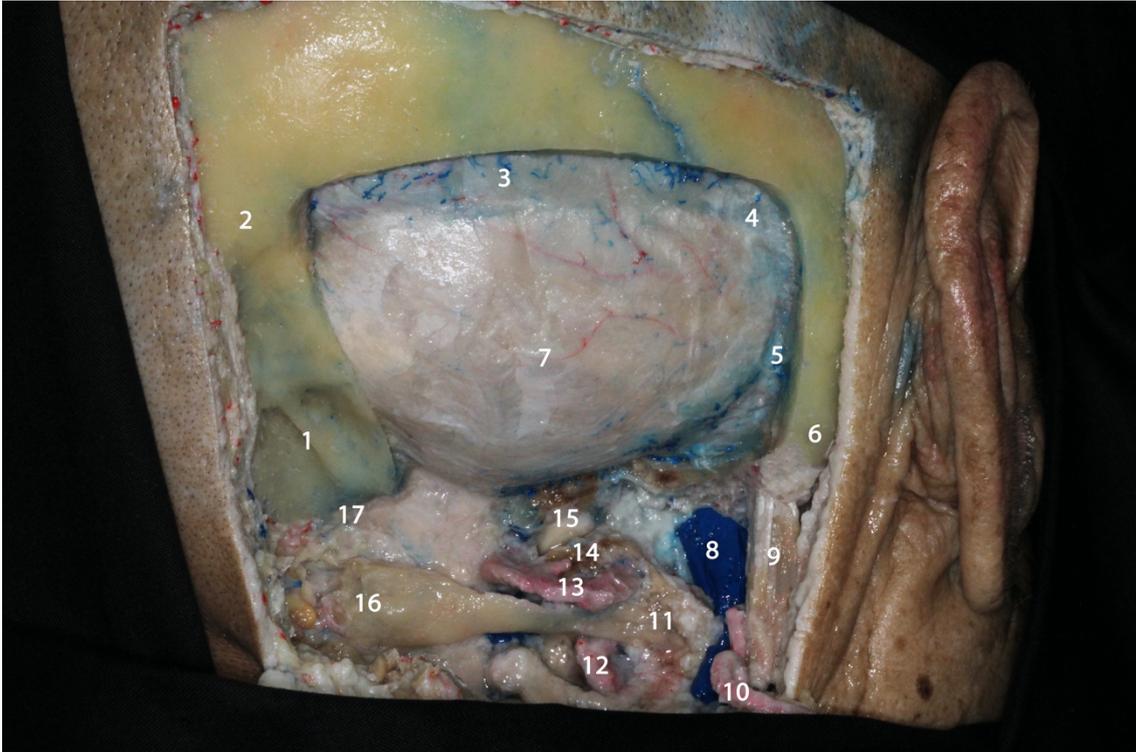
En primer lugar, se identificaron puntos craneométricos en la superficie craneal que nos permitieron centrar los *keyholes* de la forma más precisa posible. El *asterion*, donde confluyen las suturas parieto-occipital, tèmpero-occipital y tèmpero-parietal nos

marca en profundidad la localización aproximada de la transición del seno transversal al sigmoideo. La línea nucal superior, donde se insertan los músculos de las primeras capas musculares, nos delimita de una forma aproximada en profundidad la proyección del seno transversal (Fig. 55). De esta forma se realizaron dos *keyholes*: uno inferoposterior al *asterion* y otro inferolateral al *inion* y línea temporal superior. Se realizaron en esta posición con el objetivo de no dañar el seno transversal y sigmoideo al realizar la craneotomía con la sierra protegida, ya que los bordes de los senos suelen presentar mayor adherencia a la tabla interna del cráneo. Los *keyholes* se unieron con el paso de la sierra con terminación inferior en el foramen magno. Al finalizar esta primera fase de la craneotomía, el seno transversal y seno sigmoideo quedaron cubiertos por hueso. Se montó una fresa de 4 mm para completar el trabajo de fresado y exposición del seno transversal y sigmoideo (Fig. 56).

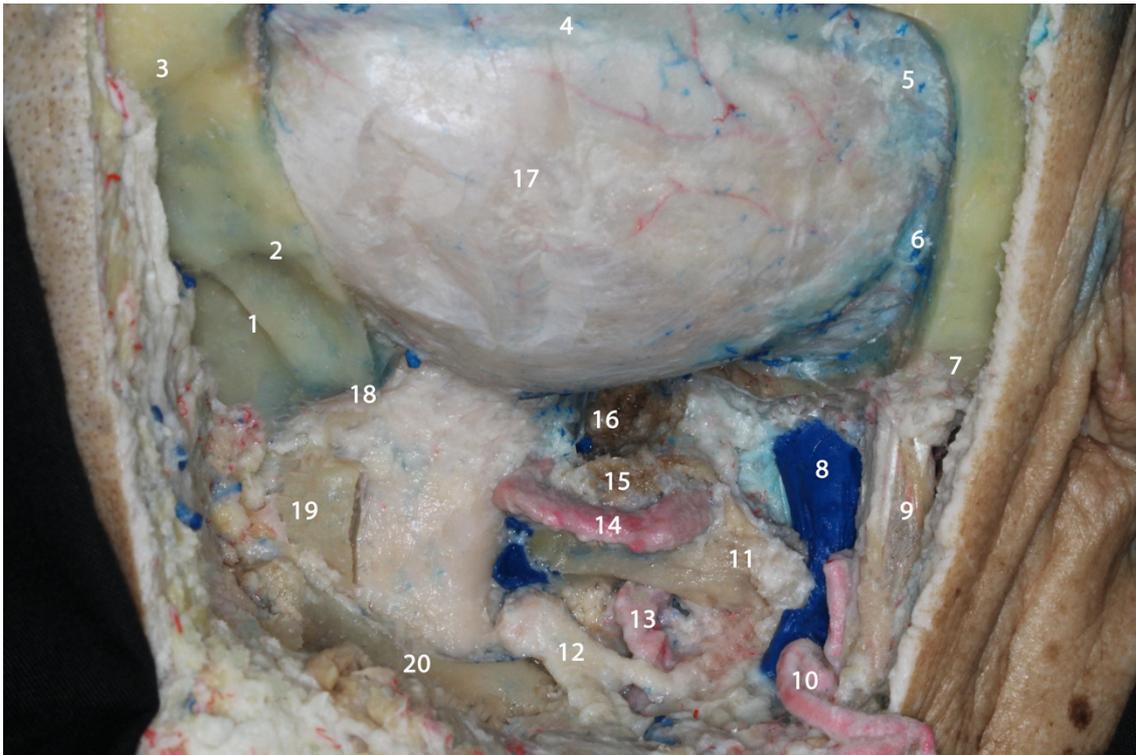
Tras finalizar la craneotomía suboccipital lateral se realizó el desmontaje del arco posterior de C1. Se despegó la duramadre del canal raquídeo de la superficie perióstica del borde interno del arco. Mediante el uso del motor de alta velocidad con sierra protegida se realizaron dos osteotomías: una medial a nivel del tubérculo posterior y a la altura de la masa lateral (Fig. 57).<sup>10, 17, 22, 25, 32, 45, 50, 54, 56, 61, 74, 84, 93, 94, 96-98</sup>



**FIGURA 55.** Exposición de los puntos craneométricos identificables en la superficie occipital previa realización de la craneotomía suboccipital lateral y resección del arco posterior de C1. El punto 2, marca la línea nucal superior, que localiza la trayectoria aproximada en profundidad del seno transverso. El punto 3 localiza el *asterion*, punto de convergencia de las suturas parieto-occipital, tèmpero-occipital y tèmpero-parietal. Este punto marca de forma aproximada la transición del seno transverso al seno sigmoide. Los 2 *keyholes* se realizaron caudal y lateral al punto 1 (*inion*) y posteroinferior al punto 3 (*asterion*). La unión entre el *keyhole* 1 y 3 se realizó con la sierra siguiendo una trayectoria caudal a la línea nucal superior con el objetivo de preservar anatómicamente el seno transverso. El *keyhole* 1 se comunicó con el reborde posterior del foramen magno, mientras que el *Keyhole* 3 se comunicó con el reborde lateral del foramen magno discurriendo posterior al seno sigmoide. La exposición completa del seno transverso y sigmoideo se realizó con la técnica de fresado. Finalmente, el arco posterior de C1 se desmontó mediante dos cortes: a nivel del tubérculo posterior de C1 y medial al foramen transverso. 1, *inion*; 2, línea nucal superior; 3, *asterion*; 4, línea nucal inferior; 5, cresta occipital externa; 6, apófisis mastoides; 7, reborde posterior del foramen magno; 8, cóndilo occipital; 9, cara articular superior de la masa lateral del atlas; 10, segmento V3 de la arteria vertebral; 11, vena yugular interna; 12, vientre posterior del músculo digástrico; 13, proceso transverso de C1; 14, arteria occipital; 15, segmento V2 de la arteria vertebral; 16 segundo nervio espinal (C2); 17, punto de corte lateral para la retirada del arco posterior; 18, tubérculo posterior de C1, punto de corte medial; 19, apófisis espinosa de C2.



**FIGURA 56.** Exposición dural de la fosa posterior con los límites de la craneotomía suboccipital lateral tras la retirada del colgajo óseo. Superiormente limitada por el seno transverso, lateralmente por el seno sigmoideo, caudalmente por el foramen magno, cóndilo occipital y tubérculo yugular. 1, cresta occipital externa; 2, *inion*; 3, seno transverso; 4, transición del seno transverso al sigmoideo; 5, seno sigmoideo; 6, apófisis mastoides; 7, duramadre cubriendo el hemisferio cerebeloso derecho; 8, vena yugular interna; 9, vientre posterior del músculo digástrico; 10, arteria occipital; 11, proceso transverso de C1; 12, segmento V2 de la arteria vertebral; 13, segmento V3 de la arteria vertebral; 14, cara articular superior de la masa lateral del atlas; 15, cóndilo occipital; 16, tubérculo posterior de C1; 17, reborde posterior del foramen magno.

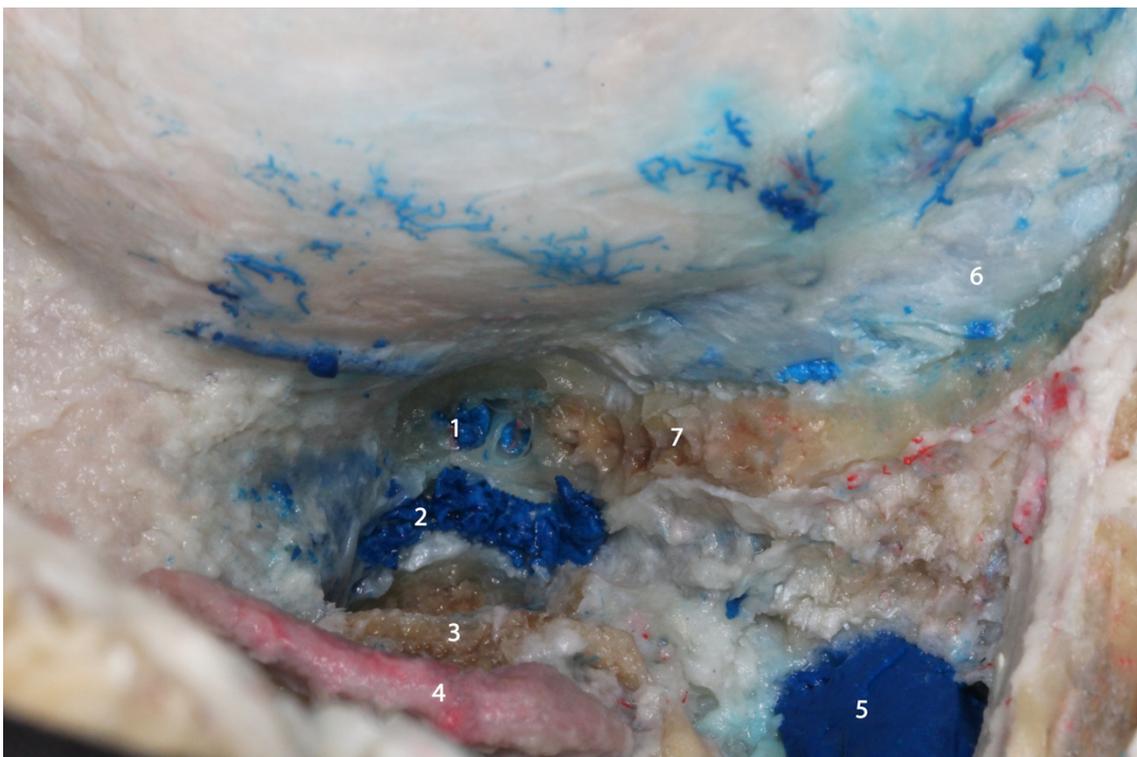


**FIGURA 57.** Exposición de la craneotomía suboccipital lateral tras la eliminación del arco posterior de C1 que permitirá descender la apertura dural y obtener una mayor ventana de visión. 1, cresta occipital externa; 2, línea nuchal inferior; 3, *inion*; 4, seno transverso; 5, transición del seno transverso al sigmoideo; 6, seno sigmoideo; 7, apófisis mastoides; 8, vena yugular interna; 9, vientre posterior del músculo digástrico; 10, arteria occipital; 11, proceso transverso de C1; 12, segundo nervio espinal; 13, segmento V2 de la arteria vertebral; 14, segmento V3 de la arteria vertebral; 15, cara articular superior de la masa lateral del atlas; 16, cóndilo occipital; 17, duramadre cubriendo el hemisferio cerebeloso derecho; 18, reborde posterior del foramen magno; 19, arco posterior de C1; 20, lámina de C2.

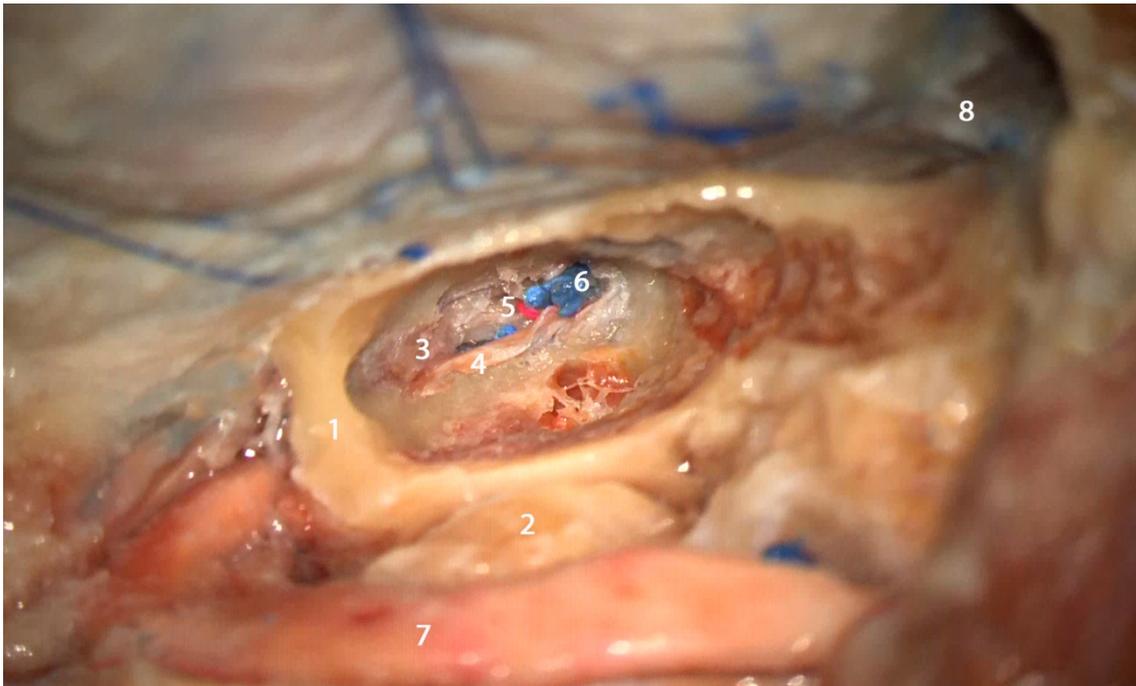
### 2.2.3. Fresado del cóndilo occipital. Abordaje transcondilar

Tras la realización de la craneotomía suboccipital lateral y desmontaje del arco posterior de C1 se completó el abordaje en todos los especímenes mediante la variante transcondilar. Esta variante incluye un fresado de la porción posterior del cóndilo occipital hasta exponer el canal del hipogloso. En el cadáver, igual que en el ser vivo, tras fresar la superficie cortical del cóndilo se identifica hueso esponjoso. A partir de ese momento, se lleva a cabo el vaciado del contenido esponjoso del cóndilo hasta exponer de nuevo superficies corticales. Medialmente la superficie cortical se corresponderá al

límite intracraneal; en profundidad, la cortical expuesta define el recorrido del canal del XIIpc. En mayor profundidad se llegó a un segundo nivel de hueso cortical correspondiente al canal del hipogloso. Como se ha descrito en apartados anteriores del presente trabajo, dado el trayecto del canal del hipogloso, se resecó el tercio posteromedial y los dos tercios posterolaterales del cóndilo. Se expusó por completo el contenido de todo el trayecto del canal: plexo venoso, arteria meníngea (rama de la arteria faríngea ascendente) y nervio hipogloso. La resección del cóndilo permitió incrementar el ángulo de visión de la exposición intradural tras la apertura de la duramadre, especialmente a nivel ventral (Figs. 58 y 59).<sup>10, 17, 22, 25, 32, 45, 50, 54, 56, 61, 74, 84, 93, 94, 96-98</sup>



**FIGURA 58.** Exposición del canal del hipogloso tras el fresado parcial del segmento posterior del cóndilo. Tras la apertura del canal objetivamos el rico plexo venoso que rodea la arteria meníngea y el nervio hipogloso. 1, venas condíleas posteriores; 2, canal del hipogloso exponiendo el plexo venoso; 3, cara articular superior de la masa lateral del atlas; 4, segmento V3 de la arteria vertebral; 5, vena yugular interna; 6, seno sigmoideo; 7, tubérculo yugular.

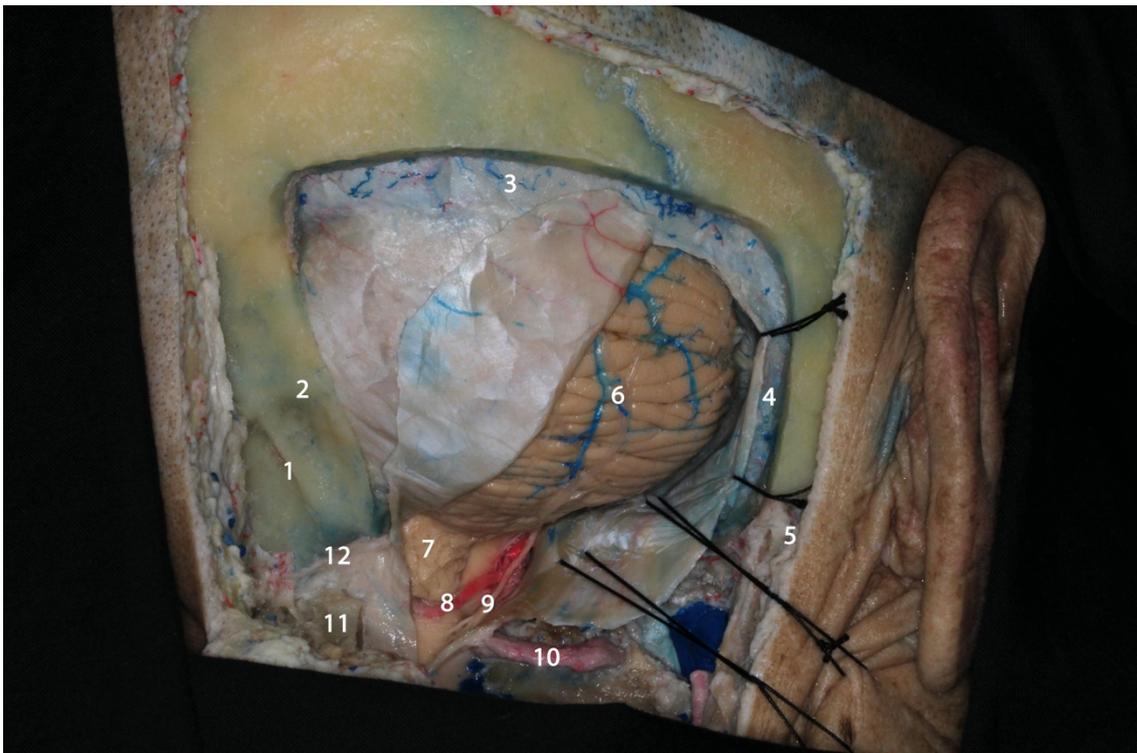


**FIGURA 59.** Exposición del contenido del canal del hipogloso tras eliminar parte del plexo venoso que cubre las estructuras internas del mismo. Se expuso en esta fase el nervio hipogloso, arteria meníngea rama de la arteria faríngea ascendente y parte del plexo venoso. 1, cóndilo occipital; 2, cara articular superior de la masa lateral del atlas; 3, canal del hipogloso; 4, nervio hipogloso, 5, arteria meníngea rama de la arteria faríngea ascendente; 6, plexo venoso del canal del hipogloso; 7, segmento V3 de la arteria vertebral; 8, seno sigmoideo.

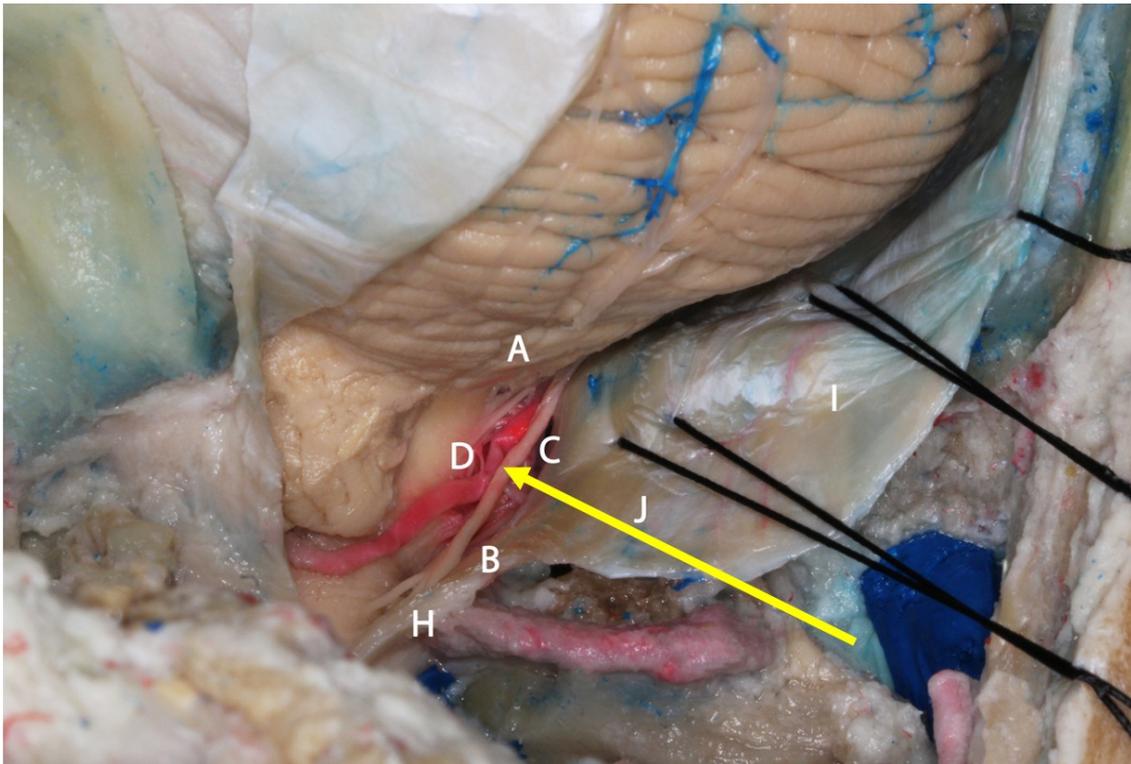
#### **2.2.4. Apertura dural y trabajo intradural**

Tras la finalización de la craneotomía suboccipital lateral, la eliminación del arco posterior de C1 y fresado del cóndilo occipital, se procedió a abrir la duramadre siguiendo el mismo esquema de apertura en todos los especímenes. Se realizó una incisión curvilínea iniciándose cranealmente posterior al seno sigmoideo, descendiendo caudalmente y paralelo al seno hasta la región cervical, bajando la incisión hasta la región inferomedial del punto de entrada de la arteria vertebral. Los extremos de la apertura dural se extendieron hasta los límites máximos permitidos por el diseño de la craneotomía. La duramadre se rebatió medialmente y lateralmente con el uso de puntos referenciales a tensión para ampliar la exposición. En el ámbito quirúrgico, tras la apertura dural, es posible acceder a la aracnoides de la cisterna magna para la evacuación de líquido

cefalorraquídeo y permitir la relajación del cerebelo y elementos de la fosa posterior para minimizar su retracción. En cambio, en el cadáver no podemos utilizar a nuestro beneficio dicha maniobra y por lo tanto la disección aracnoidea y manipulación de las estructuras anatómicas intradurales fue extensa y cuidadosa para no comprometer la integridad de las estructuras (Figs. 60 y 61).<sup>10, 17, 22, 25, 32, 45, 50, 54, 56, 61, 74, 84, 93, 94, 96-98</sup>

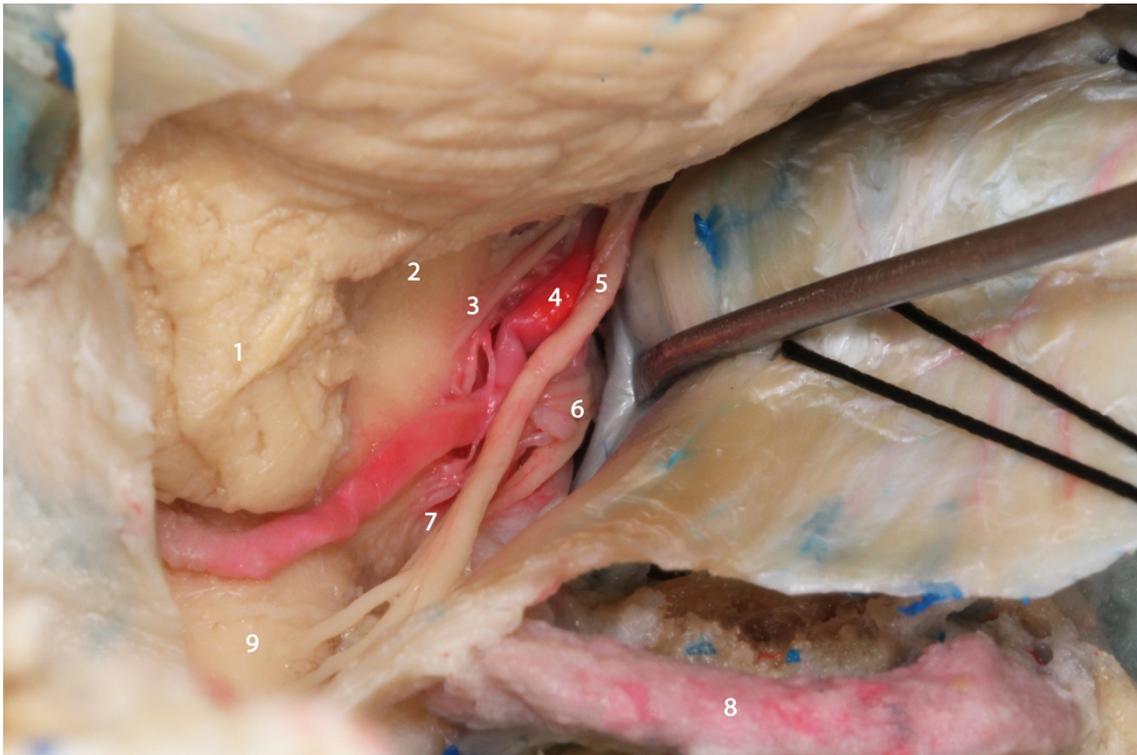


**FIGURA 60.** Visión del abordaje tras la apertura dural. Nuestro campo de visión y de trabajo quedará limitado al tercio inferior de la apertura. Es de interés en esta imagen valorar la importancia del fresado del cóndilo occipital (variante transcondilar) y del arco posterior de C1 para incrementar la visión y ganar seguridad en el campo quirúrgico. 1, cresta occipital externa; 2, línea nugal inferior; 3, seno transversal; 4, seno sigmoideo; 5, apófisis mastoideas; 6, hemisferio cerebeloso derecho; 7, amígdala cerebelosa; 8, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 9, nervio espinal (XIpc); 10, segmento V3 de la arteria vertebral; 11, arco posterior de C1; 12, reborde posterior del foramen magno.

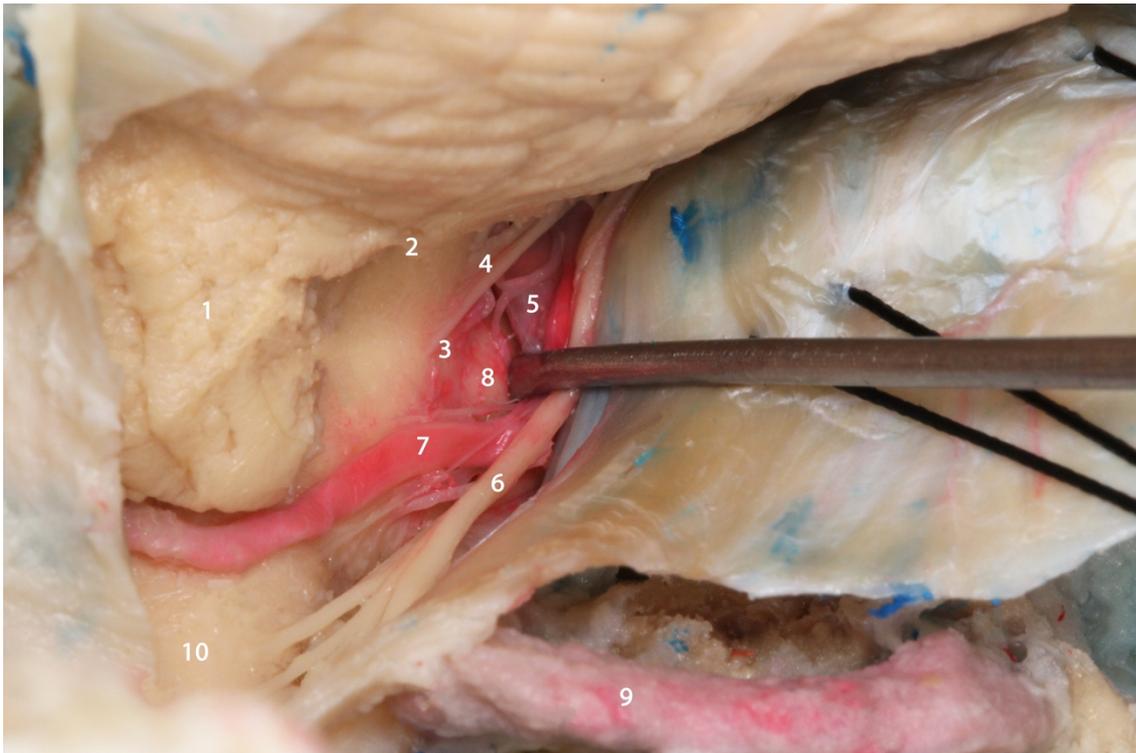


**FIGURA 61.** Visión posterior del abordaje tras la apertura dural donde se encuentran marcados los puntos anatómicos referenciales de interés en el abordaje *far lateral*. Estos puntos fueron los más relevantes para tomar las medidas de interés: distancias de trabajo, ángulos y superficie de exposición de la oliva bulbar. Estos puntos son: A, punto más craneal de la oliva bulbar (localización aproximada en profundidad ya que en esta figura el cerebelo no está retraído); B, punto más caudal de la oliva bulbar; C, punto en el surco preolivar equidistante entre A y B; D, punto en el surco retrolivar equidistante de A y B; H, entrada dural de la arteria vertebral; I, punto más basal y medial del seno sigmoideo; J, punto equidistante de H e I. La flecha amarilla muestra la dirección desde nuestro punto central de visión hasta la oliva bulbar.

Tras la realización de una disección aracnoidea de la región posterobasal del cerebelo y posterolateral del tronco cerebral, se procedió a la exploración de la superficie anterolateral del tronco cerebral mediante el desplazamiento cuidadoso de estructuras neurovasculares que dificultan la visualización de nuestro objetivo. Desplazando lateralmente la duramadre apoyada sobre la superficie basal del cóndilo occipital, se expuso el trayecto del nervio hipogloso desde el surco preolivar hasta el canal del hipogloso. Para la exposición de la oliva bulbar de desplazaron lateralmente la arteria cerebelosa posteroinferior y el nervio espinal (Figs. 62 y 63).



**FIGURA 62.** Exposición del trayecto intradural del nervio hipogloso (6) tras rebatir lateralmente la duramadre sobre la superficie basal del cóndilo occipital. En la figura se puede intuir el origen en su extremo medial a nivel del surco preolivar, delimitando este punto el límite anterior de la oliva bulbar. 1, amígdala cerebelosa; 2, fisura cerebelobulbar; 3, pares craneales bajos (IXpc, Xpc), en el surco retrolivar; 4, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 5, nervio espinal (XIpc); 6, nervio hipogloso (XIIpc); 7, punto más caudal del surco retrolivar; 8, segmento V3 de la arteria vertebral; 9, médula espinal cervical (cordón posterior).



**FIGURA 63.** Exposición de la oliva bulbar tras rebatir lateralmente la arteria cerebelosa posteroinferior y el nervio espinal. 1, amígdala cerebelosa; 2, fisura cerebelobulbar; 3, surco retrolivar; 4, pares craneales bajos IX pc, X pc; 5, arteria vertebral intradural; 6, nervio espinal (Xpc); 7, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 8, oliva bulbar; 9, segmento V3 de la arteria vertebral; 10, médula espinal cervical (cordón posterior).

Una vez completado el abordaje *far lateral* transcondilar en su totalidad se procedió a la toma de medidas directas.

### 3. PROTOCOLO DE RECOGIDA DE DATOS

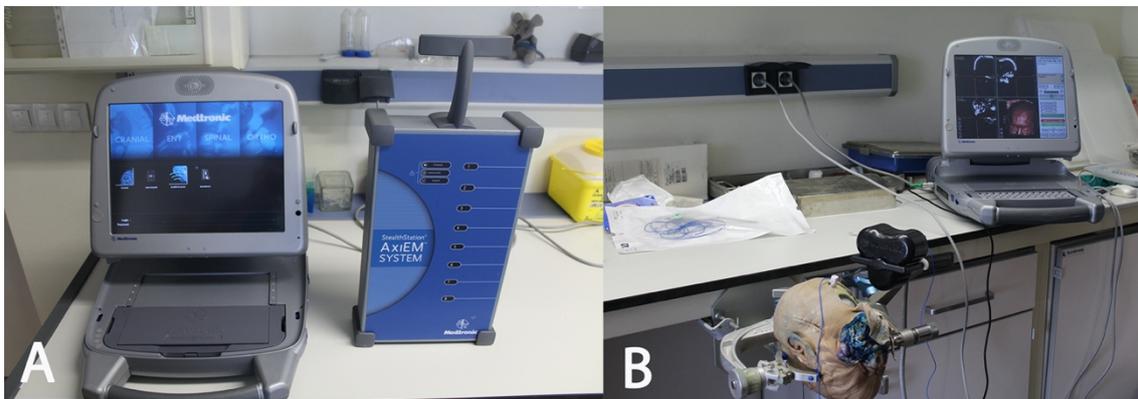
Una vez realizados los abordajes en los especímenes anatómicos, se diseñó un protocolo de medición y recogida de datos protocolizado. Se seleccionaron unos puntos anatómicos en cada abordaje, que pudieran ser identificados en estudios de resonancia magnética y tomografía computarizada. Estos puntos se seleccionaron a partir de la experiencia quirúrgica y de las observaciones en las disecciones cadavéricas realizadas. El cálculo de los vectores entre estos puntos del espacio ortogonal nos permitió calcular las distancias de trabajo, superficie de exposición y ángulo de ataque a la oliva bulbar.

Tras la selección de estos puntos se procedió a realizar todas las medidas directas en los especímenes disecados, y de esta forma calcular distancias de trabajo, superficie de exposición y ángulo de ataque a la oliva bulbar. Para ello se utilizaron reglas milimétricas y un pie de rey. Sin embargo, para la realización de estas mediciones de forma directa existieron numerosas dificultades técnicas, ya que se trata de campos anatómicos muy reducidos y la obtención de mediciones precisas no es posible en determinadas zonas del campo. Teniendo en cuenta la dificultad técnica y variabilidad interobservador se utilizó un sistema de neuronavegación mediante tomografía computerizada de los especímenes para realizar medidas indirectas, y así aumentar la precisión en zonas de dificultad técnica para la medición.

#### **-Neuronavegación de los especímenes:**

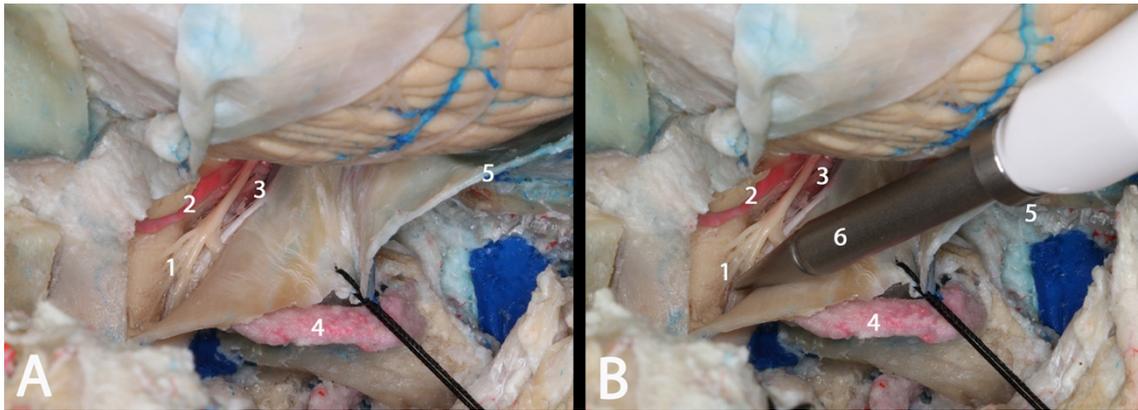
Las 8 cabezas realizadas en el laboratorio de neuroanatomía microquirúrgica del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Universitat de València y las 2 cabezas realizadas en el ‘Arkansas Neuroscience Institute Microsurgical Anatomy Laboratory’ (Little Rock, Arkansas, USA), fueron sometidas previamente y tras la realización de los abordajes a estudios de tomografía computerizada (TC) de múltiples cortes. Estos estudios fueron realizados mediante un tomógrafo con capacidad de generar imágenes multicorte (Siemens Somatom go All) de Siemens Medical Systems, Inc., Erlangen, Germany. Tras la obtención de los estudios y una vez realizados los abordajes en los especímenes se transfirieron los estudios de imagen a la estación Stealth Viz Treon (Medtronic Surgical Navigation Technologies, Louisville, USA) para su neuronavegación. Utilizando la interfaz Craneal 4.0, pudimos preparar los estudios y editar los parámetros de visualización para permitir un correcto proceso de neuronavegación. Se utilizó el modelo de navegación magnética, con el que se utiliza un

pin fijado a la calota craneal, un brazo magnético y un puntero de navegación. Para obtener la posición en el espacio de todos los elementos estructurales del espécimen anatómico se tomaron los puntos de superficie mediante *tracer* y se procedió a la navegación magnética. De esta forma, el brazo magnético identifica la posición fija del pin y permite inferir la posición ortogonal del puntero de navegación en el estudio de imagen (Fig. 64).



**FIGURA 64.** Sistema de neuronavegación magnética utilizado para el registro de medidas indirectas con el sistema Stealth Viz Treon (Medtronic Surgical Technologies, Louisville, CO). Los estudios de TC craneal multicorte realizados en los especímenes fueron previamente cargados en el software del neuronavegador. En la imagen A se muestra la pantalla de neuronavegación y la central de navegación magnética. En la imagen B se muestra el montaje completo del neuronavegador en uno de los especímenes durante la toma de mediciones indirectas.

Mediante el uso de un puntero de navegación se localizaron los puntos anatómicos de interés y se registraron los datos definidos en el protocolo mediante la interfaz. Estos valores permitieron la recogida de datos y su análisis estadístico cuyos resultados se detallan en el apartado correspondiente del presente trabajo (Fig. 65).



**FIGURA 65. Proceso de neuronavegación y registro de los puntos anatómicos mediante medición indirecta. En la imagen B se muestra el puntero de neuronavegación magnética, seleccionando el punto anatómico referencial D, correspondiente al surco retrolivar. 1, surco retrolivar, salida de los pares craneales bajos (IXpc, Xpc, XI pc); 2, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA), 3, nervio hipogloso (XIIpc); 4, segmento V3 de la arteria vertebral; 5, punto más basal y medial del seno sigmoideo; 6, puntero de neuronavegación magnética.**

#### **-Estudios de resonancia magnética de alta definición (3DT2):**

Tras completar el estudio anatómico y obtener los datos referentes a todos los abordajes realizados, se decidió ampliar la muestra del presente estudio de tesis doctoral mediante el uso de resonancias magnéticas de alta definición (3DT2, multicorte, 0.8 mm de espesor) de pacientes anónimos sin patología craneal ni cerebral. Los puntos referenciales utilizados fueron los mismos definidos en los estudios anatómicos. La obtención de datos mediante resonancia magnética no sería posible sin el trabajo previo de disección en cadáver, identificación de puntos referenciales y su posterior correlación con la TC y la RM. Se diseñó un protocolo de medición que permitiese a su vez una medición en los especímenes y en estudios de imagen mediante software de visualización de imágenes médicas específico. Utilizando los estudios de resonancia magnética se consiguieron obtenciones de datos submilimétricos y permitió aumentar la validez del estudio de investigación dado el aumento del tamaño muestral. Todos los estudios de RM seleccionados fueron realizados previamente a la realización de la presente tesis, sin tener relación con la misma y obtenidos de las bases de datos del Servicio de Radiodiagnóstico

del Hospital Clínico Universitario de Valencia, siguiendo la normativa vigente respecto a la protección de datos LOPD RD 1720/2007.

En el presente estudio se utilizaron 30 resonancias magnéticas (60 olivas bulbares), que fueron cargados en formato DICOM al software de procesamiento de imágenes médicas Horos® ('Free DICOM image viewer'). Este programa informático permite la visualización de imágenes médicas (resonancia magnética, tomografía computerizada, etc.) y además presenta multitud de herramientas 2D y 3D, que permiten el procesamiento de imágenes. Presenta un visor 3D que permite diferentes tipos de reconstrucciones: reconstrucción volumétrica, reconstrucción multiplanar (MPR), etc. La reconstrucción multiplanar (MPR) permitió analizar las imágenes en los 3 planos del espacio ortogonal (axial, coronal y sagital). De esta forma se pudieron seleccionar ROIs ('*region of interest*') en los puntos anatómicos de interés y obteniendo las coordenadas en los 3 ejes cartesianos (ejes X, Y y Z). El procesamiento y trabajo de las imágenes con Horos® nos permitió la obtención de datos suficientes para calcular distancias de trabajo, ángulos y superficies de exposición. Se realizó un registro punto por punto en los estudios de imagen (30 estudios, 60 olivas bulbares) en los tres planos (axial, coronal y sagital) y elaboró una hoja de datos para su ulterior procesamiento estadístico.

Para la recogida de datos, en los cadáveres, mediante medición directa existe una limitación técnica y de muestra; con las mediciones indirectas (con neuronavegación de TC) existe menor limitación técnica, más precisión, pero la muestra sigue siendo limitada. En cambio, con el uso de puntos referenciales obtenidos en el estudio cadavérico, e identificados en resonancia magnética con el uso de softwares específicos, no existen limitaciones técnicas ni de muestra.

### **3.1. PROTOCOLO DE RECOGIDA DE DATOS PARA EL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO**

#### **-Puntos anatómicos referenciales para el abordaje retrosigmoideo:**

Se define un círculo de 30 mm de diámetro, que representa las dimensiones de una craneotomía estándar con su punto más craneal en el seno transverso y su punto más anterolateral en el seno sigmoideo (Figs. 66, 67, 68 y 69).

