

VNIVERSITAT E VALÈNCIA

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte



**Programa de Doctorado Ciencias de la Actividad Física y del
Deporte 3068.**

Regulado por el R.D. 1393/2007

Departamento de Educación Física y Deportiva

TESIS DOCTORAL:

**ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DURANTE EL
PEDALEO DE BRAZOS EN PERSONAS CON LESIÓN
MEDULAR, CON PARÁLISIS CEREBRAL Y CON ATAXIA
CEREBELOSA**

Autora: Iris González Carbonell

Director: Dr. Gabriel Brizuela Costa

Valencia, noviembre de 2015



VNIVERSITAT D VALÈNCIA

D. Gabriel Brizuela Costa, Doctor por la Universidad de Valencia y profesor del Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de Valencia,

HACE CONSTAR:

Que la presente Tesis Doctoral titulada: **“Análisis de los parámetros fisiológicos durante el pedaleo de brazos en personas con lesión medular, con parálisis cerebral y con ataxia cerebelosa”** cuya autora es Doña Iris González Carbonell, ha sido realizada bajo su dirección y reúne, a su juicio, las condiciones requeridas para que pueda optar al grado de Doctora.

Y para que así conste, firmo el presente documento en Valencia a 1 de noviembre de 2015.

Prof. Dr. Gabriel Brizuela Costa

“A las personas que con su apoyo han contribuido a alcanzar esta Tesis Doctoral
con gran satisfacción”

AGRADECIMIENTOS

Una de las decisiones más importantes para concluir una Tesis Doctoral con éxito reside en la buena elección del director, y yo he tenido la gran suerte de contar con un excelente director. Gabi, gracias por ser como eres tanto personal como profesionalmente.

Eres una persona singular, con buenas intenciones, sencillo, alegre, cordial, paciente que junto a tus características profesionales de las que destaco tu compromiso, atención, interés, inteligencia y eficiencia han hecho que este largo camino recorrido haya sido muy grato, así que por todo eso y más te doy las gracias.

Me es inevitable agradecer a Tetrasport y sobre todo a las personas que lo forman, todo lo que me han enseñado. Mi visión respecto a la capacidad de las personas ha cambiado, mi percepción sobre lo que puede llegar a aportar el deporte también. Me habéis dado una lección que nunca olvidaré, muchas gracias y enhorabuena por vuestro trabajo.

A mi familia por su apoyo, sus ánimos y ayuda en este reto, sobre todo a mi madre y mi hermana Ana, muchas gracias por estar ahí y por ser como sois. Aquí incluyo a los amigos y amigas que con sus palabras de aliento y poniendo a disposición sus oídos en los momentos más duros han dado la energía extra que necesitaba.

Y por supuesto a Carlos, por su infinita paciencia y su apoyo incondicional en todas las facetas de este proyecto, que han hecho que no desistiera y cumpliera este objetivo. Contigo soy capaz de todo así que, ahora vamos a por el siguiente reto, juntos claro está. Muchísimas gracias, te quiero.

RESUMEN

Los desórdenes neurológicos generan diferentes grados de afectación física, sensorial y en ocasiones cognitiva, que suele derivar en diferentes grados de discapacidad de la personas que los presentan. El sedentarismo, debido a la disminución de la actividad física habitual y como consecuencia de una falta de oferta de actividad física adaptada e inclusiva, pero también a la falta de información específica sobre el efecto del ejercicio en las personas con desórdenes neurológicos y como prescribirlo, aumenta en gran medida la posibilidad de contraer enfermedades coronarias y otras enfermedades crónicas como la obesidad o la diabetes.

Con el objetivo de determinar el efecto del ejercicio de pedaleo de brazos sobre la respuesta fisiológica de personas con diferentes desórdenes neurológicos, se desarrollo un estudio descriptivo de corte transversal, comparando la respuesta fisiológica para 4 grupos de 4 personas con diferentes tipos y niveles de afectación neurológica (LMA: Lesión medular cervical alta C5-C6, LMB: Lesión medular cervical baja C6-C7, PC: Parálisis Cerebral y ADF: Ataxia de Friedreich) y un quinto grupo (Control), formado por 16 estudiantes.

Durante 2 series de 5 minutos de pedaleo de brazos continuo en un ergómetro, a 2 intensidades diferentes ($0,2 \text{ W} \cdot \text{Kg}^{-1}$ y $0,4 \text{ W} \cdot \text{Kg}^{-1}$), se midieron (y/o calcularon) las siguientes variables fisiológicas: FC: Frecuencia cardíaca, FR: Frecuencia respiratoria, VT: Volumen corriente, VE: Volumen espirado, VO_2R : Consumo de Oxígeno relativo y VO_2/FC : Pulso de Oxígeno.

Se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables, en función de los factores "Intensidad" y "Grupo", analizando además la interacción entre estos dos factores.

Los resultados destacan que las principales variables muestran una respuesta muy diversa entre los distintos grupos, dependiendo del tipo y del grado de desorden neurológico.

Las personas con tetraplejía por LM cervical no alcanzan a generar niveles de estrés elevados para su sistema cardiorrespiratorio durante el pedaleo de brazos estático, debido fundamentalmente a la baja cantidad de masa muscular que pueden activar voluntariamente. Su gasto energético, a igual carga de trabajo, resulta similar o inferior que el del grupo de control.

Para las personas con PC, el ejercicio de pedaleo de brazos genera niveles de estrés muy altos al sistema cardiorrespiratorio. Intensidades que para otras personas resultan ligeras o muy ligeras, podrían estar superando los límites de ejercicio aeróbico saludable, para las personas con PC, debido especialmente a sus problemas de control motor. Su gasto energético es muy superior al del grupo Control.

Para las personas con ADF, el pedaleo de brazos podría ser un excelente ejercicio aeróbico para mantener o mejorar su condición física, con beneficios importantes en su sistema cardiorrespiratorio. Sin embargo debe tenerse en consideración que, aunque en menor grado que para las personas con PC, el ejercicio suele generar respuestas cardiorrespiratorias más altas que lo esperable y alcanzar fácilmente los límites de ejercicio aeróbico saludable. Esto puede ser especialmente peligroso para las personas con ADF, debido a sus frecuentes alteraciones cardíacas.

A modo de conclusión, se puede afirmar que se ha observado claramente el efecto del ejercicio de pedaleo de brazos sobre la respuesta fisiológica, en función de la diferencia de distintos desórdenes neurológicos, habiendo desarrollado además, el método necesario para ello.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 La práctica de actividad física	1
1.1.1 Beneficios de la práctica habitual de Actividad Física	1
1.1.2 La práctica de Actividad Física de las personas con discapacidad.....	4
1.1.3 Aspectos legales relacionados con la discapacidad	5
1.2 Desórdenes neurológicos	9
1.2.1 El sistema nervioso.....	9
1.2.2 La columna vertebral	12
1.2.3 Lesión Medular	14
1.2.4 El encéfalo, corteza cerebral y cerebelo.....	17
1.2.5 La parálisis cerebral.....	18
1.2.6 La ataxia cerebelosa.....	21
1.3 Actividad Física en personas con desórdenes neurológicos	24
1.3.1 El gasto energético durante el ejercicio.....	33
1.3.2 Percepción subjetiva de la intensidad de trabajo	39
1.3.3 Consideraciones finales.....	40
1.4 Objetivos.....	43
1.4.1 Objetivo general.....	43
1.4.2 Objetivos específicos	43

2. MATERIAL Y MÉTODO.....	45
2.1 Diseño de la investigación.....	45
2.2 Participantes.....	45
2.3 Variables	49
2.4 Instrumentos de medición	51
2.5 Desarrollo de la experimentación.....	53
2.6 Tratamiento de los datos primarios	57
2.7 Tratamiento estadístico	57
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
3.1 Resultados	59
3.2 Discusión de los resultados.....	74
3.2.1. Recomendaciones prácticas.....	85
4. CONCLUSIONES	89
4.1 Conclusiones de resultados	89
4.2 Conclusiones metodológicas.....	90
4.3 Limitaciones y futuras líneas de trabajo.....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Función motora conservada según el nivel de lesión medular completa.	16
Tabla 2. Características de los participantes.....	47
Tabla 3. Clasificación del nivel de afectación neurológica de los participantes	48
Tabla 4. Escala Modificada de Borg, utilizada para la medición de la percepción subjetiva del esfuerzo.	53
Tabla 5. Resultados del ANOVA según los factores Grupo e Intensidad, para las variables FC, FR y VT.	63
Tabla 6. Resultados del ANOVA según los factores Grupo e Intensidad, para las variables VE, VO ₂ R y VO ₂ /FC.	67
Tabla 7. Resultados del ANOVA según los factores Grupo e Intensidad, para las variables VE/VO ₂ , VE/VO ₂ y R.	71
Tabla 8. Valores medios de la variable Percepción del Esfuerzo (PE) según el factor Grupo e Intensidad.	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proporción de personas adultas (edades a partir de 15 años) en la Unión Europea, consideradas suficientemente activas en 2002 (Sjöströ y col., 2006).....	3
Figura 2. Principales divisiones del sistema nervioso central (izquierda) y las partes del sistema nervioso periférico (se omitieron los nervios craneales) (derecha). (Snell, 2007).....	9
Figura 3. Columna vertebral: Visión posterior, visión lateral y visión anterior (de izquierda a derecha) (Rouvière y col., 2005).	13
Figura 4. Componentes funcionales del cerebelo observados desde una imagen posteroinferior (Guyton y Hall, 2011).....	17
Figura 5. Balance energético: ingesta y componentes del gasto. GED: gasto energético diario; ETD: efecto termogénico de la dieta (López-Fontana, Martínez-González, y Martínez, 2003).	34
Figura 6. Ergómetro de brazos Monark Rehab Trainer 881 E.	51
Figura 7. Máscara, flujómetro de turbina, batería, unidad portátil k4b ²	52

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ABVD: Actividades básicas de la vida diaria

AF: Actividad física

AFA: Actividad física adaptada

ADF: Ataxia de Friedreich

ASIA: Asociación Americana de lesión medular

CF: Condición física

EF: Ejercicio Físico

FR: Frecuencia respiratoria

FC: Frecuencia cardíaca

GE: Gasto energético

LM: Lesión medular

LMA: Lesión medular alta (C5-C6)

LMB: Lesión medular baja (C6-C7)

MMII: Miembros inferiores

MMSS: Miembros superiores

PC: Parálisis Cerebral

PE: Percepción subjetiva del esfuerzo

R: Cociente respiratorio

SN: Sistema Nervioso

SNA: Sistema Nervioso Autónomo

SNE: Sistema Nervioso Entérico

SNC: Sistema Nervioso Central

SNP: Sistema Nervioso Periférico

SNPa: Sistema Nervioso Parasimpático

SNSi: Sistema Nervioso Simpático

SNSo: Sistema Nervioso Somático

VE: Volumen espiratorio

VE/VO₂: Equivalente de Oxígeno

VE/CO₂: Equivalente de dióxido de Carbono

VT: Volumen corriente

VO₂/FC: Pulso de Oxígeno

VO₂MÁX: Consumo de Oxígeno máximo

VO₂R: Consumo de Oxígeno relativo

1. INTRODUCCIÓN

1.1 La práctica de actividad física

1.1.1 Beneficios de la práctica habitual de Actividad Física

Existe suficiente evidencia científica para asegurar que la práctica regular de actividad física (AF) genera beneficios en las personas en aspectos tanto físicos, como psicológicos y sociales (Malina y Bouchard, 1991; Folkins y Sime, 1981; Devís-Devís, 2001). La inactividad o sedentarismo aumenta notablemente las posibilidades de tener desórdenes como el sobrepeso u obesidad, u otros trastornos crónicos o enfermedades cardiovasculares, respiratorias, diabetes, enfermedades musculoesqueléticas o incluso desórdenes psicológicos (Lawson, 2006).

Distintas organizaciones se encargan de elaborar y actualizar periódicamente recomendaciones de AF, con el fin de incrementar la actividad y con ello el bienestar tanto individual como colectivo. Destaca la Organización Mundial de la Salud (OMS) como autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria en el sistema de las Naciones Unidas, entidad que hace la siguiente recomendación (OMS, 2010):

[...] “Para que una persona adulta (de 18 a 65 años) se considere activa, y por consiguiente mejore las funciones cardiorrespiratorias, mantenga una buena forma muscular y ósea, y el riesgo de contraer enfermedades crónicas y depresión se reduzcan, deberá acumular al menos 75 min semanales de AF vigorosa o 150 min semanales AF de intensidad moderada repartidos preferiblemente durante 30 min, 5 días a la semana. Incrementar estos niveles hasta 300 min de AF moderada o 150 min de AF vigorosa semanales o la combinación de ambas reportaría mayores

beneficios para la salud. Se debería realizar ejercicios de fortalecimiento muscular de los grandes grupos musculares dos o más días a la semana” [...]. (p 24)

En 2004 tuvo lugar la 57ª Asamblea General de la OMS, donde se aprobó una resolución en torno a la “Estrategia global sobre Alimentación, Actividad Física y Salud”, y en la que se recomendó la exposición de planes y políticas concretas para combatir el sedentarismo en las poblaciones de los Estados miembro. Seguidamente, en la Asamblea General de la OMS en 2008, se estableció una “Estrategia Global y Plan contra las enfermedades no contagiosas”. Estas enfermedades causaron las muertes de 36 millones de personas en 2008 y podrían descender eficazmente mediante la reducción de cuatro factores: el tabaquismo, el consumo de alcohol, las dietas no saludables y el sedentarismo. En el informe de esta organización de 2010 la inactividad aparece como el 4º factor de riesgo de mortalidad, responsable del 6% de las muertes del planeta, y con influencia en otros factores (enfermedades cardiovasculares, enfermedades respiratorias crónicas, exceso de peso, hipertensión, diabetes o dislipemias) (OMS, 2011).

La AF podría definirse como cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que ocasionan un gasto de energía superior al del estado de reposo. Paralelamente, el Ejercicio Físico (EF) es AF planificada, estructurada, repetitiva e intencionada con el objetivo de mejorar o mantener uno o más de los componentes de la condición física (CF) (Devís-Devís, 2001).

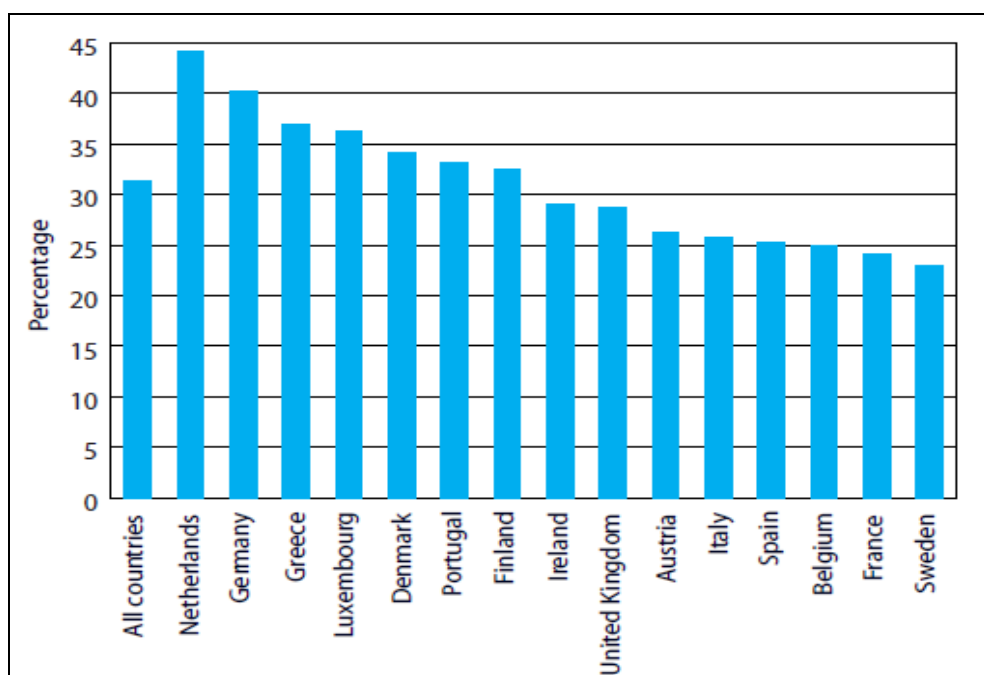


Figura 1. Proporción de personas adultas (edades a partir de 15 años) en la Unión Europea, consideradas suficientemente activas en 2002 (Sjöström y col., 2006).

Si bien la AF y el EF son fundamentales para la mejora del bienestar y la salud de la sociedad, en la actualidad prevalecen las personas que precinden de la AF en su actividad diaria, con efectos dramáticos sobre la salud, que se traduce en aproximadamente 600.000 muertes por año en Europa. Por ello, la promoción y la creación de condiciones que faciliten un estilo de vida activo y saludable, cada vez, cobra mayor relevancia. Como se muestra en la Figura 1 en el año 2002 estas personas activas llegaron al escaso 31% de la población adulta en la Unión Europea y se mantiene la misma tendencia en años posteriores (Sjöström, Oja, Hagströmer y col., 2006).

1.1.2 La práctica de Actividad Física de las personas con discapacidad

A pesar del esfuerzo por una mayor adhesión al EF a nivel global, las personas con discapacidad (tanto física, intelectual como sensorial) son la porción de la población más sedentaria/inactiva, ya que se enfrentan a otros problemas adicionales. Las personas con movilidad reducida necesitan muy frecuentemente desplazarse en silla de ruedas lo cual genera una mayor prevalencia de inactividad, con las consecuentes patologías asociadas a distintos sistemas orgánicos. Por esta razón, la práctica de EF es más significativa en estos casos, acentúa la mejora los sistemas cardiovascular, muscular, óseo, circulatorio, respiratorio o endocrino, y previene desórdenes crónicos como el sobrepeso o la obesidad, la diabetes, desórdenes íntimamente ligados a las personas con movilidad reducida (Rimmer, 2008).

Según Quejereta (2004) una persona se considera autónoma cuando lleva habitualmente una existencia independiente efectiva. Consecuentemente, cuanto más restringida está la movilidad y por lo tanto la autonomía personal, existe una mayor dificultad para tener una vida activa y de mayor calidad. Junto a la severidad de la afectación, los principales problemas con los que se encuentran las personas con discapacidad para la práctica de EF son tanto la inaccesibilidad a muchos espacios deportivos y medios de transporte, como la insuficiente información sobre los diferentes tipos de discapacidad y su repercusión en las funciones de las personas. Se concluye con una pobre adaptación de los medios que se dispone para la práctica de AF y un empeoramiento en la calidad de atención por parte de los técnicos y educadores.

Aunque existen estudios sobre los múltiples y grandes beneficios del EF en personas con diferentes tipos de discapacidad (Dallmeijer y van der Woude, 2001; Dallmeijer y col., 2004; Brizuela y col., 2010; Figoni, 1993; Haisma y col., 2006; Nash, 2005) estos se suelen centrar en tipos de discapacidad muy concretos, dejando a un lado muchas otras menos comunes, de las que todavía queda mucho trabajo por hacer para obtener unas recomendaciones oportunas. Es muy necesario seguir investigando sobre los efectos reales de la práctica de AF sobre la CF y la salud de personas con distintos tipos y/o niveles de discapacidad, comparando distintos componentes de la CF de forma estandarizada (Haisma y col., 2006).

1.1.3 Aspectos legales relacionados con la discapacidad

Una persona tiene discapacidad cuando tiene una deficiencia física, intelectual o sensorial permanente que, al interactuar con diversas barreras, puede limitar su participación plena y efectiva en la sociedad. Las personas con discapacidad se encuentran constantemente con obstáculos para el acceso a servicios tan importantes como la sanidad, la educación, el empleo, el transporte o la información, lo que favorece su exclusión social. Como resultado, en todos los países, las personas con discapacidad tienen, de manera global, peores resultados sanitarios y académicos, una menor participación económica y unas tasas de pobreza más elevadas que el resto de la población (OMS, 2011).

Con estos efectos, la política social europea ha aumentado su atención a la protección de las personas con discapacidad, mediante varias declaraciones de derechos humanos internacionales que comenzaron en 1983, en el seno de la Organización de Naciones Unidas (ONU).

En 2006, la Asamblea General de la ONU creó la Comisión para la Discapacidad y redactó la *“Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad”* abordando la discriminación, la exclusión y los derechos humanos, avanzando de forma considerable. Desde entonces en el contexto europeo se siguen programas para la protección de las personas con discapacidad, aunque muchas veces no se cumple con el rigor que dicho tema merece.

España ratificó en 2008 esta Convención de la ONU, comprometiéndose a asegurar el goce pleno y en condiciones de igualdad de todos los derechos humanos y libertades fundamentales de todas las personas con discapacidad, así como promover el respeto de su dignidad inherente (BOE, 21 Abril 2008).

En el campo de la AF y del deporte, el Artículo 30 de la Convención de la ONU (2006) recoge la *“Participación en la vida cultural, las actividades recreativas, el esparcimiento y el deporte”* y compromete a los Estados miembros a adoptar las siguientes medidas:

- a) Alentar y promover la participación, en la mayor medida posible, de las personas con discapacidad en las actividades deportivas generales a todos los niveles.
- b) Asegurar que las personas con discapacidad tengan la oportunidad de organizar y desarrollar actividades deportivas y recreativas específicas para dichas personas y de participar en dichas actividades y, a ese fin, alentar a que se les ofrezca, en igualdad de condiciones con las demás, instrucción, formación y recursos adecuados.
- c) Asegurar que las personas con discapacidad tengan acceso a instalaciones deportivas, recreativas y turísticas.
- d) Asegurar que los niños y las niñas con discapacidad tengan igual acceso con los demás niños y niñas a la participación en actividades lúdicas,

recreativas, de esparcimiento y deportivas, incluidas las que se realicen dentro del sistema escolar.

- e) Asegurar que las personas con discapacidad tengan acceso a los servicios de quienes participan en la organización de actividades recreativas, turísticas, de esparcimiento y deportivas.

Esta Convención ha sido un progreso importante para modificar la percepción sobre la discapacidad, y necesaria para asegurar los derechos humanos con una participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones que las demás personas y evitar así la discriminación y exclusión social de las personas con discapacidad. Al ratificar una Convención, el país acepta las obligaciones jurídicas que le corresponden en virtud del tratado, y después que el tratado entre en vigor, se compromete a adoptar la legislación adecuada para hacerlas cumplir.

En el campo de la AF el desarrollo y la participación en actividades deportivas y recreativas, así como el acceso a instalaciones o servicios deportivos por parte de las personas con discapacidad todavía está muy limitado, a pesar de que la Convención lo exija. Queda mucho trabajo para alcanzar una inclusión social y deportiva real e idónea, que facilite la práctica de AF de las personas con discapacidad en igualdad de condiciones que el resto de la sociedad.

1.1.4 Situación actual en España

En el mundo, más de mil millones de personas viven con algún tipo de discapacidad y en Europa representan el 10% de la población. Debido al propio envejecimiento de la persona, la posibilidad de tener discapacidad aumenta entre los adultos mayores, acentuando la preocupación para los próximos años,

de que aumenten las enfermedades crónicas cardiovasculares, diabetes, cáncer y trastornos de la salud mental (OMS, 2011).