**PUNTO A:** Punto más craneal de la oliva bulbar

**PUNTO B:** Punto más caudal de la oliva bulbar

**PUNTO C:** Punto a nivel del surco preolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T

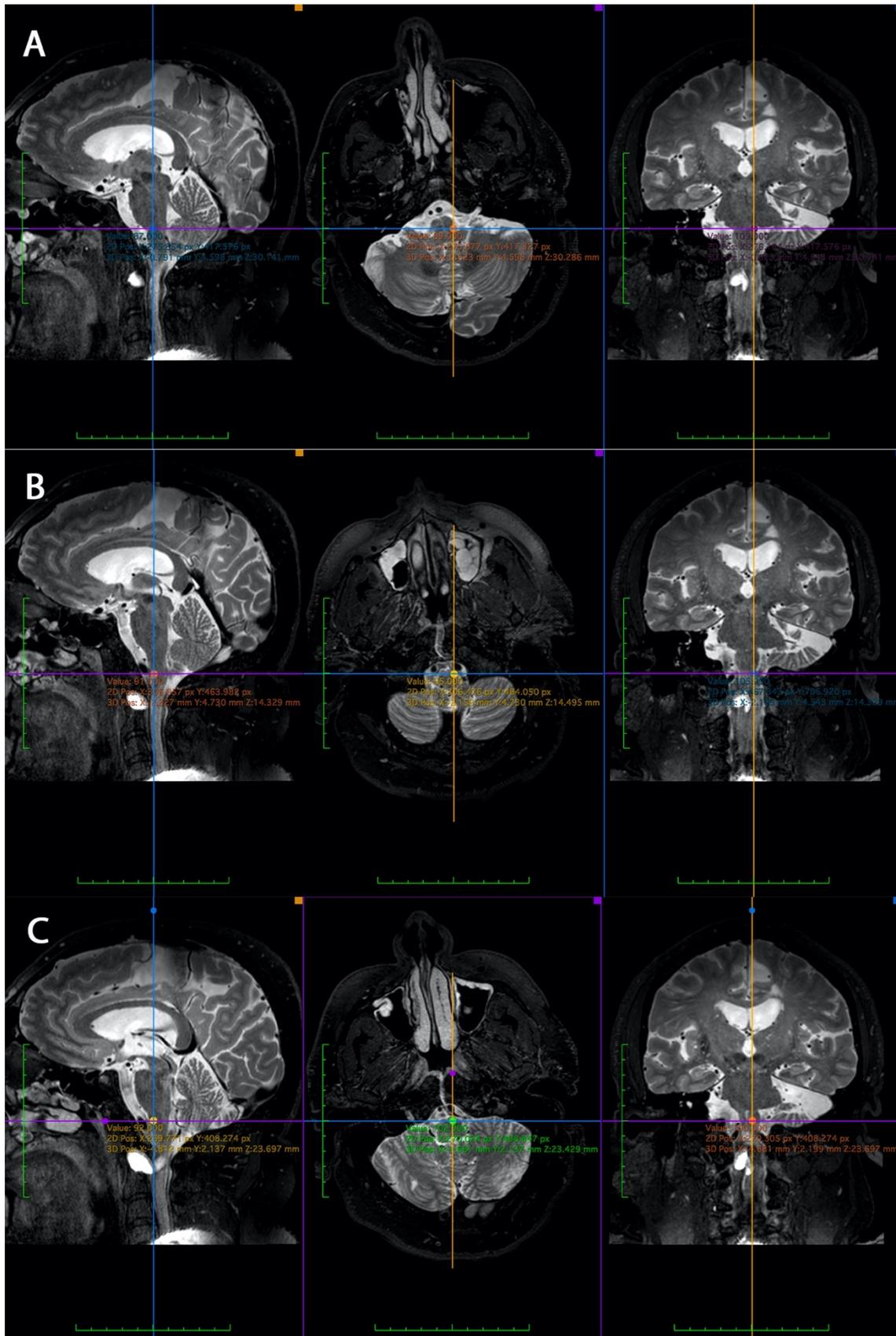
**PUNTO D:** Punto a nivel del surco retrolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T

**PUNTO E:** Punto anterolateral en contacto con el seno sigmoideo del círculo predefinido

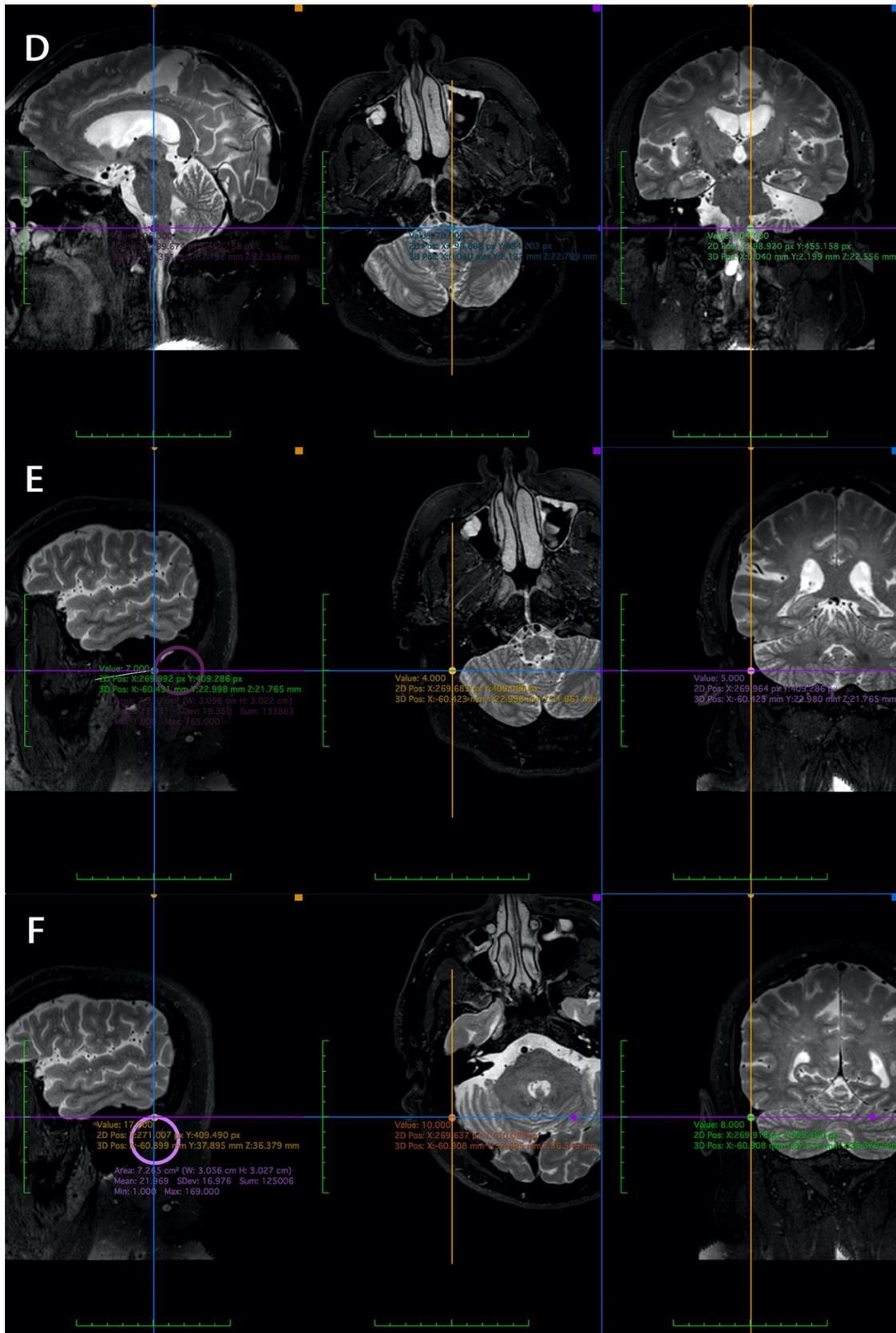
**PUNTO F:** Punto craneal en contacto con el seno transverso del círculo predefinido

**PUNTO G:** Punto central del círculo predefinido

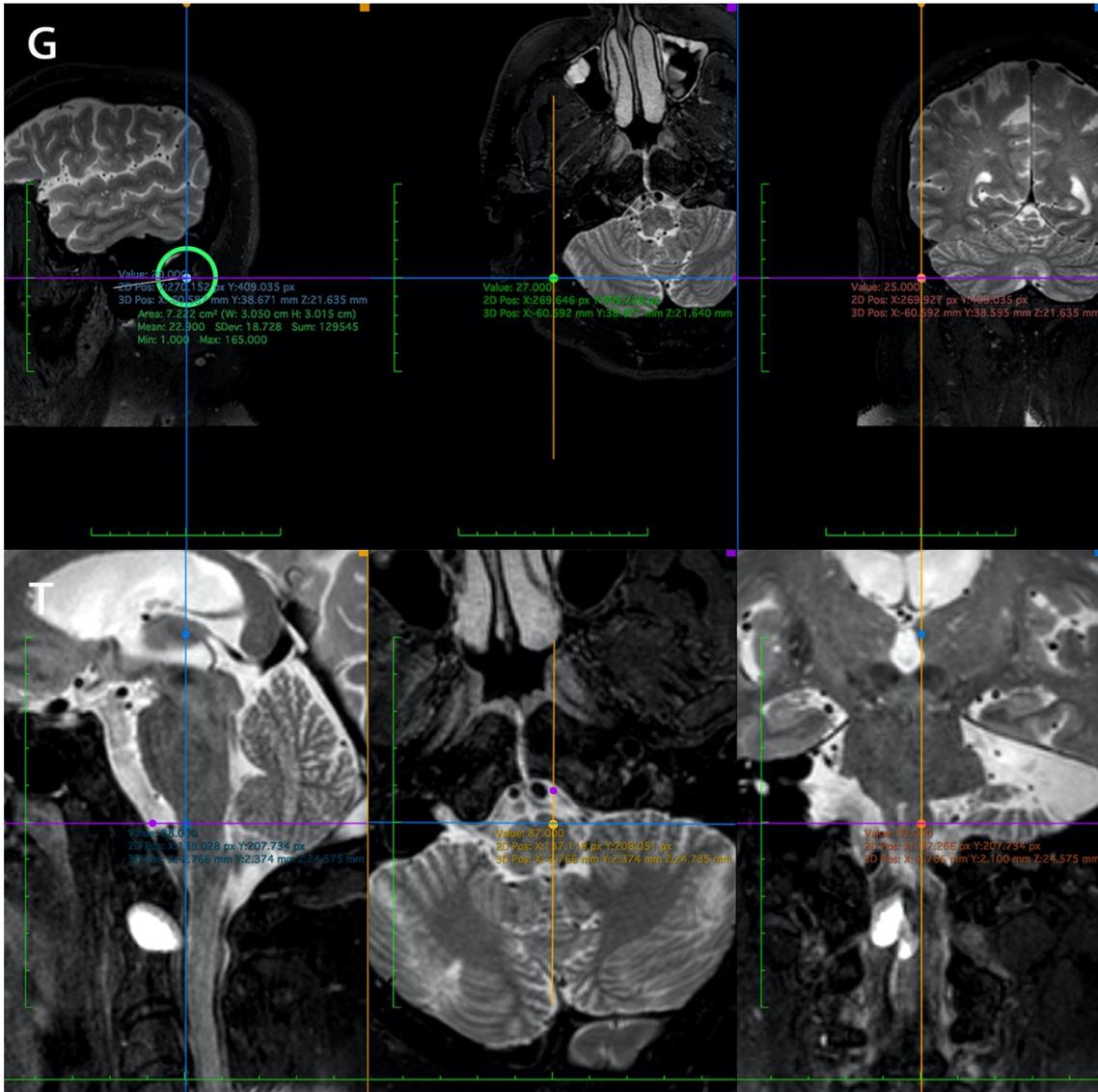
**PUNTO T (objetivo):** Punto equidistante en el plano coronal entre los puntos A y B, y punto equidistante entre los puntos C y D en el plano coronal



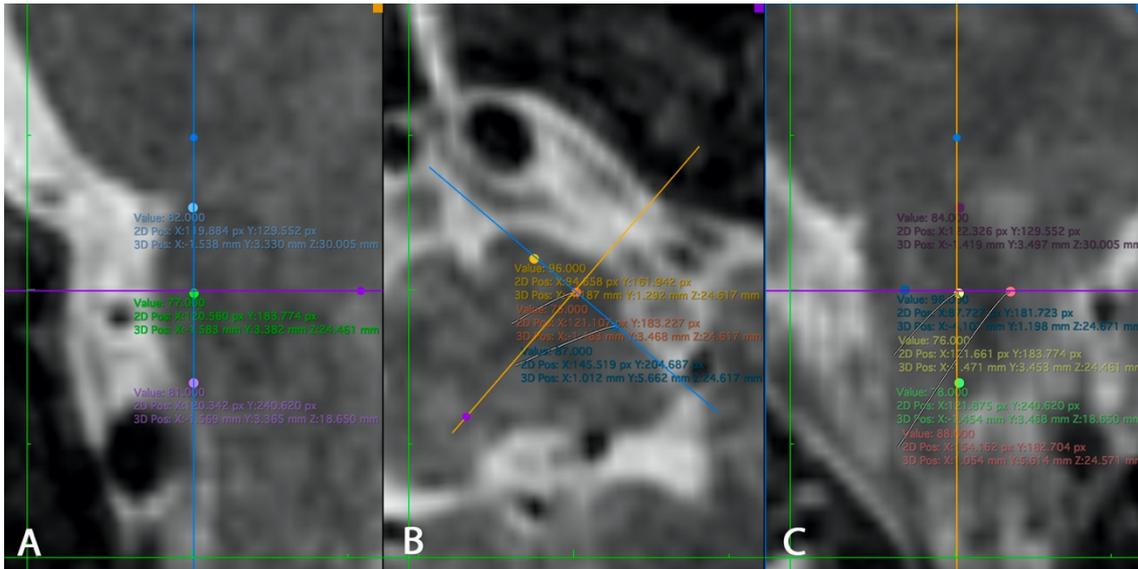
**FIGURA 66. Identificación triplanar en el software Horos®, mediante el modo 3D MPR, de los puntos anatómicos referenciales del abordaje retrosigmoideo: A, B y C.**



**FIGURA 67. Identificación triplanar en el software Horos®, mediante el modo 3D MPR, de los puntos anatómicos referenciales del abordaje retrosigmoideo: D, E y F. En los puntos E y F, se muestra en el corte sagital el círculo predefinido de 30 mm de diámetro para definir los puntos.**



**FIGURA 68.** Identificación triplanar en el software Horos®, mediante el modo 3D MPR, de los puntos anatómicos referenciales del abordaje retrosigmoideo: G y T. Se muestra en el corte sagital la esfera predefinida de 30 mm de diámetro para localizar el punto G.



**FIGURA 69. Metodología para la delimitación de los puntos A, B, C, D y T. En primer lugar, en el corte axial (B) se identifica la oliva bulbar y se realiza una rotación del plano coronal (línea azul) para que quede paralelo a la superficie de la oliva bulbar. De esta forma, en la imagen C (plano coronal) podemos visualizar la oliva bulbar en su totalidad. En este punto, tomamos las medidas A, B y T. A continuación, volvemos al plano axial, desplazamos la imagen a nivel del punto T y podemos medir los puntos C y D. Finalmente, los puntos A, B y T quedan alineados en el mismo plano sagital (A) y los puntos C, D y T quedan alineados en el mismo plano axial (B).**

#### **-Distancias:**

- A-B: Punto más craneal de la oliva bulbar - Punto más caudal de la oliva bulbar
- C-D: Punto a nivel del surco preolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T - Punto a nivel del surco retroolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T
- A-F: Punto más craneal de la oliva bulbar - Punto craneal en contacto con el seno transversal del círculo predefinido
- B-E: Punto más caudal de la oliva bulbar - Punto anterolateral en contacto con el seno sigmoideo del círculo predefinido
- C-E: Punto a nivel del surco preolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T - Punto anterolateral en contacto con el seno sigmoideo del círculo predefinido
- D-F: Punto a nivel del surco retroolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T - Punto craneal en contacto con el seno transversal del círculo predefinido
- T-G: Punto equidistante en el plano coronal entre los puntos A y B, y punto equidistante entre los puntos C y D en el plano coronal - Punto central del círculo predefinido

#### **-Superficie de oliva bulbar expuesta:**

Asumimos el objetivo de interés (región de la oliva bulbar) como la superficie de una elipse.

Área de la elipse  $A-B/2 \times C-D/2 \times \pi =$  Superficie expuesta que incluye la oliva bulbar

**-Ángulo entre trayectorias (ángulo de ataque):**

- Ángulo entre los vectores A-E y A-F (ángulo de ataque a la región craneal de la oliva)
- Ángulo entre los vectores B-E y B-F (ángulo de ataque a la región caudal de la oliva)
- Ángulo entre los vectores T-E y T-F (ángulo de ataque al centro de la oliva bulbar)

**3.1.1. Mediciones realizadas sobre los especímenes cadavéricos:**

**· Mediciones directas mediante uso de pie de rey y reglas milimétricas:**

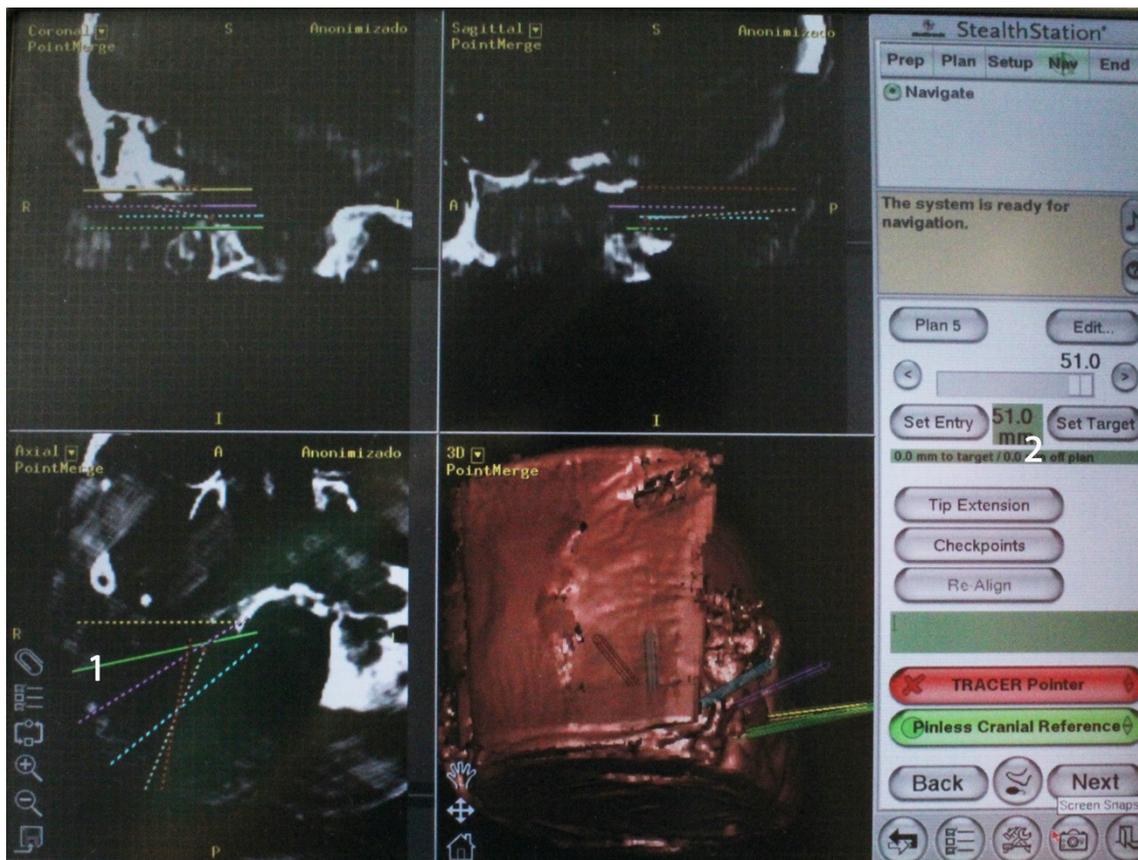
-Distancias: A-B (distancia vertical de la oliva bulbar), C-D (distancia horizontal máxima de la oliva bulbar), A-F (distancia desde el punto superior de la craneotomía a nivel superficial hasta el punto más alto de la oliva bulbar), B-E (distancia desde el punto anterolateral de la craneotomía hasta el punto más caudal de la oliva bulbar), C-E (distancia desde el surco preolivar hasta el punto anterolateral de la craneotomía), D-F (distancia desde el surco retroolivar hasta el punto más craneal de la craneotomía).

-Superficie de exposición: Asumimos el objetivo de interés (región de la oliva bulbar) como la superficie de una elipse.

Área de la elipse  $A-B/2 \times C-D/2 \times \pi =$  Superficie expuesta que incluye la oliva bulbar

**· Mediciones indirectas mediante el uso de neuronavegación magnética:**

Se realizaron las mismas mediciones de distancias y superficie de exposición descritos en las mediciones directas. Los puntos referenciales fueron los mismos, se identificaron en las pruebas de imagen y se obtuvo la medición gracias al software de neuronavegación (Fig. 70).



**FIGURA 70.** Captura de pantalla del neuronavegador magnético durante el registro de mediciones indirectas para el abordaje retrosigmoideo en uno de los especímenes disecados. Observamos los distintos vectores trazados que nos permiten calcular las distancias de interés. El vector de color verde (1) realiza la medición de la distancia B-E (distancia desde el punto anterolateral de la craneotomía hasta el punto más caudal de la oliva bulbar) que es de 51 mm en este caso (2). Los parámetros de medición se muestran en el panel de ajustes del neuronavegador, al lado derecho de la pantalla.

### 3.1.2. Mediciones realizadas sobre estudios de resonancia magnética de alta definición:

-Distancias: A-B (distancia vertical de la oliva bulbar), C-D (distancia horizontal máxima de la oliva bulbar), A-E (distancia desde el punto superior de la craneotomía a nivel superficial hasta el punto más alto de la oliva bulbar), B-F (distancia desde el punto anterolateral de la craneotomía hasta el punto más caudal de la oliva bulbar), C-F (distancia desde el surco preolivar hasta el punto más anterolateral de la craneotomía), D-E (distancia desde el surco retolivar hasta el punto superior de la craneotomía), T-G

(distancia desde el punto central de la craneotomía hasta el centro de la oliva bulbar (objetivo)).

-Superficie de exposición: Asumimos el objetivo de interés (región de la oliva bulbar) como la superficie de una elipse.

Área de la elipse  $A-B/2 \times C-D/2 \times \pi =$  Superficie expuesta que incluye la oliva bulbar

-Ángulo entre trayectorias (ángulo de ataque): mediante el uso de estudios de resonancia magnética de alta definición pudimos calcular los ángulos entre determinados vectores, para de esta forma valorar el ángulo de ataque a la oliva bulbar que permite el abordaje.

- Ángulo entre los vectores A-E y A-F (ángulo de ataque a la región craneal de la oliva)
- Ángulo entre los vectores B-E y B-F (ángulo de ataque a la región caudal de la oliva)
- Ángulo entre los vectores T-E y T-F (ángulo de ataque al centro de la oliva bulbar)

### 3.2. PROTOCOLO DE RECOGIDA DE DATOS PARA EL ABORDAJE

#### *FAR LATERAL*

-**Puntos anatómicos referenciales para el abordaje *far lateral* (Figs. 71 y 72):**

**PUNTO A:** Punto más craneal de la oliva bulbar

**PUNTO B:** Punto más caudal de la oliva bulbar

**PUNTO C:** Punto a nivel del surco preolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T

**PUNTO D:** Punto a nivel del surco retroolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T

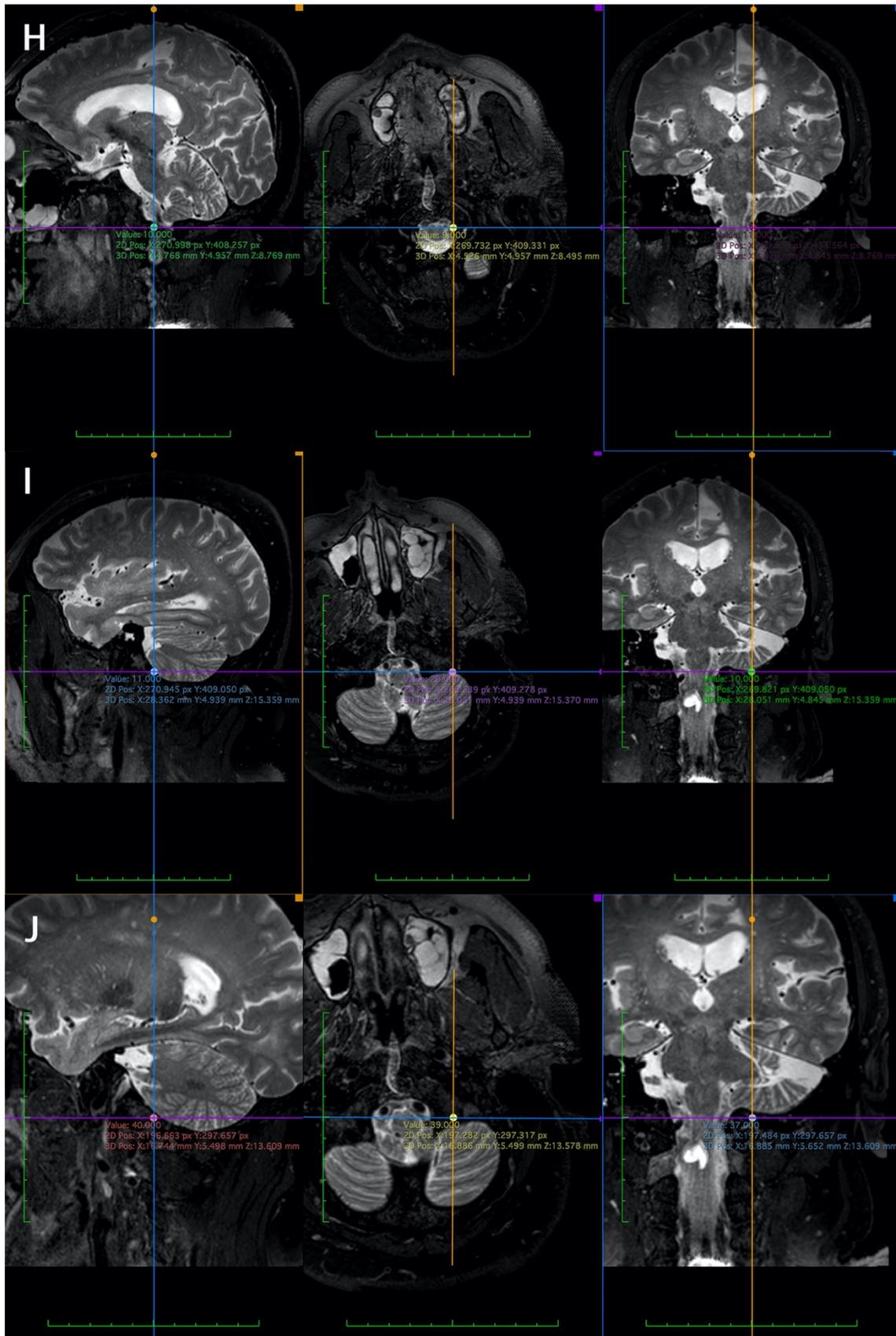
**PUNTO H:** Punto más craneal y lateral en la entrada dural de la arteria vertebral

**PUNTO I:** Punto más basal y medial del seno sigmoideo que corta el plano coronal donde se define el punto H

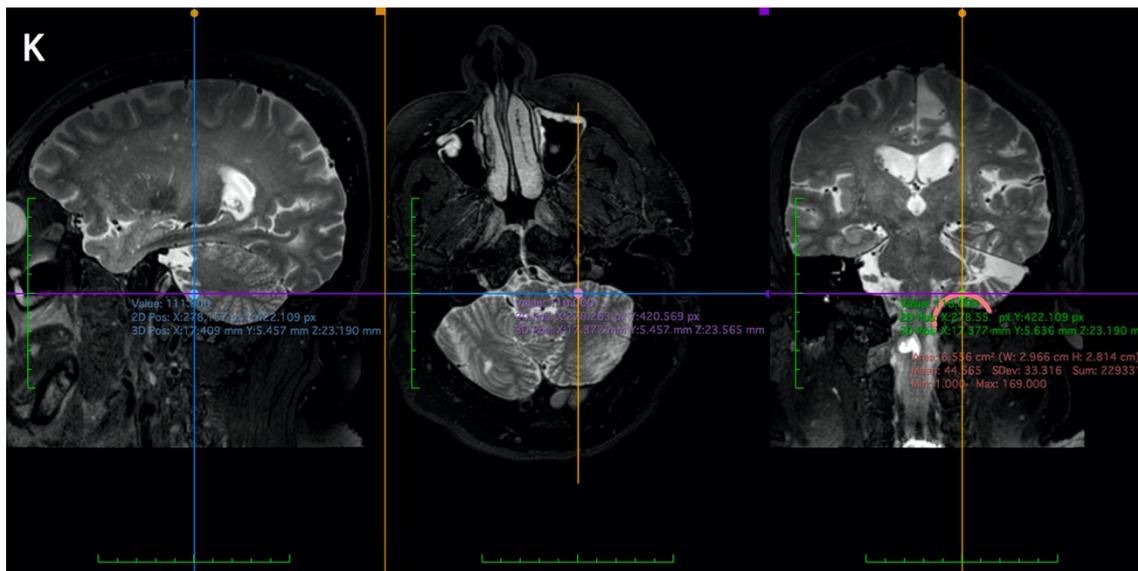
**PUNTO J:** Punto equidistante en el plano coronal entre H e I. Punto central de trabajo para el abordaje.

**PUNTO K:** Para definir el punto K, se define una semiesfera cuya base es el diámetro de la distancia entre el punto H e I. El punto K será el punto del semicírculo cuyo radio es perpendicular a la base.

**PUNTO T (objetivo):** Punto equidistante en el plano coronal entre los puntos A y B, y punto equidistante entre los puntos C y D en el plano coronal



**FIGURA 71. Identificación triplanar en el software Horos®, mediante el modo 3D MPR, de los puntos anatómicos referenciales del abordaje *far lateral*: H, I y J. En el punto J se predefine el semicírculo con base formada por la unión del punto H e I.**



**FIGURA 72. Identificación triplanar en el software Horos®, mediante el modo 3D MPR, del punto anatómico referencial K del abordaje *far lateral*. Se predefine el semicírculo con base formada por la unión del punto H e I.**

#### **-Distancias:**

- A-B: Punto más craneal de la oliva bulbar - Punto más caudal de la oliva bulbar
- C-D: Punto a nivel del surco preolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T - Punto a nivel del surco retrolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T
- A-K: Punto más craneal de la oliva bulbar - Punto más craneal del semicírculo predefinido
- B-J: Punto más caudal de la oliva bulbar – Punto equidistante en el plano coronal entre H e I
- C-I: Punto a nivel del surco preolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T - Punto más basal y medial del seno sigmoideo que corta el plano coronal donde se define el punto H
- D-H: Punto a nivel del surco retrolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T - Punto más craneal y lateral en la entrada dural de la arteria vertebral
- T-J: Punto equidistante en el plano coronal entre los puntos A y B, y punto equidistante entre los puntos C y D en el plano coronal – Punto equidistante en el plano coronal entre H e I

#### **-Superficie de oliva bulbar expuesta:**

Asumimos el objetivo de interés (región de la oliva bulbar) como la superficie de una elipse.

Área de la elipse  $A-B/2 \times C-D/2 \times \pi =$  Superficie expuesta que incluye la oliva bulbar

**-Ángulo entre trayectorias (ángulo de ataque):**

- Ángulo entre los vectores A-H y A-I (ángulo de ataque a la región craneal de la oliva)
- Ángulo entre los vectores B-H y B-I (ángulo de ataque a la región caudal de la oliva)
- Ángulo entre los vectores T-H y T-I (ángulo de ataque a la región central de la oliva)

**3.2.1. Mediciones realizadas sobre los especímenes cadavéricos:**

**· Mediciones directas mediante uso de pie de rey y reglas milimétricas:**

**-Distancias:** A-B (altura de la oliva bulbar), C-D (distancia horizontal máxima de la oliva bulbar), A-J (distancia desde el punto más craneal de la oliva bulbar hasta el punto basal entre la arteria vertebral y seno sigmoideo), B-J (distancia desde el punto más caudal de la oliva bulbar hasta el punto basal entre la arteria vertebral y seno sigmoideo), C-I (distancia desde el punto más medial del surco preolivar hasta el punto más caudal y medial del seno sigmoideo), D-H (distancia desde el punto más lateral del surco retrolivar hasta la entrada dural de la arteria vertebral).

**-Superficie de exposición:** Asumimos el objetivo de interés (región de la oliva bulbar) como la superficie de una elipse.

Área de la elipse  $A-B/2 \times C-D/2 \times \pi =$  Superficie expuesta que incluye la oliva bulbar

**· Mediciones indirectas mediante el uso de neuronavegación óptica:**

Se realizaron las mismas mediciones de distancias y superficie de exposición descritos en las mediciones directas.

### 3.2.2. Mediciones realizadas sobre estudios de resonancia magnética de alta definición:

-Distancias: A-B (altura de la oliva bulbar), C-D (distancia horizontal máxima de la oliva bulbar), A-K (distancia desde el punto más alto de la oliva bulbar hasta el punto más craneal del semicírculo predefinido como ventana quirúrgica), B-J (distancia desde el punto más bajo de la oliva bulbar hasta el punto equidistante entre H e I, base del abordaje), C-I (distancia desde el punto más medial del surco preolivar hasta el punto más bajo de la oliva bulbar hasta el punto más caudal y medial del seno sigmoideo), D-H (distancia desde el punto más lateral del surco retroolivar hasta la entrada dural de la arteria vertebral), T-J (distancia desde el centro de la oliva bulbar (objetivo) hasta el punto central aproximado de visión y trabajo para el abordaje *far* lateral transcondilar).

-Superficie de exposición: Asumimos el objetivo de interés (región de la oliva bulbar) como la superficie de una elipse.

Área de la elipse  $A-B/2 \times C-D/2 \times \pi =$  Superficie expuesta que incluye la oliva bulbar

-Ángulo entre trayectorias (ángulo de ataque): mediante el uso de estudios de resonancia magnética de alta definición pudimos calcular los ángulos entre determinados vectores. Se calcularon dos ángulos

- Ángulo entre los vectores A-H y A-I (ángulo de ataque a la región craneal de la oliva)
- Ángulo entre los vectores B-H y B-I (ángulo de ataque a la región caudal de la oliva)
- Ángulo entre los vectores T-H y T-I (ángulo de ataque a la región central de la oliva)

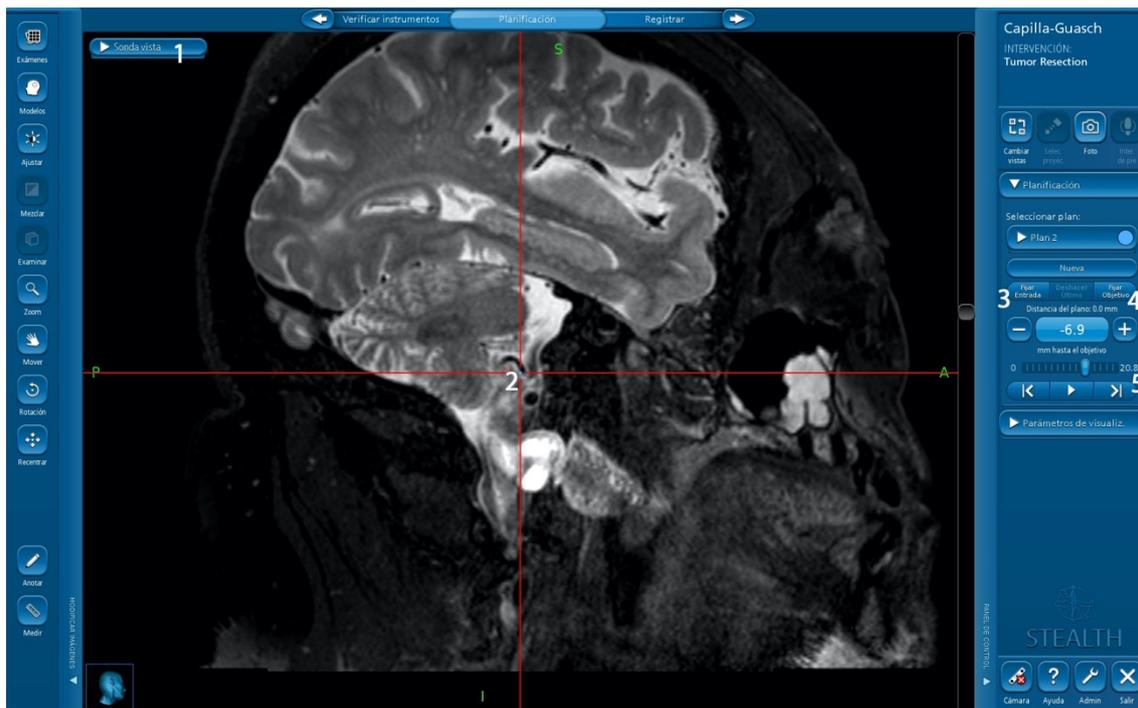
#### 4. ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL CONTENIDO NEUROVASCULAR DE LOS TRAYECTOS T-G Y T-J

Tras obtener los principales trayectos a la oliva bulbar para cada uno de los abordajes y analizar las distancias y ángulos respectivos, se realizó un análisis cuantitativo del contenido neurovascular. Se analizaron los trayectos desde el punto T (objetivo, centro de la oliva bulbar) hasta el punto central en superficie para cada uno de los abordajes: punto G (en el abordaje retrosigmoideo) y punto J (en el abordaje *far lateral*). Se utilizó el software StealthStation S7 de Medtronic con la interfaz Cranial 4.0 (Medtronic Surgical Navigation Technologies, Louisville, USA). Se utilizaron las mismas 30 resonancias magnéticas utilizadas en los apartados previos. Los 30 estudios de resonancias magnéticas utilizados en la presente tesis fueron cargados en formato DICOM al software de Medtronic StealthStation para el procesado y trabajo sobre las imágenes.

De esta forma se analizó el contenido en el trayecto T-G para 60 abordajes retrosigmoideos (30 izquierdos y 30 derechos) y en el trayecto T-J para 60 abordajes *far lateral* (30 izquierdos y 30 derechos). El análisis del contenido se realizó fijando un trayecto en la estación de trabajo donde la entrada fue fijada en el punto G para el abordaje retrosigmoideo y en el punto J para el *far lateral*. El objetivo en ambos casos fue fijado en el punto T. Mediante el modo de visión “Sonda Vista” se realizó un recorrido plano a plano en cortes de 1 mm desde el punto de entrada hasta el objetivo. De esta forma se cuantificó el número de estructuras neurales y vasculares arteriales presentes en los trayectos analizados (Figs. 73 y 74).



**FIGURA 73.** Captura de pantalla de la estación de trabajo con el software StealthStation S7 de Medtronic con la interfaz Cranial 4.0 (Medtronic Surgical Navigation Technologies, Louisville, USA), durante la medición del contenido neurovascular del trayecto T-G para el abordaje retrosigmoideo. 1, modo de visualización “Sonda Vista” para valorar todo el contenido que nos encontramos a través del trayecto; 2, punto central de visión por donde avanza el trayecto y en esta imagen se objetiva una estructura neural que se interpone correspondiendo a los pares craneales bajos; 3, punto de entrada G seleccionado y guardado previamente; 4, punto objetivo T seleccionado y guardado previamente; 5, distancia del trayecto y fase de la proyección en la que se encuentra.



**FIGURA 74.** Captura de pantalla de la estación de trabajo con el software StealthStation S7 de Medtronic con la interfaz Cranial 4.0 (Medtronic Surgical Navigation Technologies, Louisville, USA), durante la medición del contenido neurovascular del trayecto T-J para el abordaje *far lateral*. 1, modo de visualización “Sonda Vista” para valorar todo el contenido que nos encontramos a través del trayecto; 2, punto central de visión por donde avanza el trayecto y en esta imagen se objetiva una estructura vascular que se interpone correspondiendo a la arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 3, punto de entrada J seleccionado y guardado previamente; 4, punto objetivo T seleccionado y guardado previamente; 5, distancia del trayecto y fase de la proyección en la que se encuentra.

## 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS

El estudio consiste en la realización de una serie de abordajes retrosigmoides y *far lateral* a una zona objetivo de la región de la oliva bulbar con la obtención de parámetros representativos de la precisión conseguida para cada uno de ellos. Se analiza la distancia de trabajo desde la superficie de los abordajes hasta las zonas más representativas del objetivo en profundidad (variable cuantitativa continua), el ángulo de ataque al objetivo (variable cuantitativa continua), la superficie de exposición (variable cuantitativa continua) y el número de estructuras neurales y vasculares presentes en el

trayecto central (variable cuantitativa discreta). Todos estos parámetros constituyen las variables primarias de la investigación. Los datos de las distintas mediciones fueron analizados con el programa estadístico SPSS versión 22.0 para Windows y con la aplicación Excel (hoja de cálculo) de Microsoft® Office (Redmond, Washington, USA) procesada con el sistema operativo macOS Catalina 10.15.3.

El trabajo incluye dos muestras de trabajo distintas:

-Muestra de 10 especímenes anatómicos donde se obtienen medidas directas y con neuronavegación (indirectas) de las distancias a los puntos que delimitan la superficie de referencia.

-Muestra de 30 individuos anonimizados con estudio de resonancia magnética cerebral 3D T2 multicorte, de los que se obtienen también mediciones de las distancias y ángulos, así como valoración del contenido de los trayectos.

En ambas muestras, todas las mediciones se obtuvieron en ambos lados. A efectos del análisis estadístico se tienen, por tanto, 20 y 60 olivas bulbares distintas y sus correspondientes abordajes. No se diferenciarán lados derechos e izquierdos; pero sí se tendrá en cuenta esta dependencia intra-sujeto en la aplicación de los métodos estadísticos inferenciales. El análisis descriptivo proporciona los estadísticos más relevantes para todas las variables continuas recogidas en la investigación: media, desviación estándar, mínimo, máximo y mediana. Para las mediciones de distancias y ángulos se aplicará un test de Kolmogorov-Smirnov para evaluar el ajuste a distribución normal. Los resultados son confirmatorios para todas las variables ( $p > 0,05$ ), permitiendo un enfoque metodológico de tipo paramétrico.

El análisis inferencial consiste en:

-Modelo lineal para comparación de las distancias y ángulos medios entre un abordaje y otro a través de ecuaciones de estimación generalizadas (EEG). Se trata de una generalización del paired t-test para datos correlacionados; al disponer de los dos lados de cada espécimen subyace una relación intra-sujeto. Se atiende al resultado del estadístico Chi2 de Wald y se proporcionan los intervalos de confianza al 95% para las diferencias medias.

-Para el estudio del número de estructuras en los trayectos, se aplicará un modelo no paramétrico de Brunner-Langer, dada la escala ordinal de las variables y la misma correlación intra-paciente (2 lados). Se atenderá al estadístico ATS tipo ANOVA del modelo para evaluar si la distribución de la cantidad de estructuras es o no similar en ambos métodos.

El nivel de significatividad empleado en los análisis ha sido el 5% ( $\alpha=0.05$ ). Cualquier p-valor menor a 0.05 es indicativo de una relación estadísticamente significativa. Por contra, un p-valor mayor o igual a 0.05 indica ausencia de relación.



## V. RESULTADOS

Para el desarrollo conceptual y metodológico del presente trabajo doctoral se utilizaron un total de 10 especímenes anatómicos: 2 de ellos pertenecientes al ‘Arkansas Neuroscience Institute Microsurgical Anatomy Laboratory’ (Little Rock, Arkansas, USA) y 8 pertenecientes al laboratorio de neuroanatomía microquirúrgica del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Universitat de València. Estos especímenes fueron preparados siguiendo la misma metodología en todos ellos, como se describe en el apartado de material y métodos. Todos los especímenes utilizados fueron de individuos mayores de edad, sin patología cráneo-encefálica conocida.

De la totalidad de los especímenes anatómicos utilizados, 6 de ellos fueron varones y 4 mujeres. Uno de los especímenes varones fue de raza negra, el resto de los 9 especímenes, de raza blanca.

Para completar el estudio anatómico, también fueron utilizados 4 troncos cerebrales preparados con la misma técnica (seccionados cranealmente por encima de los colículos superiores y caudalmente a nivel de la médula espinal cervical alta). 3 de los troncos fueron disecados y estudiados en el laboratorio de neuroanatomía microquirúrgica del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Universitat de València y 1 tronco cerebral fue preparado en el ‘Arkansas Neuroscience Institute Microsurgical Anatomy Laboratory’ (Little Rock, Arkansas, USA). Estos troncos cerebrales fueron utilizados para completar el estudio, comprensión e ilustración de la anatomía microquirúrgica descrita en el presente trabajo de tesis doctoral.

# **1. DESCRIPCIÓN DE LA ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA EXPUESTA TRAS LA REALIZACIÓN DE UN ABORDAJE RETROSIGMOIDEO AL COMPARTIMENTO INFERIOR DE LA FOSA POSTERIOR**

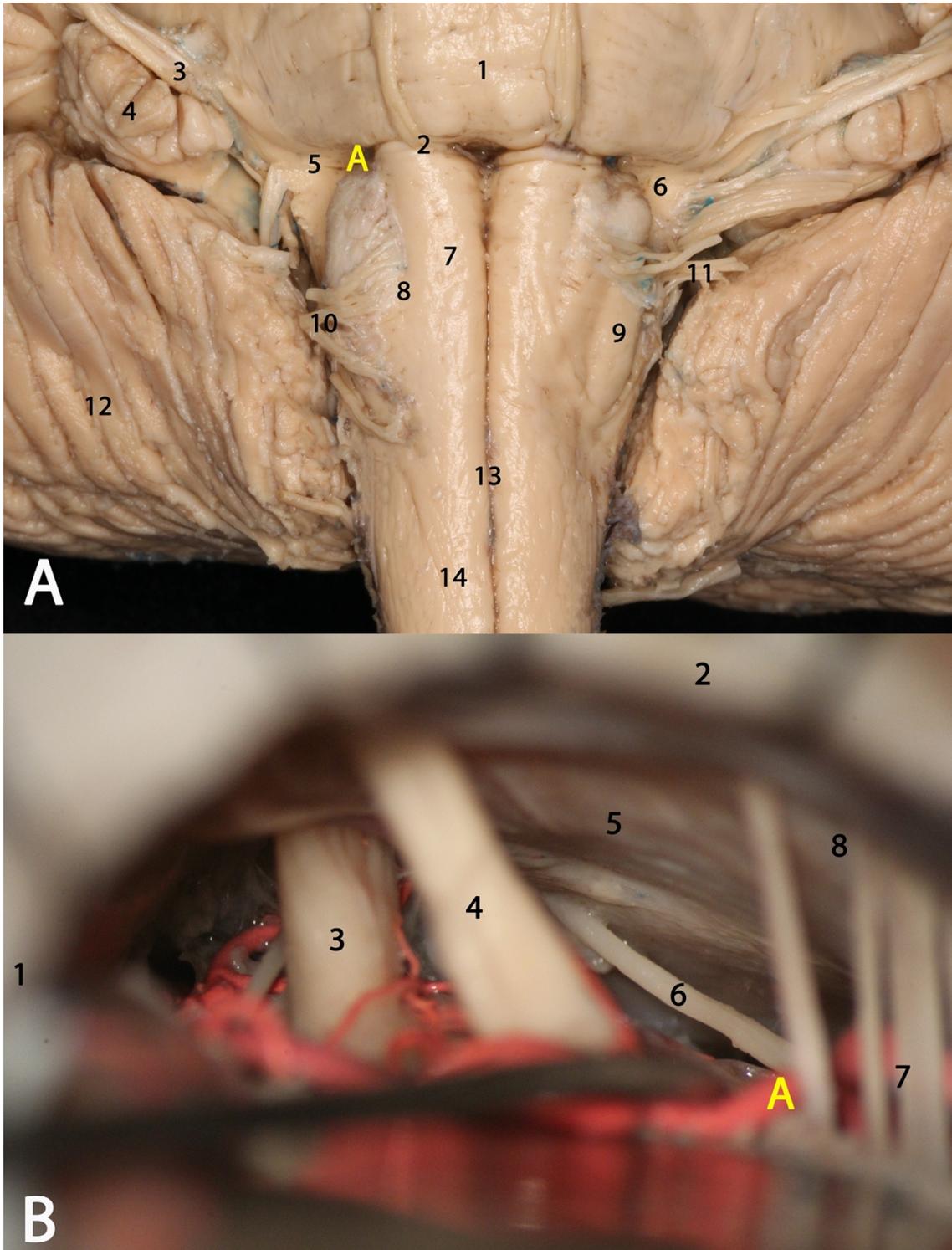
Gracias al trabajo experimental en especímenes cadavéricos, mediante la realización del abordaje retrosigmoideo y la disección microquirúrgica desde la superficie hasta la oliva bulbar, podemos definir las particularidades del canal de trabajo y los elementos neurovasculares en juego.

## **1.1. DISEÑO DEL CANAL DE TRABAJO A LA OLIVA BULBAR**

El objetivo inicial del trabajo anatómico fue definir y delimitar un canal de visión y trabajo. Para poder desarrollar un modelo matemático que nos permitiera analizar de forma objetiva las particularidades del canal fue fundamental la fase inicial de este trabajo correspondiente al estudio anatómico en los especímenes preparados. Para construir este canal se delimitaron dos superficies circulares: una en profundidad que incluyó la totalidad de la oliva bulbar (objetivo) y una en superficie (ventana de entrada) que nos ofreció el mayor ángulo de visión posible a nuestro objetivo en profundidad. Tras haber completado un abordaje retrosigmoideo, se delimitó la oliva bulbar en profundidad (objetivo de nuestro abordaje), mediante la selección de cuatro puntos: craneal (A), caudal (B), anterior (C) y posterior (D).

Para la identificación del punto craneal A se plantearon dificultades técnicas, ya que la oliva bulbar queda parcialmente escondida por la superficie petrosa del cerebelo. Para delimitar este punto se tomó como referencia la posición relativa del origen del VIpc en la unión bulboprotuberancial ya que en un plano axial la posición es superponible al

punto más craneal de la oliva bulbar. De esta forma se trazo una línea en el origen del VIpc, seleccionando el punto A en el plano donde se localizó la oliva bulbar (Fig. 75).



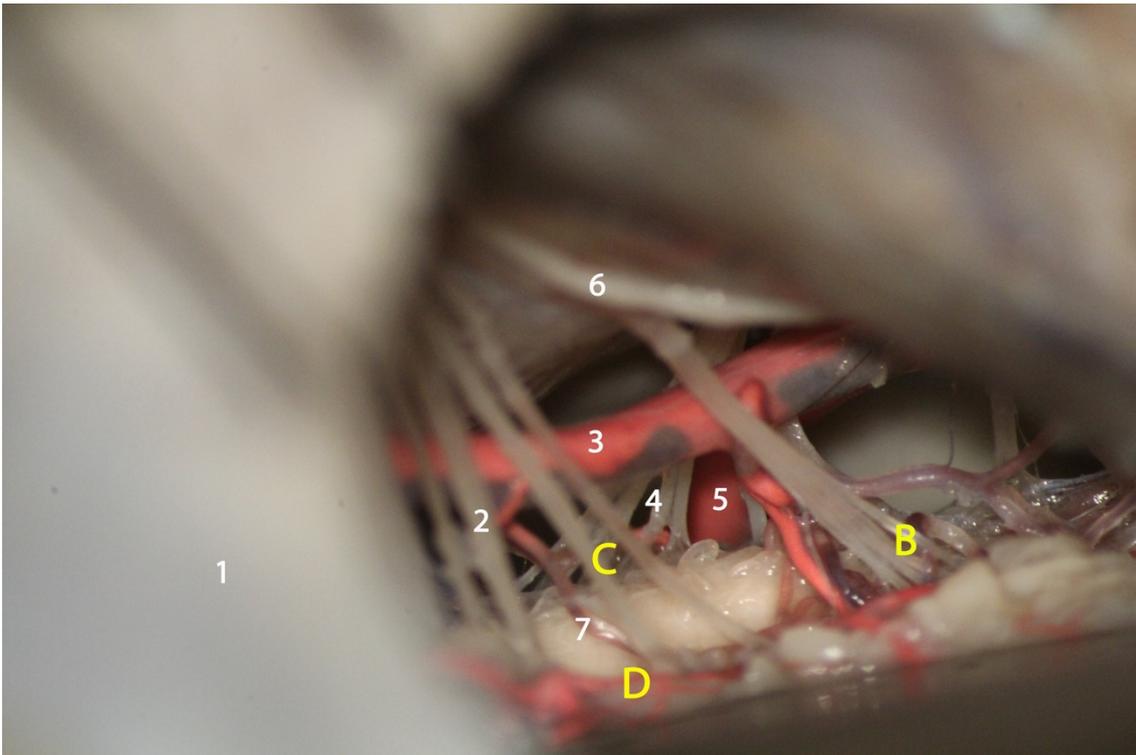
**FIGURA 75.** Técnica de localización del punto craneal A de la oliva bulbar a través de un abordaje anatómico retrosigmoideo. A) Imagen de un tronco cerebral que permite observar la posición del punto más craneal de la oliva bulbar. El origen del VIpc se localiza en una posición cráneo-caudal aproximada a la de la oliva

bulbar, aunque el VIpc tiene un origen más medial. Esta referencia anatómica nos fue de gran ayuda durante el estudio del abordaje retrosigmoideo, ya que el VIpc craneal es una estructura identificable, y de esta forma, el conocimiento de su anatomía nos permitió inferir la localización del punto craneal A. 1, protuberancia; 2, nervio motor ocular externo (VIpc) marcado en su origen a nivel del surco bulboprotuberancial; 3, nervio facial y vestibulococlear (VIIpc y VIIIpc); 4, flóculo; 5, surco bulboprotuberancial; 6, fosita supraolivar; 7, pirámide anterior bulbar; 8, surco preolivar; 9, oliva bulbar; 10, nervio hipogloso (XIIpc); 11, pares craneales bajos (IX, X pc), en su salida del surco retrolivar; 12, superficie petrosa del cerebelo; 13, surco anterior mediano; 14 localización aproximada de la decusación de las pirámides. B) Imagen anatómica de un abordaje retrosigmoideo en la fase de identificación del VIpc. Tras su identificación pudimos delimitar su origen en el surco bulboprotuberancial e inferir la posición relativa del punto A en el mismo plano axial. 1, seno transverso; 2, seno sigmoideo; 3, nervio trigémino (Vpc); 4, nervio facial y vestibulococlear (VIIpc y VIIIpc); 5, superficie posterior del hueso petroso; 6, nervio motor ocular externo (VIpc); 7, pares craneales bajos (IXpc y Xpc), emergiendo del surco retrolivar; 8, foramen yugular.

El punto craneal B, fue el punto más distal desde la superficie de nuestro abordaje, por lo que se nos presentaron dificultades técnicas para mostrarlo: profundidad, campo estrecho, menor ángulo de trabajo, etc. Este punto fue identificado entre el origen más caudal de los pares craneales bajos (IXpc, Xpc y XIpc) a nivel del surco retrolivar y de las raíces más caudales del nervio hipogloso (XIIpc) a nivel del surco preolivar (Fig. 76).

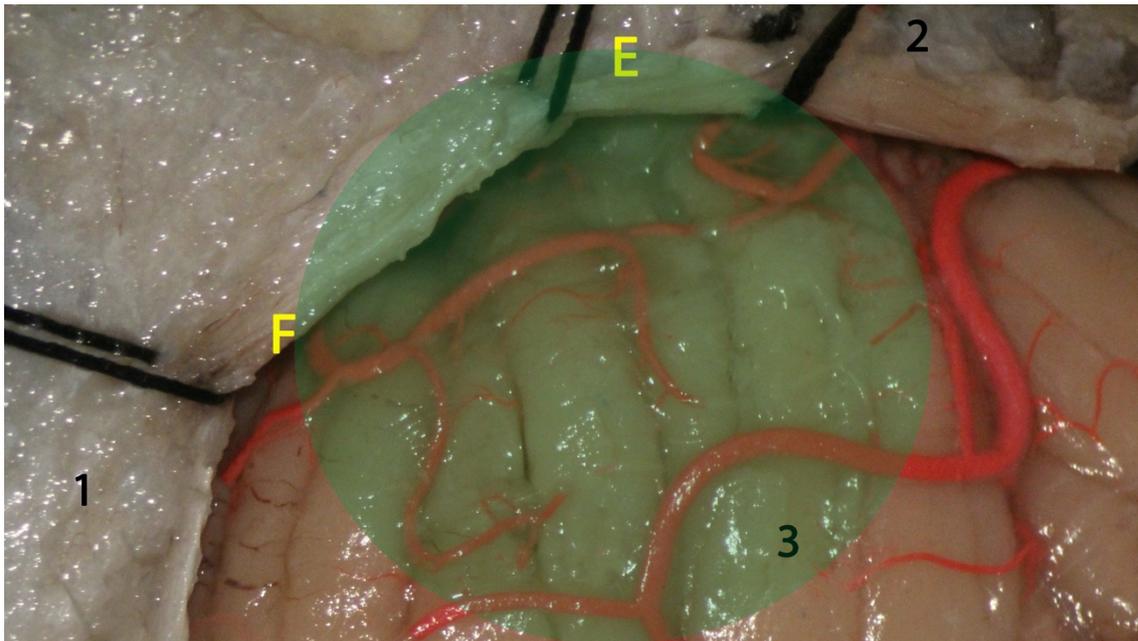
Una vez se identificaron los límites superior e inferior de nuestro objetivo fue más sencillo delimitar los extremos anterior y posterior. El punto anterior C, fue identificado en la equidistancia entre el punto A y B a nivel del surco preolivar. El punto posterior D, se localizó en el punto equidistante entre A y B a nivel del surco retrolivar (Fig. 76).<sup>53, 65,</sup>

71, 75, 96-98



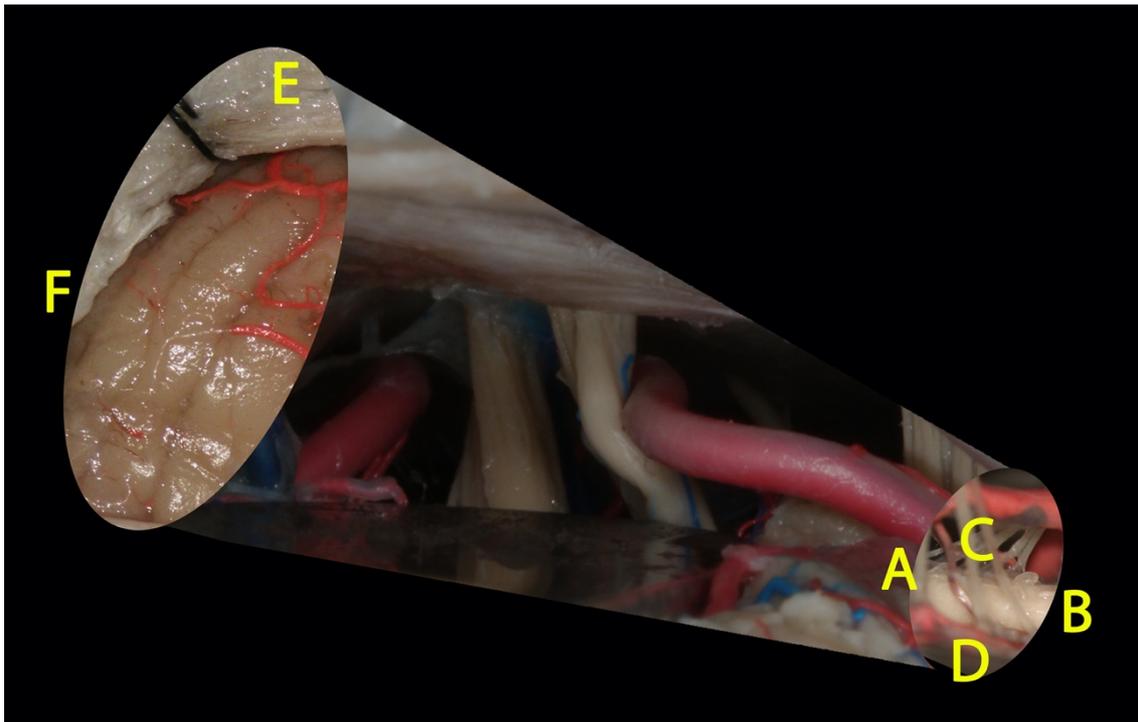
**FIGURA 76. Localización de los puntos en profundidad: caudal (B), anterior (C) y posterior (D) a nivel de la oliva bulbar. Para localizar el punto craneal B se identificó el origen de las raíces más caudales de los pares craneales bajos y del nervio hipogloso. En el punto intermedio pudimos identificar el punto B, como punto más caudal de nuestro objetivo. 1, seno transverso; 2, raíces de los pares craneales bajos (IXpc y Xpc); 3, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 4, nervio hipogloso (XIIpc); 5, arteria vertebral; 6, nervio espinal (XIpc), 7, oliva bulbar.**

Mediante la unión de estos puntos (A, B, C y D) se creó un óvalo que incluyó la totalidad de la oliva bulbar, constituyendo el suelo de nuestro canal de trabajo (objetivo) en profundidad. La oliva bulbar se localizó en una posición posteroinferior respecto a la ventana de entrada en superficie. Por ello, los puntos localizados en la superficie del abordaje para delimitar la ventana de entrada al canal de trabajo se situaron en la región anterior y craneal, con el objetivo de incrementar el ángulo de visión a la región de la oliva bulbar. Los puntos seleccionados en la superficie del abordaje fueron el punto más anterolateral a nivel del seno sigmoideo (E) y el punto más craneal del seno transverso (F). A partir de la unión de estos puntos se pudo definir una circunferencia cuyo límite posterior quedó limitado por la retracción máxima de la superficie petrosa del cerebelo (Fig. 77).<sup>11, 12</sup>



**FIGURA 77.** Localización de los puntos E (anterolateral) y F (craneal) en la superficie del abordaje. En color verde translúcido se delimita la ventana de entrada a nuestro canal de trabajo. 1, seno transverso; 2, seno sigmoideo; 3, superficie cerebelosa.

Finalmente, obtuvimos dos superficies: una superficie superficial de mayor tamaño correspondiente a la ventana de entrada (delimitada por los puntos E y F) y una superficie profunda de menor tamaño correspondiente al objetivo (delimitada por los puntos A, B, C y D y que englobó la totalidad de la oliva bulbar). Como resultado de la unión de ambas superficies se construyó un canal de trabajo con una geometría de cono truncado (tronco de cono o cono de Garófalo). Este cono se generó al rotar un imaginario trapecio rectángulo tomando como eje de giro su lado perpendicular a las dos superficies (Fig. 78).

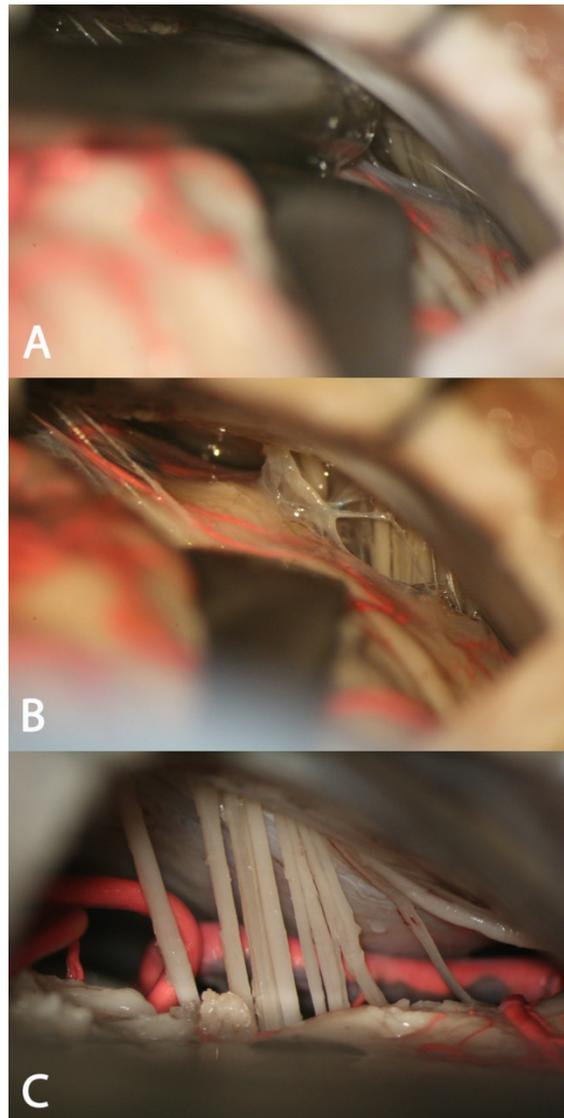


**FIGURA 78.** Representación del canal de trabajo con geometría de cono truncado para el abordaje retrosigmoideo. Construimos dos superficies: una superficial de tamaño mayor delimitada por los puntos E y F; y una profunda de menor tamaño delimitada por los puntos A, B, C y D que englobó la totalidad de la oliva bulbar. Mediante la unión de estas dos superficies se construyó la estructura geométrica de un cono truncado, tronco de cono o cono de Garófalo.

## 1.2. COMPARTIMENTO CISTERNAL DEL CANAL DE TRABAJO

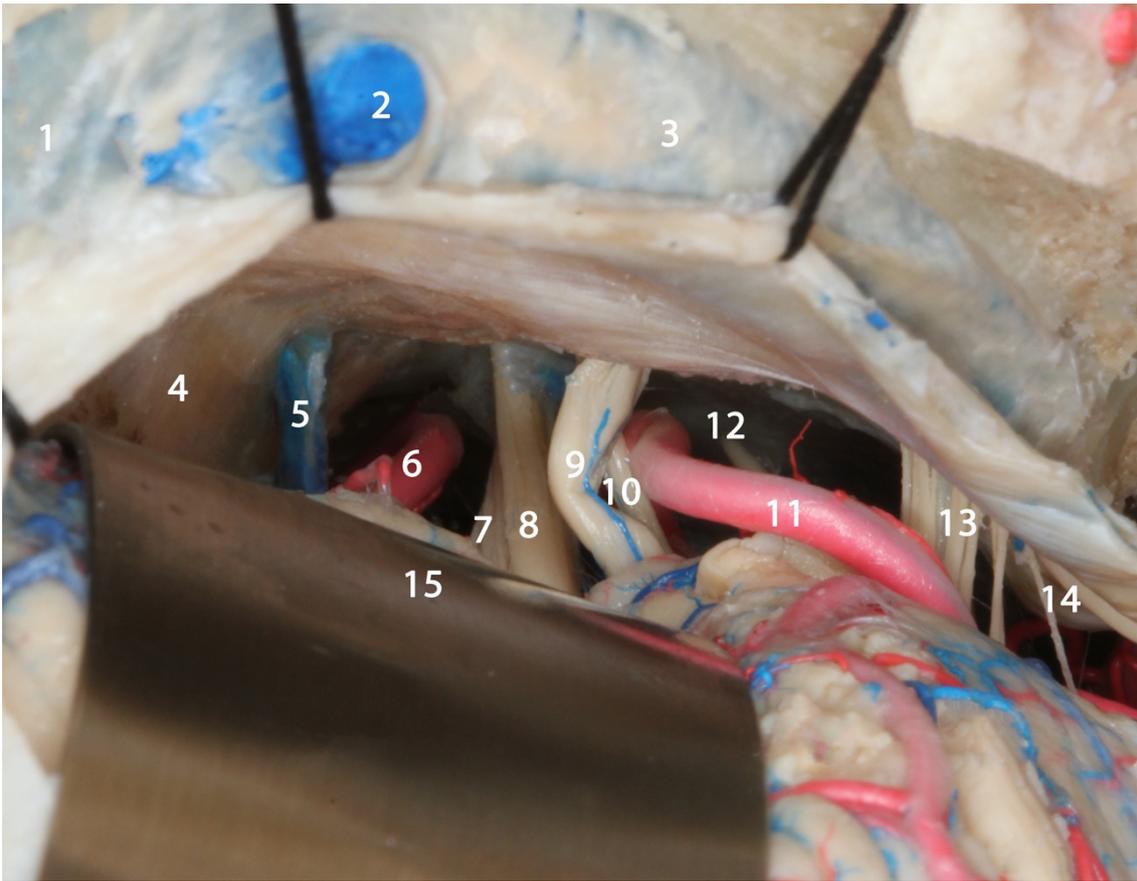
Una vez diseñado el canal de trabajo para abordar la oliva bulbar desde la ventana en superficie obtenida mediante un abordaje retrosigmoideo, se procedió a analizar el contenido del compartimento cisternal dentro del canal. De esta forma, analizamos las principales estructuras neurovasculares incluidas en el canal de trabajo hasta llegar al objetivo. En primer lugar, para conseguir un canal de trabajo amplio y nítido fue fundamental insistir en la disección aracnoidea de las cisternas cerebelopontina y cerebelobulbar. En la porción más craneal encontramos la cisterna cerebelopontina, separada en su segmento superior de la cisterna ambiens por la membrana pontomesencefálica lateral; caudal, la cisterna cerebelobulbar y la membrana pontobulbar lateral situada entre los nervios vestibulococlear (VIIIpc) y glosofaríngeo (IXpc); y

medialmente, la cisterna prepontina y membrana pontina anterior. En el interior de la cisterna cerebelopontina se encontraron los complejos neurovasculares superior y medio definidos con anterioridad. En cuanto a la cisterna cerebelobulbar la encontramos alcanzando distalmente el foramen magno y en su interior se localizó el complejo neurovascular inferior (Fig. 79).<sup>71, 75</sup>

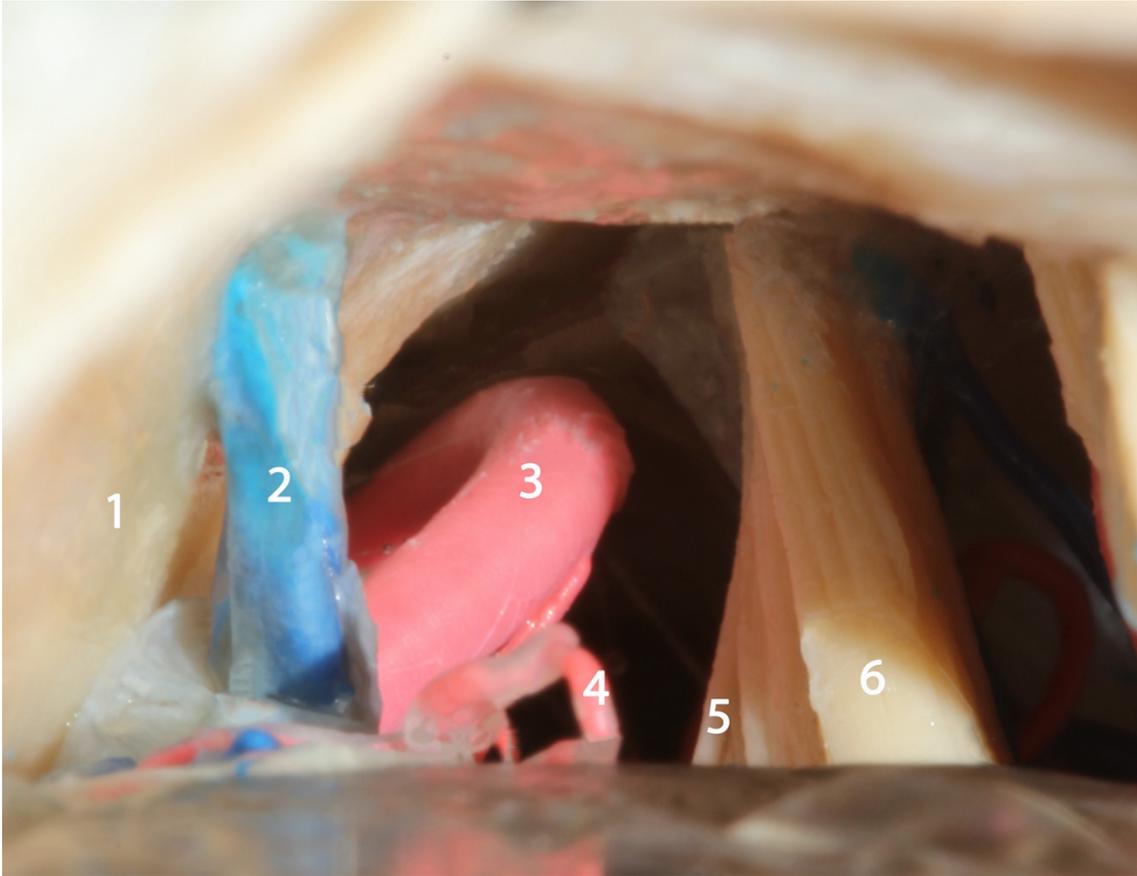


**FIGURA 79.** Disección paso a paso de la aracnoides y cisternas presentes en el canal de trabajo. A) Fase inicial de disección aracnoidea e identificación de membranas para la apertura de cisternas. B) Localización de la cisterna cerebelobulbar observando por transparencia los pares craneales bajos. C) Fase final de la disección donde observamos el compartimento inferior del ángulo pontocerebeloso totalmente disecado y libre de membranas aracnoideas.

Llegados a este punto, expuesta la totalidad del compartimento cisternal del ángulo pontocerebeloso, se retrajo la superficie petrosa del cerebelo para tener acceso a los tres compartimentos neurovasculares de la fosa posterior descritos por el Prof. Albert L. Rhoton, Jr: superior, medio e inferior (Fig. 80). Para el acceso a la oliva bulbar (objetivo) mediante el canal de trabajo descrito anteriormente fue necesario atravesar los complejos medio e inferior. La oliva bulbar tiene una localización a la altura del complejo neurovascular inferior, pero para acceder a ella fue necesario el paso por el complejo neurovascular medio e inferior. Sin embargo, debemos destacar la importancia de realizar una correcta disección del complejo neurovascular superior, ya que su relajación de adherencias y de membranas de tensión, permite delimitar correctamente el ángulo pontocerebeloso y relajar las estructuras obteniendo así una mayor ampliación del canal de trabajo. En los 20 abordajes retrosigmoideos realizados, se localizaron las siguientes estructuras contenidas en el complejo neurovascular superior: nervio troclear (IVpc), raíz posterior del nervio trigémino (Vpc), arteria cerebelosa superior y el complejo venoso petroso superior. En 12 de los abordajes realizados (60%) se identificaron ramas de la arteria cerebelosa superior rodeando la raíz motora y sensitiva del nervio trigémino; en 6 de los lados disecados (30%) pudimos identificar la vena pontotrigeminal, drenando en el complejo o seno petroso superior (3 de las venas pontotrigeminales identificadas mostraron una íntima relación con la región craneal de la raíz motora y sensitiva del nervio trigémino) (Fig. 81).<sup>71, 75</sup>



**FIGURA 80.** Exposición de la totalidad del compartimento del ángulo pontocerebeloso tras la disección minuciosa de las membranas aracnoideas y cisternas intercaladas entre la superficie petrosa del cerebelo y la superficie posterior del peñasco del hueso temporal. Fue fundamental realizar este trabajo de disección para permitir una correcta retracción del cerebelo y así aumentar el ángulo de visión en todos los compartimentos. 1, transición de seno transverso al seno sigmoideo; 2, vena emisaria; 3, seno sigmoideo; 4, tienda del cerebelo; 5, complejo venoso petroso superior; 6, arteria cerebelosa superior; 7, raíz motora del nervio trigémino (Vpc); 8, raíz sensitiva del nervio trigémino (Vpc); 9, nervio vestibulococlear (VIIIpc); 10, nervio facial (VIIpc); 11, arteria cerebelosa anteroinferior (AICA); 12, nervio motor ocular externo (VIpc); 13, pares craneales bajos (IXpc y Xpc); 14, nervio accesorio (XIpc); 15, retractor sobre la superficie petrosa del cerebelo manteniendo la ventana de trabajo.



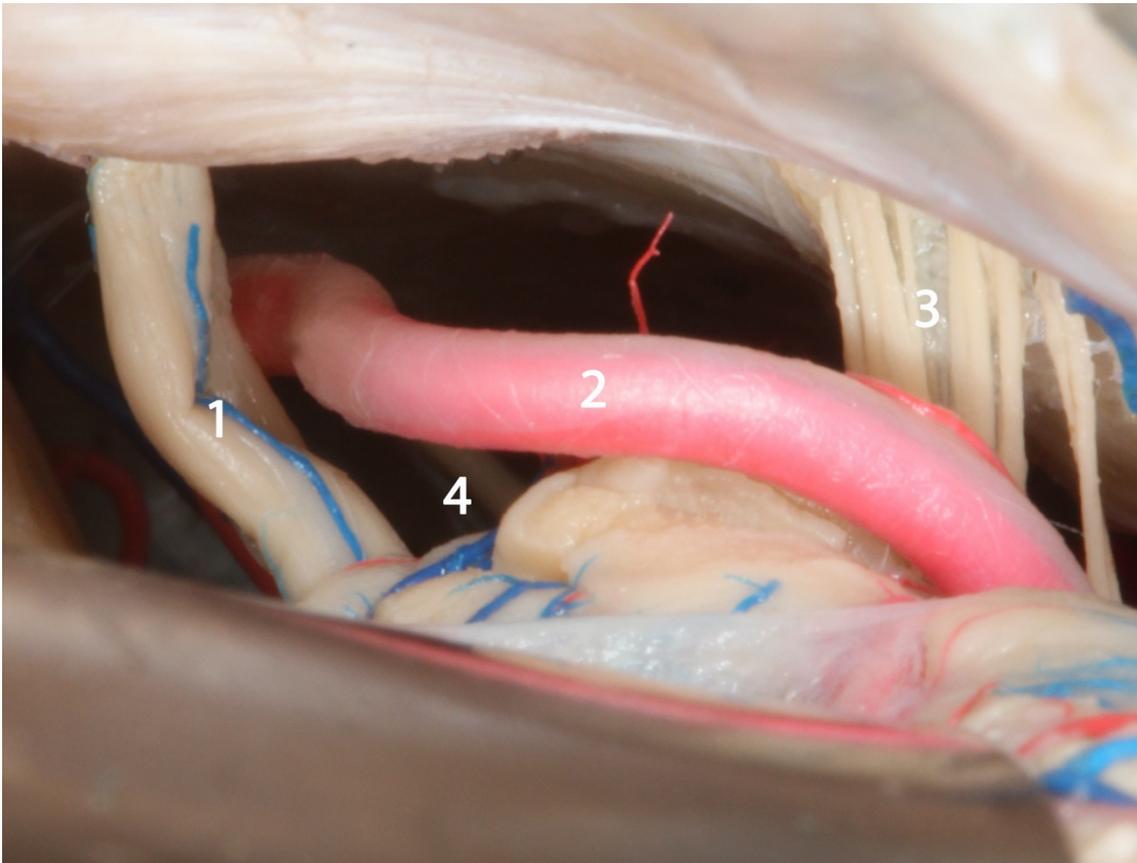
**FIGURA 81.** Exposición del complejo neurovascular superior. Cabe destacar la importancia de disecar y trabajar minuciosamente en este compartimento, para permitir una correcta relajación de las estructuras cerebelosas y neurovasculares (vasos y pares craneales). Con esta maniobra fuimos capaces de aumentar el volumen de nuestro canal de trabajo. 1, tienda del cerebelo; 2, complejo venoso petroso superior; 3, arteria cerebelosa superior; 4, rama de la arteria cerebelosa superior en íntima relación con la raíz motora del trigémino; 5, raíz motora del nervio trigémino (Vpc); 6, raíz sensitiva del nervio trigémino (Vpc).

Una vez completados los pasos anteriores pudimos centrar el trabajo en la oliva bulbar, localizada a la altura del complejo neurovascular inferior. Tras el diseño del canal de trabajo como forma geométrica de cono truncado, pudimos observar que, desde la superficie hasta el objetivo, tuvimos que atravesar los complejos medio e inferior en la totalidad de los abordajes realizados. A lo largo de la primera mitad del trayecto aproximadamente, se atravesó el complejo neurovascular medio; y en la segunda mitad del trayecto se atravesó el complejo neurovascular inferior. Sin embargo, no todas las

estructuras neurovasculares de cada complejo se situaron en el canal de trabajo hasta llegar a la oliva bulbar.

En cuanto al complejo neurovascular medio, en la totalidad de los 20 abordajes retrosigmoideos realizados encontramos las siguientes estructuras: nervio motor ocular externo (VIpc), nervio facial (VIIpc), nervio vestibulococlear (VIIIpc) y la arteria cerebelosa anteroinferior (AICA). Las venas de drenaje fueron más variables en este compartimento, encontrándose en 12 de los abordajes (60%) un drenaje venoso a través de la cisura cerebelopontina, formada por la confluencia de varias venas menores con un trayecto craneal hacia el complejo venoso petroso superior. Sin embargo, no todas estas estructuras del compartimento medio estuvieron presentes en el canal de trabajo diseñado. El nervio motor ocular externo (VIpc) no se interpuso en el camino a través del canal de trabajo en ninguno de los abordajes realizados, no obstante, la visualización en su origen a nivel del surco bulboprotuberancial fue fundamental para localizar correctamente el polo superior de la oliva bulbar. Los nervios facial (VIIpc) y vestibulococlear (VIIIpc) limitaron nuestra visión directa en 13 de los abordajes realizados (65%). Topográficamente, fueron localizados a nivel de la región anteroinferior del canal de trabajo, y cuando estuvieron presentes se nos redujo significativamente la maniobrabilidad a nivel de la mitad distal del canal de trabajo, dado que son estructuras neurales que no permiten gran movilización. La arteria cerebelosa anteroinferior (AICA) o alguna de sus ramas estuvo presente en el trayecto del cono truncado en 8 de los abordajes realizados (40%). Pudimos observar que las relaciones anatómicas y ramas de la arteria cerebelosa anteroinferior en este segmento son complejas y muy variables. En este caso al tratarse de una estructura vascular, aunque presente en el canal de trabajo, no limitó en exceso nuestra maniobrabilidad distal ya que pudimos

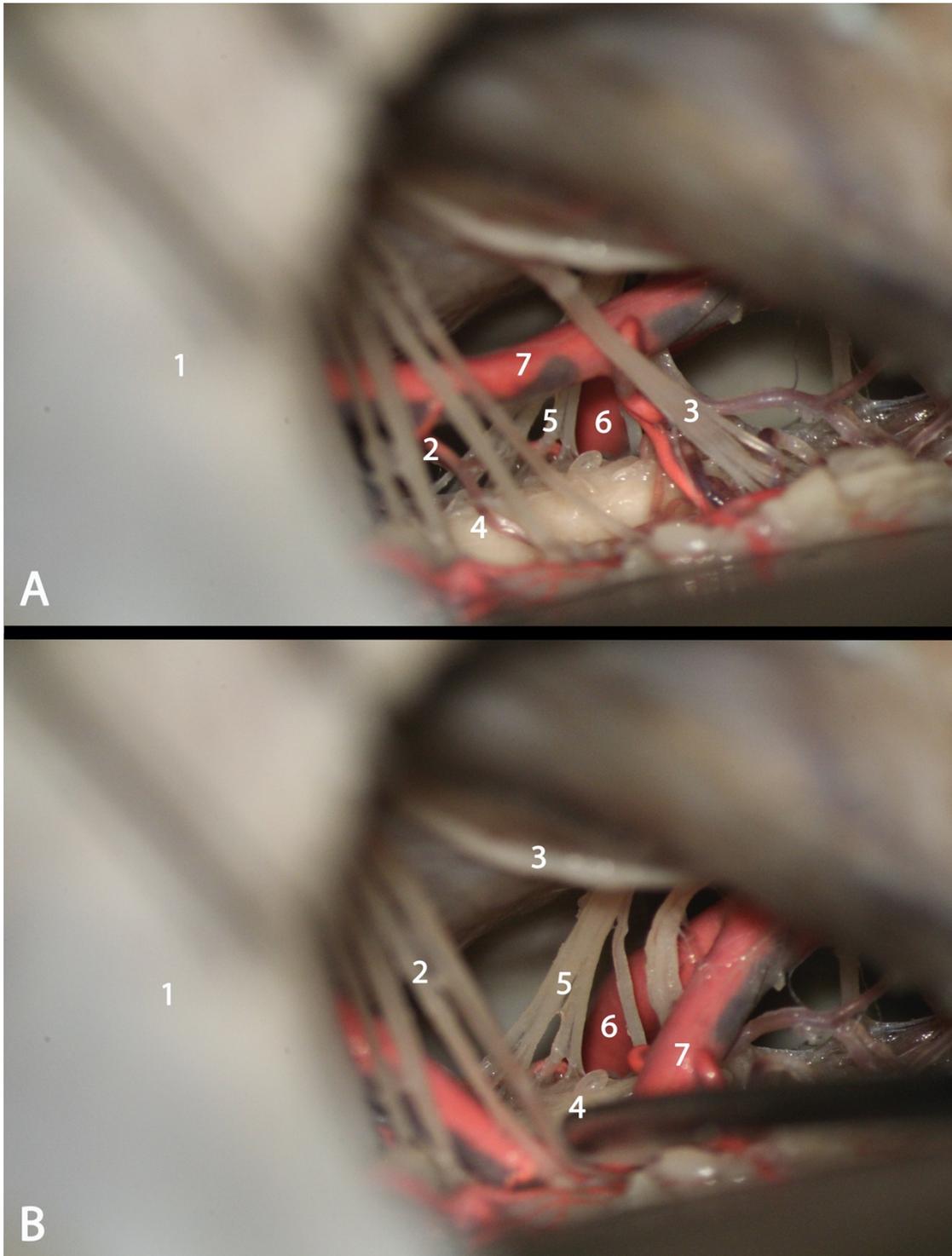
liberarla de sus adherencias aracnoideas y desplazarla fuera de nuestro camino a la oliva bulbar (Fig. 82).<sup>71, 75</sup>



**FIGURA 82.** Exposición de las estructuras del complejo neurovascular medio. En la imagen observamos como el nervio facial y vestibulococlear junto con la arteria cerebelosa anteroinferior se interponen en nuestro camino a través del canal de trabajo hacia la oliva bulbar. En cambio, el nervio motor ocular externo, que aparece en un plano más profundo no fue necesario manipularlo en ninguno de los casos abordados. 1, nervio facial y vestibulococlear (VIIpc y VIIIpc); 2, arteria cerebelosa anteroinferior (AICA); 3, pares craneales bajos (IXpc y Xpc); 4, nervio motor ocular externo (VIpc).

El complejo neurovascular inferior fue el más relevante para nuestro abordaje, ya que a esta altura encontramos el objetivo del canal de trabajo: la oliva bulbar. En la totalidad de los especímenes disecados mediante un abordaje retrosigmoideo encontramos las siguientes estructuras en el complejo inferior: nervio glossofaríngeo (IXpc), nervio vago (Xpc), nervio accesorio o espinal (XIpc), nervio hipogloso (XIIpc) y la arteria cerebelosa posteroinferior (PICA). El nervio glossofaríngeo (IXpc) y el nervio

vago (Xpc) en su salida del surco retrolivar, se interpusieron en nuestro camino final a través del canal de trabajo en los 20 abordajes realizados. Esto supuso una mayor dificultad técnica en el momento de la exposición completa de la oliva bulbar. Además, en los especímenes en los que otras estructuras neurales obstaculizaron nuestro paso en segmentos más próximos del canal, supuso una dificultad añadida limitando la maniobrabilidad sobre nuestro objetivo. El nervio accesorio (XIpc) se encontró dentro del canal de trabajo a nivel distal del cono truncado en 13 de los abordajes (65%). Las raíces de este par craneal quedaron fuera del canal de trabajo en 7 de los abordajes realizados (35%). El nervio hipogloso (XIIpc) se localizó fuera del canal de trabajo en la totalidad de los abordajes realizados. A pesar de su localización en las inmediaciones de la oliva bulbar, la localización anterior de sus raíces a nivel del surco preolivar permitió que la trayectoria posterolateral del canal de trabajo no intercediera con este par craneal. La arteria cerebelosa posteroinferior (PICA) se interpuso en el segmento distal del cono truncado en 14 de los abordajes realizados (70%). En 8 de los casos (40%) apareció anterior a la oliva bulbar, entre los pares craneales bajos (IXpc y Xpc) y el nervio hipogloso (XIIpc); y en 6 de los casos (30%) se localizó posterior a la oliva bulbar y los pares craneales bajos. La movilización de esta estructura vascular no supuso una mayor dificultad técnica cuando su localización fue posterior a la oliva bulbar, sin embargo, cuando la localización fue anterior, los pares craneales bajos dificultaron dicha maniobra (Fig. 83).<sup>71, 75</sup>



**FIGURA 83.** Exposición del compartimento distal del canal de trabajo para acceder a la oliva bulbar. Es de interés en las dos imágenes objetivar como el seno transversal limita la visión de la región más caudal del objetivo. A) Se muestra el complejo neurovascular inferior, observando como los pares craneales bajos (IXpc y Xpc) junto con la arteria cerebelosa posteroinferior (PICA) interceden en el canal de trabajo dificultando la maniobrabilidad. En este caso la arteria se localizó anterior a la oliva bulbar entre los pares craneales bajos y el nervio hipogloso (XIIpc). B) En esta imagen realizamos una traslocación de la arteria cerebelosa posteroinferior a través de los pares craneales bajos para poder trabajar en distintos segmentos de la oliva bulbar. 1, seno transversal (límite superior de la

ventana superficial); 2, pares craneales bajos (IXpc y Xpc); 3, nervio espinal o accesorio (XIpc); 4, oliva bulbar; 5, nervio hipogloso (XIIpc); 6, arteria vertebral; 7, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA).

## **2. DESCRIPCIÓN DE LA ANATOMÍA MICROQUIRÚRGICA EXPUESTA TRAS LA REALIZACIÓN DE UN ABORDAJE *FAR LATERAL* AL COMPARTIMENTO INFERIOR DE LA FOSA POSTERIOR**

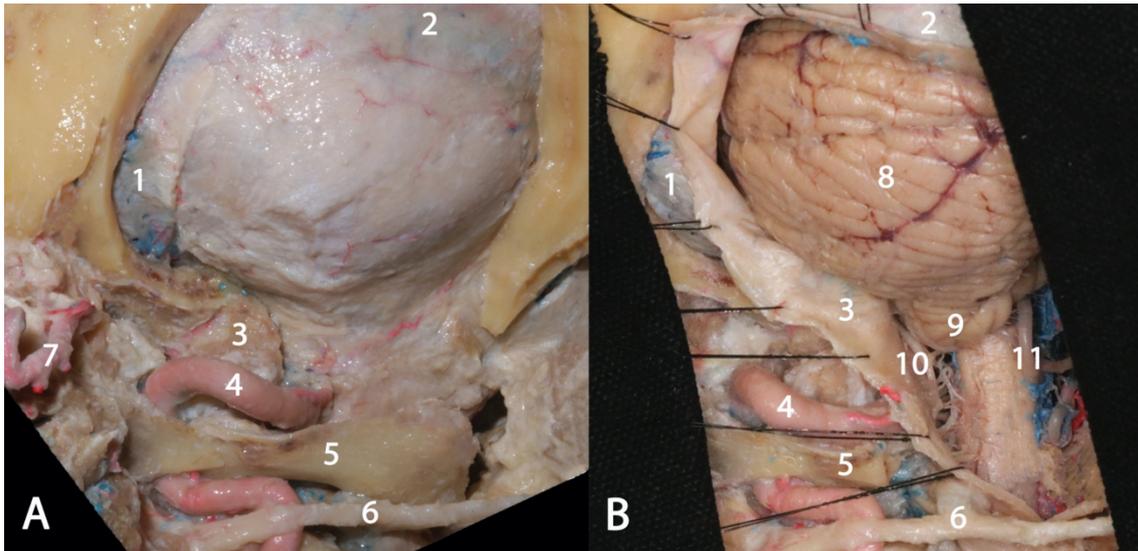
El estudio detallado de la fosa posterior a nivel de la unión cráneo-cervical nos permitió comprender las necesidades para seleccionar la variante de abordaje *far lateral* idóneo, teniendo como objetivo el acceso a la oliva bulbar. De entre las variantes del abordaje *far lateral*, decidimos seleccionar la transcondilar por obtener un canal de trabajo más amplio y facilitar la técnica microquirúrgica a nivel de la oliva bulbar. Tras la realización de este abordaje pudimos diseñar un canal de trabajo de forma geométrica y analizar las estructuras que intercedieron en su trayecto hasta nuestro objetivo.

### **2.1. DESCRIPCIÓN DEL INCREMENTO DE VISIÓN CISTERNAL TRAS LA REALIZACIÓN DE UN ABORDAJE TRANSCONDILAR**

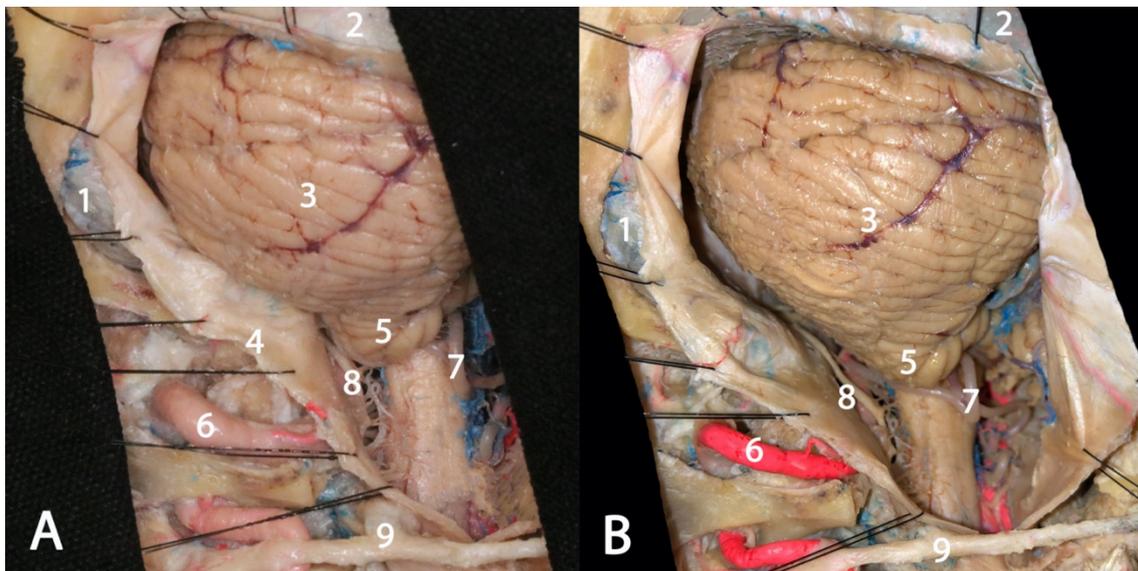
Una vez completado el abordaje *far lateral* estándar se visualizó el beneficio de realizar un abordaje transcondilar, objetivando un incremento significativo de la exposición de la cisterna cerebelobulbar obteniendo un canal de trabajo más amplio (Figs. 84 y 85). Se realizó un fresado de la porción posterior del cóndilo occipital hasta el canal del hipogloso. El límite anterior del fresado se estableció en la aparición de hueso cortical durante el fresado del cóndilo, correspondiente al canal del hipogloso. Dado el trayecto del canal, como se describe en apartados anteriores de este trabajo, fue posible reseca

tercio posteromedial y los dos tercios posterolaterales del cóndilo hasta exponer la totalidad del mismo. El plano inferior de fresado se delimitó trazando una línea horizontal imaginaria que unió la entrada dural de la arteria vertebral con la región más caudal y medial del seno sigmoideo. Esta resección, de aproximadamente un tercio del cóndilo occipital, nos permitió crear una base de superficie plana sobre la que configurar nuestro canal de trabajo.<sup>10,17</sup>

Una vez completados los pasos anteriores, se procedió a realizar una apertura de la duramadre. El colgajo de duramadre fue rebatido inferolateralmente. Sin un fresado del cóndilo no fue posible aplanar la base de la duramadre, quedando dispuesta en una forma convexa condicionando una reducción significativa de nuestra visión sobre la cisterna cerebelobulbar. Por lo tanto, el fresado del cóndilo según los límites definidos permitió generar una ventana de superficie suficiente y base plana a partir de la que diseñar nuestro canal de trabajo y poder maniobrar con libertad (Figs. 84 y 85).



**FIGURA 84.** Representación del abordaje far lateral sin realizar el trabajo de fresado a nivel del cóndilo occipital. A) En esta imagen se muestra la realización de la craneotomía suboccipital lateral preservando el cóndilo occipital. B) En esta fase, tras eliminar parte del arco posterior de C1 se procedió a abrir la duramadre sin haber fresado previamente el cóndilo occipital. Podemos observar en esta imagen como el cóndilo protruye subyacente a la duramadre e impide visualizar correctamente la cisterna cerebelobulbar. 1, seno sigmoideo; 2, seno transversario; 3, cóndilo occipital; 4, arteria vertebral en su segmento V3; 5, arco posterior de C1; 6, segundo nervio espinal; 7, arteria occipital; 8, superficie suboccipital del cerebelo; 9, amígdala cerebelosa; 10, nervio espinal o accesorio (XIpc); 11, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA).