Según el Consejo Superior de Deportes (CSD, 2010) existen una serie de condicionantes que entorpecen la práctica regular de actividad física adaptada (AFA) en nuestro país:

- Condicionantes Sociales:
 - Precaria formación de los educadores y de los técnicos deportivos.
 - Las directrices de gestión de los programas de Promoción Deportiva y de Actividad Física.
 - La inconsciencia de la población: elusión, desvinculación y falta de sensibilización.
 - Actitud de las familias de las personas con discapacidad.
 - Falta de coordinación institucional.

- Condicionantes estructurales:
 - Desinterés institucional.
 - Inexistencia de programas de AFA en áreas con bajo número de habitantes.
 - Información escasa sobre la posibilidad de realizar AF al alcance de las personas con y sin discapacidad.
 - Barreras arquitectónicas, de comunicación y ausencia o déficit de transporte adaptado.

- Condicionantes del propio colectivo:
 - La propia diversidad de las personas con discapacidad.
 - Inestabilidad en el ámbito deportivo y en la estructura asociativa en el ámbito deportivo.
 - Falta de reconocimiento de sus propios derechos como ciudadanos y problemas de auto marginación.

1.2 Desórdenes neurológicos

1.2.1 El sistema nervioso

El organismo humano está formado por más de 100 billones de células organizadas en distintas estructuras funcionales. La regulación de las funciones corporales, es dirigida conjuntamente por dos sistemas, el hormonal, que regula las funciones metabólicas, y el sistema nervioso (SN) que se encarga de regular numerosas actividades musculares y secretoras del organismo.

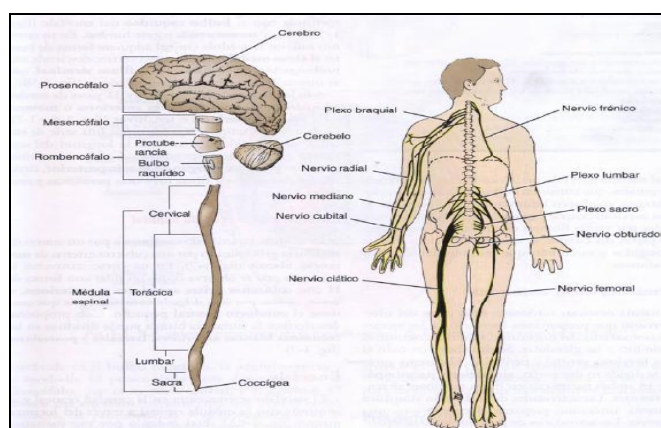


Figura 2. Principales divisiones del sistema nervioso central (izquierda) y las partes del sistema nervioso periférico (se omitieron los nervios craneales) (derecha) (Snell, 2007).

El sistema nervioso central (SNC), cumple una función integradora y está formada por la médula espinal y el cerebro, el cual almacena información, genera pensamientos y determina las reacciones que debe realizar el cuerpo en respuesta a las sensaciones, para a continuación, transmitir las señales apropiadas a través de la porción eferente motora para transmitir los deseos del sujeto. Un segmento importante en el SN es el sistema nervioso autónomo (SNA), que funciona a escala subconsciente y controla muchas de las funciones de los órganos internos, como la función de bomba del corazón, los movimientos del aparato digestivo y la secreción en muchas glándulas corporales (Guyton y Hall, 2011).

Por lo tanto, el SN es un sistema complejo cuya función principal es captar, integrar y procesar las distintas señales y efectuar el control y la coordinación de los demás órganos para lograr una interacción rápida y eficaz con el ambiente variable. Una lesión en el SN ocasiona deficiencias motores y/o sensitivos y por lo tanto funcionales, tanto voluntarios como involuntarios que afectarán al resto del organismo.

El SN se puede dividir en distintas partes que, interrelacionadas, se encargan de regular y controlar numerosas funciones y según la ubicación anatómica de los órganos se puede distinguir dos sistemas:

- **Sistema Nervioso Central (SNC):** Compuesto anatómicamente por el encéfalo (cerebro, cerebelo, bulbo raquídeo, tálamo, hipotálamo y glándula pituitaria) y la médula espinal y cuya función es integrar e interpretar los estímulos tanto motores como sensitivos que se extienden y/o se dirigen hacia al SNC y dar la respuesta que será efectuada por el músculo correspondiente (Snell, 2007).

- **Sistema Nervioso Periférico (SNP):** Compuesto por el resto de nervios que están fuera del SNC. Existen 12 pares de nervios craneales que salen del encéfalo y 31 pares de nervios espinales, que salen desde la médula espinal. Cuya función es conducir los impulsos nerviosos del SNC con los nervios periféricos que recorren el organismo (Snell, 2007).

Al atender a la funcionalidad, es decir, el rol que desempeñan las distintas vías, indistintamente si pertenecen al SNC o SNP se puede dividir en:

- **Sistema Nervioso Somático (SNSo):** Lo constituyen los ganglios basales que se encargan de las conexiones directas con el resto del encéfalo, y desde donde se controla los movimientos corporales “groseros”, junto a los nervios periféricos, y cuya función es conducir información aferente (sensitiva) y eferente (motora) desde los nervios al músculo esquelético (Sánchez, 2003).
- **Sistema Nervioso Vegetativo o Autónomo:** El SNA es el encargado del control de la mayoría de las funciones involuntarias, manteniendo la homeostasis entre el medio interno y externo. Se ocupa de controlar muchas actividades entre las que destaca la regulación de funciones viscerales como el vaciamiento de la vejiga urinaria, las secreciones gastrointestinales y también participa mayoritariamente en la regulación de la respiración, la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la circulación, la digestión, así como el control de toda la musculatura lisa (incluidos los vasos sanguíneos y las vísceras) y la estriada cardíaca. Además regula parcialmente la temperatura corporal y la sudoración (Sánchez, 2003).

Los sistemas SNSo y SNA conjuntamente se encargan tanto de las funciones voluntarias como de las involuntarias.

Cabe subrayar que el SNA se subdivide en tres sistemas que se activan a través de centros nerviosos situados en la corteza cerebral, hipotálamo, tronco encefálico y medula espinal y cuyas funciones principales son (Sánchez, 2003):

1. Sistema nervioso Simpático (SNSi): Encargado de estimular al organismo ante una situación de estrés y está involucrado en toda actividad que requiera energía, utilizando como neurotransmisores la noradrenalina y adrenalina.
2. Sistema Nervioso Parasimpático (SNPa): Encargado de almacenar y conservar energía. Mantiene al organismo en situaciones normales y después del estrés vuelve a los niveles de reposo.
3. Sistema Nervioso Entérico (SNE): Encargado de controlar el aparato digestivo, englobando a cien millones de neuronas.

1.2.2 La columna vertebral

La columna vertebral es la envoltura ósea que protege a la médula espinal (así como el cráneo protege al encéfalo) y está compuesta por 33 vértebras. La forma de la columna con sus diversas curvaturas, es producto de la adaptación del ser humano a la posición bípeda, y se reconocen varios segmentos:

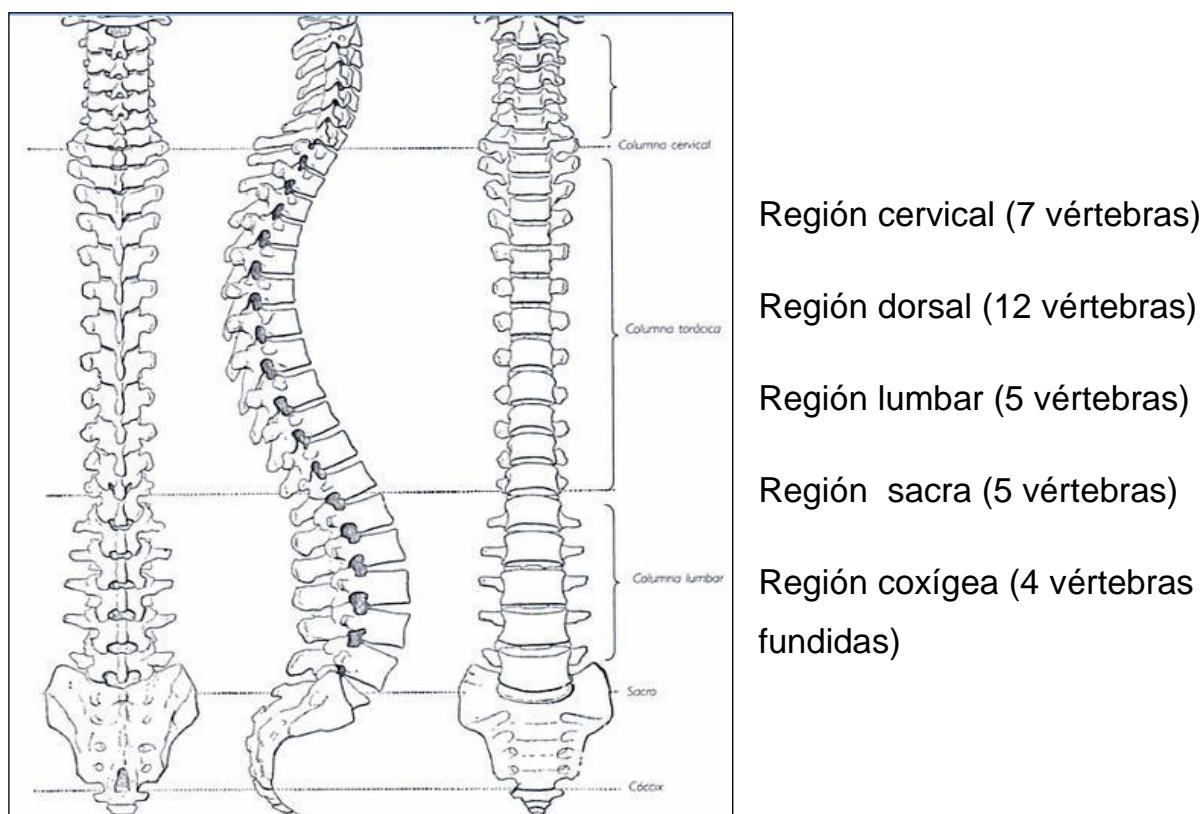


Figura 3. Columna vertebral: Visión posterior, visión lateral y visión anterior (de izquierda a derecha) (Rouvière y col., 2005).

La médula espinal está compuesta de tractos de fibras nerviosas que conducen los impulsos nerviosos en vías de sentido ascendente y descendente (Vidal y col., 2003). Las fibras pueden ser sensitivas (aferentes), encargadas de transmitir las señales nerviosas desde distintas regiones del cuerpo, hacia el encéfalo. También pueden ser fibras motoras (eferentes) y conducir las señales desde el SNC a los segmentos distales. Las principales actividades de la medula espinal es el control reflejo (acto involuntario e inconsciente) y su función conductora, transmitir información del organismo al encéfalo y enviar órdenes motoras que regulan los movimientos (Chicharro y Vaquero, 2006).

1.2.3 Lesión Medular

La Lesión Medular (LM) es una alteración de la médula espinal que provoca pérdida de sensibilidad y/o movilidad producida por causas traumáticas (la más extendida), por causas adquiridas o por causas no traumáticas.

A nivel mundial las lesiones medulares tienen una incidencia que oscila entre 11,5 y 53,9 casos por millón de habitantes (Toung y col., 2004). En España, los casos con diagnóstico principal de LM o traumatismo craneoencefálico registrados en el período entre 2000 y 2008 corresponde a 9.352 personas, lo que aporta una tasa de incidencia de 24 casos por millón de habitantes (35,6 casos por millón de hombres y 12,4 por millón de mujeres). El 36,6 % se deben a accidentes de tráfico (Sociedad Española de Epidemiología, 2011).