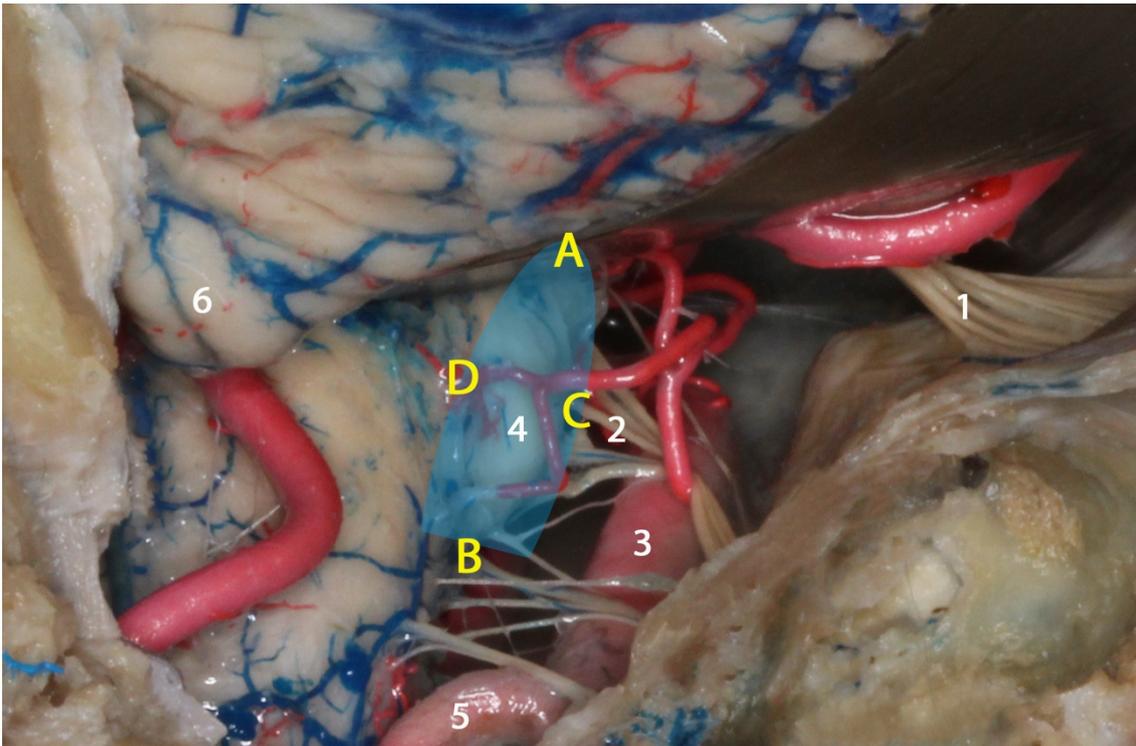
**FIGURA 85.** Comparación del abordaje far lateral en el mismo espécimen tras la apertura dural sin fresado del cóndilo occipital (A) y con fresado del mismo (B). Podemos objetivar en la imagen B el aplanamiento de la duramadre sobre una línea recta imaginaria trazada desde el punto más basal y medial del seno sigmoideo hasta la entrada dural de la arteria vertebral. Este fresado nos amplía la ventana de entrada de forma considerable. 1, seno sigmoideo; 2, seno transversario;

**3, superficie suboccipital del cerebelo; 4, cóndilo occipital cubierto por duramadre; 5, amígdala cerebelosa; 6, arteria vertebral en su segmento V3; 7, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 8, nervio espinal o accesorio (XIpc); 9, segundo nervio espinal.**

## **2.2. DISEÑO DEL CANAL DE TRABAJO A LA OLIVA BULBAR**

Tras la finalización del abordaje *far lateral* transcondilar, el objetivo fue delimitar un canal de visión y de trabajo, siguiendo la misma metodología que se utilizó en el abordaje retrosigmoideo. En la configuración de este canal se delimitaron dos superficies en forma de semióvalo: una superficie en profundidad (objetivo) que incluyó la totalidad de la oliva bulbar y una superficie superficial que nos permitió obtener el mayor ángulo de visión posible al objetivo. Como primer paso, tras la finalización del abordaje, se localizó la oliva bulbar en profundidad realizándose un mapa topográfico con los mismos puntos cardinales utilizados para el abordaje retrosigmoideo: craneal (A), caudal (B), anterior (C) y posterior (D). Para la localización de estos puntos se utilizó la misma metodología que en el abordaje retrosigmoideo. Sin embargo, para delimitar la superficie del objetivo de nuestro canal de trabajo se configuró un semióvalo construido a partir de los puntos A, B, C, y D. El punto A delimitó la parte más craneal correspondiente a la curva convexa de la superficie. Los puntos C y D marcaron los puntos más laterales; y el punto B delimitó la región inferior de la base trazando una línea horizontal (Fig. 86).<sup>53, 65,</sup>

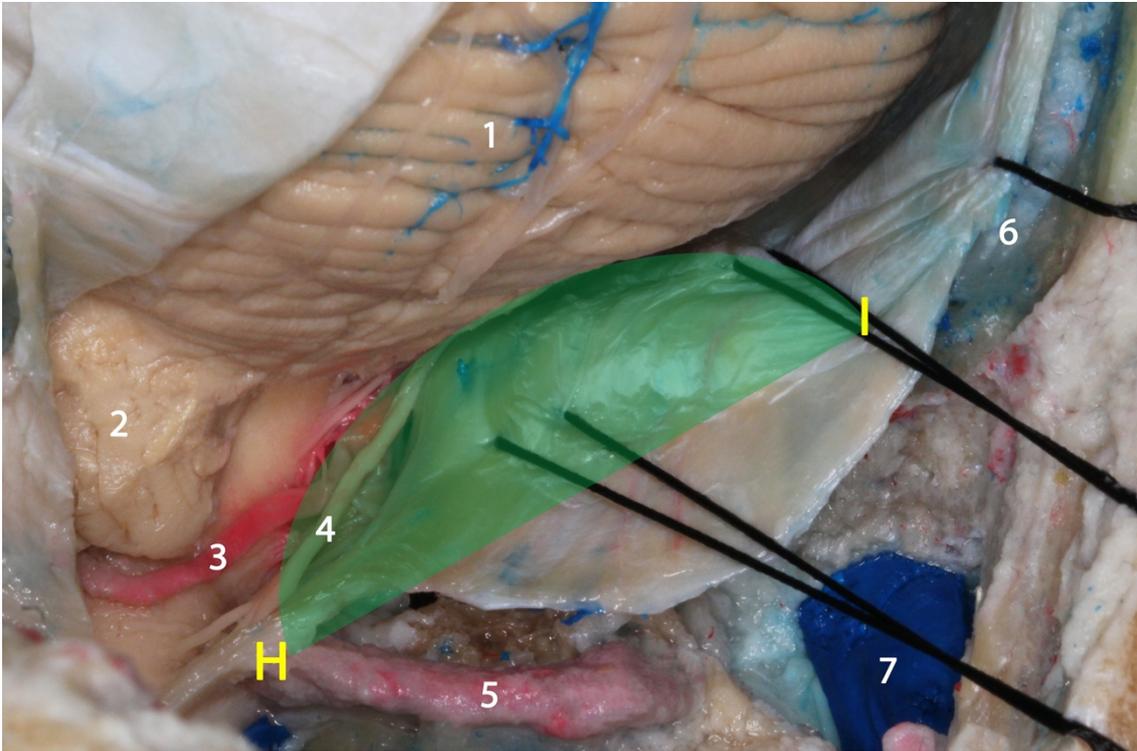
71, 75, 96-98



**FIGURA 86. Delimitación de la superficie profunda (objetivo) del canal de trabajo para el abordaje *far lateral*. En la imagen se muestra la superficie con forma de semióvalo (representado de color azul) con base inferior incluyendo la totalidad de la oliva bulbar desde un abordaje *far lateral*. Se marcan los puntos usados para delimitar la base: craneal (A), caudal (B), anterior (C) y posterior (D). 1, pares craneales bajos (IXpc, Xpc); 2, nervio hipogloso (XIIpc); 3, arteria vertebral; 4, oliva bulbar; 5, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 6, amígdala cerebelosa.**

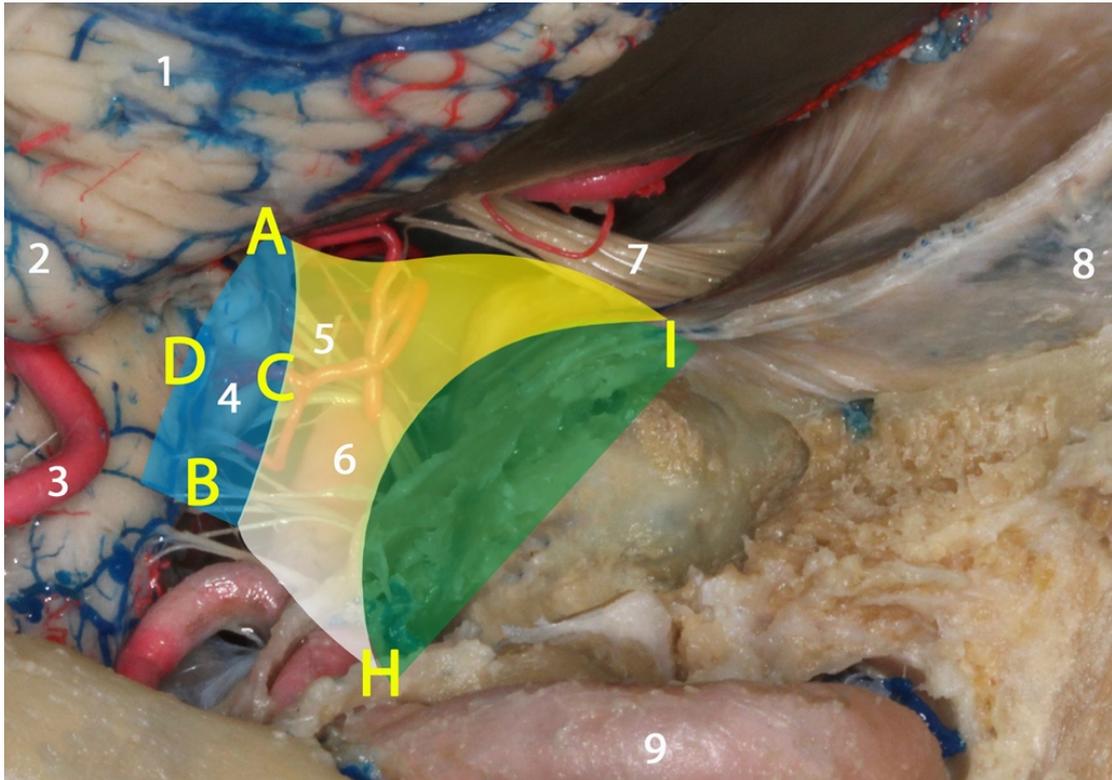
La superficie superficial (ventana de entrada) de nuestro canal de trabajo fue delimitada a partir de la proyección más idónea para el acceso a la oliva bulbar. Así pues, conociendo la localización en profundidad de nuestro objetivo, el objetivo de nuestra entrada desde la superficie fue conseguir una proyección lo más basal y lateral posible. El resultado fue una ventana superficial en forma de semióvalo. Utilizamos dos puntos en superficie que fueron fundamentales en nuestro estudio para delimitar este semióvalo y orientar la proyección de trabajo: punto H, en la entrada dural de la arteria vertebral; y punto I, punto más basal y medial del seno sigmoideo. La unión rectilínea de estos dos puntos define la base del semióvalo, es decir, la zona más basal de nuestro canal de trabajo. Es de interés conocer que este límite basal se corresponde con el trayecto del nervio espinal o accesorio (XIpc) localizado entre 1-2 mm caudal al canal de trabajo. El

punto más craneal de la semielipse vino delimitado por la altura de la superficie suboccipital del cerebelo (Fig. 87).<sup>71,75</sup>



**FIGURA 87.** Diseño de la base superficial del canal de trabajo para el abordaje *far lateral*. Es de interés observar los límites en la entrada dural de la arteria vertebral (H), la región más basal y medial del seno sigmoideo (I) y el límite craneal delimitado por la superficie suboccipital del cerebelo. Podemos apreciar en la imagen como el nervio espinal o accesorio (XIpc) discurre justo caudal a la base del semióvalo. 1, superficie suboccipital del cerebelo; 2, amígdala cerebelosa; 3, arteria cerebelosa posteroinferior; 4, nervio espinal o accesorio (XIpc); 5, arteria vertebral en su segmento V3; 6, seno sigmoideo; 7, vena yugular interna.

Una vez delimitadas las superficies profunda y superficial del canal de trabajo se procedió a unir las para obtener la morfología del canal de trabajo para el abordaje *far lateral*. En este caso, el resultado fue medio cono truncado (tronco de cono o cono de Garófalo) con el objetivo en la superficie profunda donde se incluye la totalidad de la oliva bulbar (Fig. 88).

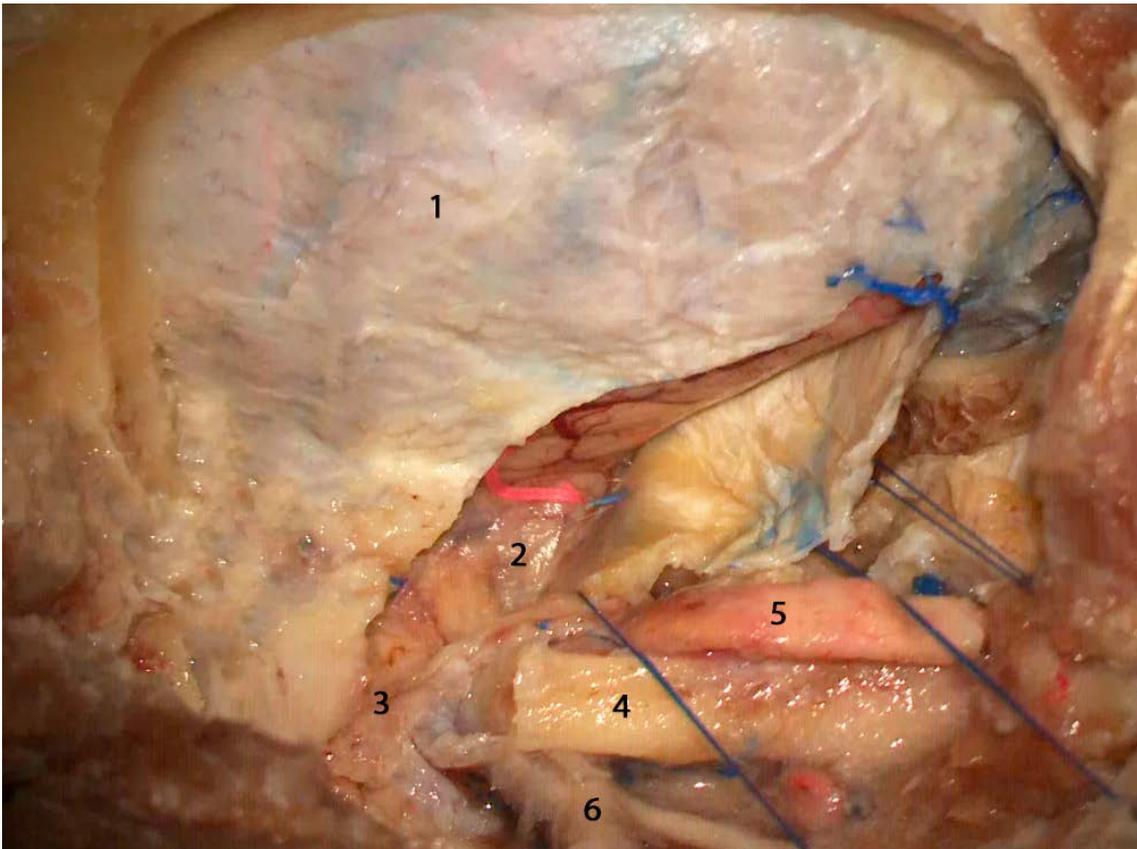


**FIGURA 88.** Diseño del canal de trabajo en forma de medio como truncado utilizado en el abordaje *far lateral*. En la imagen podemos observar la superficie superficial o ventana de entrada (verde) y la superficie profunda u objetivo (azul), la unión de las cuales nos da un canal en forma de medio como truncado. 1, superficie suboccipital del cerebelo; 2, amígdala cerebelosa; 3, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 4, oliva bulbar; 5, nervio hipogloso (XIIpc); 6, arteria vertebral en su segmento V4; 7, pares craneales bajos (IXpc y Xpc); 8, seno sigmoideo; 9, arteria vertebral en su segmento extradural V3.

### 2.3. COMPARTIMENTO CISTERNAL DEL CANAL DE TRABAJO

Tras realizar una delimitación anatómica y geométrica del canal de trabajo para el abordaje *far lateral* transcondilar, se procedió a analizar el contenido de las estructuras neurovasculares presentes en nuestro camino al objetivo. Para poder analizar de forma correcta este contenido fue fundamental la realización de una disección meticulosa de las cisternas cerebelopontina, cerebelobulbar, magna y espinal posterior (Fig. 89).<sup>55</sup> La apertura y resección de las membranas aracnoideas presentes en las cisternas nos permitió una correcta retracción cerebelosa y el incremento de la visualización de las estructuras

neurovasculares localizadas en el canal de trabajo. Al igual que en el abordaje retrosigmoideo, en la porción más craneal encontramos la cisterna cerebelopintina separada de la cisterna cerebelobulbar por la membrana pontobulbar lateral situada entre los nervios vestibulococlear (VIIIpc) y glossofaríngeo (IXpc). En el interior de la cisterna cerebelopontina se encontraron los complejos neurovasculares superior y medio; no obstante, en el abordaje *far lateral* no se requiere una disección exhaustiva de dichos compartimentos para configurar el canal de trabajo. En la porción intradural más caudal encontramos la cisterna cerebelobulbar que alcanza medialmente el foramen magno y el canal raquídeo, continuándose en la porción posterior con la cisterna magna y la cisterna espinal posterior. En el interior de la cisterna cerebelobulbar, magna y espinal posterior encontramos las estructuras del complejo neurovascular inferior descrito por el Prof. Albert L. Rhoton, Jr y ya expuesto en apartados anteriores.<sup>71, 75</sup>

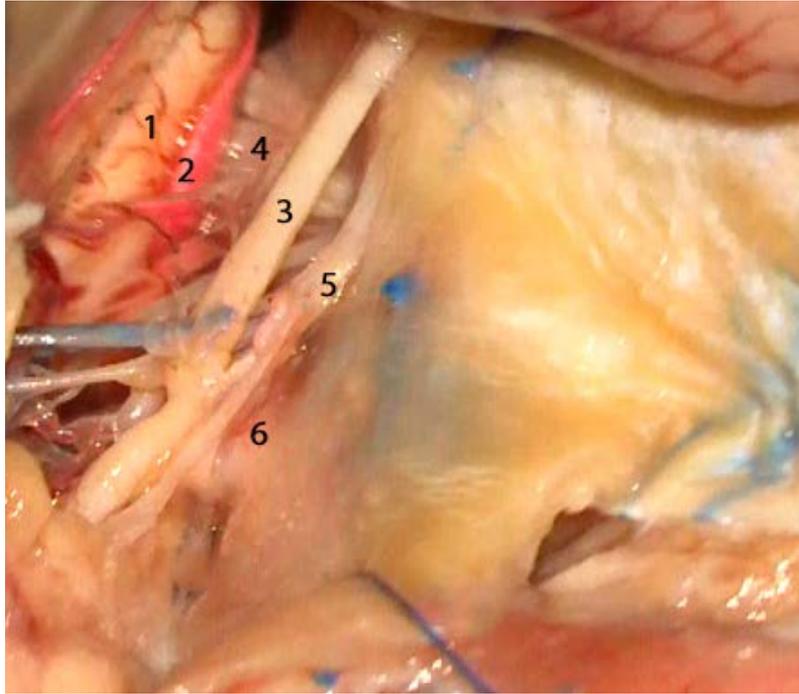


**FIGURA 89.** Fase de apertura dural y disección de las cisternas cerebelopontina, cerebelobulbar, magna y espinal posterior. En la imagen se muestran las membranas aracnoideas presentes en las cisternas cerebelobulbar y magna que impiden una correcta visualización de su contenido. 1, duramadre cubriendo la superficie suboccipital del cerebelo; 2, cisterna cerebelobulbar; 3, porción de la cisterna magna; 4, arco posterior de C1; 5, segmento V3 de la arteria vertebral; 6, segundo nervio espinal.

Una vez diseccionado el plano aracnoideo y las cisternas pudimos valorar las principales estructuras neurovasculares intradurales.<sup>54</sup> El elemento más relevante fue la arteria vertebral, que tras penetrar la duramadre se identifica rodeada por un manguito fibroso y de varias estructuras en sus inmediaciones: la primera raíz espinal C1, el ligamento dentado y el nervio espinal o accesorio (XIpc). El nervio C1 se localizó en el borde inferior de la arteria vertebral manteniendo esta relación hasta su salida extradural. El ligamento dentado se localizó entre las raíces anteriores y posteriores de los nervios espinales y fijado a la duramadre con unas expansiones triangulares. El primer anclaje del ligamento dentado se localizó en las proximidades de la entrada dural de la arteria

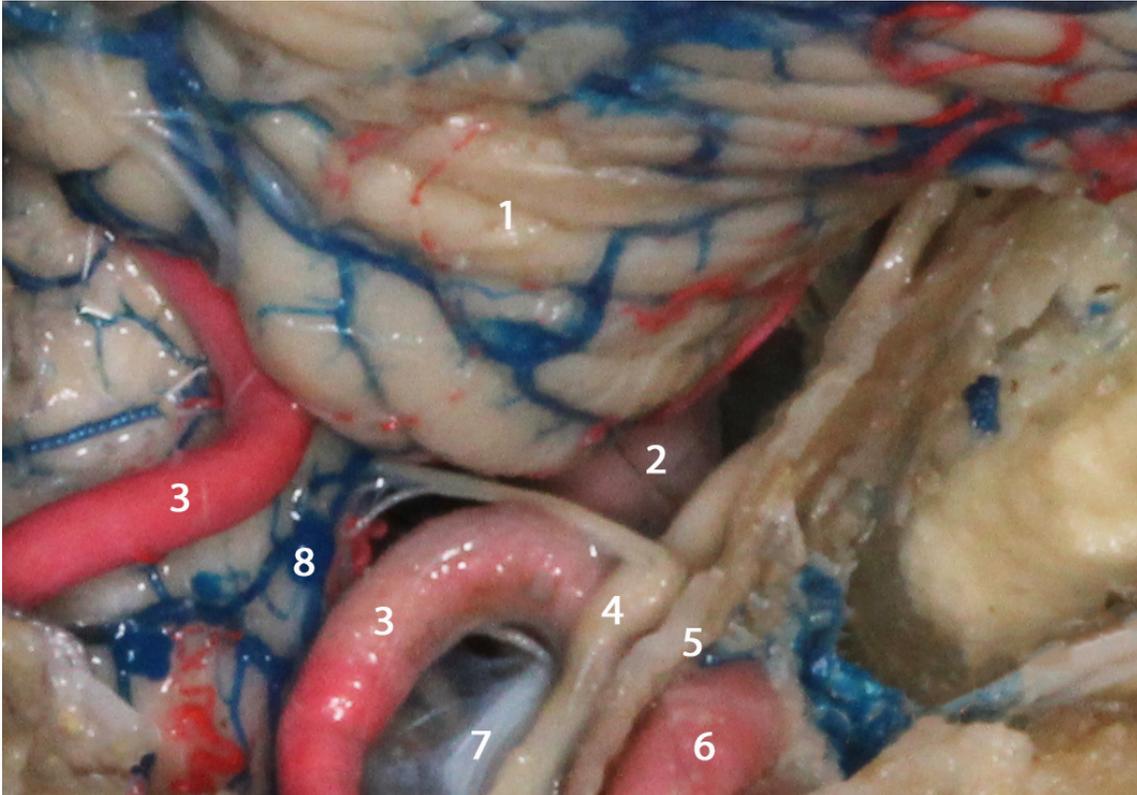
vertebral a nivel condilar. En todos los especímenes se seccionó el ligamento dentado para mejorar y permitir una mejor exposición de la región anterolateral del bulbo raquídeo. En un plano posterior al ligamento dentado se pudo identificar el nervio espinal o accesorio (XIpc). Este par craneal es el único que atraviesa el foramen magno ya que parte de sus raíces se forman a partir de raicillas ventrales y dorsales de los primeros segmentos medulares. Además, el trayecto de este par craneal a partir del foramen magno delimitó la base del semióvalo superficial del canal de trabajo. El nervio espinal siempre se localizó posterior a la arteria vertebral. Los pares craneales bajos (IXpc y Xpc) se localizaron en la porción más craneal de nuestra exposición, en un plano superficial y con una dirección prácticamente horizontal hacia el foramen yugular (Fig. 90).<sup>71, 75</sup>

En este segmento intradural la arteria vertebral da origen a varias ramas como: la arteria espinal anterior muy relevante funcionalmente, pero de poco calibre; la espinal posterior; y la arteria cerebelosa posteroinferior (PICA) siendo la más relevante por su calibre. En un plano más profundo de la cisterna cerebelobulbar, anterior a la arteria vertebral, se localizaron las raíces del nervio hipogloso (XIIpc), saliendo del surco preolivar. Los elementos venosos intradurales en esta localización anatómica no fueron tan relevantes como en el abordaje retrosigmoideo lo fue el complejo de la vena petrosa. Pudimos identificar venas bulbares anterior, anterolateral, preolivar, retrolivar, lateral, posterior y algunas venas transversales, de menor calibre y escasa repercusión en la maniobrabilidad dentro del canal de trabajo.<sup>71, 74, 75</sup>



**FIGURA 90.** Exposición de las estructuras localizadas alrededor de la entrada dural de la arteria vertebral. Se muestra el ligamento dentado (5) y sus relaciones. 1, oliva bulbar; 2, arteria cerebelosa posteroinferior; 3, nervio espinal o accesorio (XIpc); 4, nervio hipogloso (XIIpc); 5, ligamento dentado; 6, entrada dural de la arteria vertebral.

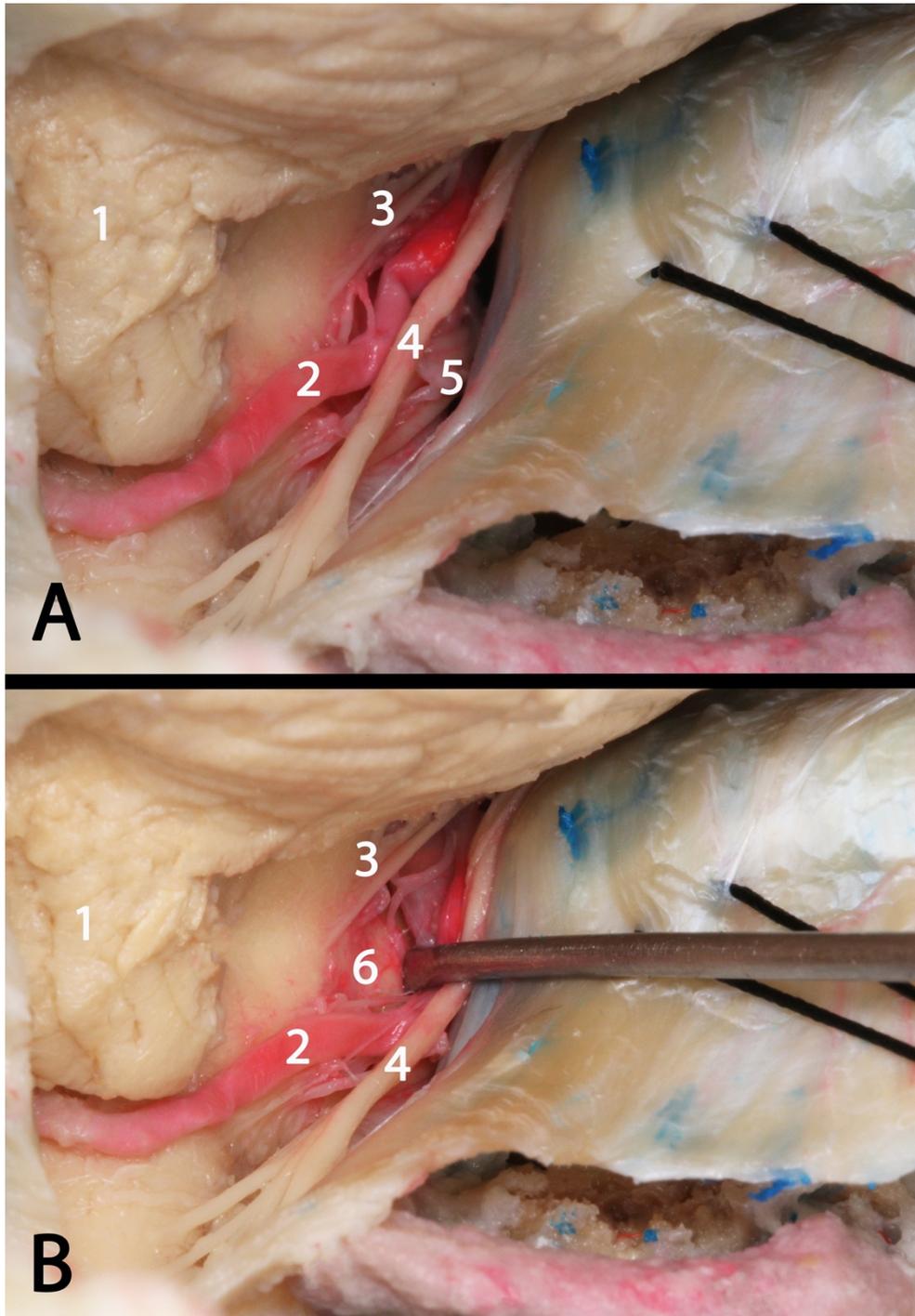
Para permitir una correcta visualización de la superficie profunda del canal de trabajo (objetivo) fue fundamental realizar un trabajo de liberación de la amígdala cerebelosa y de las regiones inferiores de la superficie suboccipital y petrosa del cerebelo. Con esta maniobra pudimos realizar una retracción sin tensión, suficiente para exponer la totalidad del semióvalo en profundidad. Tras la localización de nuestro objetivo, pudimos comprobar que para acceder al objetivo a través de nuestro canal de trabajo fue únicamente necesario atravesar el complejo neurovascular inferior (Fig. 91).



**FIGURA 91.** Imagen tras la liberación de la amígdala cerebelosa y los bordes inferiores de la superficie suboccipital y petrosa del cerebelo. 1, amígdala cerebelosa; 2, arteria vertebral intradural; 3, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 4, nervio espinal o accesorio (XIpc); 5, entrada dural de la arteria vertebral; 6, arteria vertebral extradural; 7, ligamento dentado; 8, bulbo raquídeo y las principales venas bulbares de la superficie posterolateral.

Igual que en el abordaje retrosigmoideo, el complejo neurovascular inferior fue el más relevante. En la totalidad de los especímenes disecados mediante un abordaje *far lateral* encontramos las siguientes estructuras en el complejo inferior: nervio glossofaríngeo (IXpc), nervio vago (Xpc), nervio accesorio o espinal (XIpc), nervio hipogloso (XIIpc), la arteria cerebelosa posteroinferior (PICA) y la arteria vertebral. El nervio glossofaríngeo (IXpc) y el nervio vago (Xpc) en su salida del surco retrolivar, se interpusieron en nuestro camino final a través del canal de trabajo en 2 de los abordajes realizados (10%). Su localización craneal a nivel del surco retrolivar permitió que en un gran porcentaje de los accesos a través del canal de trabajo fuese posible evitarlos. El nervio accesorio (XIpc) se encontró en nuestro camino a través del cono truncado distal en 8 de los abordajes realizados. Cabe destacar aquí, que en 6 de los abordajes (30%) no

obstaculizó el tronco principal del XIpc, sino que las estructuras que se interpusieron fueron pequeñas raicelas que emergían del surco retrolivar en dirección al tronco principal. El tronco principal del nervio espinal se localizó paralelo e inferior a la base de la entrada superficial del canal de trabajo en 18 de los abordajes (90%). El nervio hipogloso (XIIpc), al igual que en el abordaje retrosigmoideo, se localizó fuera del canal de trabajo en la totalidad de los abordajes realizados. A pesar de su localización en las inmediaciones de la oliva bulbar, la localización anterior de sus raíces a nivel del surco preolivar permitió que la trayectoria posteroinferolateral del canal de trabajo no intercediera con las raíces de este par craneal. La arteria cerebelosa posteroinferior (PICA) se interpuso en el segmento distal del cono truncado en 19 de los abordajes realizados (95%). La arteria vertebral obstaculizó nuestro paso a través del canal de trabajo en 6 de los abordajes (30%) (Fig. 92).<sup>71, 74, 75</sup>



**FIGURA 92.** Ejemplo de uno de los abordajes *far lateral* realizados. En la imagen A observamos como la totalidad de la superficie olivar queda obstaculizada por la arteria cerebelosa posteroinferior (PICA) y el nervio espinal (XIpc). En la imagen B se desplazan ligeramente y cuidadosamente las estructuras para visualizar nuestro objetivo en la oliva bulbar. 1, amígdala cerebelosa; 2, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 3, pares craneales bajos (IXpc y Xpc); 4, nervio espinal o accesorio (XIpc); 5, nervio hipogloso (XIIpc); 6, oliva bulbar.

### **3. CUANTIFICACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE TRABAJO, ÁNGULOS DE ATAQUE Y SUPERFICIE A LA OLIVAR BULBAR PARA CADA UNO DE LOS DOS ABORDAJES**

Para realizar la cuantificación de las distancias de trabajo, ángulos de ataque y superficie expuesta de la oliva bulbar (objetivo), se utilizaron tres tipos de medición, descritos en el apartado de material y métodos: medición directa, indirecta con neuronavegación y en estudios de imagen de resonancia magnética con softwares específicos. Las razones principales por las que se tomó esta decisión fueron las dificultades técnicas para realizar mediciones precisas en los especímenes cadavéricos y la dificultad para conseguir tamaños muestrales adecuados de especímenes cadavéricos para realizar estudios estadísticos concluyentes.

Como se desarrolla en el apartado de material y métodos, la metodología seguida para la toma de mediciones fue la siguiente:

-En un primer lugar, tras la finalización de cada uno de los abordajes anatómicos se identificaron los puntos anatómicos referenciales y se realizó una medición manual directa.

-En segundo lugar, se neuronavegaron los especímenes disecados, registrando las medidas de forma indirecta.

-Finalmente, los puntos anatómicos referenciales seleccionados en base a los abordajes anatómicos realizados, fueron identificados en estudios de resonancia magnética cerebral con lo que se pudo tomar mediciones.

Se calculó que en la muestra de 10 especímenes anatómicos (20 olivas), un test estadístico de muestras relacionadas (*far lateral* vs. *retrosigmoideo*) alcanzó una potencia

estadística del 71,3% para detectar un tamaño de efecto grande ( $d=0,8$ ) en la diferencia media de una distancia para una confianza del 95%. Esta potencia se corrigió asumiendo una correlación intra-especimen alta ( $ICC=0,8$ ), estimada a partir de los datos.

Para el estudio de 30 resonancias magnéticas (60 olivas), la potencia alcanzada fue 92,4% para detectar un tamaño de efecto incluso menor ( $d=0,5$ , medio). Esta potencia se corrigió asumiendo una correlación intra-paciente baja ( $ICC=0,25$ ), estimada a partir de los datos.

Los puntos anatómicos referenciales adquiridos durante la disección microquirúrgica en cada uno de los abordajes fueron descritos en los apartados anteriores (Fig. 93):

-Puntos seleccionados en la oliva bulbar:

**PUNTO A:** Punto más craneal de la oliva bulbar

**PUNTO B:** Punto más caudal de la oliva bulbar

**PUNTO C:** Punto a nivel del surco preolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T

**PUNTO D:** Punto a nivel del surco retroolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T

**PUNTO T (objetivo):** Punto equidistante en el plano coronal entre los puntos A y B, y punto equidistante entre los puntos C y D en el plano coronal

-Para el abordaje retrosigmoideo, se definió un círculo de 30 mm de diámetro, que representa las dimensiones de una craneotomía estándar con su punto craneal en el seno transversal y su punto anterolateral en el seno sigmoideo:

**PUNTO E:** Punto anterolateral en contacto con el seno sigmoideo del círculo predefinido

**PUNTO F:** Punto craneal en contacto con el seno transversal del círculo predefinido

**PUNTO G:** Punto central del círculo predefinido

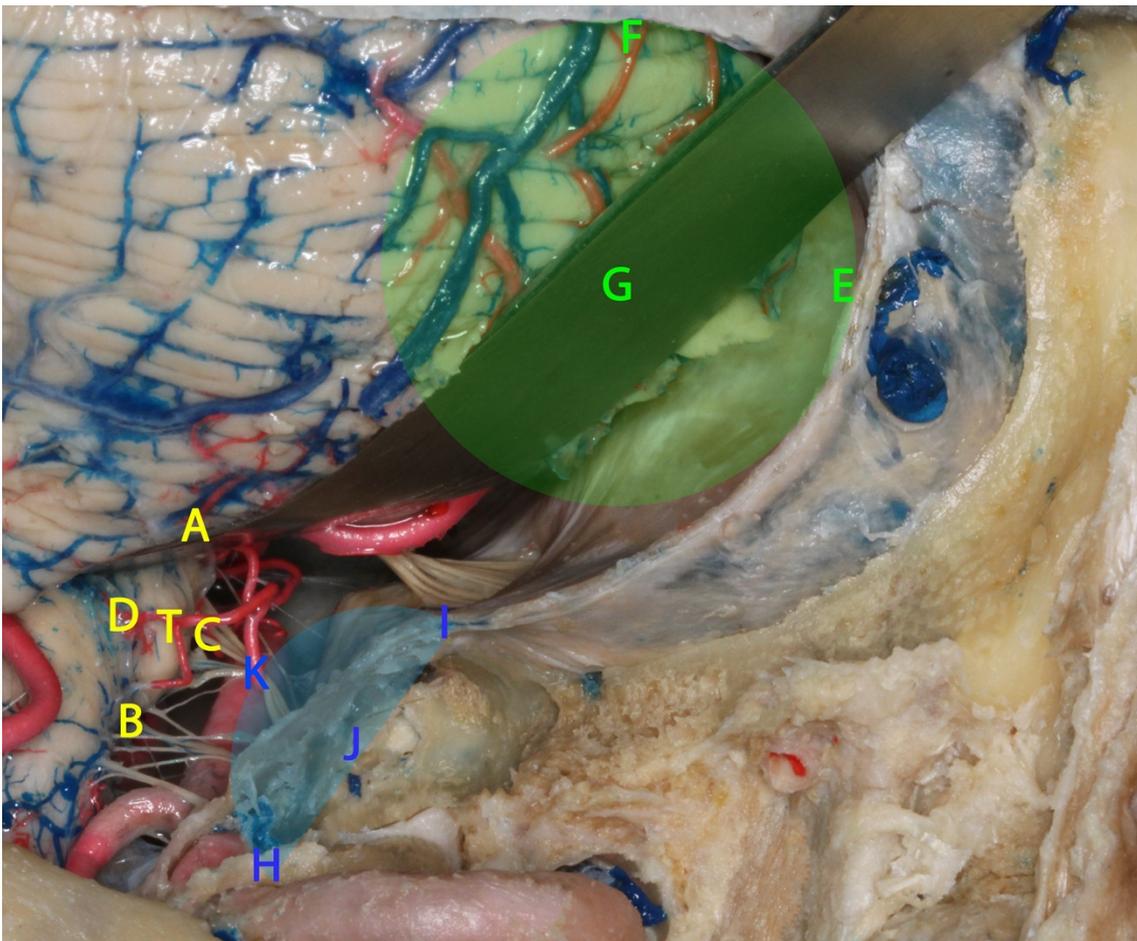
-Para el abordaje *far lateral*:

**PUNTO H:** Punto más craneal y lateral en la entrada dural de la arteria vertebral

**PUNTO I:** Punto más basal y medial del seno sigmoideo que corta el plano coronal donde se define el punto H

**PUNTO J:** Punto equidistante en el plano coronal entre H e I. Punto central de trabajo para el abordaje.

**PUNTO K:** Para definir el punto K, se define una semiesfera cuya base es el diámetro de la distancia entre el punto H e I. El punto K será el punto del semicírculo cuyo radio es perpendicular a la base.



**FIGURA 93.** Delimitación de todos los puntos anatómicos referenciales utilizados en el presente trabajo de tesis doctoral. En color amarillo se muestran los puntos que delimitan el objetivo en la oliva bulbar. En color verde se marcan los puntos en superficie para el abordaje retrosigmoideo a partir de una craneotomía de aproximadamente 30 x 30 mm (circunferencia verde). En azul se señalan los puntos en superficie para el abordaje *far lateral*, con la configuración superficial del semióvalo (azul) para delimitar el punto K.

### 3.1. ESPECÍMENES DISECADOS

#### 3.1.1. Medidas directas en especímenes anatómicos

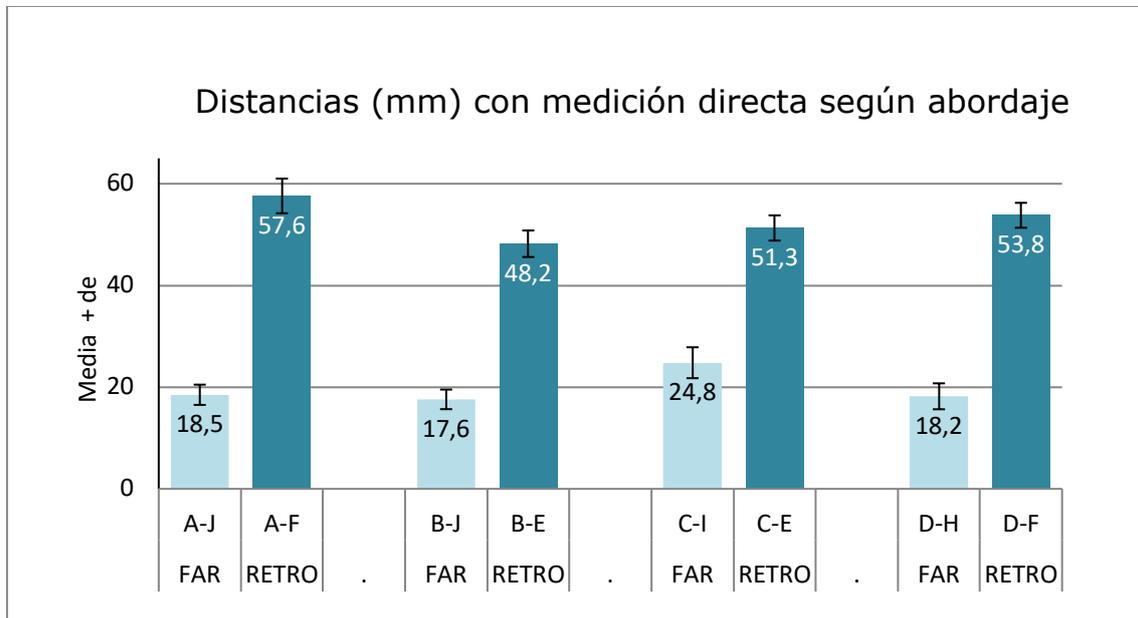
Se recogieron todas las medidas realizadas en los 20 lados de las 10 cabezas utilizadas. En la tabla 1 se dimensiona la región objetivo: la oliva bulbar. Para la cuantificación de la dimensión de la oliva bulbar se consideraron las distancias A-B y C-D respectivamente. Es decir, midiendo la altura (A-B) y la anchura (C-D) máximas de cada una de las olivas bulbares disecadas. Se calculó el promedio o media aritmética, mínimo, máximo, mediana y desviación típica.

**Tabla 1. MEDIDAS DIRECTAS. DIMENSIONES DEL OBJETIVO: DISTANCIAS (mm) Y SUPERFICIE (mm<sup>2</sup>)**

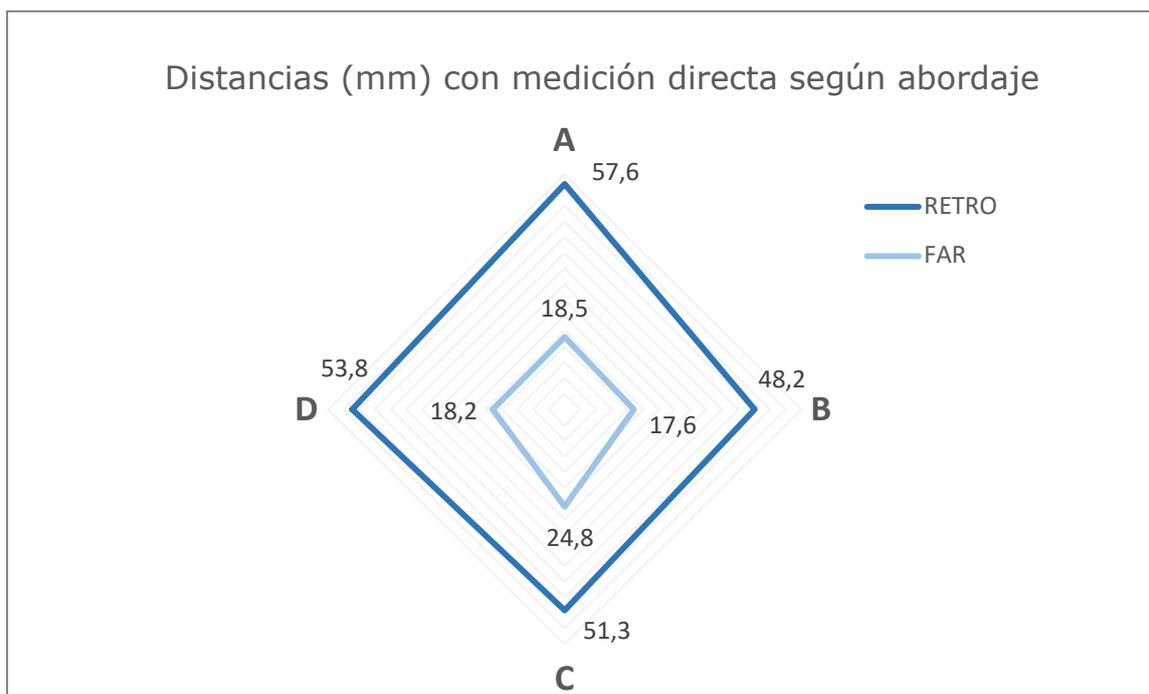
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
AB	20	12,48	1,28	1,0,50	14,50	12,50
CD	20	6,03	,73	5,00	7,00	6,00
SUP ABCD	20	58,81	8,00	47,12	74,02	58,02

En las tablas 2 y 3 se registraron las distancias desde la superficie a los puntos de referencia A, B, C y D en cada uno de los dos abordajes: retrosigmoideo y *far lateral*. Para ello se compararon las distancias desde los puntos A, B, C y D al punto anatómico referencial más próximo en la ventana superficial de cada uno de los dos abordajes. Estas dos tablas muestran la comparación mediante gráficas de la media aritmética para cada una de las distancias. En el apéndice de este apartado se muestran las tablas con el conjunto de datos recogidos en cada uno de los especímenes.

**Tabla 2. DISTANCIAS DESDE LA SUPERFICIE DE CADA UNO DE LOS ABORDAJES AL OBJETIVO: MEDICIÓN DIRECTA**



**Tabla 3. RESULTADOS DE LAS DISTANCIAS DESDE LA SUPERFICIE HASTA EL OBJETIVO SEGÚN EL ABORDAJE: RETROSIGMOIDEO VS FAR LATERAL**



Mediante el test estadístico Chi2 de Wald del modelo de ecuaciones de estimación generalizadas (EEG) se evaluó si las distancias a cada punto de referencia fueron iguales o no entre los dos abordajes. En la tabla 4 se muestran: la diferencia media entre distancias, intervalo de confianza al 95% y resultado (p-valor) del correspondiente test estadístico.