Las lesiones son clasificadas por su nivel y extensión. Según el nivel la *American Spinal Injury Association (ASIA)* establece el término *Paraplejia* cuando existe... "déficit o pérdida de la función motora y/o sensitiva en los segmentos torácicos, lumbares o sacros de la médula espinal, por daño de los elementos neurales dentro del canal raquídeo, la función de los brazos se mantiene, aunque también se verán afectados en un grado u otro, dependiendo del nivel trastornos del tronco, piernas y órganos pélvicos". De modo paralelo, la *Tetraplejia* se define como "la pérdida de función motora y/o sensitiva en los segmentos cervicales de la médula espinal, que ocasiona un déficit funcional tanto en los brazos, tronco como en piernas y órganos pélvicos" (Ditunno y col., 1994).

En cuanto a la extensión de la lesión se puede clasificar en LM completa o incompleta.

LM completa: Tiene lugar cuando se interrumpen todas las conexiones medulares por debajo del nivel de la lesión, hay una pérdida total de la función motora, de la sensibilidad y de la inervación autónoma.

LM incompleta: Se da cuando se preserva cierta función medular por debajo del nivel de la lesión, por pequeña que sea. Existe persistencia de la inervación total o parcial motora, sensitiva y autónoma.

A propósito de la necesidad de clasificación y evaluación neurológica se han creado múltiples escalas, algunas de las cuales se centran en los desórdenes neurológicos, motores y sensitivas que experimenta la persona tras la LM, mientras que otras describen las habilidades funcionales asociadas a la vida diaria de la persona con LM.

En 1990 la *American Spinal Injury Association (ASIA)* creó una valoración neurológica denominada *International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI)*, unificando las escalas existentes, determinando el alcance neurológico y estableciendo un índice sensitivo y motor, necesario para determinar el tipo de lesión y valorar su gravedad y pronóstico. Esta escala ASIA es la más extendida para la valoración de la LM.

Las secuelas de la LM son variadas, van desde la paresia, la parálisis, pérdida de la sensibilidad por debajo del nivel de lesión y alteración en el control de esfínteres, hasta una mayor predisposición para contraer problemas cardiorrespiratorios (Acevedo y col., 2008).

A continuación se destacan algunas alteraciones especialmente frecuentes en personas con LM (Sánchez, 2003; Acevedo y col., 2008):

- Neurogenerativas: Hipotensión ortoestática, alteraciones en la regulación térmica, disreflexia autonómica (temblores, sudoración, espasmos).

- Musculo-esqueléticas: Alteración en la estructura ósea, atrofia y debilidad muscular, dolor neuropático, úlceras.
- Neurorrespiratorias: Disminución de la capacidad vital, fatigabilidad.
- Cardiovasculares: Menor capacidad de bombeo del corazón y de circulación por los vasos sanguíneos.
- Urinarias: Infecciones de repetición, insuficiencia renal.
- Intestinales: Estreñimiento, vómitos.

Cabe destacar que el diagnóstico de la repercusión de la LM puede variar en los meses siguientes a producirse la lesión, pero según el nivel se destacan las características generales (Tabla 1):

Tabla 1. Función motora conservada según el nivel de lesión medular completa.

Nivel	Funciones conservadas
C1-C2-C3	Movimientos de cabeza: flexión, extensión y rotación. Respiración asistida mecánica.
C4-C5-C6	Respiración diafragmática autónoma. Abducción del brazo y flexión del codo. C6: Extensión de muñeca.
C7	Extensión del codo.
D1	Flexores de los dedos, funciones de prensión en mano.
D2 a S5	Funcionalidad muscular acorde al nivel de la lesión. Acción de musculatura inervada por encima de la lesión.
C1 a D7	Fallos en la termorregulación corporal.

1.2.4 El encéfalo, corteza cerebral y cerebelo

Las estructuras encefálicas como la corteza cerebral, los ganglios basales y el cerebelo son las encargadas de manera conjunta del buen funcionamiento del control motor. Las áreas de la corteza cerebral estimulan las contracciones musculares, los ganglios basales ayudan a planificar y controlar patrones complejos de movimiento muscular, y el cerebelo representa un papel fundamental en la coordinación temporal de las actividades motoras.

El cerebelo es una región del encéfalo, conectada tanto con las estructuras encefálicas mencionadas como con la medula espinal mediante una gran cantidad de haces nerviosos que regula las informaciones sensitivas y las coordina, con los estímulos motores eferentes que proceden del cerebro, lo que permite la consecución de movimientos finos y precisos, regulando además el tono muscular.

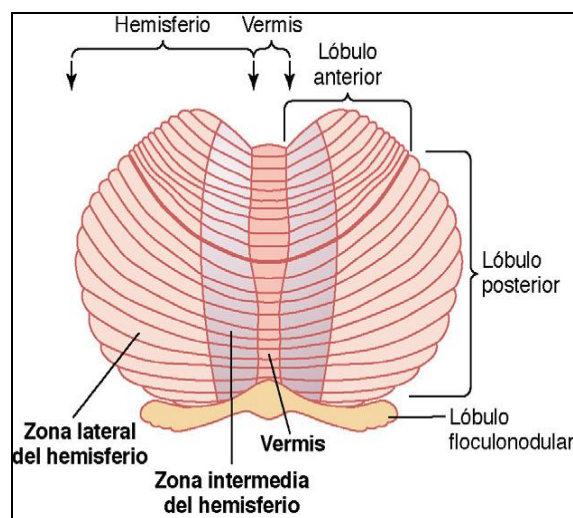


Figura 4. Componentes funcionales del cerebelo observados desde una imagen posteroinferior (Guyton y Hall, 2011).

El control motor global entraña un control voluntario y consciente, y el cerebelo tiene mayor relevancia en los movimientos rápidos frente a los lentos, ya que, ayuda a controlar y graduar el acto motor, al corregir su ejecución (a nivel cerebro-cerebelo). Así también tiene mayor importancia en el control de los músculos más distales, es decir, en movimientos necesarios para por ejemplo coger un objeto. El cerebelo mide las distancias hasta llegar a él mediante sus transmisiones sensitivas (a nivel equino-cerebelo) y estimula la musculatura agonista o antagonista para un movimiento más cercano o lejano según se requiera.

1.2.5 La parálisis cerebral

El termino Parálisis Cerebral (PC) engloba al conjunto de secuelas neurológicas de distinta naturaleza que afectan a la esfera motora, aún así su definición todavía sigue en debate. Aunque el daño cerebral se ocasionara en un momento, las secuelas pueden ir cambiando con el tiempo (Mutch y col., 1992; Bax y col., 2005). Habitualmente, la PC es definida de acuerdo a la postura y el tipo de movimiento pero a veces va acompañada de otras alteraciones sensitivas, cognitivas, comunicativas, perceptivas, y desórdenes en la conducta, siendo una condición muy heterogénea que varía mucho de una persona a otra y puede definirse como:

[...] “La PC se describe como un conjunto de cambios en el desarrollo del movimiento y de la postura, causadas por alteraciones no progresivas del SNC (cerebro, cerebelo y tronco cerebral) durante la maduración del mismo, que provoca limitaciones en la actividad” [...]. (Bax y col., 2005, p.571)

Las causas de la PC son múltiples y pueden actuar tanto en los periodos prenatal, perinatal como postnatal. La causa más identificada es el nacimiento prematuro, asociada al bajo peso, debido a la vulnerabilidad y poca maduración del SN. Otras afectaciones de riesgo que pueden incidir o desencadenar la PC son, los embarazos múltiples y enfermedades infecciosas durante la gestación, la asfixia durante el parto y los traumatismos craneoencefálicos, la meningitis o la rubéola, antes de los 18 meses de edad.

Los registros de personas con PC estos no comienzan hasta 1950, y en nuestro país concretamente en el año 2003 es cuando se unifican los datos recogidos desde 1991. La incidencia de la PC en los países industrializados se sitúa entre 1,5 y 2,5 por cada 1000 niños/as nacidos/as vivos/as, sin grandes cambios a lo largo del tiempo. Según la Confederación ASPACE (2007), en España 2,8 de cada 1000 habitantes se ven afectados, por lo que hay unas 120.000 personas que la presentan.

Existen dos maneras de clasificación al atender los desórdenes motores. La clasificación más común divide la PC según el orden motor predominante (espástico, atetósico/discénico o atáxico) y por la distribución topográfica (hemiplejía, diplejía o tetraplejía).

Existen a su vez, gran variedad en tipos de clasificación o escalas que valoran la PC desde la calidad de vida (Índice de Barthel o Índice de Katz), desde el tono muscular y espasticidad (Escala modificada de Asworth).

Desde una perspectiva próxima a la AF, el *Sistema de Clasificación de la Función Motora Gruesa (GMFMS)* es la escala más extendida y clasifica la función motriz para personas con PC, basada en el movimiento que se inicia voluntariamente, con énfasis en la sedestación, las transferencias y la movilidad,

basándose en las limitaciones funcionales y en la necesidad de la utilización de ayudas técnicas (Palisano y col., 1997).

En las diferentes escalas de valoración para personas con PC no existe todavía ninguna estandarizada que mida el control de la posición sedente a partir del propio sujeto y no de un elemento externo. Así tampoco existe valoración fiable que clasifique los diferentes movimientos involuntarios. También existe dificultad para encontrar guías de AF para personas con PC, así como los efectos de la AF en los adultos con PC es muy limitada.

A pesar de existir diferentes tipos y grados de PC, las personas presentan rasgos comunes entre ellas que se deben considerar para elaborar un programa adecuado de EF. Independientemente del área de lesión involucrada, los niños y los adultos con PC presentan características comunes a tener en cuenta al realizar AF (Bermejo-Franco, 2012):

- Tono muscular anormal.
- Alteración del control motor selectivo (movimientos involuntarios).
- Deformación de los sistemas óseo, muscular y articular.
- Alteración de la alineación músculo esquelética.
- Alteración del control postural y del equilibrio.
- Fuerza muscular inapropiada.
- Rigidez.
- Espasmos.

Los problemas de movimientos afectan a todas las áreas, lo que provoca problemas sensoriales, perceptivos y de comunicación asociados y manifestados en distintos grados según cada persona, y cambiantes a lo largo del tiempo como son:

- Vista: El problema más frecuente es el estrabismo, alternado la percepción espacial.
- Oído: Se asocian problemas y deficiencias auditivas.
- Habla: La habilidad de controlar músculos como la lengua, la boca, o la cavidad bucal determinará problemas tanto en el habla como en la masticación y deglución.
- Epilepsia.

1.2.6 La ataxia cerebelosa

A diferencia de una LM, una lesión en el cerebelo no provoca parálisis, sino que suele provocar dismetrías, desórdenes motores, alteración en la ejecución de movimientos precisos, y descoordinación motora. El cerebelo cumple una función muy relevante en el control postural y del equilibrio (a nivel vestibulo-cerebelo). La pérdida progresiva de sensibilidad y debilidad muscular junto a la implicación de funciones cognitivas, el procesamiento del lenguaje y de la atención, también están asociados a la alteración cerebelosa (Guyton y Hall, 2011).

Según el mismo autor, las alteraciones en el cerebelo suelen provocar:

- Dismetría y ataxia: Dificultad para regular la intensidad y duración de la actividad muscular, y como resultado aparece dificultad para predecir la distancia a la que llega el movimiento (hipermetría). Aparece la descoordinación tanto en miembros superiores como inferiores (ataxia).
- Adiadococinesa: Dificultad para la realización de movimientos rápidos.
- Asinergia: Alteración en movimientos complejos como la marcha.
- Alteración del tono muscular: Puede aparecer aumentado o disminuido.
- Disartria: Trastornos del habla que se entrecorta y da lugar a escandida.
- Nistagmo cerebeloso: temblor de los globos oculares que suele ocurrir cuando se intenta fijar la vista sobre una escena situada a un lado de la cabeza. Afecta también al equilibrio.

La Ataxia de Friedreich (ADF) es un trastorno neurodegenerativo de patrón de herencia autosómica recesiva, que causa un deterioro progresivo de muchas funciones al verse afectados diversos sistemas que trabajan de forma complementaria (Chamberlain y col., 1988), afectando tanto al equilibrio, debido a la falta de coordinación en los movimientos multiarticulares, como al control postural (Bastian, 1997; Mariotti y col., 2005).

Su incidencia en España es de 10,2 casos de ataxia por 100.000 habitantes y la ADF alcanza una prevalencia de 4,7 casos cada 100.000 habitantes (1 caso cada 30.000 habitantes) (Delatycki y col., 2000).

Para diferentes capacidades de las personas con ADF, se utilizan diferentes escalas de valoración, entre la que puede destacarse la *International Cooperative ADF Rating Scale (ICARS)* que valora el control motriz del tronco y

las extremidades, la marcha, el nistagmo y la disartria. (Cano y col., 2005; Storey y col., 2004; Trouillas y col., 1997).

Existen otras escalas de valoración como la *Scale for Assessment and Rating of ADF (SARA)* que estima la afectación del tronco, de las extremidades, ADF de la marcha, disartria, la *Friedreich's ADF Impact Scale (FAIS)*, que evalúa el habla, funcionalidad de las extremidades superiores, funcionalidad de las extremidades inferiores, movimiento corporal, tareas complejas, aislamiento, estado de ánimo, autopercepción. Por último la *Friedreich ADF Rating Scale (FARS)* que calcula el estadio del trastorno, Actividades Básicas de la Vida Diaria (ABVD), coordinación de los miembros, función de los nervios bulbares y periféricos, el control motor oral y la velocidad de la marcha.

Ajustándose a la ADF es interesante conocer las alteraciones que con frecuencia aparecen en los distintos sistemas involucrados para la práctica de AF (Ristow y col., 1998; Delatycki y col., 2005; Labelle y col., 1986; Maring y Croarkin, 2007):

- Neurológicas: Falta de coordinación, temblores en las cuatro extremidades, tono muscular disminuido (atrofias musculares), pérdida de sensibilidad vibratoria y posicional, atrofia óptica, pérdida auditiva, pérdida de motricidad fina.
- Sistema cardiovascular: Enfermedades cardíacas como cardiomiopatías, soplos y defectos de conducción.
- Sistema musculo-esquelético: Escoliosis idiopática por causas neuromusculares, pie cavo, pies planos o mala alineación, pie equino.
- Sistema Endocrino: Diabetes o intolerancia a la glucosa.

1.3 Actividad Física en personas con desórdenes neurológicos

En general puede decirse que diferentes tipos y grados de discapacidad física afectan a la persona en la realización de sus ABVD, debido a que suele interferir en el normal funcionamiento del sistema locomotor, sea en aspectos puramente biomecánicos o más profundamente relacionados con el control motor.

Debido a que el control motor es el fruto de la integración de información tanto sensitiva como motora por parte del control del SNC, su alteración puede afectar al control muscular y del movimiento a tres niveles: voluntario (cortical), involuntario (subcortical) y reflejo (medular). Desde una perspectiva de la AF, esta alteración podría influir en la fuerza muscular, la coordinación, la elasticidad, la velocidad, el tono muscular, la propiocepción, la sensibilidad, el rango de movimiento y hasta en la sensación de dolor.

Las alteraciones secundarias como las nutricionales y gastrointestinales son de importancia, así como las complicaciones respiratorias o las lesiones dérmicas como las úlceras por decúbito. Los trastornos conductuales, cognitivos y psicológicos, junto a los problemas de lenguaje y auditivos, deberán de tener un manejo adecuado para lograr una limitación general de las secuelas (Malagon, 2007).

Estas limitaciones funcionales aumentan la dificultad de poder realizar AF conforme asciende el grado de discapacidad, lo que conlleva la adaptación imprescindible tanto de espacios, de materiales y de los ejercicios para proporcionar una alternativa al sedentarismo con el hábito del EF. Del mismo modo, la planificación y la metodología a desarrollar para una práctica y adhesión deportiva por parte de las personas con discapacidad tiene que ser coherente y beneficiosa desde el punto de vista funcional, metabólico,

psicológico y social. Es fundamental conocer las características individuales para adaptar la AF y así mantener y mejorar las capacidades de cada persona.

El Desarrollo un programa de AF adecuado para personas con desórdenes neurológicos deberá tener en cuenta que estas personas pueden tener muy reducida su CF y en algunos casos pueden existir tipos de AF o intensidades contraindicadas. Se debe priorizar ante todo la seguridad de los participantes.

En general, se deben seguir las indicaciones de AF por parte del (ACSM) Colegio Americano de Medicina del Deporte (Garber y col., 2011):

Fuerza: Es necesario trabajar la fuerza muscular, la movilidad articular y la coordinación. Los ejercicios resistidos (tanto isométricos como dinámicos) aportan resultados positivos, aunque los más utilizados y que mayores beneficios registran son los dinámicos mediante gomas elásticas, lastres o pesos libres. Para ello, se tiene que trabajar las diferentes manifestaciones de fuerza, siendo consecuentes y buscando siempre un equilibrio muscular, relajando los músculos hipertrofiados y trabajando aquellos que están hipotonificados (Harris y Eng, 2010).

Flexibilidad: Esta característica se va perdiendo con el paso del tiempo y es un componente básico para mantener el arco de movilidad de las articulaciones, evitar la reducción de movilidad, evitar la deformación en las posturas, así como las lesiones deportivas.

Propiocepción: Mediante la estimulación de las articulaciones, de los músculos y los tendones, unido a la disminución de la inestabilidad postural, se mejora el conocimiento sobre el esquema del cuerpo. Hay muchos enfoques que se pueden utilizar para este propósito como el método Kabat, el método Bobath, la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (PNF), la estabilización rítmica o las

técnicas de reversión lenta (Adler, y col., 2000; Arai, y col., 2001). También es frecuente el uso de férulas de presión de Johnstone (Armutlu, y col., 2001), los ejercicios de marcha en diferentes superficies (duras, blandas, inclinadas) con ojos abiertos y cerrados, los ejercicios pliométricos (Risberg, y col., 2001) o los ejercicios con una tabla de equilibrio y mini trampolín (Diracoglu, y col., 2005). Todos ellos buscan el desarrollo de la propiocepción.

Recientemente, la vibración ha sido un método utilizado con frecuencia para la mejora o potenciación de la propiocepción. La vibración se puede aplicar directamente al músculo y el tendón, y/o también se aplica mediante la exposición de todo el cuerpo a la vibración (Hatzitaki y col., 2004; Schuhfried y col., 2005).

Coordinación: La coordinación muscular es, el resultado del trabajo conjunto de varios segmentos corporales y grupos musculares distintos, que permiten movimientos complejos. Son importantes los movimientos coordinados entre tronco y extremidades, que engloben todo el cuerpo, así como ejercicios de coordinación motriz donde se desarrolle la habilidad de desplazamiento o de manejo de objetos, junto al entrenamiento de las capacidades de reacción ante imprevistos o caídas (Ilg y col., 2009).

Equilibrio y ejercicios vestibulares: La capacidad de equilibrio permite sostener y realizar movimientos contra la gravedad sin caer. Esta capacidad se ve alterada en especial en las deficiencias del cerebelo y en alteraciones vestibulares. En primer lugar, se debe trabajar la mejora de la musculatura proximal y de estabilización del tronco (Adler y col., 2000). Siguiendo el orden del desarrollo neurológico, el participante debe desarrollar la capacidad de ponerse a “cuatro patas”, con los antebrazos boca abajo, a gatear, y lograr

arrodillarse, en posición medio sentada con las rodillas y también se desarrollará la estabilidad estática y dinámica en estas posiciones.

Una vez alcanzada esta estabilidad, se irán incorporando perturbaciones externas (empujes y tirones en distintas direcciones). Alcanzada la estabilización estática se prepararán ejercicios para el desarrollo de la estabilización dinámica entrenando en estas posiciones para la transferencia de peso y ampliación funcional. Posteriormente, se aumentará la dificultad entrenando en posiciones en las que la superficie de apoyo se estrecha o el centro de gravedad se cambia (Adler y col., 2000).

Entrenamiento aeróbico: Este componente del entrenamiento es muy importante para la salud de las personas con alteraciones neurológicas especialmente para quienes tienen reducida su capacidad en los músculos respiratorios, lo que conlleva una fatiga temprana y limita su actividad diaria. La importancia del ejercicio aeróbico radica en el mantenimiento y/o mejora del nivel de CF.

En los últimos años, se ha asociado el EF a los programas de rehabilitación, aunque las investigaciones más recientes se centran en programas deportivos que permitan realizar ejercicio de forma regular tras el proceso de rehabilitación (Dallmeijer y van der Woude, 2001). Para el desarrollo de este componente de la CF se deberán realizar ejercicios con una implicación muscular lo mayor posible, los ejercicios más extendidos son la natación, el ciclismo, la carrera, aunque para las personas que no tienen la habilidad de caminar esta oferta evidentemente se reduce.

El entrenamiento aeróbico adecuado afecta al trabajo cardiorrespiratorio demostrando que aparecen adaptaciones fisiológicas que mejorarán la salud y la

calidad de vida (Hjeltnes y Wallberg-Henriksson, 1998; Goosey-Tolfrey y Sindall, 2007).

El pedaleo de brazos (PB) con ergómetro estacionario es un ejercicio aeróbico efectivo para la prevención de otras complicaciones de salud para personas que no pueden utilizar los miembros inferiores (Hicks y col., 2003). Está perfectamente establecido que las personas con movilidad reducida llevan una vida más sedentaria, caracterizada por un incremento de masa grasa y reducción de masa muscular que desembocan en enfermedades crónicas, como la obesidad, la diabetes, diferentes problemas cardiorrespiratorios (Hjeltnes y Wallberg-Henriksson, 1998), incluso su estatus funcional, participación, autonomía y finalmente su calidad de vida (Haisma, y col., 2006).

La utilización habitual de una silla de ruedas manual para moverse de forma autónoma, genera mayor riesgo de lesiones en miembros superiores (MMSS), por esta razón, para estas personas, es necesario un entrenamiento específico de sus MMSS (Goosey-Tolfrey y Sindall, 2007; Goosey-Tolfrey, y col., 2008).

El PB es un excelente ejercicio aeróbico para personas con diferentes tipos de afectación motriz. Se ha demostrado que la práctica regular de PB tiene efectos positivos sobre los sistemas cardiorrespiratorios (Brizuela y col., 2010), mayor tolerancia muscular al ejercicio (Valent y col., 2009) y aumenta su capacidad física y fuerza muscular (Hicks y col., 2010; Hicks y col., 2003; Brizuela y col., 2010). También cabe destacar que hay resultados ambiguos en el efecto sobre la capacidad funcional o vital (Brizuela y col., 2010; Hicks y col., 2010; Valent y col., 2009).

Existen distintas formas de practicar el PB sea con una bicicleta manual, una manivela ergométrica, un ergómetro de silla de ruedas o una bicicleta estática.