**Tabla 4. DIFERENCIA ENTRE DISTANCIAS A CADA UNO DE LOS PUNTOS DEL OBJETIVO (MEDIDAS DIRECTAS)**

	<b>Diferencia media</b>	<b>IC95%</b>	<b>p-valor</b>
<b>A-J vs. A-F</b>	39,1	37,9-40,3	<0,001***
<b>B-J vs. B-E</b>	30,6	29,6-31,5	<0,001***
<b>C-I vs. C-E</b>	26,5	24,8-28,1	<0,001***
<b>D-H vs. D-F</b>	35,6	34,2-37,0	<0,001***

\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001

Para cualquiera de los puntos de referencia, la distancia con el abordaje *far lateral* fue significativamente inferior a la conseguida con el abordaje retrosigmoideo (p<0,001).

### 3.1.2. Medidas de neuronavegación en especímenes anatómicos

La estrategia de análisis fue idéntica que en el apartado anterior. Se describieron todas las medidas obtenidas a partir del sistema de neuronavegación. La tabla 5 dimensiona la región de la oliva bulbar. Se realizó midiendo la altura (A-B) y la anchura

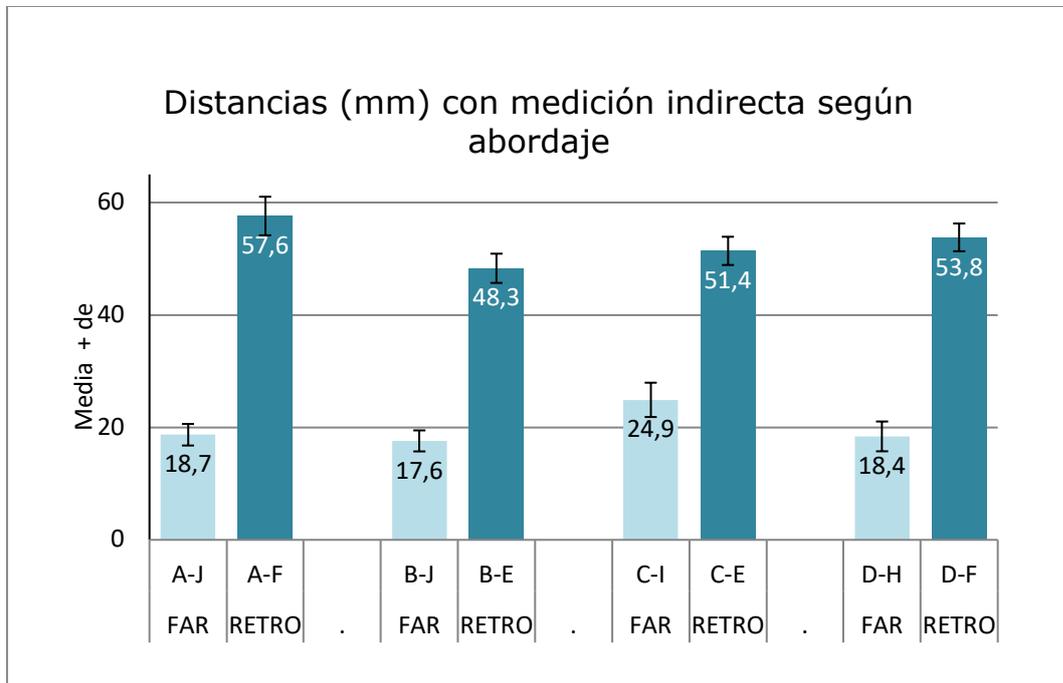
(C-D) máximas de cada una de las olivas bulbares disecadas. Se calculó el promedio o media aritmética, mínimo, máximo, mediana y desviación típica.

**Tabla 5. MEDIDAS DE NEURONAVEGACIÓN. DIMENSIONES DEL OBJETIVO: DISTANCIAS (mm) Y SUPERFICIE (mm<sup>2</sup>)**

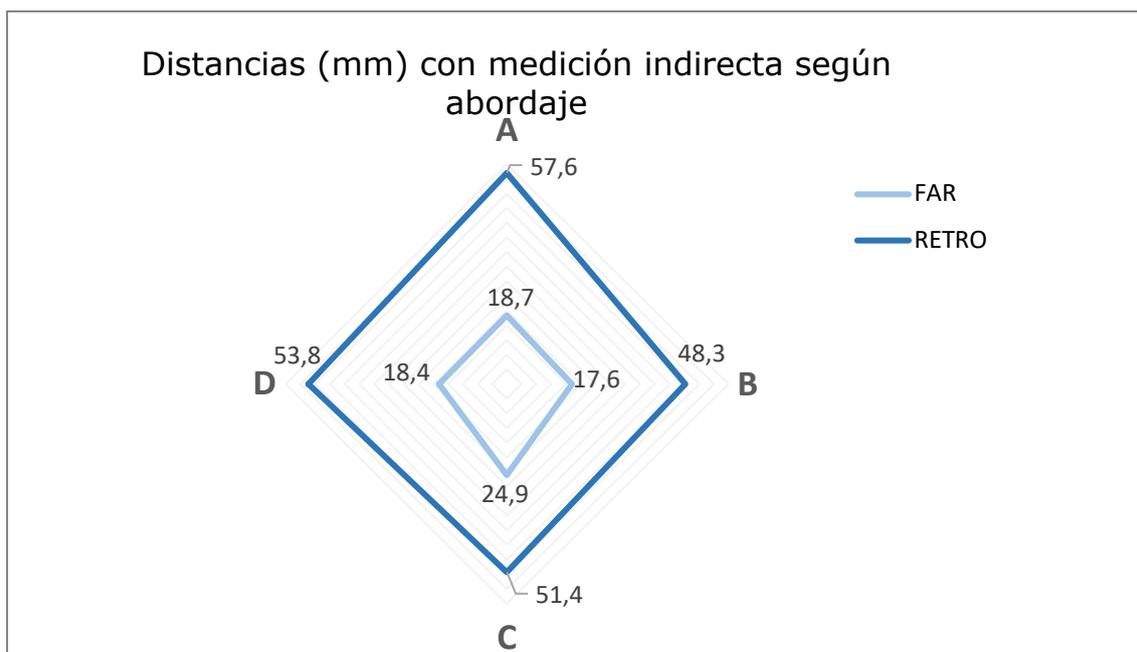
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
AB	20	12,68	1,33	10,60	15,30	12,65
CD	20	6,06	,79	4,80	7,40	6,15
SUP ABCD	20	60,07	8,76	47,72	80,51	59,32

En las tablas 6 y 7 se muestran las comparaciones de los resultados en las distancias desde la superficie hasta el objetivo en cada uno de los dos abordajes. Los promedios obtenidos fueron semejantes a los procedentes de las medidas directas. En el apéndice de este apartado se muestran las tablas con el conjunto de datos recogidos en cada uno de los especímenes.

**Tabla 6. DISTANCIAS DESDE LA SUPERFICIE DE CADA UNO DE LOS ABORDAJES AL OBJETIVO: MEDICIÓN CON NEURONAVEGACIÓN**



**Tabla 7. RESULTADOS DE LAS DISTANCIAS DESDE LA SUPERFICIE HASTA EL OBJETIVO SEGÚN EL ABORDAJE: RETROSIGMOIDEO VS FAR LATERAL**



Al igual que en las mediciones directas, se utilizó el test estadístico Chi2 de Wald del modelo de ecuaciones de estimación generalizadas (EEG) para evaluar si las distancias a cada punto de referencia fueron iguales o no entre los dos abordajes. En la tabla 8 se muestran: la diferencia media entre distancias, intervalo de confianza al 95% y resultado (p-valor) del correspondiente test estadístico.

**Tabla 8. DIFERENCIA ENTRE DISTANCIAS A CADA UNO DE LOS PUNTOS DEL OBJETIVO (MEDIDAS CON NEURONAVEGACIÓN)**

	<b>Diferencia media</b>	<b>IC95%</b>	<b>p-valor</b>
<b>A-J vs. A-F</b>	38,9	37,7-40,1	<0,001***
<b>B-J vs. B-E</b>	30,7	29,8-31,7	<0,001***
<b>C-I vs. C-E</b>	26,4	24,8-28,1	<0,001***
<b>D-H vs. D-F</b>	35,5	34,1-36,9	<0,001***

\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001

Para cualquiera de los puntos de referencia, la distancia con el abordaje *far lateral* fue significativamente inferior a la conseguida con el abordaje retrosigmoideo (p<0,001).

### 3.2. MEDICIONES MEDIANTE RESONANCIA MAGNÉTICA

Una vez estudiados, obtenidos y analizados los resultados en los 10 especímenes anatómicos se decidió ampliar el tamaño muestral, a partir de resonancias magnéticas de pacientes sanos anonimizados y sin patología craneocerebral previa conocida. Para este proceso resultó fundamental la experiencia previa de medición con neuronavegador en

especímenes, ya que supuso el salto de la anatomía quirúrgica a la radiológica. Se delimitaron puntos referenciales que a su vez fueron identificados en estudios de resonancia mediante el uso de software libre para estudios en formato DICOM (Osirix®). Mediante el modo de visualización triplanar (3D MPR) pudimos obtener las coordenadas cartesianas (x, y, z) de cada uno de los puntos anatómicos referenciales definidos. Con esta información y con la aplicación de cálculos matemáticos, pudimos obtener los parámetros de interés para este trabajo. En los estudios con resonancia magnética, se obtuvieron medidas de distancias, de ángulos de ataque y de superficie de la oliva bulbar. En el apéndice de este apartado se muestran las tablas con el conjunto de datos recogidos en cada una de las resonancias.

### **Distancias y superficie de la oliva bulbar:**

Para el cálculo de las distancias a partir de las coordenadas cartesianas, se utilizó la siguiente fórmula:

*La distancia entre dos puntos del espacio  $P_1 (x_1, y_1, z_1)$  y  $P_2 (x_2, y_2, z_2)$  viene dado por la expresión:*

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Las distancias calculadas para delimitar la **oliva bulbar** en los estudios de resonancia a partir de los puntos referenciales fueron:

- A-B: Punto más craneal de la oliva bulbar - Punto más caudal de la oliva bulbar
- C-D: Punto a nivel del surco preolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T - Punto a nivel del surco retrolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T

Las distancias calculadas para el **abordaje retrosigmoideo** en los estudios de resonancia a partir de los puntos referenciales fueron (Fig. 94):

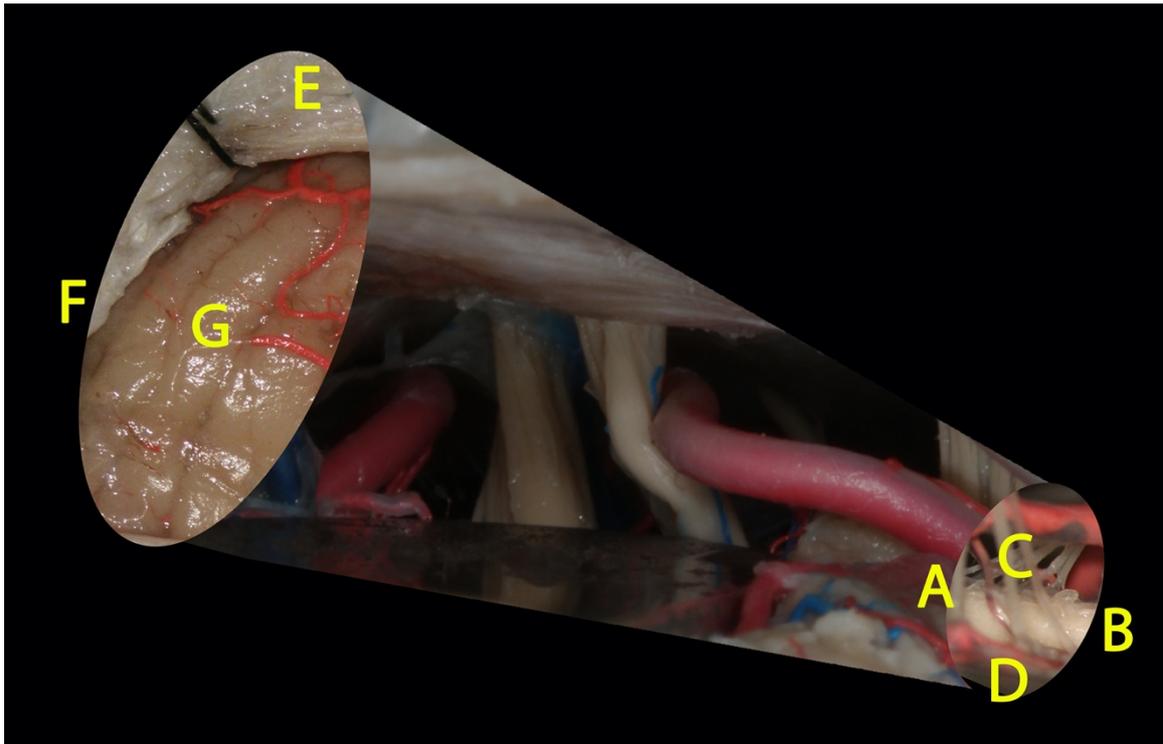
·A-F: Punto más craneal de la oliva bulbar - Punto craneal en contacto con el seno transversal del círculo predefinido

·B-E: Punto más caudal de la oliva bulbar - Punto anterolateral en contacto con el seno sigmoideo del círculo predefinido

·C-E: Punto a nivel del surco preolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T - Punto anterolateral en contacto con el seno sigmoideo del círculo predefinido

·D-F: Punto a nivel del surco retrolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T - Punto craneal en contacto con el seno transversal del círculo predefinido

·T-G: Punto equidistante en el plano coronal entre los puntos A y B, y punto equidistante entre los puntos C y D en el plano coronal - Punto central del círculo predefinido

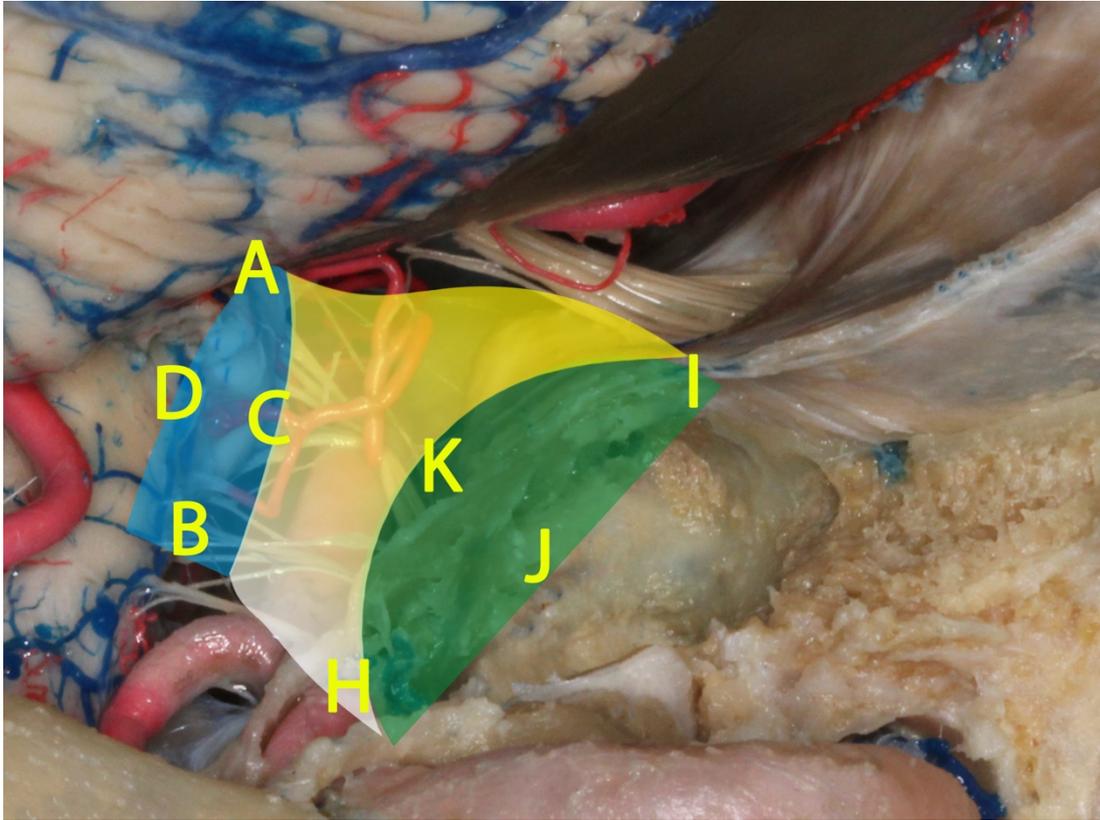


**FIGURA 94. Puntos anatómicos referenciales utilizados en los estudios de resonancia magnética para el abordaje retrosigmoideo. Se calcularon las distancias A-F, B-E, C-E, D-F y T-G para conocer las dimensiones del canal de trabajo para este abordaje.**

Las distancias calculadas para el **abordaje *far lateral*** en los estudios de resonancia a partir de los puntos referenciales fueron (Fig. 95):

- A-K: Punto más craneal de la oliva bulbar - Punto más craneal del semióvalo predefinido
- B-J: Punto más caudal de la oliva bulbar – Punto equidistante en el plano coronal entre H e I
- C-I: Punto a nivel del surco preolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T - Punto más basal y medial del seno sigmoideo que corta el plano coronal donde se define el punto H
- D-H: Punto a nivel del surco retrolivar que corta el plano axial donde se localiza el punto T - Punto más craneal y lateral en la entrada dural de la arteria vertebral

·T-J: Punto equidistante en el plano coronal entre los puntos A y B, y punto equidistante entre los puntos C y D en el plano coronal – Punto equidistante en el plano coronal entre H e I.



**FIGURA 95. Puntos anatómicos referenciales utilizados en los estudios de resonancia magnética para el abordaje *far lateral*. Se calcularon las distancias A-K, B-J, C-I, D-H y T-J para conocer las dimensiones del canal de trabajo para este abordaje.**

Para el cálculo de la superficie profunda del canal de trabajo, calculamos la superficie del objetivo (oliva bulbar). Asumimos el objetivo de interés (región de la oliva bulbar) como la superficie de una elipse.

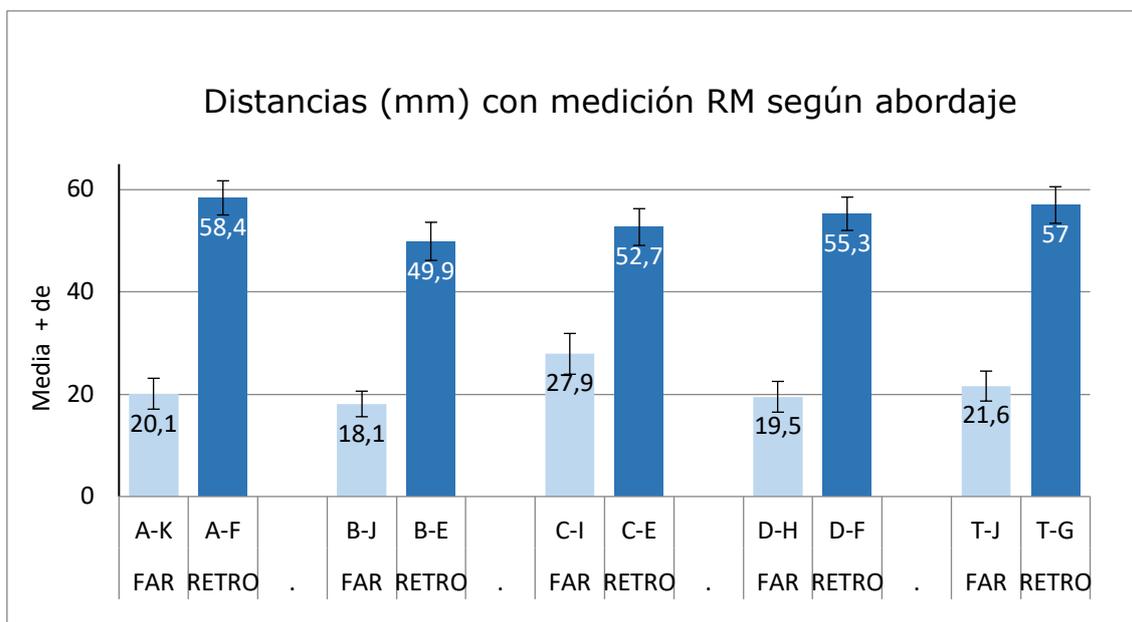
Área de la elipse  $A-B/2 \times C-D/2 \times \pi =$  Superficie expuesta que incluye la oliva bulbar

Los resultados obtenidos se describen en las siguientes tablas:

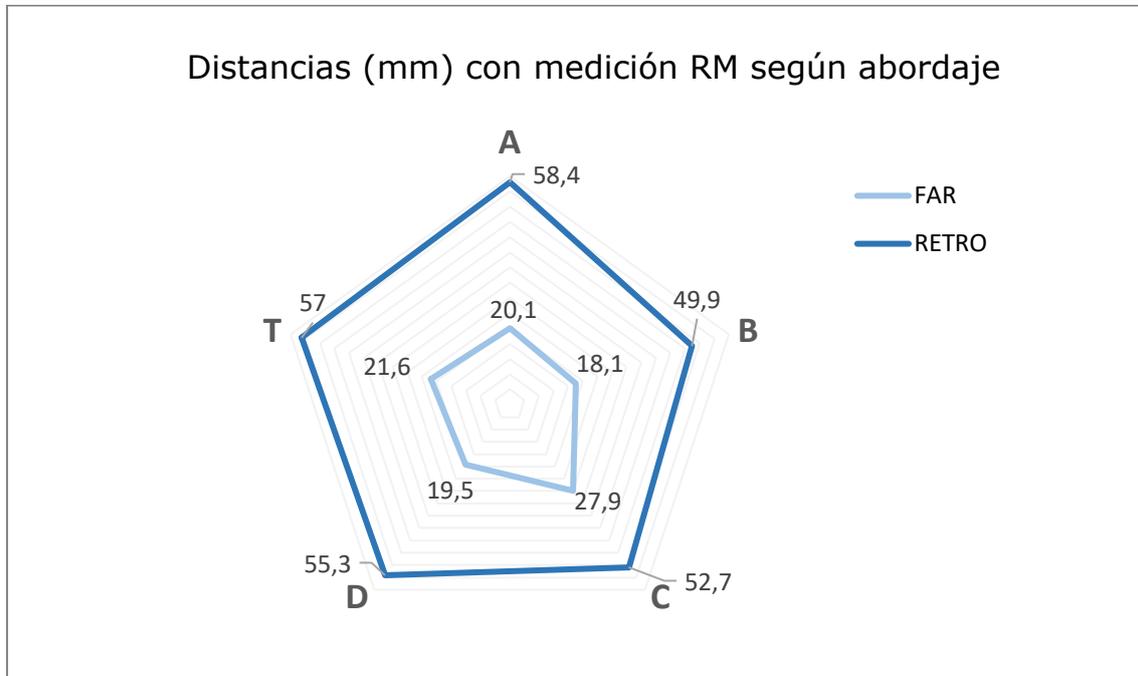
**Tabla 9. MEDIDAS EN RM. DIMENSIONES DEL OBJETIVO: DISTANCIAS (mm) Y SUPERFICIE (mm<sup>2</sup>)**

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
AB	60	12,28	1,65	8,83	17,12	12,06
CD	60	6,33	,88	4,44	8,60	6,24
SUP ABCD	60	61,64	14,82	33,43	97,94	61,48

**Tabla 10. DISTANCIAS DESDE LA SUPERFICIE DE CADA UNO DE LOS ABORDAJES AL OBJETIVO: MEDICIÓN EN RM**



**Tabla 11. RESULTADOS DE LAS DISTANCIAS DESDE LA SUPERFICIE HASTA EL OBJETIVO SEGÚN EL ABORDAJE: RETROSIGMOIDEO VS FAR LATERAL**



Mediante el test estadístico Chi<sup>2</sup> de Wald del modelo de ecuaciones de estimación generalizadas (EEG) se evaluó si las distancias a cada punto de referencia fueron iguales o no entre los dos abordajes. En la tabla 12 se muestra: la diferencia media entre distancias, intervalo de confianza al 95% y resultado (p-valor) del correspondiente test estadístico.

**Tabla 12. DIFERENCIA ENTRE DISTANCIAS A CADA UNO DE LOS PUNTOS DEL OBJETIVO (MEDIDAS EN RM)**

	<b>Diferencia media</b>	<b>IC95%</b>	<b>p-valor</b>
<b>A-K vs. A-F</b>	38,3	37,4-39,2	<0,001***
<b>B-J vs. B-E</b>	31,9	30,9-32,9	<0,001***
<b>C-I vs. C-E</b>	24,8	23,6-25,9	<0,001***
<b>D-H vs. D-F</b>	35,8	34,8-36,7	<0,001***
<b>T-J vs. T-G</b>	35,3	34,2-36,4	<0,001***

\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001

Para cualquiera de los puntos de referencia, la distancia con *far lateral* es significativamente inferior a la conseguida con retrosigmoideo (p<0,001).

### **Ángulos de ataque a la oliva bulbar:**

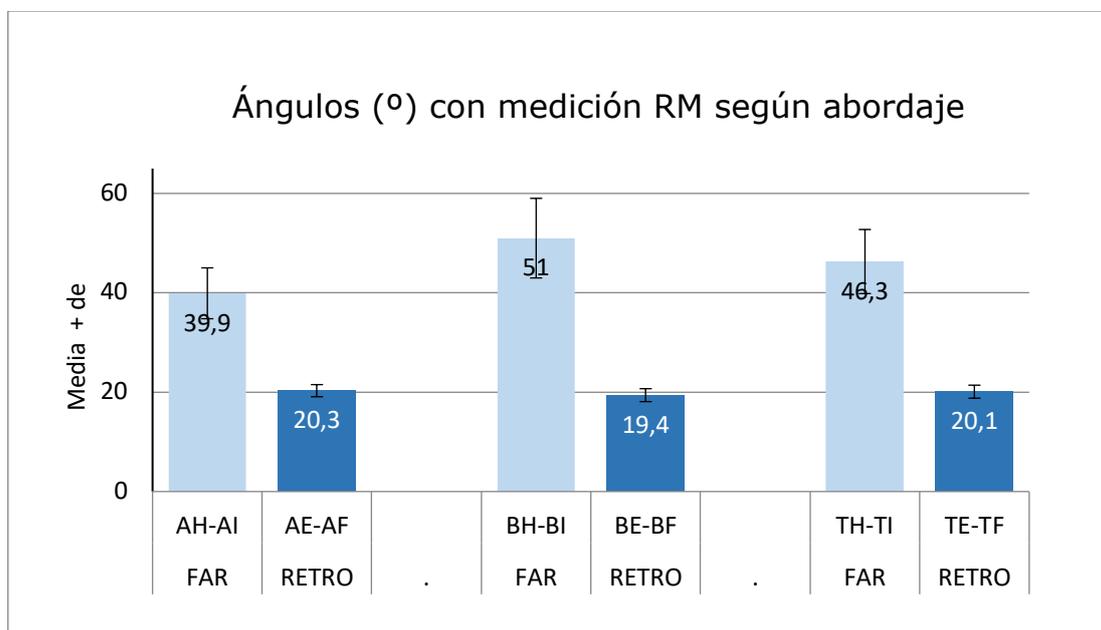
El ángulo de ataque se define como la variación de ángulo de visión del microscopio desde la superficie de cada uno de los abordajes con respecto al objetivo. Para calcularlo se aplicó la siguiente expresión:

$$\cos \theta = \frac{u \cdot v}{|u| \cdot |v|}$$

*Siendo el numerador el producto escalar de los vectores y el denominador el producto de los módulos (distancias) de cada vector.*

En el trabajo se analizaron los ángulos de visión desde la superficie de cada uno de los dos abordajes hasta tres puntos en la oliva bulbar: polo superior (A), objetivo (T) y polo inferior (B). Los resultados obtenidos se describen en las siguientes tablas:

**Tabla 13. ÁNGULOS DE ATAQUE DESDE LA SUPERFICIE DE CADA UNO DE LOS ABORDAJES AL OBJETIVO: MEDICIÓN EN RM**



Al igual que con las distancias, se utilizó el test estadístico Chi2 de Wald del modelo de ecuaciones de estimación generalizadas (EEG). En la tabla 14 se muestran: la diferencia media entre ángulos, intervalo de confianza al 95% y resultado (p-valor) del correspondiente test estadístico.

**Tabla 14. DIFERENCIA ENTRE LOS ÁNGULOS DE ATAQUE (MEDIDAS EN RM)**

	Diferencia media	IC95%	p-valor
<b>AH-AI vs. AE-AF</b>	-19,6	-20,9 -18,3	<0,001***
<b>BH-BI vs. BE-BF</b>	-31,5	-33,6 -29,5	<0,001***
<b>TH-TI vs. TE-TF</b>	-26,2	-27,9 -24,6	<0,001***

\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001

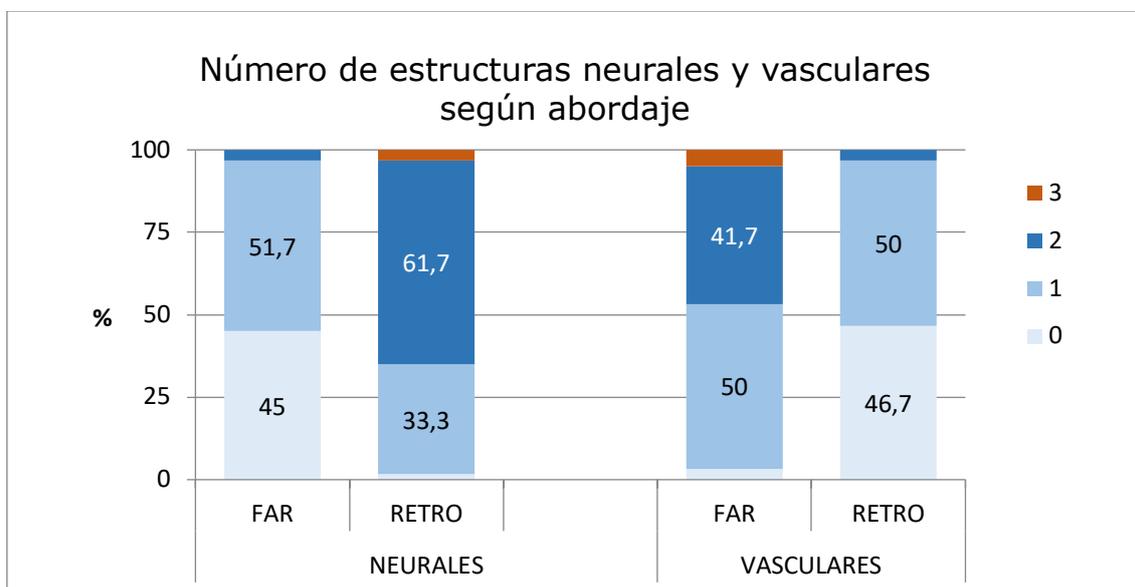
Con el abordaje *far lateral* los ángulos de ataque son significativamente mayores que con retrosigmoideo ( $p < 0,001$ ).

#### **4. CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO NEUROVASCULAR EN EL TRAYECTO A LA OLIVA BULBAR PARA CADA UNO DE LOS ABORDAJES**

Tras analizar las distancias de trabajo, superficie expuesta y ángulo de ataque desde la superficie a la oliva bulbar para cada uno de los abordajes, se procedió a analizar el contenido neurovascular presente en nuestro camino a través de cada uno de los canales de trabajo. Para ello, fue fundamental el uso del software StealthStation S7 de Medtronic con la interfaz Cranial 4.0 (Medtronic Surgical Navigation Technologies, Louisville, USA), que nos permitió seleccionar el punto central del abordaje en superficie y el objetivo. Con la unión de estos dos puntos se delimitó el trayecto central de cada uno de los canales de trabajo, analizando de esta forma las estructuras vasculares y neurales interpuestas. La descripción completa de este trabajo puede consultarse en las tablas presentes en el apéndice de este capítulo.

En términos de frecuencias relativas, el trayecto de los abordajes *far lateral* se cruzó con menos formaciones neurales y más vasculares. En cambio, en el abordaje retrosigmoideo se interpusieron más estructuras neurales que vasculares (Tabla 15).

**Tabla 15. NÚMERO DE ESTRUCTURAS NEURALES Y VASCULARES SEGÚN EL ABORDAJE**



En términos de medias, se encuentran  $0,58 \pm 0,56$  estructuras neurales con el trayecto *far lateral*; pero hasta  $1,67 \pm 0,57$  con retrosigmoideo. Respecto a las vasculares, el número medio es  $1,48 \pm 0,65$  con *far lateral* y  $0,57 \pm 0,56$  con retrosigmoideo.

**Tabla 16. CONTENIDO DEL TRAYECTO EN EL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO: NÚMERO DE ESTRUCTURAS NEURALES Y VASCULARES**

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
NEURALES RET	60	1,67	,57	,00	3,00	2,00
VASCULARES RET	60	,57	,56	,00	2,00	1,00

**Tabla 17. CONTENIDO DEL TRAYECTO EN EL ABORDAJE FAR LATERAL:  
NÚMERO DE ESTRUCTURAS NEURALES Y VASCULARES**

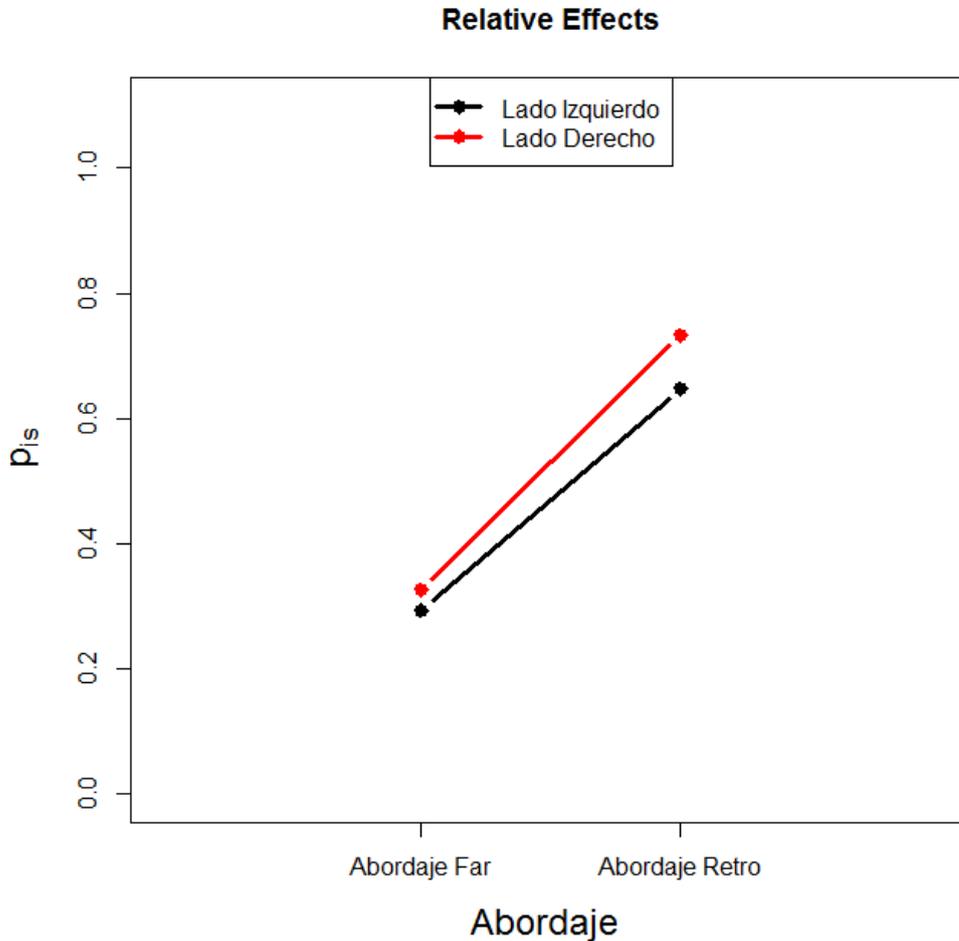
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
NEURALES FAR	60	,58	,56	,00	2,00	1,00
VASCULARES FAR	60	1,48	,65	,00	3,00	1,00

El análisis estadístico fue diferente a los anteriores, pues estos recuentos no pudieron asumirse como normalmente distribuidos. A pesar del relativo gran tamaño de la muestra (n=60 olivas), fue conveniente realizar un enfoque no paramétrico que controlara de nuevo la dependencia entre observaciones de ambos lados.

Para analizar las estructuras neurales se utilizó un test ATS (ANOVA-Type-Statistic) del modelo de Brunner-Langer. La conclusión fue que con el abordaje *far lateral* se encuentran un número significativamente menor de estructuras neurales comparado al retrosigmoideo ( $p < 0,001$ ). Esto es cierto tanto para el lado derecho como el izquierdo ( $p = 0,477$ ), o lo que es igual, no se detecta interacción.

El gráfico siguiente (tabla 18) representa los llamados ‘efectos relativos’ para las estructuras neurales. Un efecto relativo es la probabilidad de que un caso bajo una determinada combinación lado-abordaje presente un número de estructuras mayor que otro caso extraído al azar de la muestra completa:

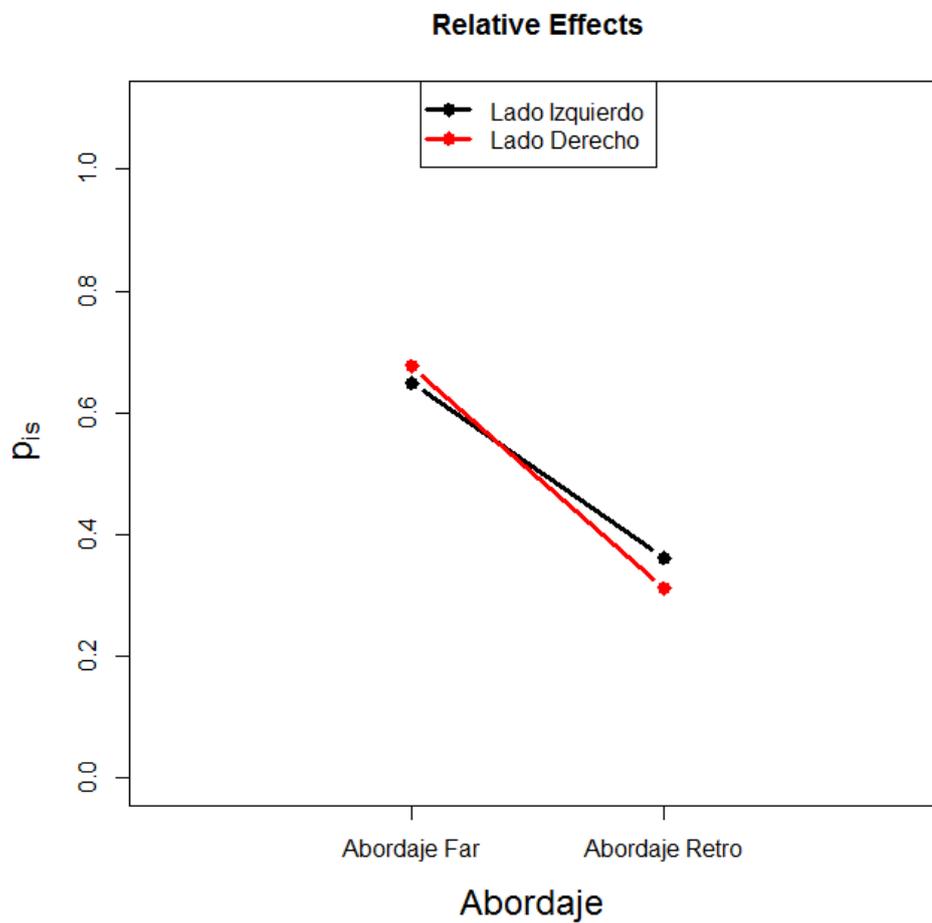
**Tabla 18. EFECTOS RELATIVOS PARA LAS ESTRUCTURAS NEURALES EN FUNCIÓN DEL ABORDAJE.**



Además del claro aumento del número de estructuras neurales con el abordaje retrosigmoideo, se aprecia que en lado derecho contabilizaron también más estructuras en general que en el izquierdo.

El mismo análisis se utilizó para las estructuras vasculares (test ATS (ANOVA-Type-Statistic) del modelo de Brunner-Langer). La conclusión fue que con el abordaje *far lateral* se encontraron un número significativamente mayor de estructuras vasculares comparado al retrosigmoideo ( $p < 0,001$ ). Y esto es cierto tanto para el lado derecho como el izquierdo ( $p = 0,235$ ), o lo que es igual, no se detectó interacción.