El pedaleo estacionario es considerado un ejercicio muy efectivo y completo que ayuda a mejorar el bienestar tanto físico como psicológico de las personas (Brizuela y col., 2010), y lo más interesante es la posibilidad de práctica diaria, gracias al bajo coste y al prescindir del inconveniente de salir al exterior, con los impedimentos que ello supone. Para practicar ciclismo manual “handbike” es necesario un fortalecimiento muscular previo que se logra con PB, fundamental sobre todo para personas con las mayores afectaciones.

El PB tiene diferencias comparado con el pedaleo de piernas. Entre las personas sin LM no entrenadas el $VO_2MÁX$ medio durante el pedaleo de brazos supone entre un 50 % y un 70 % del medido durante el pedaleo de miembros inferiores (MMII). Sin embargo personas con entrenamiento específico de brazos alcanzan valores comparables con MMII (Pendergast, 1989).

Los principales factores limitantes de la capacidad aeróbica en ejercicio en MMSS son de tipo periférico, fundamentalmente la menor masa muscular implicada en el ejercicio y la menor capacidad oxidativa, en relación con el predominio de fibras Tipo II en los MMSS, así como una menor proporción de capilares por fibra. Además, la presión intramuscular puede exceder a la presión de perfusión durante el ejercicio de brazos, lo que puede comprometer el flujo sanguíneo y la distribución de O_2 en los músculos de los brazos en el ejercicio (Pendergast, 1989).

En personas sin discapacidad, la mayoría de ABVD les requiere sólo una pequeña fracción de su capacidad máxima de trabajo. Sin embargo las personas con deficiencias cardiorrespiratorias que les repara en una reducción considerable de su capacidad máxima de provisión de energía ($VO_2MÁX$), requiere mucho más VO_2 para realizar las ABVD y por lo tanto un mayor gasto energético (GE) limitante para su autonomía. Estas personas muestran una

mayor fatiga y una resistencia reducida, que les lleva a un mayor GE que es importante medir y conocer tanto para adaptar los entrenamientos con el fin de mejorar sus capacidades como para conocer sus riesgos y las adaptaciones nutricionales apropiadas en cada caso.

Las investigaciones que tratan el entrenamiento sobre PB en personas sin discapacidad midieron en general el VO_2 en test incrementales a sub-máxima y máxima intensidad en pruebas de esfuerzo entre personas entrenadas y aquellas que no tienen un entrenamiento específico de brazos (Volianitis y col., 2004), a distintas cadencias (Smith y col., 2006; Powers y col., 1984; Price y col., 2011), o la compararon el PB y pedaleo de piernas (Bulthuis y col., 2010). El GE utilizado por personas sin discapacidad se mide principalmente en tapiz rodante, específicamente con el K4b² (Schrack y col., 2010) o en comparación entre tapiz y cicloergómetro (Miles y col., 1980)

Respecto al PB en personas con LM las investigaciones, de forma global ejecutan test incrementales, donde se compara a las personas entrenadas específicamente de brazos. También se estudia la variación en la posición del cuerpo en el ejercicio entre distintas cadencias (Fukuoka y col., 2002; Verellen y col., 2004), concretamente en tetraplejia se señalan las diferencias entre el tipo de pedaleo (sincrónico/asincrónico), diferencias entre entrenamiento en pedaleo de brazos con silla de ruedas, o pedaleo estacionario (Hintzy, y col., 2008), o los efectos beneficiosos de un entrenamiento de pedaleo de brazos (Brizuela y col., 2010; Hicks y col., 2003; Hjeltnes y Wallberg-Henriksson, 1998; Valent y col., 2009; Ditor y col., 2003), o la eficiencia entre distintas formas de propulsión, (Verellen y col., 2004) centrándose en bastantes estudios sobre la cadencia de pedaleo y la comparación frente al pedaleo de piernas (Goosey-Tolfrey y col., 2008; Price y col., 2011; Verellen y col., 2004).

Las investigaciones de personas con PC focalizan su atención en la etapa de la niñez, así existe una investigación muy reducida centrada en la edad adulta (Heller y col., 2002). Es en esta etapa donde los problemas musculoesqueléticos como la debilidad muscular, la espasticidad, y anomalías ortopédicas se ven incrementados por el paso del tiempo, así como problemas en la nutrición, aspiración, convulsiones, y daños visuales y auditivos unidos a problemas secundarios como el dolor crónico, la fatiga o deformación de las articulaciones (Murphy y col., 1995; Engel y col., 2000; Peterson y col., 2013) que vienen determinados por la movilidad reducida y postura adquirida (Jahnsen y col., 2004; Thorpe, 2009).

La importancia de un plan de entrenamiento para las personas adultas con PC queda patente en estudios como Erikssen y col., (1998) o Taylor y col., (2004) que tras un entrenamiento de 10 semanas mejoraron tanto la fuerza de piernas (22 %) como en brazos (20 %). Se debe tener en cuenta que la AF se debe iniciar tempranamente ya que el deterioro en la habilidad de caminar como se muestra en el estudio de (Jahnsen y col., 2004) con un total de 406 participantes, el 27 % informaron de la aparición de mejorías fundamentalmente antes de los 25 años y el 44 % informó del deterioro en la habilidad de caminar fundamentalmente antes de los 35 años.

Así, la mayoría de las investigaciones se realizan con niños o personas que deambulan, pero sí que aparecen beneficios de la AF aeróbica, como la ganancia de fuerza en MMII, o un menor GE al caminar o una mejora en su percepción (Schlough y col., 2005).

La revisión descrita por (Hobergen y col., 2012) puntualiza en jóvenes adultos con PC obtienen valores significativamente más bajos que los sujetos sin PC

tanto en fuerza muscular (34 % - 60 %), en resistencia muscular (27 % - 52 %), como en la resistencia cardiorrespiratoria (14 %).

Si se señala al PB, las carentes investigaciones se centran en examinar la velocidad de cadencia más eficiente, pero lo hacen en la infancia o adolescencia (Maltais y col., 2000), predomina el mayor GE al deambular (Klimek-Piskorz y Piskorz, 2006). Otras investigaciones dan a conocer en jóvenes adultos el grado de capacidad física (fuerza muscular, capacidad aeróbica, resistencia muscular) respecto al grupo control (Tobimatsu y col., 1998). En personas adultas, se comparó tanto la capacidad aeróbica como la fuerza. Tras esta comparación, se subraya que no existen diferencias en el VO₂MAX, pero la fuerza si que es más limitada respecto a las personas sin PC (De Groot y col., 2012).

El efecto del entrenamiento aeróbico se ha medido en adultos no deambulantes en pedaleo de piernas en posición tumbada, en el que, tras sesiones de 40 minutos, aumentando la resistencia cada 5 minutos, los participantes, además de terminar todas las sesiones, estimularon el sistema cardiovascular, afirmando que es un buen ejercicio para evitar la obesidad y las consecuencias metabólicas del sedentarismo (Peterson y col., 2013). En otra investigación muy interesante que empezó con más de 2000 personas adultas con PC durante 7 años, se realizaron varias medidas, en las que se destacaba la de pedaleo incrementando hasta la extenuación. Se concluyó que el nivel de AF es un fuerte predictor (inverso) del nivel de mortalidad en personas adultas entre 40 y 60 años (Erikssen y col., 1998).

En lo referente a la AF en ADF las investigaciones son muy reducidas. Ilg y col. (2009) llevó a cabo un entrenamiento coordinativo en el que se mejoraron aspectos importantes como la velocidad o el balanceo en la marcha así como la coordinación entre las piernas. En otro estudio (Fillyaw y Ades, 1989) llevaron a

cabo un entrenamiento de resistencia aeróbica de 20 minutos, durante 27 sesiones de cicloergómetro donde se anotaron las adaptaciones fisiológicas, se comprobó la mejora de la capacidad aeróbica, aumentando tanto el consumo de oxígeno (VO₂) como el pico de ventilación y la carga final soportada.

1.3.1 El gasto energético durante el ejercicio

Se utiliza la denominación “consumo de oxígeno” (VO₂) para expresar una variable fisiológica que indica la cantidad de oxígeno que consume o utiliza el organismo por unidad de tiempo. El VO₂ expresa las necesidades metabólicas del organismo durante el ejercicio. El Oxígeno es absorbido en los pulmones y transportado hasta las mitocondrias celulares mediante la circulación sanguínea. Todos los componentes del sistema de absorción y transporte del oxígeno determinan el VO₂ y, según la ecuación de Fick se puede expresar de la siguiente forma:

$$VO_2 = GC \times \text{dif (A-V) } O_2$$

Donde: GC: Gasto Cardíaco; dif (A-V) O₂: diferencia arteriovenosa de oxígeno.

La AF determina una rápida respuesta fisiológica de todos los sistemas implicados en el transporte de O₂ desde la atmósfera a la mitocondria: se aumenta la ventilación pulmonar y el intercambio de gases, se aumenta el gasto cardíaco y se inducen cambios en la microcirculación del músculo esquelético para aumentar la extracción de O₂.

El ejercicio físico mejora tanto el transporte de O₂ como el potencial oxidativo celular y, por tanto, la tolerancia al ejercicio. La falta de AF da lugar no solo a una menor capacidad y rapidez de respuesta del sistema de transporte, sino

también a la disminución de la capacidad oxidativa mitocondrial (Villanueva Díaz, 2008).

Las funciones vitales del organismo requieren un determinado GE, que debe ser compensado por el valor calórico aportado por los alimentos y las bebidas de la dieta (Jequier y Tappy, 1999) y el balance energético, que atiende a las leyes de la termodinámica, se expresa según la siguiente ecuación (Jebb y Prentice, 1997; Jequier y Tappy, 1999):

$$\text{Balance energético} = \text{energía ingerida} - \text{gasto energético}$$

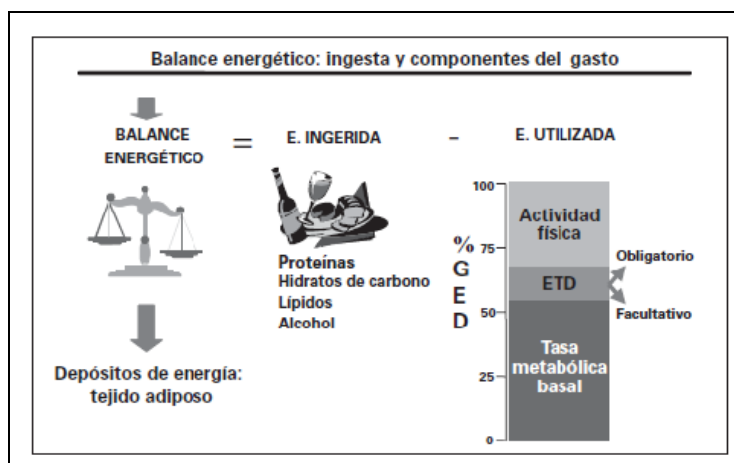


Figura 5. Balance energético: ingesta y componentes del gasto. GED: gasto energético diario; ETD: efecto termogénico de la dieta (López-Fontana, Martínez-González, y Martínez, 2003).

El metabolismo basal constituye el 60-75% del GE diario total. La tasa metabólica basal es la fracción del gasto energético consumida por un sujeto que está acostado, en reposo físico y mental, tras 12 horas de ayuno y en condiciones de neutralidad térmica (Martínez, 1998; Napoli y Horton, 1999). Las necesidades energéticas debidas a la tasa metabólica basal se explican por la necesidad de mantenimiento de procesos vitales como la respiración, la circulación sanguínea, la síntesis de constituyentes orgánicos, el bombeo de iones a través de las membranas, el mantenimiento de la temperatura, etc.

(Johnson, 2001). Varios factores influyen en el metabolismo basal como el tamaño corporal, la distribución de la masa magra y grasa, la edad, el sexo, situaciones especiales como embarazo, fiebre, algunas enfermedades, factores genéticos, actividad del sistema nervioso simpático y la función tiroidea (Mataix, 2002).

Por otro lado, la energía consumida durante la AF es el componente más variable del consumo total de energía. Este componente del gasto energético fluctúa desde un mínimo del 10% en la persona confinada en una cama hasta más del 50% del consumo total de energía en deportistas. En la energía consumida en las AF incluye la que se gasta con el ejercicio voluntario y la que se consume involuntariamente en actividades y a través del control postural (Ibáñez y Eseverri, 2002). El coste energético de la AF depende de factores como la composición corporal, la intensidad y duración del ejercicio, así como de la eficacia neta del trabajo. Por otra parte, la AF parece guardar una relación inversa tanto con la edad como con la adiposidad (Adams, 2002; Labayen y col., 2002).

La energía consumida durante la AF tiende a disminuir con la edad, una tendencia que se relaciona con una declinación en la masa libre de grasa y un aumento de la masa adiposa. La realización de ejercicio físico o el incremento de la AF cotidiana es capaz de aumentar el gasto energético total, al incrementar el gasto secundario a la AF voluntaria.

Entre las personas con LM, PC y ADF existen diferencias y similitudes a distintos niveles acentuando a nivel metabólico y funcional. La primera diferencia radica en el tiempo transcurrido desde la LM, ya que las personas con PC y ADF conviven con sus desórdenes neurológicos prácticamente toda su vida, así la lesión en el SNC afecta de manera diferente y varía sus efectos a nivel de

composición corporal, de actividad, de mecanismos de adaptación o de secuelas metabólicas.

A nivel funcional, las personas con PC y ADF tienen una mayor degradación frente a las personas con LM, y aunque en la infancia son capaces de deambular, en la edad adulta este porcentaje se reduce drásticamente, solamente las personas con LM incompletas tienen la posibilidad de poder deambular, mientras que el resto necesitará ayudas técnicas o silla de ruedas para su desplazamiento. Los cambios producidos en los tres tipos de afectación afecta sustancialmente a la composición corporal y al nivel de actividad realizada, pero los cambios son distintos con diferente evolución.

En la LM se acentúa el cambio de la masa muscular por masa grasa, unido a la atrofia de los grupos musculares afectados por la paresia o parálisis. En cambio, la rigidez y el tono muscular alterado en PC y ADF provocan otra variación en la composición corporal como son las deformidades. Por supuesto cuanto más severa sea la afectación, mayores complicaciones y más visibles son estos cambios (Bauman, 2009).

A nivel metabólico hay que recalcar que la baja actividad diaria junto a los cambios en composición corporal tienen sus consecuencias, siendo más evidentes las enfermedades crónicas cardiovasculares, el sobrepeso o la obesidad, junto a la diabetes (Bauman, 2009).

Las personas con LM tienen una tasa de mortalidad más prematura respecto al resto de la población ya que los cambios en su organismo repercuten en desórdenes a distintos niveles. Las neumonías son la primera causa de mortalidad, seguido de las enfermedades cardiovasculares especialmente las cardiopatías isquémicas y las enfermedades urogenitales (Lidal y col., 2007). Los estudios realizados no son decisivos, pero se ha desarrollado una

tendencia a una mayor hipertensión y enfermedades cardiovasculares por parte de las personas con LM (Krum y col., 1992).

Las enfermedades cardiovasculares están relacionadas con el nivel de colesterol en el organismo. En algunos estudios afirman que las personas tras una LM presentan valores más bajos de colesterol unido a lipoproteínas de alta densidad, conocido como colesterol “bueno”. El parámetro más importante para elevar estos valores y por lo tanto reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares es la AF, así una inactividad crónica desemboca en un mayor riesgo de tenerlas (Washburn y Figoni, 1999; Brenes y col., 1986).

Respecto al sobrepeso y obesidad en las personas con LM se extiende aproximadamente al 66 % de la población, debido los cambios en el organismo anteriormente mencionados, aún así no existen herramientas fiables para medir y controlar el peso en esta población (Rajan y col., 2008).

Aunque la PC es un desorden neurológico no progresivo, se acentúan sus complicaciones con el paso del tiempo y también existe una mortalidad prematura, como consecuencia de factores secundarios asociados a un estilo de vida sedentario, la sarcopenia o la obesidad prematura conduce a un deterioro funcional más temprano, con una mayor prevalencia a enfermedades cardíacas coronarias, trastornos cardiometabólicos (hipertensión, diabetes, sobrepeso, dislipemia) junto a mayor fragilidad respecto al resto de población (Peterson y col., 2013).

Las personas con PC sobre todo en la edad adulta también desarrollan sobrepeso y obesidad por el estilo de vida sedentario (Peterson y col., 2013) por lo que la práctica regular de AF resultará determinante para su calidad de vida.

Las miocardiopatías y la diabetes mellitus son las complicaciones más extendidas en personas con ADF (Delatycki y col., 2000). Prácticamente todas las personas con ADF, presentan una temprana y reducida respuesta por parte de la insulina, fuertemente asociada con la repetición del trinucleótido GAA, diagnosticada como la causa de la ADF (Ristow y col., 1998) junto a la falta de frataxina (antioxidante) inexistente en personas con ADF y asociada con la diabetes mellitus no insulino dependiente (Maring y Croarkin, 2007). La diabetes se extiende entre un 10-20 % de las personas con ADF, (Watkins y Thomas, 1998) y un 30 % muestra alterada la tolerancia a la glucosa (Finocchiaro y col., 1988).

Las pocas investigaciones sobre el GE durante la realización de AF en personas con alteraciones neurológicas concluyen que tanto las personas con LM como las que se desplazan habitualmente en silla de ruedas, hacen muy poca actividad diaria y tienen un GE mucho menor que el resto de la población (Dearwater y col., 1985; Conger y Basset, 2011; Monroe y col., 1998; Collins y col., 2010). Este efecto es aún mayor en las personas con LM más alta, quienes tienen un GE menor (Yamasaki y col., 1992; Buchholz y Pencharz, 2004).

En estudios del GE de personas adultas con PC (Johnson y col., 2005) se recalca que existe gran variabilidad energética entre las personas deambulantes y las que no.

Finalmente, en personas con ADF, la mutación del gen provoca alteraciones en la producción energética mitocondrial y se sugiere un deterioro energético cardíaco incluso en ausencia de cardiomiopatías (Shawn y col., 2007).

1.3.2 Percepción subjetiva de la intensidad de trabajo

El ejercicio es un estímulo estresante para el organismo, que conlleva a unas adaptaciones para poder afrontar dicho estrés. Por ello lo primero que se requiere son órdenes motoras desde el SNC, seguidas casi simultáneamente de una movilización general de energía para atender las demandas del tejido muscular activo. El tejido muscular activo será determinante tanto por sus necesidades energéticas como por los cambios acontecidos en su medio interno celular, el que determina y condiciona las modificaciones en las respuestas de los sistemas cardiovascular, respiratorio y neuroendocrino de manera prioritaria, y sistemas como el renal o el gastrointestinal de manera secundaria, relacionado indirectamente con las necesidades energéticas.

En la determinación de la intensidad durante ese estímulo estresante como es el EF, la percepción subjetiva del esfuerzo (PE) es un indicador a tener en cuenta, y está condicionada por una doble información: la procedente de la ventilación pulmonar (componente central) y la proveniente de los músculos ejercitantes (componente periférico); ambas informaciones se expresan habitualmente por un valor de una escala numérica, siendo las más utilizadas la escala de Borg (6-20) y la escala modificada de Borg (0-10), ambas miden un rango que va desde un esfuerzo muy ligero hasta un esfuerzo muy duro.

Esta percepción dota de una información importante para la asignación oportuna de la intensidad del esfuerzo en cada persona. Conseguir realizar un entrenamiento adecuado en personas con desórdenes neurológicos, pasa por conocer las alteraciones y/o déficits en las funciones neuromusculares, cardiovasculares, respiratorias, así como las respuestas fisiológicas a diferentes ejercicios.

Adherido al tipo y/o grado del desorden, las consecuencias en el organismo y su comportamiento cambiará ante el esfuerzo, destacando que las secuelas en distintas áreas variarán su severidad dependiendo del tipo y grado de la lesión, así como sus cambios a lo largo del tiempo (Hicharro y col., 2013).

1.3.3 Consideraciones finales

En resumen, una vida activa reporta mayor bienestar a las personas, tanto a nivel físico como psicológico y social. De este modo, introducir la AF en la vida cotidiana mejorará la salud y la calidad de vida, singularmente a las personas más sedentarias, que suelen ser las personas con discapacidad.

En España hay aproximadamente 3,8 millones de personas con discapacidad y los desórdenes neurológicos son de los más frecuentes y la causa inicial de que muchas personas encuentren constantemente obstáculos para el acceso a servicios tan importantes como el de la sanidad, la educación, el empleo, el transporte o la información, incluyendo también la práctica de AF.

La Convención de la ONU de 2006 sobre los derechos de las personas con discapacidad fue un punto de inflexión, a partir del cual, la política social comunitaria aumentó su atención a este colectivo para asegurar los derechos humanos de las personas con discapacidad y evitar así la exclusión social y la discriminación. Aunque todavía queda mucho trabajo que realizar para alcanzar una inclusión real no solo social sino también deportiva, existe la obligación tanto legal como moral de quienes trabajamos en el ámbito deportivo de conseguirlo con medidas que favorezcan esta inclusión.

Las diferencias a nivel funcional, de composición corporal, mecanismos de adaptación o las secuelas metabólicas entre los grupos de LM, PC y ADF son evidentes. Al subrayar los cambios metabólicos se recalca que la baja AF diaria junto a los cambios en composición corporal favorece cambios metabólicos que aumentan la probabilidad de contraer enfermedades coronarias, otras crónicas como el sobrepeso o la obesidad y que pueden ser disminuidas a través de una planificación de AF adecuada.

Sin embargo, la diversidad de desórdenes neurológicos y los distintos grados de afectación tanto a nivel motor, sensitivo, autónomo como cognitivo, junto a las diversas y poco estudiadas respuestas frente al EF derivan en una falta de información específica importante para dosificar la AF adecuada a cada persona. Conocer el efecto concreto del ejercicio sobre su GE para poder ajustar su ingesta de alimentos es uno de los objetivos de este estudio.

El GE de las personas con diferentes desórdenes neurológicos puede ser muy distinto y tiene gran relevancia, ya que el organismo tendrá unas demandas energéticas distintas. Además, el GE durante la AF es el componente más variable del consumo total de energía. Para equilibrar tanto la ingesta como el gasto energético y por lo tanto adecuar el balance energético, es necesario conocer tanto la respuesta energética del organismo ante una actividad determinada, como conocer los factores que le afectan. Por último, factores como la intensidad y la duración del ejercicio tienen especial relevancia ante la prevención y tratamiento de cardiopatías, problemas respiratorios, el sobrepeso o la diabetes, que son las principales causas de mortalidad en personas con tetraplejia, PC y ADF.

Es evidente que la información al respecto es muy escasa y en muchas ocasiones muy general, por lo tanto, se necesita profundizar en el conocimiento

del GE durante la práctica de AF en personas con LM, PC y ADF (las alteraciones neurológicas más frecuentes), midiendo su GE durante la práctica de ejercicio de PB a intensidades bajas o medias (ejercicio aeróbico) y comparándolo con personas sin alteración neurológica, para quienes existe una amplia serie de estudios y recomendaciones.