**Tabla 19. EFECTOS RELATIVOS PARA LAS ESTRUCTURAS VASCULARES EN FUNCIÓN DEL ABORDAJE.**



## 5. APÉNDICE: CONJUNTO DE DATOS RECOGIDOS

### 5.1. TABLAS DE MEDIDAS DIRECTAS EN ESPECÍMENES ANATÓMICOS

**Tabla 20. MEDIDAS DIRECTAS. DISTANCIAS (mm): ABORDAJE RETROSIGMOIDEO.**

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
AF RET	20	57,60	3,41	50,50	62,00	58,50
BE RET	20	48,20	2,61	43,00	52,00	48,25
CE RET	20	51,28	2,48	47,50	56,00	51,00
DF RET	20	53,83	2,45	47,50	58,00	54,00

**Tabla 21. MEDIDAS DIRECTAS. DISTANCIAS (mm): ABORDAJE FAR LATERAL**

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
AJ FAR	20	18,50	1,99	15,00	22,50	18,00
BJ FAR	20	17,60	1,93	14,50	21,00	18,00
CI FAR	20	24,78	3,04	20,00	29,50	24,75
DH FAR	20	18,23	2,55	15,00	22,50	18,50

Tabla 22. CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DIRECTAS EN EL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO

MEDIDAS DIRECTAS EN LOS ESPÉCIMENES DISECADOS - ABORDAJE RETROSIGMOIDEO										
ESPECÍMEN	DISTANCIAS (mm)									SUPERFICIE (mm <sup>2</sup> )
	A-B	C-D	A-F	B-E	C-E	D-F	AB - CD			
1D	14	5	54,5	44	49	55	54,98			
1I	12,5	5	50,5	47,5	47,5	54	49,09			
2D	14	6	59	50	54	54	65,97			
2I	14	6	57	52	56	52	65,97			
3D	10,5	6,5	60	48,5	49,5	56,5	53,6			
3I	11	6,5	62	49,5	51	54	56,15			
4D	13	7	56,5	45,5	52	58	71,47			
4I	11	7	60	46,5	49	56	60,47			
5D	13	6	60	50	51	51,5	61,26			
5I	12	6	60	50,5	52,5	53	56,55			
6D	14	6,5	53	47	49	55	71,47			
6I	14,5	6,5	55,5	50,5	49	55	74,02			
7D	13	5	58	47,5	52	52	51,05			
7I	12	5	59,5	48	54,5	52,5	47,12			
8D	11,5	7	51,5	50,5	56	55,5	63,22			
8I	10,5	7	54	52	53,5	56,5	57,72			
9D	12	5	61	43	49	50	47,12			
9I	13,5	5,5	61,5	44	50	47,5	58,31			
10D	12,5	6	58	48	50	53,5	58,9			
10I	11	6	60,5	49,5	51	55	51,83			
<b>PROMEDIO</b>	<b>12,48</b>	<b>6,03</b>	<b>57,6</b>	<b>48,2</b>	<b>51,28</b>	<b>53,83</b>	<b>58,81</b>			
DS	1,28	0,73	3,41	2,61	2,48	2,45	8			

Tabla 23. CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DIRECTAS EN EL ABORDAJE FAR LATERAL

ESPECÍMEN	MEDIDAS DIRECTAS EN LOS ESPECÍMENES DISECADOS - ABORDAJE FAR LATERAL							
	DISTANCIAS (mm)							SUPERFICIE (mm <sup>2</sup> )
	A-B	C-D	A-J	B-J	C-I	D-H	AB - CD	
1D	14	5	15	16	23	15	54,98	
1I	12,5	5	16	16	22	15,5	49,09	
2D	14	6	18	18	25,5	18,5	65,97	
2I	14	6	18	18,5	26,5	17	65,97	
3D	10,5	6,5	17	14,5	29	20	53,6	
3I	11	6,5	17	15,5	28,5	20	56,15	
4D	13	7	20	18	20	22	71,47	
4I	11	7	20	17	21,5	20,5	60,47	
5D	13	6	21	19	20	18,5	61,26	
5I	12	6	20,5	18,5	20,5	19	56,55	
6D	14	6,5	17	21	28	21	71,47	
6I	14,5	6,5	18	20	28	22,5	74,02	
7D	13	5	19	16	23,5	15	51,05	
7I	12	5	20	15	24	16	47,12	
8D	11,5	7	18,5	20	25	16,5	63,22	
8I	10,5	7	17	20,5	23,5	16	57,72	
9D	12	5	22,5	15,5	24,5	21	47,12	
9I	13,5	5,5	21,5	16,5	25,5	20	58,31	
10D	12,5	6	17	18	29,5	15	58,9	
10I	11	6	17	18,5	27,5	15,5	51,83	
<b>PROMEDIO</b>	<b>12,48</b>	<b>6,03</b>	<b>18,5</b>	<b>17,6</b>	<b>24,78</b>	<b>18,23</b>	<b>58,81</b>	
DS	1,28	0,73	1,99	1,93	3,04	2,55	8	

## 5.2. TABLAS DE MEDIDAS CON NEURONAVEGACIÓN EN ESPECÍMENES ANATÓMICOS

**Tabla 24. MEDIDAS CON NEURONAVEGACIÓN. DISTANCIAS (mm):  
ABORDAJE RETROSIGMOIDEO**

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
AF RET	20	57,60	3,43	50,20	62,10	58,50
BE RET	20	48,31	2,60	43,30	52,40	48,40
CE RET	20	51,37	2,51	47,50	56,30	51,15
DF RET	20	53,83	2,47	47,70	57,80	54,05

**Tabla 25. MEDIDAS CON NEURONAVEGACIÓN. DISTANCIAS (mm):  
ABORDAJE FAR LATERAL**

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
AJ FAR	20	18,67	1,92	15,70	22,90	18,35
BJ FAR	20	17,59	1,87	14,50	20,80	17,80
CI FAR	20	24,94	3,05	19,80	29,80	25,05
DH FAR	20	18,35	2,65	14,70	23,50	18,55

Tabla 26. CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE NEURONAVEGACIÓN: ABORDAJE RETROSIGMOIDEO

MEDIDAS DE NEURONAVEGACIÓN EN LOS ESPECÍMENES DISECADOS - ABORDAJE RETROSIGMOIDEO										
ESPECÍMEN	DISTANCIAS (mm)									SUPERFICIE (mm <sup>2</sup> )
	A-B	C-D	A-F	B-E	C-E	D-F	AB - CD			
1D	13,7	4,8	54,6	44,2	49,2	55,3	51,65			
1I	12,2	5,1	50,2	47,7	47,5	53,9	48,87			
2D	13,8	5,7	58,7	50,1	54,3	54,2	61,78			
2I	14,1	5,9	57,1	52,4	55,8	51,9	65,34			
3D	10,8	6,7	60,2	48,4	49,7	56,5	56,83			
3I	11,3	6,3	62,1	49,7	51,2	53,8	55,91			
4D	13,6	7,1	56,6	45,4	52,3	57,8	75,84			
4I	11,5	7,4	59,7	46,5	49,3	56,1	66,84			
5D	12,6	6,2	60,4	49,8	51,2	51,4	61,35			
5I	11,9	5,9	59,8	50,3	52,4	52,9	55,14			
6D	14,3	6,3	53,1	46,9	49,1	54,9	70,75			
6I	15,3	6,7	55,6	50,7	48,7	55,3	80,51			
7D	13,2	5,2	57,8	47,7	52,1	51,8	53,91			
7I	12,7	5,1	59,5	48,4	54,6	52,7	50,87			
8D	11,4	6,8	51,5	50,6	56,3	55,4	60,88			
8I	10,6	7,1	53,9	52,3	53,5	56,7	59,11			
9D	12,4	4,9	60,8	43,3	48,7	49,8	47,72			
9I	14,3	5,3	61,5	44,3	49,9	47,7	59,52			
10D	12,8	6,5	58,3	48,1	50,4	53,4	65,34			
10I	11,1	6,1	60,6	49,4	51,1	55,1	53,18			
<b>PROMEDIO</b>	12,68	6,06	57,6	48,31	51,37	53,83	60,07			
DS	1,33	0,79	3,43	2,6	2,51	2,47	8,76			

Tabla 27. CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE NEURONAVEGACIÓN: ABORDAJE FAR LATERAL

ESPECÍMEN	MEDIDAS DE NEURONAVEGACIÓN EN LOS ESPECÍMENES DISECADOS - ABORDAJE FAR LATERAL									
	DISTANCIAS (mm)									
	A-B	C-D	A-J	B-J	C-I	D-H	AB - CD			
1D	13,7	4,8	15,7	16,4	23,1	14,8	51,65			
1I	12,2	5,1	16,3	15,9	22,1	15,9	48,87			
2D	13,8	5,7	18,6	17,8	25,4	18,5	61,78			
2I	14,1	5,9	17,9	18,5	27,1	17,1	65,34			
3D	10,8	6,7	16,8	14,5	29,4	19,9	56,83			
3I	11,3	6,3	17,2	15,6	28,1	20,4	55,91			
4D	13,6	7,1	20,1	17,8	20,1	22,1	75,84			
4I	11,5	7,4	19,7	16,9	21,8	20,3	66,84			
5D	12,6	6,2	21,3	19,2	19,8	18,6	61,35			
5I	11,9	5,9	20,9	18,4	21,3	19,8	55,14			
6D	14,3	6,3	17,1	20,8	27,9	21,2	70,75			
6I	15,3	6,7	18,2	19,9	28,5	23,5	80,51			
7D	13,2	5,2	19,4	15,7	23,5	14,7	53,91			
7I	12,7	5,1	20,3	15,1	24,7	16,8	50,87			
8D	11,4	6,8	18,5	19,6	25,6	16,7	60,88			
8I	10,6	7,1	17,3	20,4	22,9	15,8	59,11			
9D	12,4	4,9	22,9	15,4	24,7	20,9	47,72			
9I	14,3	5,3	20,8	17,1	25,9	19,4	59,52			
10D	12,8	6,5	16,9	17,9	29,8	14,7	65,34			
10I	11,1	6,1	17,5	18,8	27,1	15,9	53,18			
<b>PROMEDIO</b>	<b>12,68</b>	<b>6,06</b>	<b>18,67</b>	<b>17,59</b>	<b>24,94</b>	<b>18,35</b>	<b>60,07</b>			
DS	1,33	0,79	1,92	1,87	3,05	2,65	8,76			

### 5.3. TABLAS DE MEDIDAS CON RM EN PACIENTES ANONIMIZADOS SIN PATOLOGÍA CRANEOCEREBRAL CONOCIDA

**Tabla 28. MEDIDAS EN RM. DISTANCIAS (mm): ABORDAJE RETROSIGMOIDEO**

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
AF RET	60	58,43	3,34	51,50	68,52	58,04
BE RET	60	49,93	3,72	39,52	64,74	49,69
CE RET	60	52,71	3,59	42,72	63,95	52,34
DF RET	60	55,29	3,25	48,64	69,71	54,94
TG RET	60	56,96	3,58	49,58	68,51	56,68

**Tabla 29. MEDIDAS EN RM. DISTANCIAS (mm): ABORDAJE FAR LATERAL**

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
AK FAR	60	20,09	3,02	13,60	27,16	19,63
BJ FAR	60	18,08	2,50	13,01	25,38	17,75
CI FAR	60	27,94	3,99	19,91	36,50	27,57
DH FAR	60	19,52	3,01	13,59	25,39	19,62
TJ FAR	60	21,62	2,93	15,18	28,23	21,43

**Tabla 30. MEDIDAS EN RM. ÁNGULOS DE ATAQUE (°) CON EL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO**

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
AE_AF RET	60	20,30	1,22	17,31	23,37	20,31
BE_BF RET	60	19,44	1,30	16,85	23,34	19,42
TE_TF RET	60	20,06	1,31	17,06	23,35	19,98

**Tabla 31. MEDIDAS EN RM. ÁNGULOS DE ATAQUE (°) CON EL ABORDAJE FAR LATERAL**

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Mediana
AH_AI FAR	60	39,89	5,12	29,29	51,61	39,43
BH_BI FAR	60	50,97	8,01	37,96	73,17	49,39
TH_TI FAR	60	46,28	6,45	34,24	61,90	46,48

**Tabla 32. CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESONANCIA MAGNÉTICA: ABORDAJE RETROSIGMOIDEO IZQUIERDO**

CASO	DISTANCIAS mm							SUPERFICIE elipse mm <sup>2</sup>					ÁNGULOS (grados)		
	A-B	C-D	A-F	B-E	C-E	D-F	T-G	AB - CD	AE ^ AF	BE ^BF	TE ^TF	AE ^ AF	BE ^BF	TE ^TF	
11	16,41	7,57	60,55	54,33	58,41	56,57	57,16	97,56	21,56	19,94	22,59	21,56	19,94	22,59	
21	14,42	7,69	54,83	46,5	51,12	51,89	53,39	87,09	20,77	19,55	20,36	20,77	19,55	20,36	
31	13,6	6,99	52,21	45,02	47,95	48,64	50,01	74,66	20,54	20,06	20,74	20,54	20,06	20,74	
41	11,62	5,74	56,34	49,7	53,76	54,44	55,45	52,38	21,58	21,02	21,29	21,58	21,02	21,29	
51	11,89	8,04	56,43	46,56	50,33	54,16	53,58	75,08	21,11	19,57	20,28	21,11	19,57	20,28	
61	12,09	5,71	57,13	52,13	53,81	55,87	56,54	54,22	20,36	18,83	19,82	20,36	18,83	19,82	
71	10,98	6,1	60,36	53,28	57,02	58,03	62,59	52,6	20,24	19,57	19,92	20,24	19,57	19,92	
81	11,2	7,06	58,05	51,99	55,3	55,56	57,91	62,1	20,77	19,92	20,4	20,77	19,92	20,4	
91	10,38	5,37	64,32	47,88	51,36	57,24	54,4	43,78	18,94	18,65	18,69	18,94	18,65	18,69	
101	11,26	5,54	51,5	49,56	51,4	54,19	56,66	48,99	21,65	19,74	20,74	21,65	19,74	20,74	
111	13,01	7,09	56,62	49,6	52,01	54,38	55,93	72,44	19,84	18,09	19,07	19,84	18,09	19,07	
121	12,57	7,2	62,29	54,61	57,83	59,96	61,18	71,08	18,97	18,21	18,41	18,97	18,21	18,41	
131	8,83	4,82	57,55	53,65	54,47	55,49	57,99	33,43	18,76	18,28	18,62	18,76	18,28	18,62	
141	10,86	7,24	67,51	57,92	62,55	64,6	67,3	61,75	17,31	16,85	17,06	17,31	16,85	17,06	
151	12,77	6,53	57,02	51,24	53,76	54,29	57,54	64,49	21,39	20,42	21,08	21,39	20,42	21,08	
161	13,48	6,48	59,01	50,95	54,36	57,55	57,89	68,6	19,44	18,33	18,98	19,44	18,33	18,98	
171	17,12	7,01	58,03	52,4	52,83	56,74	57,35	94,25	20,36	17,33	19,05	20,36	17,33	19,05	
181	11,51	6,1	56,47	50,9	53,26	54,83	55,63	55,14	20,51	19,78	20,18	20,51	19,78	20,18	
191	10,28	5,44	54,31	51,24	53,56	52,13	49,58	43,92	21,53	21,4	21,67	21,53	21,4	21,67	
201	11,23	6,08	54,01	49,51	51,96	51,91	55,01	53,62	20,55	20,08	20,48	20,55	20,08	20,48	
211	14,33	6,61	59,72	51,29	53,6	58,23	57,34	74,39	18,76	17,06	17,98	18,76	17,06	17,98	
221	13,11	6,38	56,57	45,77	50,9	53,1	54,03	65,69	20,26	20,12	20,42	20,26	20,12	20,42	
231	12,25	5,22	57,43	50,62	52,91	55,5	57,53	50,22	20,26	18,94	19,76	20,26	18,94	19,76	
241	11,86	7,51	58,86	53,89	56,15	55,64	58,78	69,95	20,07	19,34	19,87	20,07	19,34	19,87	
251	12,65	6,16	58,05	47,5	51,88	54,87	56,56	61,2	20,64	20,22	20,54	20,64	20,22	20,54	
261	12,74	6,64	59,66	48,4	52,93	58,07	57,62	66,44	19,69	18,83	19,33	19,69	18,83	19,33	
271	12,96	6,83	57,38	51,01	53,78	55,47	56,57	69,52	20,52	19,41	20,1	20,52	19,41	20,1	
281	12,31	7,21	58,77	48,09	49,7	54,96	55,51	69,71	20,41	18,68	19,64	20,41	18,68	19,64	
291	11,67	5,52	59,46	49,36	52,89	56,77	59,2	50,59	18,53	17,55	18,19	18,53	17,55	18,19	
301	11,69	4,44	56,84	47,9	50,08	55,75	56,51	40,76	19,95	18,03	19,13	19,95	18,03	19,13	
<b>PROMEDIO</b>	<b>12,37</b>	<b>6,41</b>	<b>57,91</b>	<b>50,42</b>	<b>53,39</b>	<b>55,56</b>	<b>56,76</b>	<b>62,85</b>	<b>20,17</b>	<b>19,12</b>	<b>19,81</b>	<b>20,17</b>	<b>19,12</b>	<b>19,81</b>	

**Tabla 33. CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESONANCIA MAGNÉTICA: ABORDAJE RETROSIGMOIDEO DERECHO**

CASO	CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN EL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO EN EL LADO DERECHO													
	DISTANCIAS mm						SUPERFICIE elipse mm <sup>2</sup>					ÁNGULOS		
	A-B	C-D	A-F	B-E	C-E	D-F	T-G	AB - CD	AE ^ AF	BE ^BF	TE ^TF			
1D	13,05	5,64	62,38	53,42	51,37	56,1	55,84	57,8	19,79	18,48	21,17			
2D	12,38	6,79	59,43	48,66	48,48	51,21	56,95	66,02	22,6	23,34	23,35			
3D	9,49	5,6	54,99	46,9	49,45	52,64	53,53	41,74	21,15	20,44	20,9			
4D	13,54	6,53	58,74	48,54	52,15	53,95	58,85	69,44	19,71	19,24	19,59			
5D	10,81	5,8	64,19	50,09	54,46	60,15	59,24	49,24	18,16	18,5	18,38			
6D	14,5	8,6	61,6	54,67	58,22	56,66	62,23	97,94	19,47	18,76	19,28			
7D	11,53	5,53	60,33	49,5	53,67	55,89	58,95	50,07	21,66	21,02	21,09			
8D	11,3	4,83	55,01	45,81	47,48	53,48	52,02	42,86	22,3	20,8	21,61			
9D	10,91	6,21	62,36	48,1	52,23	56,76	56,87	53,21	19,84	19,52	19,77			
10D	10,14	5,25	57,86	51,62	55,1	53,78	60,08	41,81	20,63	20,37	21,09			
11D	11,81	6,71	59,31	52,62	55,51	54,6	59,57	62,24	19,62	19,48	19,8			
12D	8,92	5,8	62,89	55,43	58,9	59,91	63,57	40,63	19,39	19,28	19,49			
13D	11,49	4,84	54,23	50,56	52,34	52,86	55,45	43,67	21,88	21,09	21,42			
14D	13,34	6,95	61,75	51,17	54,13	56,2	61,5	72,81	18,86	18,3	18,7			
15D	14,78	6,18	55,03	47,73	50,43	53,01	53,9	71,74	20,62	19,39	20,22			
16D	13,19	6,49	57,97	50,11	52,09	54,73	56,2	67,23	19,99	19,42	19,91			
17D	16,22	6,84	54,94	45,84	49,02	51,95	54,82	87,13	20,89	19,11	20,33			
18D	12,3	6,73	60,26	50,84	54,12	54,64	59,54	65,01	19,93	19,13	19,38			
19D	11,27	7,32	53,05	39,52	42,72	49,02	50,33	64,79	23,37	22,49	23,2			
20D	10,21	5,63	54,33	42,67	44,37	51,23	50,72	45,14	22,33	21,54	22,31			
21D	12,84	6,03	57,35	49,24	50,61	55,76	54,6	60,81	19,72	18,53	19,16			
22D	11,3	5,99	61,32	47,77	51,74	56,06	58,47	53,16	18,34	17,59	18,06			
23D	12,44	6,26	57,74	46,96	50,4	54,66	55,78	61,16	20,2	19,35	19,94			
24D	11,96	5,78	68,52	64,74	63,95	69,71	68,51	54,29	17,69	17,11	17,5			
25D	12,78	5,64	58,67	45,41	48,84	54,92	55,37	56,61	20,62	20,08	20,57			
26D	12,03	7,26	60,25	49,77	52,97	55,45	56,7	68,59	20,84	19,71	20,44			
27D	14,56	7,27	60,44	50,68	52,28	55,37	59,25	83,13	19,01	18,75	18,93			
28D	13,68	7,86	58,47	49,68	52,33	51,86	56,02	84,45	22,35	21,33	22,07			
29D	11,3	5,54	57,06	47,05	50,46	53,88	53,08	49,16	21,49	21,26	21,36			
30D	11,82	5,49	57,81	48,13	50,73	54,01	56,78	50,96	20,07	19,43	20,01			
<b>PROMEDIO</b>	<b>12,19</b>	<b>6,24</b>	<b>58,94</b>	<b>49,44</b>	<b>52,02</b>	<b>55,01</b>	<b>57,16</b>	<b>60,43</b>	<b>20,42</b>	<b>19,76</b>	<b>20,3</b>			

**Tabla 34. CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESONANCIA MAGNÉTICA: ABORDAJE FAR LATERAL IZQUIERDO**

CASO	CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN EL ABORDAJE FAR LATERAL EN EL LADO IZQUIERDO													
	DISTANCIAS mm						SUPERFICIE elipse mm <sup>2</sup>					ÁNGULOS		
	A-B	C-D	A-K	B-J	C-I	D-H	T-J	AB-CD	AH ^ AI	BH ^ BI	TH ^ TI			
11	16,41	7,57	21,9	18,1	36,5	14,24	20,17	97,56	41,79	43,82	47,85			
21	14,42	7,69	24,63	19,32	34,98	18,79	23,2	87,09	43,22	52,38	49,06			
31	13,6	6,99	17,54	16,15	27,6	15,54	18,41	74,66	44,42	52,69	52,67			
41	11,62	5,74	20,76	19,46	32,07	17,83	22,82	52,38	36,17	40,05	38,84			
51	11,89	8,04	19,26	18,67	32,16	15,48	21,24	75,08	43,94	47,09	47,9			
61	12,09	5,71	20,63	19,78	30,74	20,59	23,05	54,22	42,48	49,46	46,93			
71	10,98	6,1	15,71	14,71	22,86	16,62	17,36	52,6	43,95	56,47	51,27			
81	11,2	7,06	22,31	21,12	34,58	19,98	23,74	62,1	33,68	37,96	36,62			
91	10,38	5,37	24,09	19,92	33,54	19,73	22,57	43,78	33,57	47,86	46,33			
101	11,26	5,54	13,6	16,49	24,03	16,38	17,79	48,99	46,74	48,77	46,66			
111	13,01	7,09	15,48	17,03	25,04	17,92	17,96	72,44	49,61	54,71	55,79			
121	12,57	7,2	25,99	25,38	36,49	25,39	28,23	71,08	36,21	41,3	39,43			
131	8,83	4,82	19,81	22,13	29,47	23,05	24,29	33,43	42,29	48,4	45,89			
141	10,86	7,24	19,11	17,77	28,04	22,47	21,61	61,75	42,61	56,89	49,34			
151	12,77	6,53	17,98	17,79	26,61	19,96	20,16	64,49	43,31	53,5	50,3			
161	13,48	6,48	23,79	21,33	31,29	24,21	25,24	68,6	36,79	47,54	42,71			
171	17,12	7,01	14,76	14,75	23,39	17,01	16,77	94,25	48,04	59,71	58,48			
181	11,51	6,1	20,19	18,94	29,57	18,97	22,04	55,14	37,75	45,45	42,41			
191	10,28	5,44	18,38	16,42	23,01	20,97	18,92	43,92	35,43	46,74	41,84			
201	11,23	6,08	19,41	16,85	24,73	21,54	25,56	53,62	36,14	51,94	37,25			
211	14,33	6,61	19,96	17,73	30,59	16,03	21,13	74,39	39,44	44,35	43,43			
221	13,11	6,38	22,69	17,42	31,34	18,84	21,81	65,69	35,41	48,57	42,15			
231	12,25	5,22	18,8	19,53	29,56	20,48	22,17	50,22	41,67	49,26	46,69			
241	11,86	7,51	22,27	19,99	27,99	23,19	23,16	69,95	34,27	44,47	40,21			
251	12,65	6,16	19,33	17,4	29,92	18,31	20,72	61,2	45,94	57,51	52,9			
261	12,74	6,64	19,75	16,9	30,75	17,02	20,29	66,44	43,41	54,5	48,31			
271	12,96	6,83	24,5	21,44	34,27	25,11	26,25	69,52	37,25	49,32	42,73			
281	12,31	7,21	22,33	21,18	29,72	19,62	24,22	69,71	35,09	41,2	39,2			
291	11,67	5,52	15,56	14,04	23,23	18,72	15,18	50,59	48,1	68,6	57,81			
301	11,69	4,44	19,38	19,67	27,46	22,6	23,33	40,76	35,38	45,96	40,82			
<b>PROMEDIO</b>	<b>12,37</b>	<b>6,41</b>	<b>19,99</b>	<b>18,58</b>	<b>29,38</b>	<b>19,55</b>	<b>21,64</b>	<b>62,85</b>	<b>40,47</b>	<b>49,549</b>	<b>46,06</b>			

**Tabla 35. CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESONANCIA MAGNÉTICA: ABORDAJE FAR LATERAL DERECHO**

CASO	CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN EL ABORDAJE FAR LATERAL EN EL LADO DERECHO												
	DISTANCIAS mm						SUPERFICIE elipse mm <sup>2</sup>			ÁNGULOS (grados)			
	A-B	C-D	A-K	B-J	C-I	D-H	T-J	AB-CD	AH ^ AI	BH ^ BI	TH ^ TI		
1D	13,05	5,64	19,28	21,85	30,17	13,59	20,66	57,8	44,31	38,96	51,22		
2D	12,38	6,79	20,15	15,85	24,16	14,84	19,67	66,02	38,84	51,78	46,53		
3D	9,49	5,6	19,51	20,68	31,02	22,17	23,81	41,74	44,36	54,44	49,4		
4D	13,54	6,53	17,13	15,32	26,43	15,86	18,83	69,44	51,61	69,83	61,9		
5D	10,81	5,8	21,29	17,77	29,53	16,75	21,96	49,24	37,33	48,3	42,47		
6D	14,5	8,6	17,34	16,99	25,79	16,71	19,93	97,94	38,53	43,24	44,18		
7D	11,53	5,53	20,66	15,92	24,88	16,9	19,26	50,07	36,2	46,17	42,41		
8D	11,3	4,83	18,35	17,35	25,99	18,57	20,2	42,86	43,06	54,16	49,83		
9D	10,91	6,21	22,92	18,9	31,27	18,43	23,91	53,21	32,72	45,09	37,88		
10D	10,14	5,25	16,84	17,15	22,54	20,5	20,49	41,81	39,42	53,55	46,38		
11D	11,81	6,71	17,07	14,27	21,34	21,12	18,33	62,24	45,9	67,79	55,98		
12D	8,92	5,8	22,25	19,81	27,53	23,84	23,32	40,63	38,75	50,45	44,13		
13D	11,49	4,84	18,57	17,28	24,82	19,28	20,44	43,67	40,53	51,37	46,59		
14D	13,34	6,95	22,52	21,21	30,11	24,63	25,6	72,81	44,8	60,5	52,61		
15D	14,78	6,18	17,71	15,43	24,43	19,94	19,48	71,74	45,09	65,65	56,06		
16D	13,19	6,49	23,84	20,74	31,48	22,94	25,39	67,23	35,19	45,94	40,83		
17D	16,22	6,84	17,08	13,01	19,91	18,9	17,26	87,13	43,78	73,17	59,46		
18D	12,3	6,73	27,16	22,06	30,82	23,94	26,64	65,01	29,29	39,27	34,24		
19D	11,27	7,32	16,94	16,12	20,27	19,17	18,52	64,79	38,81	50,77	46,42		
20D	10,21	5,63	18,1	18,19	25,44	20,82	21,11	45,14	42,6	55,3	49,71		
21D	12,84	6,03	18,94	15,48	25,69	14,9	27,41	60,81	34,62	42,03	37,74		
22D	11,3	5,99	21,87	15,86	24,88	19,98	21,06	53,16	38,44	59,97	47,16		
23D	12,44	6,26	16,42	14,54	23,49	16,16	17,62	61,16	40,78	52,87	48,57		
24D	11,96	5,78	20,29	16,26	25,73	24,52	21,09	54,29	45,05	66,31	54,38		
25D	12,78	5,64	17,55	14,68	24,89	14,95	17,3	56,61	43,36	53,18	51,59		
26D	12,03	7,26	25,65	19,86	31,24	21,04	24,46	68,59	30,12	42,16	36,01		
27D	14,56	7,27	23,2	17,95	26,46	19,61	22,87	83,13	31,54	42,51	37,51		
28D	13,68	7,86	24,11	17,34	26,5	21,47	23,01	84,45	30,03	48,19	37,93		
29D	11,3	5,54	24,34	21,95	32,81	23,09	26,68	49,16	35,4	46,26	40,04		
30D	11,82	5,49	18,43	17,73	25,53	20,02	21,67	50,96	38,72	52,52	45,94		
<b>PROMEDIO</b>	12,19	6,24	20,18	17,58	26,5	19,49	21,6	60,43	39,3	52,39	46,5		

**5.4. TABLAS DEL CONTENIDO NEUROVASCULAR EN LOS TRAYECTOS SEGÚN ABORDAJE (RM).**

**Tabla 36. CONTENIDO TRAYECTOS: N° DE ESTRUCTURAS NEURALES Y VASCULARES CON ABORDAJE RETROSIGMOIDEO**

		N	%
NEURALES RET	Total	60	100,0%
	0	1	1,7%
	1	20	33,3%
	2	37	61,7%
	3	2	3,3%
VASCULARES RET	Total	60	100,0%
	0	28	46,7%
	1	30	50,0%
	2	2	3,3%

**Tabla 37. CONTENIDO TRAYECTOS: N° DE ESTRUCTURAS NEURALES Y VASCULARES CON ABORDAJE FAR LATERAL**

		N	%
NEURALES FAR	Total	60	100,0%
	0	27	45,0%
	1	31	51,7%
	2	2	3,3%
VASCULARES FAR	Total	60	100,0%
	0	2	3,3%
	1	30	50,0%
	2	25	41,7%
	3	3	5,0%

**Tabla 38. CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN RM DE LOS TRAYECTOS:  
ABORDAJE RETROSIGMOIDEO**

ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL CONTENIDO NEUROVASCULAR EN EL TRAYECTO T-G DEL ABORDAJE RETROSIGMOIDEO				
CASO	LADO IZQUIERDO		LADO DERECHO	
	ESTRUCTURAS NEURALES	ESTRUCTURAS VASCULARES	ESTRUCTURAS NEURALES	ESTRUCTURAS VASCULARES
1	1	1	2	0
2	2	1	2	0
3	1	0	2	1
4	2	1	2	0
5	2	1	2	0
6	0	1	1	0
7	2	0	1	0
8	2	1	2	1
9	2	1	2	2
10	2	0	1	1
11	2	0	3	0
12	2	1	2	0
13	2	2	2	0
14	1	1	2	0
15	2	1	1	0
16	1	0	2	0
17	1	1	3	1
18	1	0	2	1
19	2	0	1	1
20	1	1	2	1
21	2	0	2	0
22	1	0	2	1
23	1	1	2	1
24	1	1	2	0
25	2	0	2	1
26	2	0	1	1
27	2	1	1	1
28	1	1	2	0
29	2	1	2	0
30	1	0	1	1
PROMEDIO	1,53	0,63	1,8	0,5

**Tabla 39. CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS EN RM DE LOS TRAYECTOS:  
ABORDAJE FAR LATERAL**

ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL CONTENIDO NEUROVASCULAR EN EL TRAYECTO T-J DEL ABORDAJE FAR LATERAL				
CASO	LADO IZQUIERDO		LADO DERECHO	
	ESTRUCTURAS NEURALES	ESTRUCTURAS VASCULARES	ESTRUCTURAS NEURALES	ESTRUCTURAS VASCULARES
1	0	2	0	1
2	0	1	0	2
3	1	1	1	1
4	2	2	2	1
5	1	1	1	1
6	0	1	1	1
7	1	1	0	1
8	1	1	1	0
9	0	2	1	2
10	0	2	1	1
11	1	1	1	2
12	0	1	1	1
13	1	1	0	1
14	0	2	0	2
15	0	2	0	2
16	0	3	0	2
17	1	1	0	1
18	0	1	1	3
19	0	1	1	1
20	1	1	0	3
21	0	2	0	2
22	0	2	1	2
23	1	2	1	1
24	1	2	1	1
25	1	0	1	2
26	0	1	1	2
27	1	2	1	2
28	1	1	0	1
29	1	2	1	2
30	0	1	0	2
PROMEDIO	0,53	1,43	0,63	1,53

## VI. DISCUSIÓN

En base a la experiencia neuroquirúrgica de los directores de la presente tesis doctoral se planteó la necesidad de exponer la oliva bulbar mediante la selección objetiva de un abordaje que minimice la morbi-mortalidad. En este sentido, para el tratamiento de lesiones intrínsecas del tronco cerebral susceptibles de ser resecaadas de forma segura a través de la oliva bulbar, nos preguntamos si existen diferencias en los aspectos técnicos y ergonómicos entre los dos principales abordajes utilizados en la práctica neuroquirúrgica para este fin: el abordaje retrosigmoideo y el abordaje *far lateral*. Se trasladó dicho contexto al laboratorio de microcirugía donde pudimos simular los procedimientos, identificando los principales aspectos para la planificación y el desarrollo de este trabajo. Con el uso de especímenes anatómicos, correctamente tratados previamente, se diseñó un modelo metodológico y se identificaron tridimensionalmente los puntos anatómicos de interés, así como se analizaron las peculiaridades de cada uno de los abordajes. Este trabajo de investigación no se hubiera podido llevar a cabo sin una planificación y un trabajo en el laboratorio sobre los cadáveres, y es por ello que esta fase de la investigación la consideramos la base para su correcto desarrollo. Sin embargo, es una realidad que el acceso a especímenes anatómicos es muy limitado. Por esta razón y con la finalidad de aumentar la validez de este estudio se realizó una segunda fase de investigación mediante el uso de resonancias magnéticas de individuos anonimizados sin patología cráneo-cerebral conocida. Hay que considerar, que la utilización de la neuronavegación en el laboratorio, no solo nos facilitó el registro de mediciones, sino que además nos sirvió de transición entre el estudio cadavérico y el radiológico. Así pues, tras estas consideraciones, daremos comienzo a la discusión.

## **1. DESCRIPCIÓN DE LA ANATOMÍA QUIRÚRGICA Y TÉCNICA DE LOS ABORDAJES RETROSIGMOIDEO Y *FAR LATERAL* (ACCESO A LA OLIVA BULBAR)**

Iniciamos esta discusión destacando la importancia del estudio anatómico que ha permitido realizar el presente trabajo de tesis doctoral. El estudio de la anatomía microneuroquirúrgica mediante el uso de modelos cadavéricos sigue siendo hoy en día la técnica de estudio y de entrenamiento más eficaz para todo neurocirujano. Los laboratorios de microneurocirugía, dotados de material e instrumental neuroquirúrgico, permiten recrear un escenario y campo de trabajo muy similar al que encontramos en los quirófanos de neurocirugía actuales (Fig. 96).

El conocimiento anatómico es fundamental en todas las especialidades quirúrgicas para realizar una correcta planificación y obtener resultados adecuados. En especial, en el ámbito de la neurocirugía se requiere un profundo conocimiento debido al gran número, complejidad y funcionalidad de las estructuras presentes. Destacaremos en este punto una serie de aspectos referentes al uso de los especímenes anatómicos:

-La preparación de los especímenes cadavéricos actuales permite lograr una preservación de las estructuras cráneo-cerebrales próxima a la realidad. Además, con la inyección de silicona y colorantes rojo/azul se pueden conseguir modelos de estudio más similares a la realidad, en ocasiones incluso perfundidos.

-El modelo cadavérico, pese a todo, tiene ciertas limitaciones en contraposición con el paciente vivo. La textura del parénquima cerebral y tronco cerebral es mucho más rígida que en el paciente vivo, ya que actualmente para una correcta preservación de estas estructuras es necesario aplicar productos químicos que aumentan su rigidez. El volumen

global puede no ajustarse a la realidad, los pares craneales pueden ser más frágiles por su degeneración, los vasos inyectados no ofrecen la misma maleabilidad, etc.

-En el paciente vivo hay ciertas maniobras que podemos realizar y no así en el cadáver: podemos interferir en condiciones anestésicas (ventilación, fármacos, volúmenes, etc), la posición del paciente, la evacuación de líquido cefalorraquídeo ofrece una relajación de las estructuras cerebrales que permite minimizar la manipulación cerebral en el paciente vivo. Dichas maniobras no las podemos realizar en el modelo cadavérico, sin embargo, en los especímenes cadavéricos se pueden tomar ciertas libertades técnicas que no podríamos realizar en el quirófano: diseccionar regiones más amplias que mejoren la exposición, tiempos quirúrgicos ilimitados, uso de sistemas de retracción “estáticos” sin riesgo de daño funcional, comodidad del cirujano y posición del espécimen, etc.



**FIGURA 96. Fotografía realizada durante el proceso de disección en el laboratorio de neuroanatomía microquirúrgica del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Universitat de València. Este ambiente de trabajo nos permitió realizar un estudio microquirúrgico en condiciones muy similares a las que encontramos en un quirófano actual de neurocirugía.**

Pese a todas las limitaciones que muestran los modelos cadavéricos en contraposición al ser vivo, no existe hoy en día un modelo superior que permita al neurocirujano realizar un buen entrenamiento técnico y anatómico. Así mismo, los modelos cadavéricos permiten reproducir situaciones quirúrgicas y retos detectados durante la práctica clínica, su estudio, análisis y valoración pausada para poder darles solución una vez de vuelta al quirófano. Por ello, se decidió seleccionar un estudio anatómico en el laboratorio de neuroanatomía como la pieza fundamental para el desarrollo estratégico y metodológico de este trabajo de investigación. El tiempo invertido en el laboratorio permitió estructurar el trabajo comprendiendo los factores limitantes de los abordajes estudiados e identificando los aspectos relevantes anatómicos

y quirúrgicos, junto a la información clínica y experiencia de los directores de esta tesis doctoral.

El tronco cerebral es la estructura anatómica del sistema nervioso central (SNC) que presenta mayor concentración de núcleos y fibras por lo que su simple manipulación puede conllevar importante morbi-mortalidad. Desde un punto de vista neuroquirúrgico, ha sido motivo de estudio identificar zonas de entrada seguras que minimicen el riesgo quirúrgico. A lo largo de este profundo estudio, analizada la organización interna del tronco cerebral, se ha podido objetivar la distribución de las vías motoras (ventrales) y sensitivas (dorsales), identificando una zona de transición entre ambas donde se han definido las ‘vías de entrada seguras’ (*safe entry zones*) a nivel del tronco cerebral. Siguiendo este concepto, el Prof. Evandro de Oliveira ha dirigido numerosos estudios en los que identifica la oliva bulbar como la zona de entrada segura a nivel del bulbo raquídeo, gracias a la separación de los principales fascículos y núcleos del tronco cerebral a este nivel.<sup>53, 65, 70, 75, 96-98</sup>

Hasta hace pocos años, existía una visión muy pesimista acerca de los resultados del tratamiento quirúrgico de la patología del tronco cerebral. Sin embargo, a excepción de los gliomas infiltrativos sin un componente exofítico, la mayoría de lesiones intrínsecas del tronco cerebral pueden ser resecaadas con una aceptable morbilidad a largo plazo y mínima mortalidad. Cuando se selecciona un abordaje, el cirujano debe conocer la importancia de varios aspectos. El conocimiento de la patología y su historia natural permite seleccionar aquellos pacientes que se benefician de una indicación quirúrgica; así como individualizar la esperanza de vida y deseos de cada paciente. Es fundamental, además, identificar los déficits existentes previos a la cirugía y relacionarlos con el conocimiento anatómico, advirtiendo la probabilidad de añadir nuevos déficits transitorios o bien permanentes tras este tipo de cirugías. La adecuada selección del

abordaje, la identificación de zonas de entrada seguras al SNC y la mejora de las técnicas y material microquirúrgico han contribuido para optimizar los resultados.<sup>16, 19, 24, 51, 63, 65, 70, 95, 100</sup>

Tras revisar la literatura al respecto, no hemos encontrado un estudio sistematizado que analice los aspectos técnicos y anatómicos de la exposición de la oliva bulbar de forma objetiva. En este sentido, nuestro trabajo busca comparar partiendo de la anatomía y usando las técnicas actuales, los dos principales abordajes a la oliva bulbar: *retrosigmoideo* y *far lateral*. A partir del análisis objetivo de múltiples aspectos técnicos: distancias de trabajo, ángulos de ataque, superficie de exposición, canal de trabajo, complejidad, etc. se pretende seleccionar de una forma objetiva el abordaje más adecuado para el tratamiento de las lesiones intrínsecas localizadas a nivel de la oliva bulbar y en sus vecindades.

La patología principal que asienta de forma intrínseca en el tronco cerebral son los cavernomas (malformaciones vasculares).<sup>64, 85</sup> Estas lesiones pueden encontrarse en cualquier región del sistema nervioso central y entre un 4-35% se localizan en el tronco cerebral, con una localización a nivel de la región bulbar entre un 5-19% de los casos del total de cavernomas de tronco cerebral. Como se describe en la introducción del trabajo, el conocimiento de la historia natural de los cavernomas de tronco cerebral, anima a plantear un tratamiento quirúrgico. El gran número y complejidad de los tractos y núcleos presentes a nivel bulbar hace imperativo una adecuada indicación y un adecuado abordaje quirúrgico que ofrezca una exposición quirúrgica suficiente y que permita aplicar la técnica microquirúrgica que garantice un óptimo resultado.<sup>2, 3, 9, 13, 19, 23, 29, 30, 33, 34, 36-38, 42, 46, 49, 64, 67, 69, 82, 89</sup>

A continuación, discutiremos para los dos abordajes y fase a fase, aquellos aspectos analizados y los resultados obtenidos durante el presente trabajo doctoral. En la

realización de los abordajes se definieron dos fases bien diferenciadas: una fase extradural (partes blandas, óseas y duramadre) y una fase intradural (canal de trabajo). La función de la fase extradural fue configurar la ventana de entrada superficial del canal de trabajo, y la de la fase intradural, configurar el canal de trabajo desde la ventana superficial hasta el objetivo (oliva bulbar).

#### - **Fase extracraneal y extradural**

En esta fase se incluye todo el proceso de disección desde la superficie cutánea hasta la exposición dural suficiente que permita configurar la ventana de entrada superficial para cada uno de los dos abordajes. Por lo tanto, en este apartado haremos referencia a la incisión, la disección de los planos musculares, la craneotomía y fresado de estructuras, exposición de senos venosos, etc. En este sentido, cuanta más exposición sea necesaria y cuantas más estructuras anatómicas entren en juego, el tiempo quirúrgico se alargará, factor que en la práctica clínica puede tener relevancia en términos de recuperación y complicaciones posquirúrgicas.

La complejidad técnica de la fase extracraneal del abordaje retrosigmoideo resulta menor comparada con el abordaje *far lateral*, ya que la incisión cutánea es menor y simplemente es necesario disecar el colgajo perióstico localizado alrededor del punto craneométrico *asterion*, desinsertando parcialmente el músculo esternocleidomastoideo (Fig. 97). Esta disección no tiene repercusión en la estabilidad posquirúrgica de la unión cráneo-cervical. Sin embargo, el abordaje retrosigmoideo tiene sus particularidades y un grado de complejidad técnica elevado, aunque es un abordaje con el que el neurocirujano se encuentra más familiarizado al utilizarse más a menudo en otras indicaciones quirúrgicas, como, por ejemplo, para el tratamiento de los neurinomas del VIIIpc. Para la

correcta ejecución de este abordaje es necesario exponer parcialmente los senos venosos transversos y sigmoideos. Una de las complicaciones descritas, que hoy en la actualidad ha descendido gracias a la mejoría de las técnicas microquirúrgicas, es la laceración accidental en algún segmento de los senos duros. La técnica de reparación depende del tamaño del desgarro, ya que pequeñas laceraciones pueden coagularse con bipolar, cubrirse con material hemostático o con miniclips. En contraposición, en las laceraciones grandes en las que no se puedan aplicar las técnicas anteriores, se deberá intentar una reparación mediante sutura directa tras fresar las coberturas óseas que tapizan el seno venoso. En estos casos, se debe evitar el taponamiento del seno al poder conducir a una trombosis total, con el riesgo de generar importantes problemas neurológicos y funcionales si se trata de un seno dominante. Una de las complicaciones más frecuentes del abordaje retrosigmoideo al igual que en el *far lateral*, es la fístula de líquido cefalorraquídeo. Las fugas a través de la incisión se deben a la comunicación del espacio subaracnoideo con el exterior a través de los bordes de la craneotomía y, en el caso que se produzca una rinoliquorrea, el problema se debe a una comunicación del espacio subaracnoideo con el oído medio a través de celdas mastoideas abiertas. Las celdas mastoideas neumatisadas se abren en un elevado número de abordajes al fresar la porción mastoidea que tapiza la región más basal del seno sigmoideo. En el abordaje retrosigmoideo, comparado con el *far lateral*, existe una mayor necesidad de fresar la porción mastoidea del hueso temporal, por lo que generalmente, el número de celdas mastoideas expuestas suele ser mayor. La incidencia total de fístula de líquido oscila entre un 7-10% en los abordajes retrosigmoideos según la literatura, y en el caso del abordaje *far lateral*, la frecuencia descrita es de un 11-17%. Como discutiremos más adelante, este mayor porcentaje para el *far lateral* no se debe a una mayor tasa de fuga a través de las celdas mastoideas, sino que aumenta la tasa de fístula de líquido a través de la

craneotomía. Existen varias hipótesis, pero las más aceptadas son aquellas que señalan la mayor disección realizada en las cisternas y aracnoides localizadas en la unión cráneo-cervical, donde existen variaciones en las presiones de líquido que pueden favorecer este aumento. Una de las teorías que podemos desarrollar tras la realización de este trabajo es que la mayor extensión de la craneotomía, la mayor desinserción de la musculatura nucal (que protege y comprime la región basal occipital), la mayor superficie dural abierta, el mayor número de cisternas disecadas, una localización más basal del canal de trabajo (donde existe mayor presión del líquido cefalorraquídeo) pueden aumentar la probabilidad del desarrollo de una fistula liquórica posquirúrgica a través de la craneotomía. En ambos abordajes la mejor forma de prevenir esta complicación es la realización de una correcta evaluación de las estructuras óseas y celdas mastoideas prequirúrgica con estudios de imagen de tomografía computarizada. En el caso que sea necesario abrir las celdas, se deberá realizar un sellado de las mismas y un cierre hermético de la duramadre para minimizar el riesgo de fistula de líquido cefalorraquídeo.

10, 17, 22, 25, 32, 45, 50, 54, 56, 61, 68, 74, 84, 93, 94, 96-98

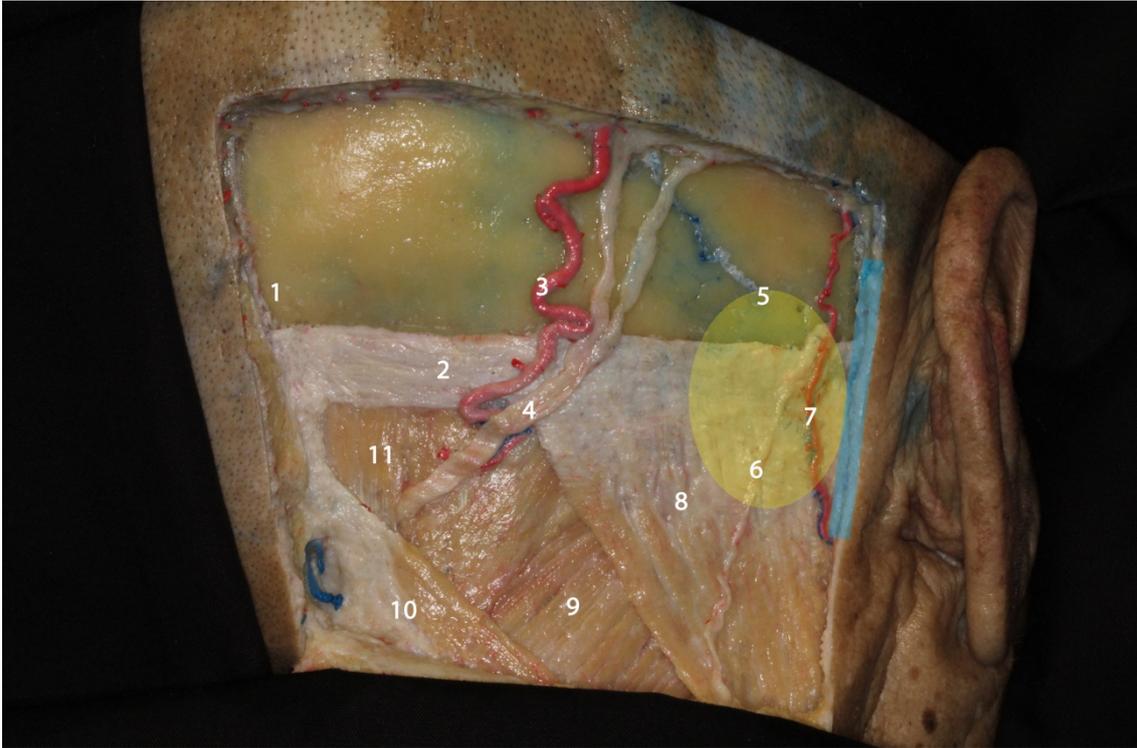
La incisión diseñada y suficiente para obtener la ventana superficial del canal de trabajo para el abordaje *far lateral* es de mayor extensión y más basal, entrando en juego un mayor número de estructuras que será necesario disecar para acceder hasta la superficie ósea de la unión cráneo-cervical. Esto tiene una connotación muy relevante en cuanto a la musculatura nucal, ya que mediante el abordaje retrosigmoideo no es necesario desinsertar este importante grupo muscular, evitando así generar una posible inestabilidad craneocervical posquirúrgica. Sin embargo, la técnica realizada en el abordaje *far lateral* implica una desinserción de la musculatura de la línea nucal superior e inferior (unilateral). En el presente trabajo anatómico, en todas las disecciones, se

realizó una disección músculo por músculo para evaluar el número de estructuras, comprender sus relaciones y su funcionalidad. Los planos superficiales se suelen disecar en cirugía en un solo bloque (trapecio, esternocleidomastoideo, esplenio de la cabeza, semiespinoso y longuísimo de la cabeza), mientras que el plano profundo puede ser disecado músculo a músculo asegurando la identificación y preservación de la arteria vertebral. El principal riesgo en esta zona del abordaje se relaciona con la presencia de la arteria vertebral que además puede tener un curso no habitual, haciéndola más vulnerable a una lesión accidental si no se ha realizado un correcto estudio de imagen prequirúrgico. Algunos autores abogan no obstante por su disección en bloque aumentando eso sí, el riesgo quirúrgico. Durante el trabajo a nivel de la musculatura profunda (triángulo suboccipital) se debe coagular y controlar el sangrado venoso procedente del plexo que envuelve la arteria vertebral. Es en este momento donde hay que tener especial atención en las ramas que se originan de la arteria vertebral en esta región, ya que se pueden lesionar ramas de relevancia funcional. Como se ha descrito en apartados anteriores la arteria cerebelosa posteroinferior y la arteria espinal posterior pueden tener un origen extradural, por lo que, en estos casos, la coagulación y control del plexo venoso suboccipital puede conllevar lesiones en alguna de estas ramas. La desinserción de todos los planos musculares, descrito minuciosamente en el apartado de material y métodos, puede contribuir junto al fresado del cóndilo occipital en la generación de una inestabilidad craneocervical posquirúrgica, definida como la excesiva movilidad entre la unión C0-C2. Esta hipermovilidad puede producir sintomatología debido a la irritación de las raíces nerviosas e insuficiencia vertebrobasilar, con vértigo, acufenos, mareos, cervicobraquialgia, cefalea, etc (Fig. 97).<sup>17, 84, 86</sup>

La disección individual músculo a músculo conlleva mayor riesgo de dehiscencia y desvitalización de los mismos. La disección en un solo colgajo muscular amplio de las

primeras capas musculares reduce este riesgo, pero así mismo puede producirse una atrofia posquirúrgica. En este sentido, el tiempo quirúrgico necesario para el desarrollo de un abordaje *far lateral* es mayor, por lo que la retracción muscular, sobretodo si es intensa y mantenida, produce isquemia y devascularización muscular que puede producir mayor o menor grado de atrofia muscular y fibrosis, con la consiguiente disfunción de la musculatura nugal ipsilateral. Entre la musculatura superficial y la profunda existe un importante espacio de tejido graso con un rico plexo venoso que, en el postoperatorio, puede favorecer la formación de colecciones serohemáticas en su interior, descrita como una de las complicaciones más habituales de este abordaje.<sup>17</sup>

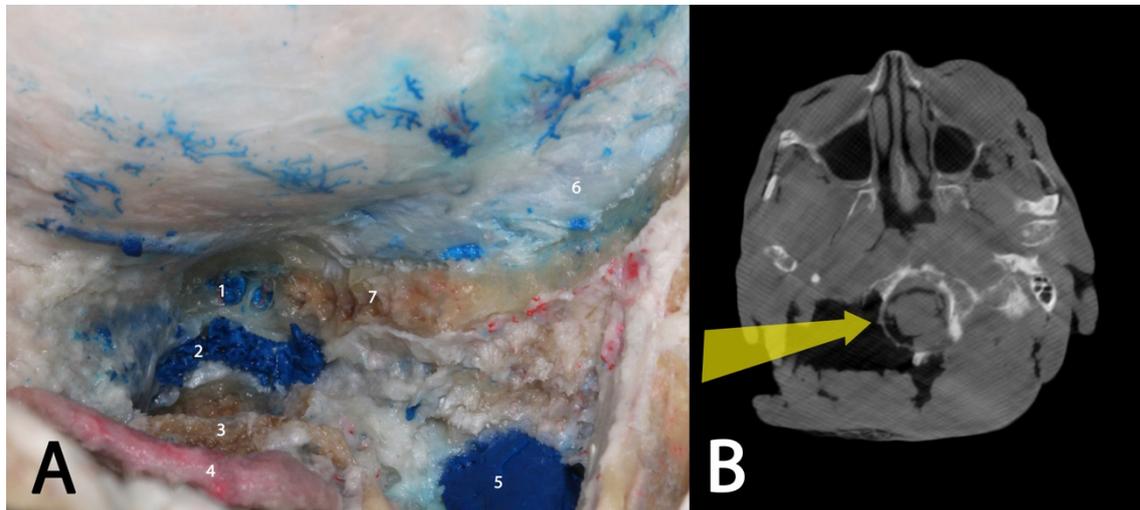
En la fase de fresado de la porción mastoidea, para exponer la región más basal del seno sigmoideo, puede ocurrir que se abran un número variable de celdas mastoideas según la anatomía particular de cada paciente. Por ello, si se da esta situación, en la que tras un estudio preoperatorio objetivamos que no queda otra posibilidad que abrir las celdas, hay que realizar un sellado inmediato de las mismas para minimizar el riesgo de una posible fístula de líquido cefaloraquídeo durante el postoperatorio. Sin embargo, en el abordaje retrosigmoideo es en el que existe más probabilidad de abrir un mayor número de celdas mastoideas, ya que el fresado de la apófisis mastoides y de la porción mastoidea del hueso temporal es mayor en comparación con el *far lateral*.



**FIGURA 97.** Imagen del inicio de la fase muscular en el abordaje *far lateral* tras la retirada del colgajo cutáneo. Se observan las primeras capas de la musculatura nual, que es preciso desinsertar por completo en el *far lateral*. En el abordaje retrosigmoideo (incisión marcada con la línea azul) no es necesario su desinserción, simplemente siendo necesaria una desinserción parcial del músculo esternocleidomastoideo (superficie de desinserción marcada en amarillo). 1, protuberancia occipital externa; 2, línea nual superior; 3, arteria occipital; 4, nervio occipital mayor; 5, *asterion*; 6, nervio occipital menor; 7, arteria auricular posterior; 8, músculo esternocleidomastoideo; 9, músculo esplenio de la cabeza (*splenius capitis*); 10, músculo trapecio; 11, músculo semiespinoso (*semispinalis capitis*).

Asimismo, para ganar acceso a la cara anterolateral del tronco cerebral donde se localiza la oliva bulbar, se completó el abordaje mediante la variante transcondilar. El fresado del cóndilo occipital permite generar una trayectoria más lateral y basal, incrementado el ángulo de visión y minimizando la distancia de trabajo al objetivo. Sin embargo, cuanto mayor sea la resección del cóndilo, el riesgo de generar una inestabilidad occípito-cervical aumenta. La articulación C0-C1 tiene gran importancia en el rango de movilidad en los tres ejes: flexo-extensión (FE), rotación axial (RA) y lateralización (L). Vishteh examinó la biomecánica de la unión occípito-cervical tras el fresado unilateral progresivo del cóndilo occipital. Reportó una significativa hipermovilidad en los tres

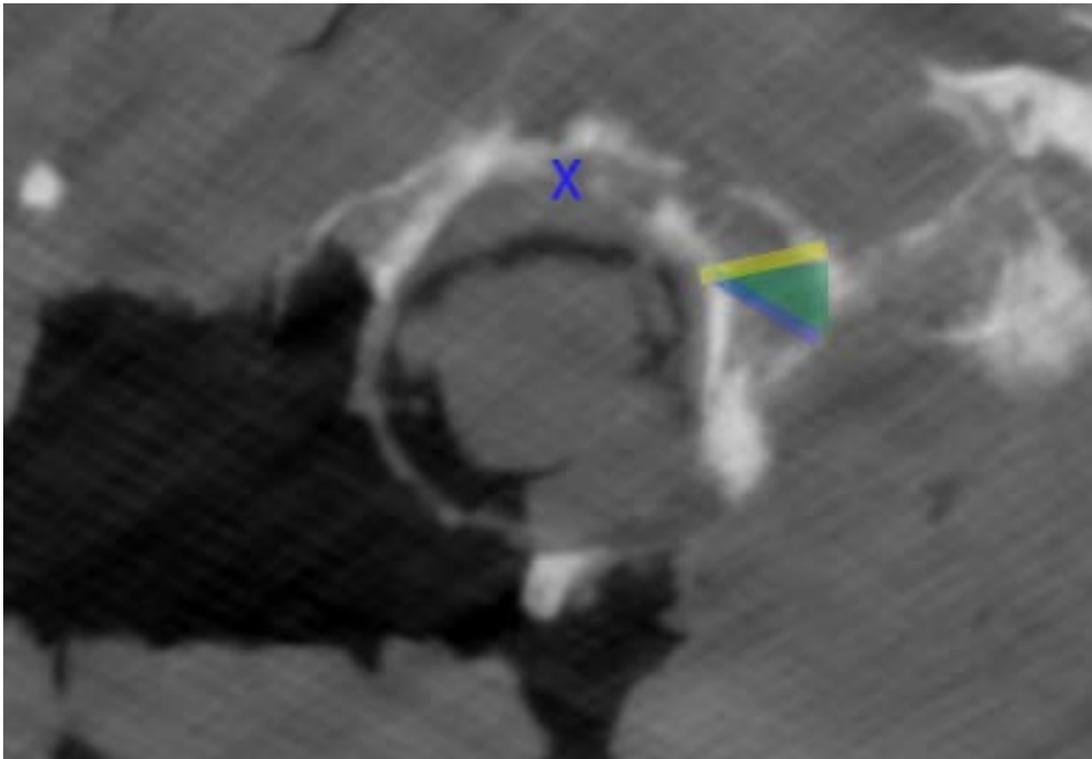
movimientos: FE, RA y L a partir de la eliminación de un 50% del cóndilo. Pese a ello y tal como demostramos en el trabajo anatómico, el canal del hipogloso limita dicho fresado, quedando generalmente el mismo muy por debajo del 50% (Fig. 98).<sup>31, 35, 60, 88, 91</sup>



**FIGURA 98.** En la imagen A se muestra la fase extradural de un abordaje *far lateral* tras el fresado del cóndilo occipital hasta el canal del hipogloso. En la imagen B observamos el TC de neuronavegación del mismo espécimen expuesto en la imagen A. Podemos observar que el fresado del cóndilo derecho sobrepasa aproximadamente más del 50 por ciento de su totalidad, ya que comparándolo con el lado izquierdo podemos realizar una estimación. 1, venas condíleas posteriores; 2, canal del hipogloso exponiendo el plexo venoso; 3, cara articular superior de la masa lateral del atlas; 4, segmento V3 de la arteria vertebral; 5, vena yugular interna; 6, seno sigmoideo; 7, tubérculo yugular.

Históricamente, el canal del hipogloso se ha utilizado como punto de llegada a la región media del cóndilo. Se consideraba que el riesgo de generar una inestabilidad occípito-cervical era mínimo si el fresado del cóndilo no superaba los límites posteriores del canal del hipogloso. Bajo esta consideración, Vishteh recomendó realizar una fijación occípito-cervical si se realizaba una resección de más del 50 por ciento del cóndilo.<sup>91</sup> Biomecánicamente, este concepto sigue teniendo vigencia hoy en día, no obstante, los estudios anatómicos realizados hasta la fecha muestran que el canal del hipogloso no se localiza siempre en el punto medio del cóndilo occipital, por lo que no se puede tomar únicamente de límite para valorar el riesgo de generar una inestabilidad. Hasta en un

22% de la población se puede localizar el canal en el tercio anterior del cóndilo (generando un riesgo elevado de inestabilidad cráneo-cervical en estos casos si realizamos un abordaje transcondilar). Actualmente, existe poca evidencia en la literatura que recomiende de forma objetiva cuando se debe realizar una fijación occípito-cervical tras un abordaje transcondilar. Existen estudios morfométricos, como el realizado por Mazur, que demuestran que el volumen del cóndilo localizado posterior al canal del hipogloso constituye entre un 15-64% de la totalidad. Por lo tanto, tomar como referencia el canal del hipogloso no es una medida fiable para valorar el riesgo de inestabilidad occípito-cervical futura, ya que un pequeño porcentaje de casos en los que el canal tiene una localización más anterior podemos fresar más del 50 por ciento de la totalidad. Así mismo, en los pacientes en los que el canal del hipogloso tenga una disposición anterior no sería necesario realizar un fresado hasta el mismo, ya que la superficie superomedial del cóndilo que protruye en la ventana superficial del canal de trabajo no depende de la localización del canal del hipogloso sino del volumen. Por tanto, un aspecto a tener en cuenta, es que, si no tomamos como límite dicho canal, la referencia que marca el límite de fresado anterior será el volumen necesario que permita rebatir la duramadre de forma recta lineal y sin relieves desde el punto más basal y medial del seno sigmoideo hasta la entrada dural de la arteria vertebral. En base a estas anotaciones se recomienda realizar a estos pacientes una TC de la unión occípito-cervical prequirúrgico para individualizar la morfología del cóndilo que permita diseñar su fresado y otro posquirúrgico para obtener una mejor visualización del porcentaje real de cóndilo restante que permita determinar el riesgo de una futura inestabilidad. De esta forma el neurocirujano puede valorar de una forma más objetiva si una fijación occípito-cervical debe ser considerada. Por lo tanto, un adecuado estudio prequirúrgico, un ajustado fresado y una correcta técnica pueden minimizar el riesgo de inestabilidad (Figs. 99).<sup>31, 35, 60, 88, 91</sup>

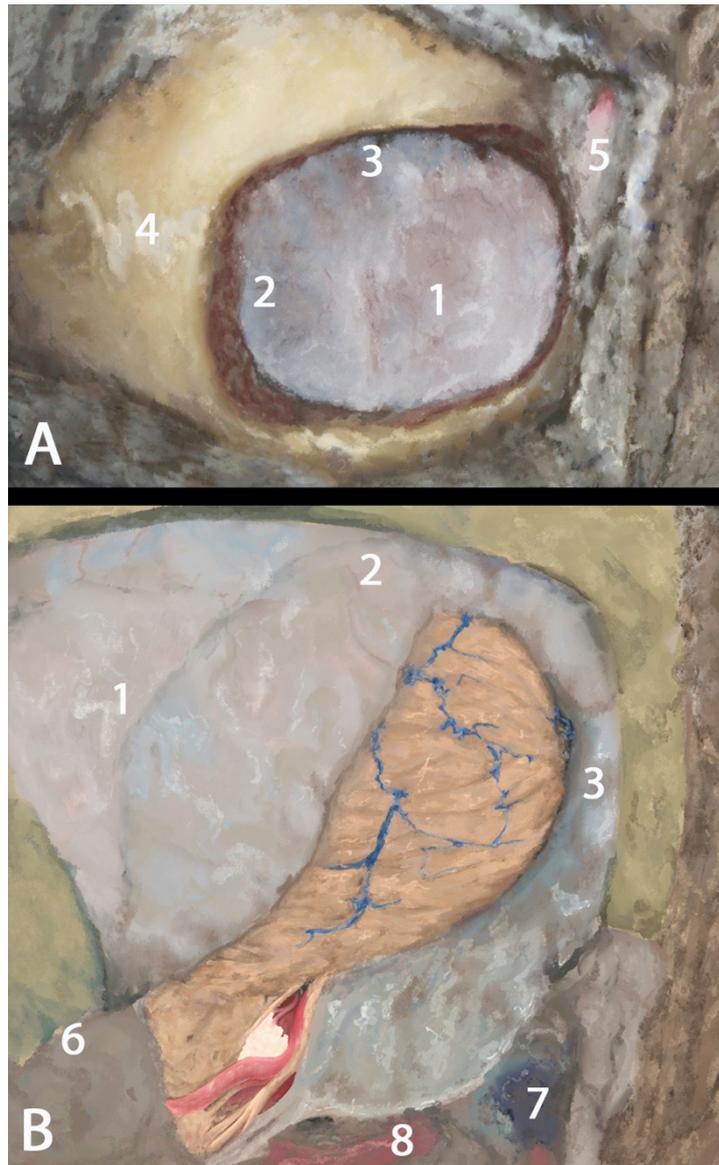


**FIGURA 99.** En esta imagen de TC podemos observar el fresado del cóndilo derecho hasta el canal del hipogloso, como se ha realizado en todos los especímenes anatómicos del presente trabajo. Sin embargo, gracias a este trabajo hemos podido objetivar que no es necesario fresar hasta el canal del hipogloso para incrementar el ángulo de visión, ya que solo es necesario un fresado suficiente que permita rebatir la duramadre de forma plana y sin relieves entre la unión de la entrada dural de la arteria vertebral y el punto más basal y medial del seno sigmoideo. Para ello, sobre el cóndilo occipital izquierdo ejemplificamos con un esquema este concepto. La línea amarilla marca la trayectoria y localización del canal del hipogloso y la línea azul indica el límite anterior del fresado suficiente para rebajar los relieves del cóndilo que limitan el ángulo de visión. La trayectoria de este fresado la podemos planificar tomando como referencia el punto medio del clivus a este nivel, ya que siguiendo una trayectoria que una el punto anterior del fresado hasta el clivus sería suficiente para obtener el mayor ángulo de visión posible. Por lo tanto, la superficie verde marcada en el cóndilo izquierdo marcaría el fresado evitable, de modo que podríamos reducir un alto porcentaje de inestabilidad cráneo-cervical posquirúrgica.

En cuanto al tiempo quirúrgico invertido para completar la fase extradural en cada uno de los abordajes, el abordaje retrosigmoideo puede suponer, dada su menor complejidad y número de etapas, una disminución del tiempo quirúrgico total respecto al *far lateral*. Consecuentemente, se reducirían complicaciones debidas al tiempo de

exposición, como por ejemplo la tasa de infecciones, problemas de herida quirúrgica, aspectos anestésicos, etc.<sup>96-98</sup>

Como se describe en los primeros apartados de este trabajo, la posición del paciente juega un papel fundamental en el estado del campo de trabajo y en la ergonomía del cirujano durante el procedimiento quirúrgico. El abordaje retrosigmoideo ofrece un abanico más amplio de posiciones del paciente (*park bench*, semisentado, decúbito lateral, decúbito supino con lateralización de la cabeza, etc.), y no solo eso, sino que, además, con el uso de las mesas quirúrgicas actuales, una vez se selecciona una posición, nos permite realizar un mayor rango de movilización intraoperatoria en función de las necesidades del cirujano (mejorar la visión, ergonomía, modificar el retorno venoso, etc.). La incisión más posterior e inferior del abordaje *far lateral*, dificultan el posicionamiento, tanto desde un punto de vista que mejore las condiciones hemodinámicas del paciente, como para la ergonomía del cirujano.<sup>68, 96-98</sup>



**FIGURA 100.** Ilustraciones del final de la fase extradural para cada uno de los abordajes retrosigmoideo y *far lateral*. En la imagen A se ilustra la fase final extradural para un abordaje retrosigmoideo derecho. Podemos observar la sencillez del abordaje en contraposición con el abordaje *far lateral* esquematizado en la imagen B. 1, duramadre sobre la superficie suboccipital del cerebelo; 2, seno transverso; 3, seno sigmoideo; 4, sutura témporo-parietal; 5, arteria occipital; 6, foramen magno; 7, vena yugular interna; 8, arteria vertebral.

- **Fase intradural (canal de trabajo)**

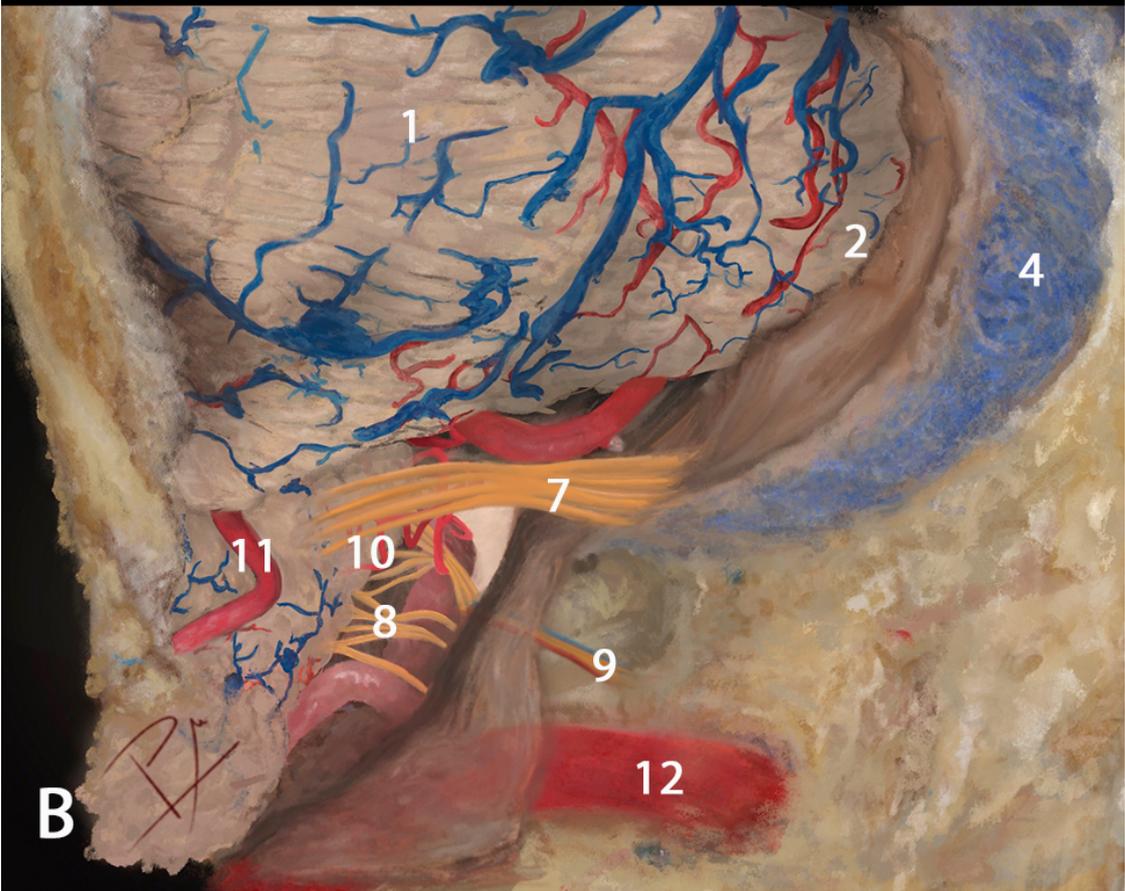
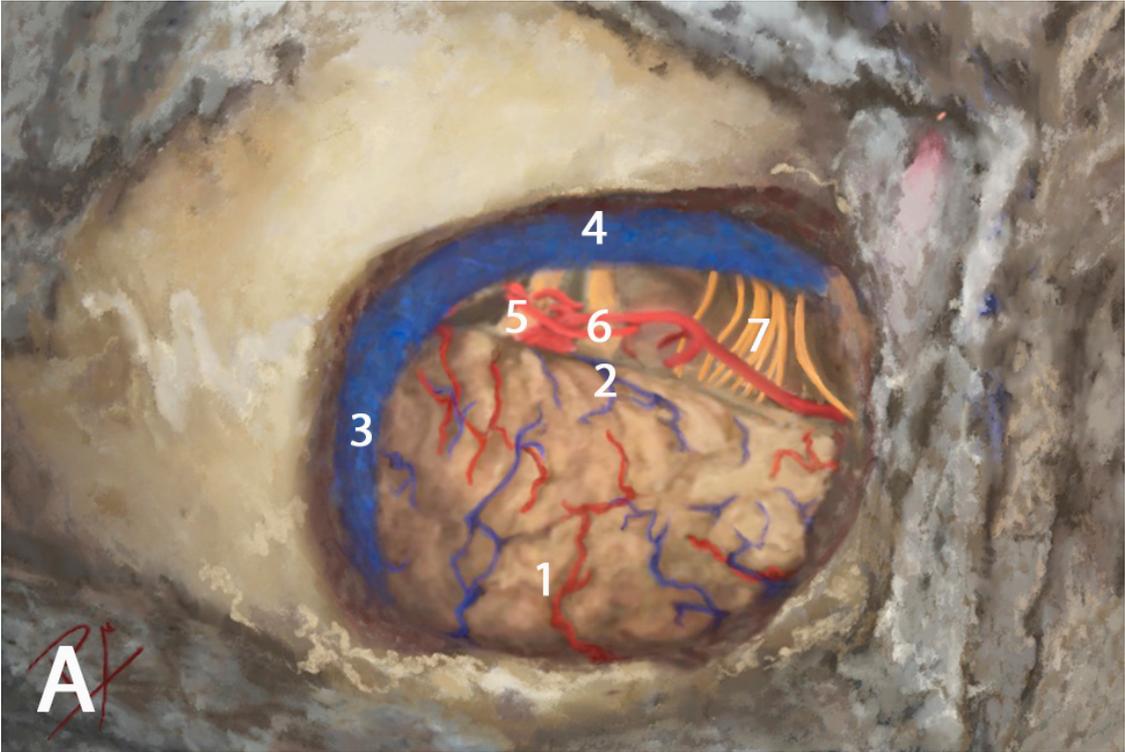
En este punto de la discusión nos centraremos en comentar los aspectos técnicos y cualitativos del canal de trabajo obtenido en cada uno de los dos abordajes, puesto que

los aspectos cuantitativos de distancias, ángulos de ataque y contenidos serán discutidos en los siguientes puntos de este apartado. En la cirugía de base de cráneo el objetivo principal del abordaje seleccionado es conseguir una distancia de trabajo al objetivo lo más corta posible con una ventana lo suficientemente amplia, es decir, superficializar la patología. En neurocirugía, la gran complejidad anatómica de las estructuras presentes y su relevancia funcional hace primordial minimizar al máximo las distancias de trabajo, optimizar la exposición y evitar cualquier posible agresión quirúrgica. Sin embargo, en muchas ocasiones hay que tener en cuenta que a pesar de minimizar las distancias de trabajo se pueden interponer estructuras en nuestro camino donde su simple manipulación puede ocasionar graves trastornos funcionales en el curso postoperatorio. Poner en valor el riesgo-beneficio de las diferentes opciones de abordaje resulta imperativo para conseguir los mejores resultados.<sup>68, 96-98</sup>

En este contexto, previo al análisis de las distancias y estructuras presentes desde la superficie de cada uno de los abordajes al objetivo, delimitamos, de forma objetiva y mediante la identificación de referencias y límites anatómicos, un canal de trabajo para cada uno de los abordajes realizados. La finalidad de construir una visión volumétrica del canal es poder llegar a cuantificar el rango de movilidad y el punto central de visión que utilizamos al trabajar sobre la oliva bulbar desde la superficie en cada uno de los abordajes. Este trabajo, nos ha permitido comprender las necesidades en cada una de las craneotomías para optimizar la exposición de la oliva bulbar. Ejemplo de ello es utilizar la variante transcondilar del *far lateral*, ya que en los estudios anatómicos iniciales objetivamos que, con el uso de esta variante, la ventana superficial de entrada incrementaba el ángulo de visión sobre la oliva bulbar al aplanar el relieve óseo que produce el cóndilo occipital en la región más basal y lateral. Conocido el canal de trabajo necesario para el acceso a la oliva bulbar desde la superficie de cada uno de los abordajes

nos permite ajustar la disección de planos cutáneos, musculares y óseos para asegurarlo. Por ello, el mejor conocimiento de la fase extradural permite minimizar el número de estructuras disecadas, reduciendo así complicaciones asociadas a una mayor exposición sin afectar al diseño del canal de trabajo. Además, poder reproducir estos canales de trabajo en base a referencias anatómicas nos ha permitido desarrollar el presente trabajo de investigación de una forma más precisa y homogénea en los diferentes especímenes y estudios de imagen utilizados. Sistematizar la técnica permite su evaluación y estudio comparativo.

En cuanto al abordaje retrosigmoideo, tras la apertura dural, el acceso a la oliva bulbar se alcanza gracias a la disección exhaustiva de las cisternas cerebelopontina y cerebelobulbar relacionadas. El conocimiento y disección aracnoidea de estas cisternas es vital para aumentar el canal de trabajo y exponer las estructuras neurovasculares en el camino y la totalidad de la oliva bulbar. El manejo cisternal aumenta la complejidad técnica del procedimiento, pero facilita la posterior retracción sin tensión de la superficie petrosa del cerebelo que permite exponer el canal de trabajo en su totalidad. Realizando una simulación de trabajo microquirúrgico sobre la oliva bulbar nos permite evaluar la proyección, dificultad técnica, estructuras en el camino y limitaciones del abordaje. El canal de trabajo lo define la ventana superficial de entrada y el objetivo (oliva bulbar). Se trata de un canal de trabajo angosto donde la posición del cirujano e inclinación del microscopio es fundamental para trabajar en su interior con una trayectoria adecuada. Así como la fase extradural del abordaje retrosigmoideo es técnicamente sencilla, la fase intradural exige mayor habilidad microquirúrgica para no lesionar las estructuras presentes alrededor de la oliva bulbar. El resultado morfológico final del canal de trabajo diseñado para el abordaje retrosigmoideo es de cono truncado y definirlo como tal aporta ventajas a la hora de cuantificar los datos a estudio. (Figs. 101 y 102).



**FIGURA 101. Ilustraciones de la fase intradural de ambos abordajes retrosigmoideo y *far lateral*. En la imagen A se muestra la craneotomía y la retracción de la superficie petrosa del cerebelo pudiendo mostrar la salida de los pares craneales bajos desde la oliva bulbar. Desde la superficie de la craneotomía, accedemos a la oliva bulbar desde una proyección craneal, ya que la oliva la encontramos en el tercio inferior de la craneotomía. En la imagen B observamos la fase intradural del abordaje *far lateral* tras una correcta relajación de las estructuras. En esta fase podemos observar como las estructuras relacionadas con la oliva bulbar quedan más fácilmente identificables y permite un acceso a la oliva bulbar desde una proyección caudal. La fase extradural del abordaje *far lateral* fue técnicamente más compleja en comparación con el abordaje retrosigmoideo, sin embargo, ya en el espacio intradural, el trabajo realizado a través de las cisternas hasta llegar a la oliva bulbar fue más sencillo. 1, superficie suboccipital del cerebelo; 2, superficie petrosa del cerebelo; 3, seno transverso; 4, seno sigmoideo; 5, nervio trigémino (Vpc); 6, nervio facial y vestibulococlear (VIIpc y VIIIpc); 7, pares craneales bajos (IXpc, Xpc y XIpc); 8, nervio hipogloso (XIIpc); 9, canal del hipogloso; 10, oliva bulbar; 11, arteria cerebelosa posteroinferior (PICA); 12, arteria vertebral.**

Para el abordaje *far lateral*, se consigue una morfología final para el canal de trabajo de medio cono truncado (Fig. 102). Para incrementar al máximo el rango de movilidad (ángulo de ataque) desde la superficie hasta la oliva bulbar, es necesario aplanar la superficie dural sobre el cóndilo occipital (como se ha descrito anteriormente) hasta permitir trazar una unión lineal recta y sin relieves entre la entrada dural de la arteria vertebral y el punto más basal y medial del seno sigmoideo. El punto limitante más craneal lo condiciona la retracción de la amígdala y región inferior de la superficie petrosa del cerebelo. De esta forma, el canal de trabajo para este abordaje, tras el fresado del cóndilo occipital, consigue amplitud y una trayectoria corta que nos mejora el rango de movilidad del microscopio (ángulo de ataque). El proceso de fresado es una técnica segura, siempre y cuando se sigan las referencias anatómicas, presentándose el canal del hipogloso como límite anterior y medial de la exposición anatómica, aunque lo relevante según nuestra experiencia es la línea recta y superficie lisa de la unión imaginaria seno sigmoideo-arteria vertebral. En contraposición a lo relatado para el abordaje retrosigmoideo, el abordaje *far lateral* resulta ser muy exigente técnicamente en la fase extradural, debido a la gran complejidad de estructuras óseas, musculares y vasculares

presentes como se ha descrito anteriormente; en cambio, las dificultades técnicas en la fase intradural, centrada en el canal de trabajo, resultan menores en comparación con el retrosigmoideo. El canal de trabajo obtenido desde un abordaje *far lateral* tiene una ventana de entrada más amplia y un mayor ángulo de ataque a la oliva bulbar, por lo que si además se añade que la proximidad al objetivo (oliva bulbar) es mayor, la maniobrabilidad microquirúrgica y la seguridad del procedimiento se ven beneficiadas.

Tras completar ambos abordajes, se consiguió que cada uno de los canales de trabajo evaluados en los especímenes anatómicos expusiera la totalidad de la oliva bulbar en el interior de la superficie profunda del canal (objetivo) por lo que podemos considerar que los resultados cualitativos individualizados para cada canal de trabajo fueron satisfactorios sin producir lesiones neurovasculares significativas en los especímenes que contraindicaran o desaconsejaran alguno de los dos abordajes.

Los modelos cadavéricos utilizados, tanto en el laboratorio del Prof. Ali Krisht, como en el de la Universitat de València, cuentan con una excelente preparación que permite la preservación de las estructuras y posibilita analizar los límites anatómicos para realizar un trabajo microquirúrgico de exposición de la oliva bulbar. Gracias a esta configuración tridimensional y simulando la práctica neuroquirúrgica pudimos diseñar de una forma objetiva y reproducible los canales de trabajo utilizados para el acceso a la oliva bulbar mediante cada uno de los dos abordajes. Gracias a los diferentes especímenes anatómicos utilizados, se observó la importante variabilidad inter-especímen, que permite dentro de los límites anatómicos definidos para cada abordaje y canal de trabajo, evaluar el rango de distancias, superficies y ángulo de ataque. Toda esta variabilidad anatómica, así como la diferente calidad observada entre los especímenes ofrece en nuestra opinión un valor añadido al diseño del estudio, puesto que permite validar la viabilidad de la técnica y los datos obtenidos en diferentes condiciones. Resulta una valoración cualitativa

y subjetiva, pero necesaria y fundamental a la hora de diseñar y llevar a cabo las siguientes fases del proyecto. Identificar los puntos anatómicos de referencia, las particularidades técnicas de cada abordaje y las dificultades encontradas inherentes a la propia anatomía constituyeron los cimientos a partir de los cuales erigir nuestro trabajo doctoral.

En los especímenes utilizados para realizar los 40 abordajes, ninguna estructura relevante supuso un obstáculo directo que impidiera o contraindicara el abordaje para el acceso a la oliva bulbar. Las conclusiones obtenidas desde un punto de vista puramente anatómico, dejan su aplicabilidad quirúrgica para estudios futuros que evalúen aspectos clínicos y no tanto anatómicos. Destacamos así mismo que en todo momento se trabajó simulando un procedimiento real, sin alterar las condiciones del espécimen a favor del investigador.

A continuación, se discutirán los resultados cuantitativos de exposición, mientras que los aspectos cuantitativos de contenido se revisarán en el último punto de esta discusión.

## **2. COMPARACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE TRABAJO, ÁNGULOS DE ATAQUE Y SUPERFICIE A LA OLIVAR BULBAR PARA CADA UNO DE LOS DOS ABORDAJES**

Identificados los aspectos relevantes de cada abordaje, establecidos los elementos anatómicos referenciales y definidos los canales de trabajo, pasamos a evaluar y cuantificar de forma objetiva variables de consideración quirúrgica como las distancias, ángulos de trabajo y superficie bulbar. Se utilizó en primer lugar el modelo cadavérico, para a continuación correlacionar gracias a la navegación los hallazgos anatómicos con los radiológicos y finalmente poder estudiar con criterio y base anatómica aplicada los

estudios de resonancia magnética en bruto seleccionados. El motivo de dicho diseño ha sido expuesto en apartados anteriores y radica principalmente en el fin de obtener medidas fiables y de tamaño muestral suficiente para el análisis estadístico.

En primer lugar, tras utilizar el modelo cadavérico para la identificación y selección de los puntos anatómicos referenciales y una vez diseñado el protocolo de toma de mediciones, se utilizaron dos sistemas de medición en el cadáver: medición directa con pie de rey y medición indirecta con el sistema de neuronavegación. La decisión de utilizar la neuronavegación vino dada por las dificultades técnicas en el registro de mediciones que sufrimos en las mediciones directas, ya que se trata de campos quirúrgicos reducidos y profundos, así como estructuras milimétricas con escaso margen de error. La toma de medidas en modelos cadavéricos no está estandarizada ya que existen múltiples técnicas y limitaciones para cada una de ellas. Hasta la fecha no hay unanimidad en la literatura que describa el método de medición más fiable. Los dos sistemas de medición utilizados nos ofrecieron, sin embargo, resultados muy similares (Tablas 1 a 8). El tamaño muestral no es lo suficientemente elevado debido a las limitaciones que los estudios cadavéricos plantean, pero los datos obtenidos no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre el que denominamos método directo e indirecto de medición. Así y todo, la neuronavegación jugó un papel fundamental en el desarrollo de este estudio, ya que supuso una transición desde el estudio cadavérico al radiológico, es decir, gracias al uso de pruebas radiológicas de los mismos especímenes anatómicos disecados pudimos confirmar que los puntos anatómicos referenciales definidos a partir de las disecciones y con las limitaciones reales en el campo de trabajo, podían ser identificados y reproducibles en estudios radiológicos de pacientes aleatorizados sin patología cráneo-cerebral.

De esta forma y con el fin de mejorar el tamaño muestral, se estudiaron resonancias magnéticas de alta definición anatómica a partir de la identificación de puntos anatómicos referenciales definidos a partir del estudio anatómico de los abordajes realizados en especímenes cadavéricos. Con este recurso, se pretendió contrastar los resultados obtenidos en el laboratorio (resultados anatómicos) con los resultados de resonancias magnéticas en pacientes anonimizados (resultados radiológicos). Gracias a sistemas de *software* informático para la visualización de imágenes médicas, como uno de los utilizados en el presente trabajo (Horos®), pudimos registrar los puntos anatómicos referenciales en los tres ejes del espacio (x, y, z) para cada uno de los estudios radiológicos. Dicho *software* resultó de gran utilidad por su versatilidad, sencillez y posibilidad de caracterización numérica (cartesiana) de cada uno de los puntos anatómicos referenciales. El uso de resonancia, además, permitió añadir el parámetro de ángulo de ataque, gracias a que la obtención de dichas coordenadas cartesianas de los puntos referenciales permite definir y cuantificar vectores y calcular los ángulos entre aquellos seleccionados.

En cualquiera de los métodos seleccionados para la toma de mediciones, el investigador juega un papel muy importante debido a la complejidad técnica, tanto en el cadáver como en resonancias, por lo que el conocimiento anatómico y radiológico, así como el entrenamiento técnico resultaron una pieza fundamental para la elaboración de este trabajo. Uno de los aspectos fundamentales de esta tesis doctoral fue delimitar los puntos anatómicos referenciales y correlacionar con la radiología de la forma más precisa con el objetivo de que fueran puntos constantes y fácilmente identificables tanto en especímenes anatómicos como en estudios de imagen. En nuestra opinión, la inversión de tiempo realizada en el laboratorio, resultó fundamental en el diseño del proyecto y su

metodología. De esta forma, pudimos simplificar y homogeneizar las mediciones realizadas en estudios de resonancia de alta definición.

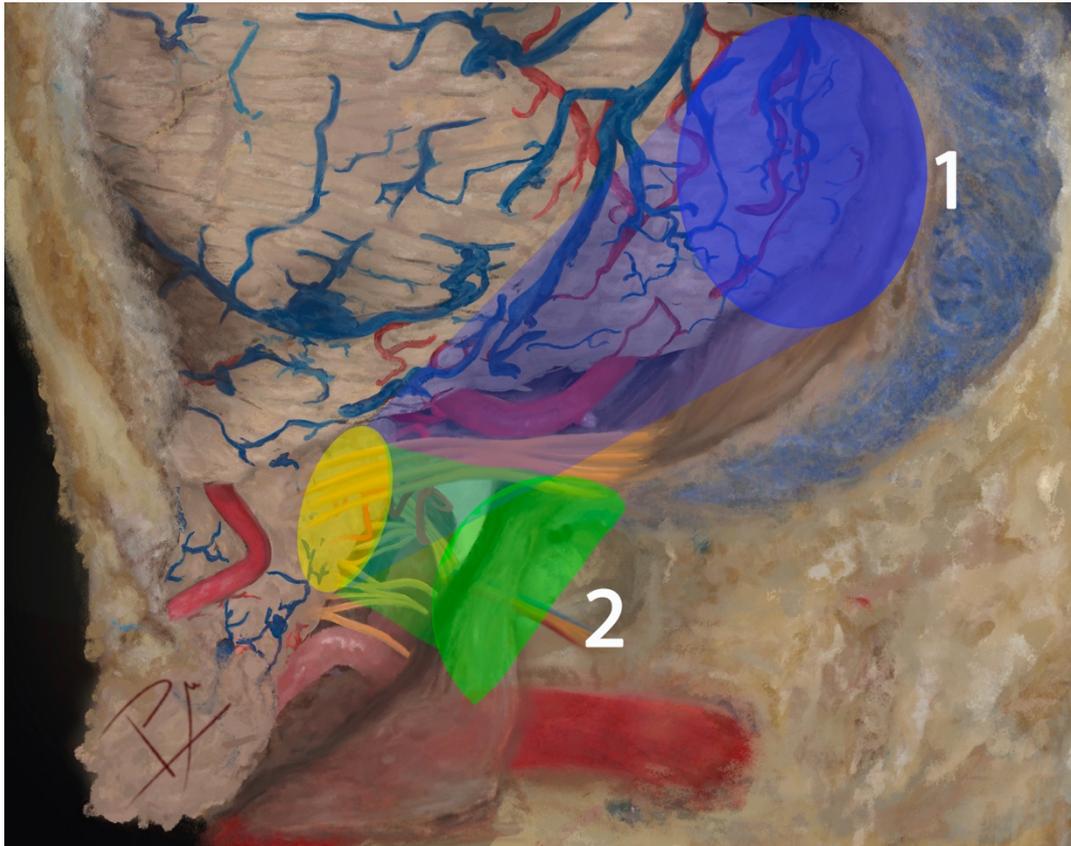
Los datos obtenidos a partir de estudios de resonancia no mostraron diferencias estadísticamente significativas en comparación con las medidas realizadas en especímenes cadavéricos (Tablas 9 a 12). Sin embargo, el uso de estudios de imagen de alta definición, nos permitió añadir alguna distancia que técnicamente no fue posible conseguir en especímenes y obtener los ángulos de ataque. A igualdad de los resultados obtenidos mediante los tres modelos de medición utilizados, nos gustaría recalcar la rentabilidad de los estudios de resonancia en cuanto a la magnitud de los datos obtenidos. Sin embargo, la facilidad para la obtención de los datos y la fiabilidad de los mismos (atendiendo a los resultados del presente trabajo) que podemos obtener de resonancias de alta definición con los sofisticados softwares de visualización, no debe en nuestra opinión sustituir la disección microquirúrgica y el estudio anatómico directo en modelos cadavéricos (sin los cuales por otro lado no sería posible establecer con precisión y criterio los puntos referenciales que constituyen la base de nuestro trabajo). A día de hoy, no hay modelo neuroanatómico que supere las características que nos ofrece el cadáver para fusionar los conocimientos neuroanatómicos y de técnica microquirúrgica. A su vez, permite comprender y optimizar la información que aporta la resonancia magnética.

En los siguientes puntos de este apartado analizaremos los resultados obtenidos de las variables paramétricas principales del estudio: distancia de trabajo, superficie y ángulo de ataque.

## - Distancias de trabajo y superficie de la oliva bulbar

Para el registro de las distancias de trabajo realizamos dos tipos de mediciones: las que delimitan la superficie de la oliva bulbar y las que cuantifican la distancia desde la superficie hasta el objetivo (oliva bulbar) de cada abordaje (Fig. 102).

Para la delimitación de la oliva bulbar si atendemos a los resultados de nuestras medidas directas, la media de exposición craneocaudal (AB) fue de 12,48 mm (DT 1,28 mm) y la exposición lateromedial (CD) resultó de media 6,03 mm (DT 0,73). Estos datos aquí descritos nos permitieron calcular a su vez la superficie de la exposición mínima necesaria para cada uno de los abordajes, correspondiente a la superficie de la oliva bulbar (objetivo) donde obtuvimos una media de 58,81 mm<sup>2</sup> (DT 8,00). Los resultados obtenidos en la toma de mediciones indirecta mediante neuronavegación fueron una media de 12,68 mm (DT 1,33 mm) de exposición craneocaudal (AB), de 6,06 mm (DT 0,79) de exposición lateromedial (CD) y de 60,07 mm<sup>2</sup> (DT 8,76) de superficie bulbar. Existe una similitud de los resultados obtenidos mediante medición directa y neuronavegación donde no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de medición. Sin embargo, el tamaño muestral no permite sacar conclusiones a favor de un método u otro de medición, lo cual tampoco está dentro de los objetivos de este trabajo. La decisión de utilizar el sistema de neuronavegación nos permitió precisar y validar las medidas directas y sobretodo, nos sirvió de transición entre el estudio cadavérico y el radiológico mediante resonancia magnética, ya que nos permitió correlacionar “in situ” la anatomía real y la radiológica.



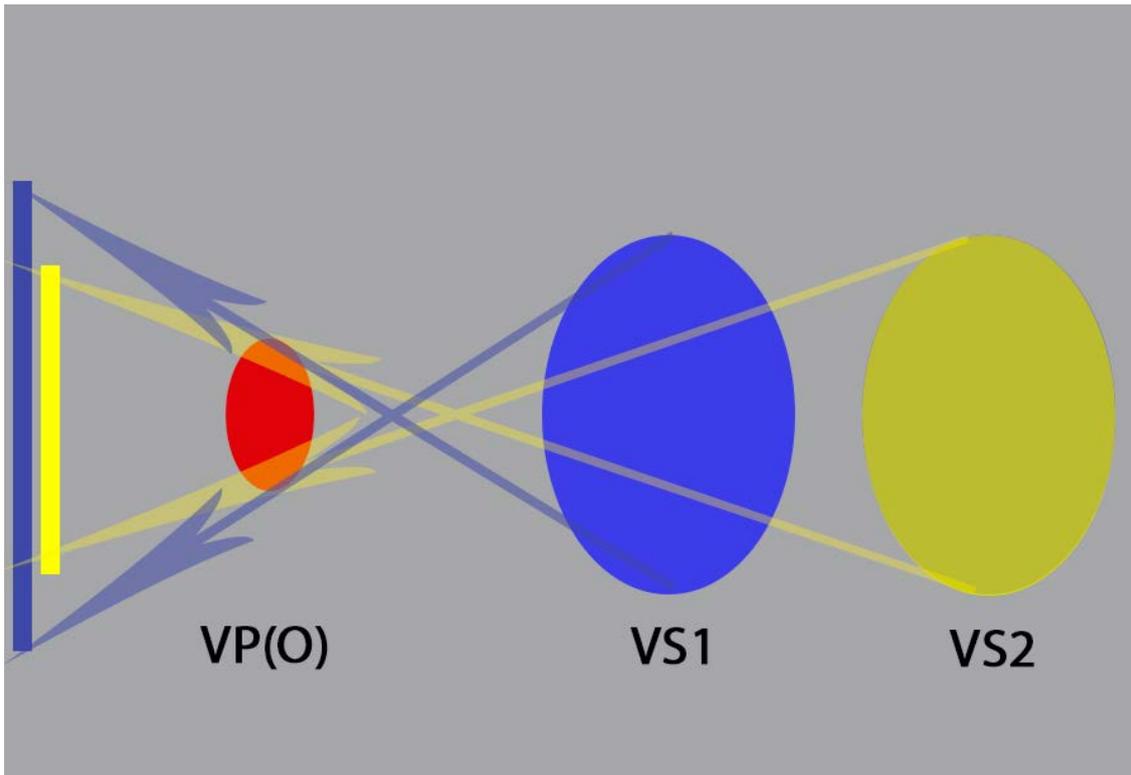
**FIGURA 102.** Ilustración que muestra desde una visión panorámica posterolateral los dos canales de trabajos obtenidos desde un abordaje retrosigmoideo (1, azul) y desde un abordaje *far lateral* (2, verde). Podemos observar una configuración del canal, más largo, para el abordaje 1 en comparación con el 2. La superficie de la oliva bulbar (objetivo) queda representada en amarillo.

En cuanto a los resultados obtenidos mediante estudios de resonancia magnética, tras obtener las coordenadas cartesianas de la oliva bulbar (puntos A, B, C y D) pudimos caracterizar mediante la formulación matemática (descrita en los resultados) las distancias entre los puntos. De esta forma, la media de exposición craneocaudal (AB) fue de 12,28 mm (DT 1,65) y la exposición lateromedial (CD) resultó de media 6,33 (DT 0,88). En este caso, la superficie de la oliva bulbar fue de 61,64 mm<sup>2</sup> (DT 14,82). Tras analizar estadísticamente los resultados obtenidos tanto en especímenes anatómicos como en resonancia magnética no se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos tipos de mediciones. Por esta razón, en la discusión de las siguientes medidas

nos centraremos exclusivamente en los resultados obtenidos mediante estudios de resonancia magnética, que nos permitieron obtener un tamaño muestral mayor y valorar diferentes parámetros. Asimismo, todos los resultados descritos en referencia a la geometría y superficie de la oliva bulbar fueron muy similares a los descritos en la literatura.<sup>65, 71, 84, 96-98</sup>

En base a estos resultados podemos hacernos una idea del pequeño tamaño en términos relativos que tiene el objetivo de este abordaje. Como podemos observar, la zona de trabajo microquirúrgico debe realizarse en una región de unos 12 x 6 mm aproximadamente, debiendo ser este trabajo muy preciso, ya que en estrecha relación encontramos núcleos y tractos del tronco cerebral con una función neurológica muy relevante. Es por ello, que para conseguir mayor ergonomía a la hora de trabajar sobre el objetivo toma de nuevo importancia el concepto de “superficializar la patología”. En este sentido, interesa que las distancias de trabajo desde la ventana de entrada en superficie hasta el objetivo en profundidad sean cortas, así como delimitar una ventana de trabajo amplia que permita aumentar el ángulo de ataque. Mayor ángulo de ataque y menor distancia de trabajo se traduce en una mejor ejecución de la técnica microquirúrgica. Además, las dimensiones establecidas como superficie de la oliva bulbar condicionarán una última ventana de trabajo para acceder al interior del tronco cerebral, variable que limitará la maniobrabilidad en la profundidad del abordaje. Pese al pequeño tamaño de la ventana que proporciona la oliva bulbar al tronco cerebral, el tamaño de las lesiones intrínsecas tratadas una vez alcanzadas puede ser muy variable, oscilando de milímetros a incluso centímetros. Estas pequeñas pero seguras “safe entry zones” ofrecen al neurocirujano la oportunidad de tratar diferentes patologías, volúmenes y localizaciones. El procedimiento se realiza a través de dos ventanas: una ventana superficial que nos ofrece acceso al canal de trabajo descrito en este trabajo de investigación y una ventana

profunda que nos da acceso al interior del tronco cerebral (donde el neurocirujano, a su vez, debe enfrentarse con patología de tamaño y disposición variable). Es por ello, que cuanto mayor tamaño y proximidad tenga la ventana superficial respecto a la ventana profunda, la capacidad de trabajo mediante técnica microquirúrgica será más amplia en el interior del tronco cerebral (Fig. 103).



**FIGURA 103.** Esquema visual que muestra la importancia de la distancia de la ventana superficial (VS) respecto a la ventana profunda (VP). Para dos ventanas superficiales del mismo tamaño, podemos objetivar que la distancia respecto a la ventana profunda interfiere en la visión distal a través de esta última. En este ejemplo, la VS1 se localiza más próxima a la ventana profunda objetivo (VPO) respecto a VS2, y podemos observar como el grado de acceso y de visión a través de VP(O) es mayor desde VS1 que desde VS2.

Para valorar las distancias a la oliva bulbar desde cada uno de los abordajes, se tomaron mediciones desde puntos clave identificados en la superficie de cada una de las ventanas superficiales hasta las distintas zonas de la oliva bulbar (craneal, caudal, lateral, medial y centro) (Tablas 10 y 11). Con estos resultados en la mano, podemos objetivar

como para cualquiera de los puntos de referencia, la distancia a través del abordaje *far lateral* es significativamente inferior a la conseguida a través del retrosigmoideo ( $p < 0,001$ ) (Tabla 12). Es importante en este punto remarcar la relevancia de la distancia quirúrgica: a mayor distancia quirúrgica disminuye la ergonomía, se necesitan instrumentos más largos y aumenta el temblor del cirujano, disminuyendo la precisión del trabajo microquirúrgico. La ergonomía vendrá condicionada por el uso de instrumentos más cortos que minimicen el temblor del cirujano, disponer de una superficie de reposo para las manos, minimizar las distancias de trabajo y disponer de ventanas amplias que nos ofrezcan un suficiente rango de visión. En este sentido, el abordaje *far lateral* reúne mejores condiciones que el retrosigmoideo.<sup>6, 72, 96-98</sup>

La distancia desde la superficie del abordaje retrosigmoideo para cualquiera de los puntos es aproximadamente de 1,5 a 3 veces mayor que en la obtenida mediante un abordaje *far lateral* transcondilar. Sin embargo, es verdad que existe una región donde las distancias del abordaje retrosigmoideo llegan a la diferencia mínima comparándolo con el abordaje *far lateral*: la región craneal y medial de la oliva bulbar. Es aquí donde los resultados de las distancias del canal de trabajo para el abordaje retrosigmoideo se aproximan más al *far lateral*, aunque siguen siendo medidas superiores. Por lo tanto, en esta región de la oliva bulbar entran en juego otras variables como el ángulo de ataque (desfavorable para el retrosigmoideo) o como la fase extradural del abordaje (favorable para el retrosigmoideo). Para la región craneal y medial las distancias fueron de 52,71 mm (DT 3,59) para el abordaje retrosigmoideo y de 27,94 mm (DT 3,99) para el *far lateral*; para la región más basal de la oliva bulbar las distancias fueron de 49,93 (DT 3,72) para el abordaje retrosigmoideo y de 18,1 mm (DT 2,5) para el *far lateral*. Atendiendo a las relaciones, podemos valorar que la distancia para la región basal es 2,75 veces mayor para un abordaje retrosigmoideo, en cambio para la región craneal y medial

la distancia se reduce a 1,88. Es decir, la distancia de un abordaje *far lateral* siempre será menor para cualquier región del objetivo (inferimos mayor precisión al poder utilizar instrumental más corto, etc), pero es verdad que estos resultados pueden plantear que cirujanos, con experiencia anatómica y entrenamiento microquirúrgico, escojan un abordaje retrosigmoideo para el acceso a la región craneal y medial de la oliva bulbar. De esta forma se asumiría una pérdida de ergonomía a expensas de utilizar un abordaje más sencillo en lo técnico, anatómicamente más conservador (menor incisión, menos planos expuestos, menor craneotomía, menor superficie dural expuesta, reconstrucción y cierre menos complejo) y con menor tasa de complicaciones extracraneales.

A día de hoy, no hemos encontrado ningún trabajo que muestre las distancias de trabajo desde la superficie de ambos abordajes hasta la oliva bulbar. Bien es verdad, que el grupo de investigación del “Barrow Neurological Institute” (USA) ha realizado trabajos dirigidos por los doctores Cavalcanti y Spetzler donde analizan distintos parámetros desde la superficie de algunos abordajes hasta la protuberancia y mesencéfalo. En ellos analizan fundamentalmente la superficie de trabajo y ángulo de ataque.<sup>14-16</sup> En el presente trabajo, además, consideramos relevante la variable distancia por lo defendido anteriormente. Los trabajos realizados por el equipo del Dr. Spetzler no se han centrado en el análisis de la oliva bulbar, pero sus resultados en la exposición de la protuberancia concuerdan con los obtenidos en el presente trabajo de investigación.<sup>14-16</sup>

La distancia de trabajo, por si sola, no debe ser suficiente para decidir cual de los dos abordajes presenta mejores condiciones para el acceso a la oliva bulbar, ya que además se deben analizar los ángulos de ataque y el contenido del canal de trabajo. Este último punto será discutido en el siguiente apartado de esta discusión.

## - Ángulo de ataque

Gracias al software (Horos®) para la visualización de imágenes utilizado en el presente trabajo de investigación, pudimos obtener los ángulos de ataque a los distintos puntos de la oliva bulbar desde la superficie de cada uno de los abordajes. Este parámetro nos indica el rango de movilidad y de visión a la oliva bulbar que tenemos con el microscopio quirúrgico desde la superficie. Este ángulo se determina por las características del canal de trabajo, donde, por ejemplo, para un canal de trabajo más corto y más amplio (el ideal siguiendo los principios de la microcirugía de base de cráneo), mayor será el ángulo de visión y por lo tanto mayor será la ergonomía del trabajo microquirúrgico sobre el objetivo. Como se ha descrito anteriormente, a menor distancia y mayor ángulo de trabajo la técnica puede ser más depurada, aumenta la seguridad de trabajo y la ergonomía reduciendo así el error “humano”.<sup>6, 72, 96-98</sup>

Así pues, se analizaron los ángulos de ataque al punto craneal (A), punto basal (B) y centro (T) de la oliva bulbar desde la superficie del abordaje retrosigmoideo y *far lateral* (Tabla 13). Anteriormente hemos valorado que, a menor distancia de trabajo, para una misma ventana superficial, se nos ofrecen más facilidades quirúrgicas. Además, una reducción de la distancia de trabajo implica también un mayor ángulo de visión. Por lo tanto, para obtener la mayor ergonomía posible interesa disponer de distancias de trabajo cortas y grandes ángulos de ataque. Bien es verdad, que como hemos valorado y discutido a lo largo de este trabajo hay que atender a otros parámetros (complicaciones del abordaje, estructuras neurales y vasculares en juego, etc) para seleccionar el abordaje más apropiado.<sup>6, 72</sup>

Al igual que con las distancias, el ángulo de ataque resultó ser superior para el abordaje *far lateral* sobre cualquiera de los puntos de la oliva bulbar. Sin embargo, es

verdad que estas diferencias se hacen menores a medida que nos dirigimos a la región más craneal de la oliva bulbar, es decir, el punto donde nos alejamos de la ventana superficial del *far lateral* y nos acercamos a la del retrosigmoideo. El ángulo de ataque para la región caudal fue de 19,44° (DT 1,3) para el abordaje retrosigmoideo y de 50,97° (DT 8,01) para el abordaje *far lateral*; el ángulo de ataque para la región craneal fue de 20,3° (DT 1,22) para el retrosigmoideo y de 39,9° (DT 5,12) para el *far lateral*. Si atendemos a las relaciones, esto supone que el rango de visión para el *far lateral* es 2,62 veces mayor en la región caudal y se reduce hasta ser 1,96 veces mayor en la región craneal ( $p < 0,001$ ). Estos resultados, junto con los discutidos en las distancias del canal de trabajo, pueden plantear que la mitad superior y la mitad inferior de la oliva bulbar sean susceptibles de diferentes consideraciones. Las diferencias, tanto en las distancias como en los ángulos, no son tan grandes en la mitad superior de la oliva bulbar y podría considerarse el abordaje retrosigmoideo en estos casos, asumiendo una reducción en la precisión a expensas de un menor riesgo intrínseco del abordaje. En cambio, en patología más caudal, las diferencias entre ambos abordajes se incrementan a favor del abordaje *far lateral*.

### **3. CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO NEUROVASCULAR EN EL TRAYECTO A LA OLIVA BULBAR PARA CADA UNO DE LOS ABORDAJES**

El análisis de las variables continuas que definen la arquitectura del canal de trabajo (distancias, ángulos y superficie) no puede por sí solo ser representativo para seleccionar un abordaje frente a otro. El canal de trabajo, como modelo teórico para su estudio y análisis, se constituye como un espacio tridimensional en el interior del cual vamos a

encontrar diferentes elementos anatómicos (cisternas, venas, arterias, pares craneales, estructuras neurales, etc.). Como hemos valorado en apartados anteriores, obtener una mayor ergonomía de trabajo a través del canal será fundamental para mejorar los resultados quirúrgicos. Las distancias de trabajo, las superficies de las ventanas (superficial y profunda) y el ángulo de ataque son parámetros fundamentales a tener en cuenta. Sin embargo, uno de los aspectos a tener en consideración es el contenido de estructuras neurovasculares que encontramos en el trayecto a través de cada uno de los canales de trabajo, desde la superficie al objetivo (en este caso la oliva bulbar). Las estructuras neurovasculares que se identifican en el camino hacia el objetivo tienen relevancia también en cuanto a la morbi-mortalidad del abordaje, añadidas a aquellas inherentes al bulbo del tronco cerebral y sus alrededores. Por ello, contabilizar el número y tipo de estructuras presentes, bajo nuestro criterio, es fundamental a la hora de seleccionar el abordaje idóneo.

A la hora de considerar los elementos a manipular, cabe destacar la diferencia entre el manejo microquirúrgico de una estructura neural y un vaso sanguíneo, principalmente arterial. Los pares craneales son estructuras neurales sensibles dónde mínimas manipulaciones pueden originar lesiones definitivas o transitorias. En cambio, los vasos sanguíneos son estructuras que, correctamente disecadas de las adherencias aracnoideas presentes en sus alrededores, permiten cierta manipulación y movilidad, incluso su trasposición para alejarlas del trayecto quirúrgico. Los vasos arteriales tienen paredes gruesas, relativamente resistentes y elásticas, por lo que la probabilidad de provocar una lesión severa bajo control microscópico es mucho menor si se compara con una estructura neural. Pese a ello, no debemos olvidar que su manipulación puede conllevar la rotura de los mismos, vasoespasmo o trombosis.

Para analizar el contenido del trayecto principal desde la superficie de los abordajes al objetivo, utilizamos la estación de trabajo de Medtronic con el software StealthStation S7 de Medtronic con la interfaz Cranial 4.0 (Medtronic Surgical Navigation Technologies, Louisville, USA). Este software nos permite marcar dos puntos (entrada y objetivo) y unirlos creando un trayecto, pudiendo visualizar y seguir todo su recorrido con intervalos milimétricos. En el presente trabajo marcamos como punto de entrada el punto central de la superficie del canal de trabajo para cada uno de los abordajes y como punto objetivo el punto central de la oliva bulbar (T). Gracias a esta herramienta y mediante el estudio de las resonancias magnéticas, pudimos obtener un tamaño muestral suficiente para analizar el contenido de ambos canales de trabajo. La sola valoración de los especímenes anatómicos se presenta insuficiente para obtener resultados concluyentes o de significación estadística.

En los siguientes puntos analizaremos, compararemos y discutiremos los tipos y números de estructuras presentes en las trayectorias a la oliva bulbar (objetivo) para cada uno de los abordajes estudiados.

#### - **Estructuras neurales**

Las estructuras neurales que se identificaron en ambos trayectos fueron fundamentalmente pares craneales localizados en el complejo neurovascular inferior descrito por el Prof. Rhoton, concretamente los pares craneales bajos IX, X y XI. En el canal de trabajo para el abordaje retrosigmoideo también fue relevante el complejo neurovascular medio, donde en algunos especímenes hubo que manipular los pares craneales VIIpc y VIIIpc para acceder a la oliva bulbar. Bajo nuestra opinión, poder identificar el número de pares craneales que es necesario manipular en cada uno de los

abordajes tendrá su impacto en el grado de complejidad técnica y en las potenciales lesiones que se puedan producir en el procedimiento neuroquirúrgico, pudiendo implicar un mayor grado de morbilidad neurológica postoperatoria.<sup>71, 75</sup>

Para evaluar de forma objetiva la probabilidad de encontrarnos un determinado par craneal en nuestro camino en función del abordaje seleccionado, realizamos el análisis estadístico de los dos trayectos mediante los estudios de resonancia seleccionados y el software StealthStation S7 de Medtronic (Tablas 15 a 17).

En base a los resultados obtenidos, a través de un abordaje retrosigmoideo:

- La probabilidad de no encontrar ningún par craneal en el trayecto es de 1%
- La probabilidad de encontrarse con un solo par craneal es de un 33,3 %
- La probabilidad de encontrarse con dos pares craneales es de un 61,7 %
- La probabilidad de encontrarse con 3 o más pares craneales es de un 4%

En términos de medias se encuentran 1,67 pares craneales (DT 0,57) a través de un abordaje retrosigmoideo.

En cambio, a través de un abordaje *far lateral*:

- La probabilidad de no encontrar ningún par craneal en el trayecto es del 45%
- La probabilidad de encontrarse con un solo par craneal es de 51,7%
- La probabilidad de encontrarse con dos o más pares craneales es de 3,3%

En términos de medias se encuentran 0,58 pares craneales (DT 0,56) a través del canal de trabajo de un abordaje *far lateral* al objetivo.

Tras valorar el contenido de cada uno de los trayectos podemos afirmar que, para un paciente seleccionado al azar, la probabilidad de encontrar en nuestro camino al objetivo una o más estructura neural es de aproximadamente dos veces más en el abordaje retrosigmoideo que en el *far lateral*. En cualquiera de los dos abordajes, si en el trayecto nos encontramos con sólo un par craneal, dicha situación afecta al canal de trabajo limitando nuestra movilidad, teniendo que decidir si trabajar a un lado u otro de la estructura o alternar entre ambos. Sin embargo, a medida que aumenta el número de pares craneales (2, 3, 4, ...) se incrementa exponencialmente la dificultad técnica al disminuir las alternativas y limitar nuestros movimientos. En este sentido, mediante el abordaje retrosigmoideo tenemos mayor probabilidad de exponernos a esta situación, ya que tenemos una probabilidad de aproximadamente 65% de tener que maniobrar con 2 o más pares craneales a través del canal. En cambio, esta situación para el *far lateral* supone el 3-4% de los casos. Esto nos hace reflexionar en otra dificultad técnica añadida al abordaje retrosigmoideo. Además de tener una distancia de trabajo mayor y un ángulo de ataque menor, se añade otra dificultad, la que supone desenvolverse en el canal de trabajo con mayor número de estructuras neurales. Bien es verdad que, así como en las distancias y ángulos de ataque no existe tanta variabilidad interindividual, el número de estructuras neurales presenta mayor variabilidad. Si tenemos en cuenta que hasta en un 33% de los abordajes retrosigmoideos analizados se objetivó la presencia de 1 o ninguna estructura neural, en la práctica clínica podríamos identificar estos casos que podrían beneficiarse de un abordaje retrosigmoideo utilizando la misma metodología que hemos empleado en este estudio de investigación. Por lo tanto, teniendo en base los resultados discutidos en el apartado anterior referentes a distancias y ángulos de ataque, si seleccionamos un abordaje retrosigmoideo para el acceso a la mitad superior de la oliva bulbar, se debería individualizar en cada paciente el número de estructuras neurales presentes. Una visión

global de las diferentes variables en juego y su impacto, nos permitiría apoyar o desestimar la idea de seleccionar en cada paciente un abordaje determinado.

- **Estructuras vasculares**

Las estructuras vasculares que se encontraron en el camino de ambos abordajes fueron principalmente la arteria cerebelosa posteroinferior (PICA) y la arteria vertebral, además de la arteria cerebelosa anteroinferior (AICA) con menor frecuencia. Estos vasos tienen una gran relevancia en la vascularización del tronco cerebral, médula espinal y cerebelo, por lo que es imperativo su preservación. Para analizar el número de estructuras vasculares que encontramos en ambos trayectos a la oliva bulbar se utilizó la misma metodología que la comentada para las estructuras neurales (Tablas 15 a 17).

A través de un abordaje retrosigmoideo:

- La probabilidad de no encontrar ninguna estructura vascular es del 46,7%
- La probabilidad de encontrarse con una estructura vascular es del 50%
- La probabilidad de encontrarse con dos o más estructuras vasculares es del 3,3%

En términos de medias se encuentran 0,57 arterias (DT 0,56) a través del trayecto de un abordaje retrosigmoideo.

En cambio, en el trayecto a la oliva bulbar mediante un abordaje *far lateral*:

- La probabilidad de no encontrar ninguna estructura vascular es de 1-2%
- La probabilidad de encontrarse con una estructura vascular es del 50%
- La probabilidad de encontrarse con dos estructuras vasculares es del 41,7%

-La probabilidad de encontrarse con tres o más estructuras vasculares es del 6,3%

En términos de medias se encuentran 1,48 arterias (DT 0,65) en un abordaje *far lateral* al objetivo.

Con estos resultados podemos afirmar que la probabilidad de encontrar uno o más vasos arteriales a través de un abordaje *far lateral* es prácticamente el doble que en un abordaje retrosigmoideo. Como hemos discutido anteriormente, la presencia de vasos sanguíneos en el trayecto no dificulta tanto la maniobrabilidad quirúrgica como lo hacen las estructuras neurales; aunque, con todos los datos en la mano, si para el acceso a la mitad superior de la oliva bulbar planteamos un abordaje *far lateral*, sería conveniente individualizar el número de estructuras vasculares que podemos llegar a encontrar, ya que hasta en un 6-7% de los casos podemos tener que manipular 3 o más vasos sanguíneos. En estos casos, sería interesante analizar el número de estructuras neurales y vasculares presentes desde un abordaje retrosigmoideo, ya que si son menores podría tener un impacto favorable en los resultados posquirúrgicos.

## **CONSIDERACIONES TÉCNICAS**

Una vez valorados los resultados del presente trabajo, podemos considerar que para el abordaje retrosigmoideo:

-Las distancias de trabajo son mayores, por lo que, para un mismo cirujano disminuye la precisión en el trabajo distal sobre una zona de aproximadamente 12 x 6 mm que es el objetivo (oliva bulbar), rodeada de estructuras de gran relevancia funcional.

-La pequeña superficie de la ventana profunda del canal de trabajo y la mayor distancia de la ventana superficial condicionan menor capacidad de maniobrabilidad a través de la oliva bulbar. Es decir, la capacidad de trabajo en el interior del tronco cerebral se ve dificultada por la mayor distancia de la ventana superficial (Fig. 103).

-El ángulo de ataque sobre la oliva bulbar es menor y por lo tanto el rango de movilidad del microscopio desde la superficie es menor. Estamos trabajando sobre un canal más angosto y profundo y menos iluminado, por lo que aumenta la exigencia técnica.

-En su trayecto central a través del canal de trabajo, existe una elevada probabilidad (99%) de encontrarnos con una o más estructuras neurales con gran relevancia funcional, que deberemos evitar su manipulación para minimizar la morbilidad quirúrgica. Estas condiciones exigen mayor habilidad técnica y experiencia por parte del cirujano.

En relación al abordaje *far lateral*:

-El canal que nos ofrece en la fase intradural según las distancias de trabajo, ángulo de ataque y contenido neurovascular es más favorable desde la base de los principios microquirúrgicos.

-Sin embargo, la fase extradural precisa de un mayor trabajo sobre los planos cutáneos, musculares y óseos, añadiendo mayor complejidad técnica y mayor probabilidad de desarrollar complicaciones posquirúrgicas en comparación con la fase extradural de un abordaje retrosigmoideo.<sup>4, 5, 10, 17, 21, 25, 42, 55, 62, 68, 96-98</sup>

## Del laboratorio al quirófano

El presente trabajo doctoral está dirigido al tratamiento de lesiones puramente intrínsecas abordadas a través de la oliva bulbar. Debemos tener en cuenta que, en ocasiones, patologías como los cavernomas de tronco cerebral tienen tendencia a ocupar una extensión mayor y no se limitan sólo a nivel bulbar, sino que pueden salir de sus inmediaciones, afectando la unión pontobulbar o bulbomedular. Este trabajo de investigación se ha focalizado en la fase intradural de cada uno de los abordajes, analizando de forma objetiva los parámetros técnicos, gracias a la reproducibilidad que ofrece cada uno de los canales de trabajo. Los resultados obtenidos, pueden plantear dos escenarios posibles en función de la región de la oliva bulbar en la que centraremos el trabajo microquirúrgico: la mitad craneal o la mitad caudal. Para la región craneal de la oliva bulbar (mitad superior de la ventana profunda del canal de trabajo) es donde las diferencias que se observan entre ambos abordajes son menores en cuanto a distancia de trabajo y ángulo de ataque. Por ello y con el objetivo de minimizar la complejidad y complicaciones asociadas a la fase extradural, la realización de un abordaje retrosigmoideo podría ser una opción en casos seleccionados e individualizados, con estudios de imagen preoperatorios que permitan analizar el contenido neurovascular del canal de trabajo. En el segundo escenario (mitad caudal de la oliva bulbar), el abordaje *far lateral* es superior por su menor distancia, mayor ángulo y canal favorable pese a su complejidad en la fase extradural. Dicha afirmación, apoyada en este estudio de base anatómica, precisaría de estudios clínicos que la avalaran, donde consideramos que habría que evaluar el impacto de la fase extradural en cuanto a tiempos quirúrgicos y potenciales complicaciones. De esta forma, existiría la posibilidad de valorar, desde un punto de vista clínico, los resultados técnicos obtenidos en este trabajo y, a su vez, valorar las diferencias

reales en la fase extradural de cada uno de los abordajes (complicaciones médicas intrínsecas al abordaje). Los aspectos clínicos pueden influir en la selección de un abordaje u otro, por lo que, en base a los resultados obtenidos en este estudio, animamos a plantear futuros estudios que se centren en los aspectos clínicos.

## **CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS**

Finalizaremos esta discusión destacando que, a pesar de no observarse diferencias estadísticamente significativas entre los tres sistemas de medición utilizados, no podemos olvidar que la base fundamental que nos ha permitido concebir, planificar y llevar a cabo este trabajo ha sido el modelo cadavérico, que en ningún caso puede ser sustituido por pruebas de imagen y modelos de reconstrucción digital por varias razones:

- El modelo cadavérico:
  - Permite establecer las bases fundamentales sobre las que apoyar todo el trabajo: simulación, análisis crítico, identificación de puntos referenciales, identificación de limitaciones, identificación de la solución a dichas limitaciones, comprensión tridimensional y ejecución.
  - Permite valorar y comparar tridimensionalmente las limitaciones anatómicas de cada abordaje, así como la maniobrabilidad a través de los canales de trabajo.
  - Permite simular un ambiente de trabajo en condiciones muy similares a las que encontramos en una unidad quirúrgica, por lo que sirve de entrenamiento para la técnica quirúrgica y de esta forma, realizar un

análisis crítico de los abordajes para ajustar su extensión en función de las necesidades.

- Los estudios de imagen que son estáticos, biplanares o triplanares, pero en todo caso virtuales, indirectos y basados en las referencias anatómicas reales obtenidas en el estudio cadavérico:
  - Ofrecen como principal ventaja: fácil acceso a gran número de casos y obtención de valores numéricos (métricos) para su análisis estadístico.
  - Pero son pruebas estáticas, modelos virtuales que no permiten el desplazamiento de estructuras a diferencia del ser vivo y por ello carentes de cierta información crítica para el neurocirujano y su toma de decisiones.

## VII. CONCLUSIONES

1. La experimentación sobre cadáveres en el laboratorio de microcirugía permite obtener la experiencia e información anatómica necesaria para analizar adecuadamente la información obtenida mediante otras técnicas.

2. Los puntos referenciales anatómicos obtenidos en el estudio cadavérico fueron la base para el diseño del presente trabajo doctoral.

3. La fase extradural del abordaje *far lateral* transcondilar requiere mayor disección cutánea y muscular, un mayor trabajo óseo y la alteración de la articulación C0-C1.

4. En el abordaje *far lateral*, el fresado del cóndilo occipital y la alteración de la musculatura nugal puede llegar a producir una inestabilidad cráneo-cervical que requiera una fijación instrumentada.

5. La fase extradural del abordaje retrosigmoideo, pese a la complejidad de exponer los senos venosos y celdas mastoideas, supone una menor disección cutánea y muscular, así como una craneotomía de menores dimensiones. Todo ello sin alterar la estabilidad de la unión cráneo-cervical.

6. La superficie de la oliva bulbar obtenida en los especímenes cadavéricos fue de 58,81 mm<sup>2</sup> y de 61,64 mm<sup>2</sup> en los estudios de resonancia magnética. Dichas superficies constituyeron las ventanas profundas de ambos canales de trabajo.

7. La forma geométrica obtenida para el abordaje retrosigmoideo es de cono truncado y de semicono truncado para el *far lateral*.

8. Las distancias de trabajo en el abordaje *far lateral* son significativamente menores que con el retrosigmoideo. Para la región craneal y medial, las distancias fueron de 52,71 mm (DT 3,59) para el abordaje retrosigmoideo y de 27,94 mm (DT 3,99) para

el *far lateral*; para la región más basal de la oliva bulbar las distancias fueron de 49,93 (DT 3,72) para el abordaje retrosigmoideo y de 18,1 mm (DT 2,5) para el *far lateral*.

**9.** Los ángulos de ataque, son significativamente mayores en el abordaje *far lateral* que en el retrosigmoideo, por lo que proporciona un campo más favorable para la práctica microquirúrgica. El ángulo de ataque para la región caudal fue de 19,44° (DT 1,3) para el abordaje retrosigmoideo y de 50,97° (DT 8,01) para el abordaje *far lateral*; el ángulo de ataque para la región craneal fue de 20,3° (DT 1,22) para el retrosigmoideo y de 39,9° (DT 5,12) para el *far lateral*.

**10.** Las diferencias tanto en distancias de trabajo como en los ángulos de ataque, aunque mantenidas a favor del abordaje *far lateral*, se minimizan en la región craneal de la oliva bulbar.

**11.** A través del canal de trabajo del abordaje *far lateral*, la probabilidad de encontrar un par craneal o más es del 55%; una o más estructura vascular del 98%.

**12.** A través del canal de trabajo del abordaje retrosigmoideo la probabilidad de encontrar un par craneal o más es del 99%; y una o más estructura vascular del 53,3%.

**13.** El abordaje *far lateral* presenta condiciones más favorables para el tratamiento microquirúrgico de lesiones intrínsecas bulbares y bulbomedulares abordadas a través de la mitad caudal de la oliva bulbar.

**14.** En aquellos casos de lesiones bulbares y bulboprotuberanciales abordadas a través de la mitad craneal de la oliva bulbar, el abordaje retrosigmoideo puede ser considerado para casos seleccionados.

**15.** La aplicación quirúrgica de las conclusiones obtenidas del presente trabajo anatómico precisan de estudios clínicos que puedan avalar o refutar nuestros resultados.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Abula AA, Benet A, Lawton MT. The far lateral transpontomedullary sulcus approach to pontine cavernous malformations: technical report and surgical results. *Neurosurgery*. 2014;10 (Suppl 3):472–480.
2. Abula AA, Lekovic GP, Turner JD, de Oliveira JG, Porter R, Spetzler RF. Advances in the treatment and outcome of brainstem cavernous malformation surgery: A single-center case series of 300 surgically treated patients. *Neurosurgery*. 2011;68(2):403-5.
3. Abula AA, Spetzler RF. Brainstem cavernoma surgery: the state of the art. *World Neurosurg*. 2013;80:44–46.
4. Abula AA, Spetzler RF. Minimally invasive, but not at the cost of maximally effective, in the surgical removal of brainstem cavernous malformations. *World Neurosurg*. 2013;79(5-6):638-640.
5. Abula AA, Turner JD, Mitha AP, Lekovic G, Spetzler RF. Surgical approaches to brainstem cavernous malformations. *Neurosurg Focus*. 2010; 29(3):E8.
6. Al-Mefty O. Future Concepts for Minimally Invasive Techniques in Neurosurgery. In: *Transendoscopic Ultrasound for Neurosurgery*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.
7. Alvernia JE, Pradilla G, Mertens P, Lanzino G, Tamargo RJ. Latex injection of cadaver heads: technical note. *Neurosurgery*. 2010; 67(2 Suppl Operative): 362-367.
8. Ammirati M, Ma J, Canalis R, et al. A combined intradural presigmoid-transtransversarium-transcondylar approach to the whole clivus and anterior craniospinal region: Anatomic study. *Skull Base Surg*. 1993;3(4):193-200.
9. Atwal GS, Sarris CE, Spetzler RF. Brainstem and cerebellar cavernous malformations. *Handb Clin Neurol*. 2017;143:291-295.
10. Babu RP, Sekhar LN, Wright DC. Extreme lateral transcondylar approach: technical improvements and lessons learned. *J Neurosurg* 1994;81:49-59.
11. Baghai P, Vries JK, Bechtel PC. Retromastoid approach for biopsy of brain stem tumors. *Neurosurgery*. 1982;10(5):574-579.
12. Bozkurt B, Kalani MYS, Yagmurlu K, et al. Low retrosigmoid infratonsillar approach to lateral medullary lesions. *World Neurosurg*. 2018;111:311-316.
13. Cantore G, Missori P, Santoro A. Cavernous angiomas of the brain stem. Intra-axial anatomical pitfalls and surgical strategies. *Surg Neurol*. 1999; 52:84–94.

14. Cavalcanti DD, Figueiredo EG, Preul MC, Spetzler RF. Anatomical and objective evaluation of the main surgical approaches to pontine intra-axial lesions. *World Neurosurg.* 2019;121:e207-e214.
15. Cavalcanti DD, Morais BA, Figueiredo EG, Spetzler RF, Preul MC. Surgical approaches for the lateral mesencephalic sulcus. *J Neurosurg.* 2019:1-6.
16. Cavalcanti DD, Preul MC, Kalani MY, Spetzler RF. Microsurgical anatomy of safe entry zones to the brainstem. *J Neurosurg.* 2016;124(5):1359-1376.
17. Chaddad-Neto F, Doria-Netto HL, Campos Filho JM, Reghin-Neto M, Rothon AL, Oliveira E. The far-lateral craniotomy: Tips and tricks. *Arq Neuropsiquiatr.* 2014;72(9):699-705.
18. Chen LH, Zhang HT, Chen L, Liu LX, Xu RX. Minimally invasive resection of brainstem cavernous malformations: surgical approaches and clinical experiences with 38 patients. *Clin Neurol Neurosurg.* 2014; 116:72–79.
19. Chen L, Zhao Y, Zhou L, Zhu W, Pan Z, Mao Y. Surgical strategies in treating brainstem cavernous malformations. *Neurosurgery.* 2011;68(3):609-1.
20. Chen L, Zhao Y, Zhu W, Mao Y, Zhou LF. Resection of brainstem cavernous malformations via lateral approaches. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi.* 2011;91(1):59-61.
21. Cikla U, Kujoth GC, Baskaya MK. A stepwise illustration of the retrosigmoid approach for resection of a cerebellopontine meningioma. *Neurosurg Focus.* 2014;36(1 Suppl):1.
22. Cohen MA, Evins AI, Lapadula G, Arko L, Stieg PE, Bernardo A. The rectus capitis lateralis and the condylar triangle: Important landmarks in posterior and lateral approaches to the jugular foramen. *J Neurosurg.* 2017;127(6):1398-1406.
23. de Aguiar PH, Zicarelli CA, Isolan G, et al. Brainstem cavernomas: A surgical challenge. *Einstein (Sao Paulo).* 2012;10(1):67-73.
24. Deshmukh VR, Rangel-Castilla L, Spetzler RF. Lateral inferior cerebellar peduncle approach to dorsolateral medullary cavernous malformation. *J Neurosurg.* 2014;121(3):723-729.
25. Dowd GC, Zeiller S, Awasthi D. Far lateral transcondylar approach: dimensional anatomy. *Neurosurgery.* 1999; 45:95-9.
26. Dukatz T, Sarnthein J, Sitter H, et al. Quality of life after brainstem cavernoma surgery in 71 patients. *Neurosurgery.* 2011; 69:689–695.
27. Essayed WI, Zhang F, Unadkat P, Cosgrove GR, Golby AJ, O'Donnell LJ. White matter tractography for neurosurgical planning: A topography-based review of the current state of the art. *Neuroimage Clin.* 2017;15:659-672.

28. Fernández-Miranda JC, Rhoton AL Jr, Alvarez- Linera J, Kakizawa Y, Choi C, de Oliveira EP. Three-dimensional microsurgical and tractographic anatomy of the white matter of the human brain. *Neurosurgery*. 2008;62(6 suppl 3): 989-1026.
29. Ferroli P, Sinisi M, Franzini A, Giombini S, Solero CL, Broggi G. Brainstem cavernomas: long-term results of microsurgical resection in 52 patients. *Neurosurgery*. 2005;56:1203– 1214.
30. Fontanella MM, Zanin L, Fiorindi A, et al. Surgical management of brain cavernous malformations. *Methods Mol Biol*. 2020;2152:109-128.
31. Gantwerker B., Dickman C.A., Sonntag V.K.H. Craniocervical junction instability after lateral approach of the craniocervical junction. In: *Pathology and surgery around the vertebral artery*. Paris: Springer, 2011.
32. Garber ST, Couldwell WT. Resection of an inferior pontine cavernous malformation using a far-lateral transcondylar approach. *Acta Neurochir (Wien)*. 2011;153(12):2461-2464.
33. Garrett M, Spetzler RF. Surgical treatment of brainstem cavernous malformations. *Surg Neurol*. Invalid date;72 Suppl 2:S3-10.
34. Giliberto G, Lanzino DJ, Diehn FE, Factor D, Flemming KD, Lanzino G. Brainstem cavernous malformations: Anatomical, clinical, and surgical considerations. *Neurosurg Focus*. 2010;29(3):E9.
35. Gonzalez LF, Crawford NR, Chamberlain RH, et al. Craniovertebral junction fixation with transarticular screws: Biomechanical analysis of a novel technique. *J Neurosurg*. 2003;98(2 Suppl):202-209.
36. Gross BA, Batjer HH, Awad IA, Bendok BR, Du R. Brainstem cavernous malformations: 1390 surgical cases from the literature. *World Neurosurg*. 2013;80(1-2):89-93.
37. Gross BA, Du R. Cerebral cavernous malformations: Natural history and clinical management. *Expert Rev Neurother*. 2015;15(7):771-777.
38. Gross BA, Lin N, Du R, Day AL. The natural history of intracranial cavernous malformations. *Neurosurg Focus*. 2011;30(6):E24.
39. Hauck EF, Barnett SL, White JA, Samson D. The presigmoid approach to anterolateral pontine cavernomas. clinical article. *J Neurosurg*. 2010;113(4):701-708.
40. Hayashi S, Takahashi S, Shidoh S, Yoshida K. Spatial relationship between hypoglossal schwannoma and the vertebral artery using the far-lateral approach. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2015;55(9):744-748.
41. Iaconetta G, Solari D, Villa A, et al. The hypoglossal nerve: Anatomical study of its entire course. *World Neurosurg*. 2018;109:e486-e492.

42. Kalani MY, Yagmurlu K, Martirosyan NL, Cavalcanti DD, Spetzler RF. Approach selection for intrinsic brainstem pathologies. *J Neurosurg.* 2016;125(6):1596-1607.
43. Kalani MY, Yagmurlu K, Martirosyan NL, Spetzler RF. The retrosigmoid petrosal fissure transpeduncular approach to central pontine lesions. *World Neurosurg.* 2016;87:235-241.
44. Katsuta T, Matsushima T, Wen HT, Rhoton AL. Trajectory of the hypoglossal nerve in the hypoglossal canal: Significance for the transcondylar approach. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2000;40(4):206-9; discussion 210.
45. Kawashima M, Matsushima T, Inoue T, Mineta T, Masuoka J, Hirakawa N. Microvascular decompression for glossopharyngeal neuralgia through the transcondylar fossa (supracondylar transjugular tubercle) approach. *Neurosurgery.* 2010;66(6 Suppl Operative):275-80; discussion 280.
46. Kikuta K, Nozaki K, Takahashi JA, Miyamoto S, Kikuchi H, Hashimoto N. Postoperative evaluation of microsurgical resection for cavernous malformations of the brainstem. *J Neurosurg.* 2004;101(4):607-612.
47. Klingler J. Erleichterung der makroskopischen Praeparation des Gehirns durch den Gefrierprozess. *Schweiz Arch Neurol Psychiatr.* 1935; 36: 247-56.
48. Klinger J, Ludwig E. *Atlas Cerebri Humani.* Karger, Basel: NY; 1956.
49. Kondziolka D, Monaco EA, Lunsford LD. Cavernous malformations and hemorrhage risk. *Prog Neurol Surg.* 2013;27:141-146.
50. Lanzino G, Paolini S, Spetzler RF. Far-lateral approach to the craniocervical junction. *Neurosurgery.* 2005;57(4 Suppl):367-71.
51. Lawton MT, Quinones-Hinojosa A, Jun P. The supratonsillar approach to the inferior cerebellar peduncle: Anatomy, surgical technique, and clinical application to cavernous malformations. *Neurosurgery.* 2006;59(4 Suppl 2):ONS244-2.
52. Limpastan K, Vaniyapong T, Watcharasakul W, Norasetthada T. Silicone injected cadaveric head for neurosurgical dissection: Prepared from defrosted cadaver. *Asian J Neurosurg.* 2013;8(2):90-92.
53. Martinez JA, de Oliveira E, Tedeschi H, Wen HT, Rhoton AL. Microsurgical anatomy of the brainstem. *Operative techniques in Neurosurgery.* 2000;3(2):80-86.
54. Matsushima T, Natori Y, Katsuta T, Ikezaki K, Fukui M, Rhoton AL. Microsurgical anatomy for lateral approaches to the foramen magnum with special reference to transcondylar fossa (supracondylar transjugular tubercle) approach. *Skull Base Surg.* 1998;8(3):119-125.

55. Matsushima T, Kawashima M, Inoue K, Matsushima K, Miki K. Exposure of wide cerebellomedullary cisterns for vascular lesion surgeries in cerebellomedullary cisterns: Opening of unilateral cerebellomedullary fissures combined with lateral foramen magnum approach. *World Neurosurg.* 2014;82(5):615.
56. Matsushima T, Kawashima M, Masuoka J, Mineta T, Inoue T. Transcondylar fossa (supracondylar transjugular tubercle) approach: Anatomic basis for the approach, surgical procedures, and surgical experience. *Skull Base.* 2010;20(2):83-91.
57. Matsushima K, Kawashima M, Matsushima T, Hiraishi T, Noguchi T, Kuraoka A. Posterior condylar canals and posterior condylar emissary veins—a microsurgical and CT anatomical study. *Neurosurg Rev.* 2014;37(1):115-126.
58. Matsushima T, Rhoton AL, de Oliveira E, Peace D. Microsurgical anatomy of the veins of the posterior fossa. *J Neurosurg.* 1983;59(1):63-105.
59. Matsushima K, Yagmurlu K, Kohno M, Rhoton AL. Anatomy and approaches along the cerebellar-brainstem fissures. *J Neurosurg.* 2016;124(1):248-263.
60. Mazur MD, Couldwell WT, Cutler A, et al. Occipitocervical instability after far-lateral transcondylar surgery: A biomechanical analysis. *Neurosurgery.* 2017;80(1):140-145.
61. Mori K, Yamamoto T, Nakao Y, Esaki T. Comparison of the far lateral approach, transcondylar fossa approach, and transcondylar approach using a three-dimensional skull base model with artificial vertebral artery. *No Shinkei Geka.* 2010;38(3):243-250.
62. Mostafa BE, El Sharnoubi M, Youssef AM. The keyhole retrosigmoid approach to the cerebello-pontine angle: Indications, technical modifications, and results. *Skull Base.* 2008;18(6):371-376.
63. Mukherjee D, Antar V, Soylemez B, et al. High-resolution diffusion tensor magnetic resonance imaging of the brainstem safe entry zones. *Neurosurg Rev.* 2020;43(1):153-167.
64. Negoto T, Terachi S, Baba Y, Yamashita S, Kuramoto T, Morioka M. Symptomatic brainstem cavernoma of elderly patients: Timing and strategy of surgical treatment. two case reports and review of the literature. *World Neurosurg.* 2018;111:227-234.
65. Parraga RG, Possatti LL, Alves RV, Ribas GC, Ture U, de Oliveira E. Microsurgical anatomy and internal architecture of the brainstem in 3D images: Surgical considerations. *J Neurosurg.* 2016;124(5):1377-1395.

66. Prats-Galino A, Soria G, de Notaris M, Puig J, Pedraza S. Functional anatomy of subcortical circuits issuing from or integrating at the human brainstem. *Clin Neurophysiol.* 2012;123(1):4-12.
67. Porter RW, Detwiler PW, Spetzler RF, et al. Cavernous malformations of the brainstem: experience with 100 patients. *J Neurosurg.* 1999;90:50-58.
68. Raabe A, Meyer B, Schaller K, Vaikoczy P, Winkler PA. *The Craniotomy Atlas.* Stuttgart: Thieme, 2019.
69. Ramina R, Mattei TA, de Aguiar PH, et al. Surgical management of brainstem cavernous malformations. *Neurol Sci.* 2011;32(6):1013-1028.
70. Recalde RJ, Figueiredo EG, de Oliveira E. Microsurgical anatomy of the safe entry zones on the anterolateral brainstem related to surgical approaches to cavernous malformations. *Neurosurgery.* 2008;62(3 Suppl 1):9-7.
71. Rhoton AL. Cerebellum and fourth ventricle. *Neurosurgery.* 2000; 47 (3 Suppl):S7–S27.
72. Rhoton AL. *Operative Techniques and Instrumentation for Neurosurgery.* 2003; 53 (4 Suppl): 907-934.
73. Rhoton AL. The cerebellar arteries. *Neurosurgery.* 2000; 47 (3 Suppl):S29–S68.
74. Rhoton AL. The far-lateral approach and its transcondylar, supracondylar, and paracondylar extensions. *Neurosurgery.* 2000;47(3 Suppl):195.
75. Rhoton AL. The posterior cranial fossa: microsurgical anatomy and surgical approaches. *Neurosurgery.* 2000;47(Suppl 3):1-298.
76. Rhoton AL. The posterior fossa veins. *Neurosurgery.* 2000; 47 (3 Suppl):S69–S92.
77. Rhoton AL. *The Supratentorial Cranial Spaces: Microsurgical Anatomy and Surgical Approaches.* *Neurosurgery.* 2002;51(Suppl 1):1-410.
78. Ribas GC, Bento RF, Rodrigues AJ Jr. Anaglyphic three-dimensional stereoscopic printing: revival of an old method for anatomical and surgical teaching and reporting. *J Neurosurg.* 2001;95: 1057-1066.
79. Ribas GC, Ribas EC, Rodrigues AJ Jr. The brain, the tridimensional vision, and the techniques to obtain stereoscopic images. *Rev Med (Sao Paulo).* 2006;85:78-90.
80. Ribas CG, Yasuda A, Peace D, Rhoton AL. Microsurgical anatomy of the cerebellopontine angle and its suboccipital retromastoid approaches. In: Bambakidis NC, Megerian CA, Spetzler RF, editors. *Surgery of the cerebellopontine angle.* Shelton: BC Decker Inc;2009. P. 11-30.

81. Ribas GC, Yasuda A, Ribas EC, Nishikuni K, Rodrigues AJ Jr. Surgical anatomy of micro- neurosurgical sulcal key points. *Neurosurgery*. 2006; 59(4 suppl 2):ONS177-ONS211.
82. Samii M, Eghbal R, Carvalho GA, Matthies C. Surgical management of brainstem cavernomas. *J Neurosurg*. 2001;95(5):825-832.
83. Sanan A, Abdel Aziz KM, Janjua RM, van Loveren HR, Keller JT. Colored silicone injection for use in neurosurgical dissections: anatomic technical note. *Neurosurgery*. 1999;45(5):1267-1271.
84. Sato A, Hirai S, Obata Y, Maehara T, Aoyagi M. Muscular-stage dissection during far lateral approach and its transcondylar extension. *J Neurol Surg B Skull Base*. 2018;79(Suppl 4):S356-S361.
85. Singh H, Elarjani T, da Silva HB, Shetty R, Kim L, Sekhar LN. Brain stem cavernous malformations: Operative nuances of a less-invasive resection technique. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*. 2018;15(2):153-173.
86. Standring S. *Gray's Anatomy*. 41<sup>st</sup> Edition. London: Elsevier, 2015.
87. Steilen D, Hauser R, Woldin B, Sawyer S. Chronic neck pain: Making the connection between capsular ligament laxity and cervical instability. *Open Orthop J*. 2014;8:326-345.
88. Steinmetz MP, Mroz TE, Benzel EC. Craniovertebral junction: Biomechanical considerations. *Neurosurgery*. 2010;66:A7-A12.
89. Taslimi S, Modabbernia A, Amin-Hanjani S, Barker FG, Macdonald RL. Natural history of cavernous malformation: Systematic review and meta-analysis of 25 studies. *Neurology*. 2016;86(21):1984-1991.
90. Türe U, Yasargil MG, Friedman AH, Al-Mefty O. Fiber dissection technique: lateral aspect of the brain. *Neurosurgery*. 2000;47:417-426.
91. Vishteh AG, Crawford NR, Melton MS, Spetzler RF, Sonntag VK, Dickman CA. Stability of the craniovertebral junction after unilateral occipital condyle resection: A biomechanical study. *J Neurosurg*. 1999;90(1 Suppl):91-98.
92. Voigt K, Yasargil MG. Cerebral cavernous hemangiomas or cavernomas. Incidence, pathology, localization, diagnosis, clinical features and treatment. Review of the literature and report of an unusual case. *Neurochirurgia*. 1976; 19:59-68.
93. Wen HT, Rhoton AL, Katsuta T, de Oliveira E. Microsurgical anatomy of the transcondylar, supracondylar, and paracondylar extensions of the far-lateral approach. *J Neurosurg*. 1997;87(4):555-585.
94. Wu A, Zabramski JM, Jittapiromsak P, Wallace RC, Spetzler RF, Preul MC. Quantitative analysis of variants of the far-lateral approach: Condylar fossa and

- transcondylar exposures. *Neurosurgery*. 2010;66(6 Suppl Operative):191-8; discussion 198.
95. Yagmurlu K, Rhoton AL, Tanriover N, Bennett JA. Three-dimensional microsurgical anatomy and the safe entry zones of the brainstem. *Neurosurgery*. Invalid date;10 Suppl 4:602-20.
  96. Yasargil MG. *Microneurosurgery I*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1994.
  97. Yasargil MG. *Microneurosurgery IVA*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1994.
  98. Yasargil MG. *Microneurosurgery IVB*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1996.
  99. Zausinger S, Yousry I, Brueckmann H, Schmid-Elsaesser R, Tonn JC. Cavernous malformations of the brainstem: Three-dimensional-constructive interference in steady-state magnetic resonance imaging for improvement of surgical approach and clinical results. *Neurosurgery*. 2006;58(2):322-30.
  100. Ziyal IM, Sekhar LN, Salas E. Subtonsillar-transcerebellomedullary approach to lesions involving the fourth ventricle, the cerebellomedullary fissure and the lateral brainstem. *Br J Neurosurg*. 1999;13(3):276-284.