Debe procurarse adecuar tanto la planificación de las cargas del entrenamiento como la ingesta alimenticia con el fin último de atender las demandas energéticas para cada persona y reducir así complicaciones en su salud.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Conocer el efecto del ejercicio de pedaleo de brazos sobre la respuesta fisiológica de personas con diferentes desórdenes neurológicos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Comparar la respuesta cardíaca, respiratoria y de gasto energético, durante el ejercicio de pedaleo de brazos, entre personas con Parálisis Cerebral, Ataxia de Friedreich y Lesión Medular.
- Comparar la respuesta cardíaca, respiratoria y de gasto energético, ante un incremento en la intensidad del ejercicio de pedaleo de brazos, entre personas con Parálisis Cerebral, Ataxia de Friedreich y Lesión Medular.
- Analizar la respuesta fisiológica en función de las características de los diferentes desórdenes neurológicos y generar recomendaciones prácticas para la planificación y el control del Ejercicio Físico de personas con diferentes desórdenes neurológicos.

Análisis de parámetros fisiológicos durante el pedaleo de brazos en personas con lesión medular, con parálisis cerebral y ataxia cerebelosa.

2. MATERIAL Y MÉTODO

El estudio se desarrolló aprovechando el desarrollo simultáneo de un proyecto de desarrollo y oferta de Actividad Física Adaptada para personas con diferentes tipos y niveles de discapacidad, dirigida de forma coordinada entre las Facultades de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte y de Fisioterapia, de la Universidad de Valencia y la Asociación TetraSport.

Tanto la determinación de los objetivos de la investigación, como el diseño de la misma y la selección de los participantes, fue claramente influida y favorecida por la implicación personal de la autora de esta Tesis Doctoral, así como su Director, en el desarrollo del mencionado proyecto.

2.1 Diseño de la investigación

Se trata de un estudio descriptivo de corte transversal, en el que se compara la respuesta del organismo frente a un ejercicio similar y normalizado, para cinco grupos de personas con diferentes tipos y niveles de afectación neurológica.

2.2 Participantes

En primer lugar se establecieron cuatro subgrupos de participantes, según el tipo y/o nivel de afectación neurológica:

- Lesión Medular Alta (LMA): Personas con tetraplejia con un nivel de lesión entre las vértebras cervicales C5 y C6.

- Lesión Medular Baja (LMB): Personas con tetraplejia un nivel de lesión entre las vértebras cervicales C6 y C7.
- Parálisis cerebral (PC): Personas con parálisis cerebral de tipo espástica.
- Ataxia cerebelosa (ADF): Personas con ataxia de Friedreich

Se creó un grupo total de 32 personas con las siguientes características (tablas 2 y 3):

- Grupo Experimental: 16 personas, constituido por 4 subgrupos: LMA (4 hombres); LMB (4 hombres); PC (2 hombres y 2 mujeres) y ADF (4 mujeres). Con una media de edad de $37,8 \pm 7,0$ años.
- Grupo Control: 16 personas (8 hombres y 8 mujeres), estudiantes universitarios de Ciencias de la Actividad Física y de Fisioterapia, con una media de edad $25,8 \pm 6,1$ años.

Los miembros del grupo experimental realizaban habitualmente EF de pedaleo de brazos, y llevaban realizándolo al menos durante los 6 meses previos al estudio, estando por lo tanto muy familiarizados con este tipo de ejercicio. Los miembros del grupo Control eran practicantes habituales de EF y/o Deporte.

Debe tenerse muy en consideración la dificultad que conlleva reunir un grupo homogéneo cuando se trata de realizar un experimento con personas con altos niveles de afectación neurológica, especialmente si se requiere que practiquen habitualmente ejercicio. Es muy posible que en varios de los grupos analizados se haya reunido a más de la mitad de personas residentes en España con ese tipo y nivel de afectación y que practiquen AF de modo regular.

En este estudio participaron personas de la ciudad de Valencia, de pueblos colindantes, así como de otras provincias como Castellón y Alicante.

Todos los participantes fueron informados del riesgo que implicaba su participación en el estudio, y dieron su consentimiento firmado/verbal para formar parte del estudio. El estudio y sus protocolos fueron desarrollados conforme a los principios éticos de la Universidad de Valencia y el CIOMS (Council for International Organizations of Medical Sciences).

Tabla 2. Características de los participantes

Grupo	Número de participantes	Edad (Años)	Género (M/F)	Masa (Kg)
Control	16	25,8 ± 6,1	8 F	66,8 ±
			8 M	11,4
LMA	4	35,7 ± 10,9	4 M	75,5 ± 8,3
LMB	4	40,7 ± 6,4	4 M	74,7 ± 8,1
PC	4	40,2 ± 8,0	1 F	49,2 ±
			3 M	10,1
ADF	4	34,5 ± 2,5	4 F	59,7 ± 13,6
Total/Media	32	35,4 ± 6,8	13 F	65,2 ±
			19 M	10,3

LMA: Lesión Medular Alta; LMB: Lesión Medular Baja; PC: Parálisis Cerebral; ADF: Ataxia de Friedreich; F: Femenino; M: Masculino.

Análisis de parámetros fisiológicos durante el pedaleo de brazos en personas con lesión medular, con parálisis cerebral y ataxia cerebelosa.

Tabla 3. Clasificación del nivel de afectación neurológica de los participantes

Participante	Grupo	Valoración	Tiempo desde la lesión (años)
1	LMA	ASIA C5-C6 B	10
2	LMA	ASIA C5 A	15
3	LMA	ASIA C5 A	4
4	LMA	ASIA C5-C6 C	1
5	LMB	ASIA C7 A	5
6	LMB	ASIA C6 B	18
7	LMB	ASIA C6-C7 A	30
8	LMB	ASIA C6-C7 A	11
9	PC Espástica	GMFCS IV	Nacimiento
10	PC Espástica	GMFCS V	Nacimiento
11	PC Espástica	GMFCS IV	Nacimiento
12	PC Espástica	GMFCS IV	Nacimiento
13	ADF	ICARS: 49/100	Progresivo Genético
14	ADF	ICARS: 49/100	Progresivo Genético
15	ADF	ICARS: 69/100	Progresivo Genético
16	ADF	ICARS: 75/100	Progresivo Genético

ASIA (American Spinal Injury Association); GMFCS (Gross Motor Function Classification System); ICARS (International Cooperative ADF Rating Scale); PC: Parálisis Cerebral; ADF: Ataxia de Friedreich.

2.3 Variables

A continuación se presentan las variables definidas para el estudio:

FC: Frecuencia cardíaca (min^{-1}).

FR: Frecuencia respiratoria (min^{-1}).

VT: Volumen corriente (l).

VE: Volumen espirado ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$).

VO_2R : Consumo de Oxígeno relativo ($\text{ml O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{Kg}^{-1}$).

VO_2/FC : Pulso de Oxígeno (ml O_2).

VE/VO_2 : Equivalente ventilatorio de O_2 .

VE/VCO_2 : Equivalente ventilatorio de CO_2 .

R: Cociente respiratorio.

Descripción de las variables:

Frecuencia cardíaca (FC)

Es el número de contracciones del corazón por minuto.

Frecuencia respiratoria (FR)

Indica el número de ciclos respiratorios (inspiración y espiración completa) en un minuto.

Volumen corriente (VT)

Volumen de aire inspirado o espirado en un ciclo respiratorio normal (una inspiración y una espiración completa).

Volumen espirado (VE)

Volumen de gas inspirado en un minuto. El VE depende del volumen corriente (VT) y la frecuencia respiratoria (FR) según la ecuación: $VE = VT \cdot FR$.

Consumo de Oxígeno relativo (VO₂R)

El VO₂R es la cantidad de O₂ que el organismo absorbe de la atmósfera, transporta a los tejidos y consume por unidad de tiempo y relativo a la masa corporal de la persona.

Pulso de Oxígeno (VO₂/ FC)

Es el volumen de O₂ extraído por los tejidos en cada ciclo cardíaco. Representa el consumo de O₂ en cada latido, es un parámetro indicativo indirecto del gasto cardíaco y de la eficiencia del sistema cardiovascular. Se puede definir como VO₂ / FC o bien como VS x Dif a-v de O₂.

Equivalente ventilatorio de O₂ (VE/VO₂)

El equivalente ventilatorio de O₂ (VE/VO₂) representa la cantidad de aire que se moviliza para consumir 1 ml de O₂. Es decir, refleja la relación entre la ventilación y el consumo de O₂.

Equivalente ventilatorio de CO₂ (VE/VCO₂)

El equivalente ventilatorio de dióxido de carbono (VE/VCO₂) representa la cantidad de aire que se moviliza para consumir 1 ml de dióxido de carbono (CO₂). Es decir, refleja la relación entre la ventilación y la eliminación de CO₂.

Cociente respiratorio (R)

Es la relación entre el VO₂ (consumo de O₂) y la producción de CO₂.

2.4 Instrumentos de medición

Los instrumentos experimentales y de medición utilizados fueron los siguientes:

1. Ergómetro de brazos MONARK Rehab Trainer 881 E.

Instrumento clásico de valoración que permite realizar un pedaleo de brazos de acuerdo al diseño del estudio, con ajuste de la carga por fricción, con un rango de ajuste entre 0 W y 100 W, resolución de 5 W y precisión de ajuste de la carga de $\pm 2,5$ W.



Figura 6. Ergómetro de brazos Monark Rehab Trainer 881 E.

2. Analizador de gases portátil Cosmed k4b2 (Cosmed, Roma, Italia)

Instrumento para la medición precisa de la respuesta cardiorrespiratoria al ejercicio. Con este sistema se midieron (y calcularon) las variables: FC, FR, VT, VE, VO_2R , VO_2/FC , VE/VO_2 , VE/VCO_2 , R.



Figura 7. Máscara, flujómetro de turbina, batería, unidad portátil k4b2.

3. Cardiotacómetro

Además de la medición de FC que se realizaba mediante el analizador de gases, se utilizó un cardiotacómetro Polar®XTrainer Plus junto con una Polar® Interface Plus (Polar Electro OY Finlandia) y la aplicación Polar Training Advisor versión 1.10.021, con un fin de seguridad y tener monitorizados doblemente a los participantes.

4. Escala modificada de Percepción subjetiva del esfuerzo de Borg

Mediante esta escala se valoró la intensidad del ejercicio de manera subjetiva de cada uno de los participantes y en cada una de las pruebas, tras la finalización de las mismas.

Tabla 4. Escala Modificada de Borg, utilizada para la medición de la percepción subjetiva del esfuerzo.

Valor	Apreciación
0	Nada
0,5	Muy muy leve
1	Muy leve
2	Leve
3	Moderada
4	Algo fuerte
5	Fuerte o intensa
6	-
7	Muy fuerte
8	-
9	Muy, muy fuerte (submáxima)
10	Máxima

2.5 Desarrollo de la experimentación

Aspectos generales

El experimento se desarrolló íntegramente en instalaciones de las Facultades de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte y de Fisioterapia, de la Universidad de Valencia, aprovechando el desarrollo simultáneo del proyecto TetraSport, entre abril y julio de 2013.

En primer lugar se llevaron a cabo diferentes pruebas preliminares, basadas en la experiencia de los profesionales con los participantes, hasta poder determinar

que tipo de prueba, que niveles de intensidad, que cadencia de pedaleo, que ergómetro de brazos y, en definitiva, que protocolo, podía aplicarse por igual modo a todos los participantes del estudio.

Si bien la gran mayoría de estudios relacionados con la medición de parámetros fisiológicos en cicloergómetro recomiendan una cadencia de entre 50 min^{-1} y 60 min^{-1} , los grupos de participantes con PC y ADF eran absolutamente incapaces de pedalear a esa cadencia. De este modo, se estableció una cadencia óptima de 20 min^{-1} para los tres grupos que, si bien podría generar cierta imprecisión en el ajuste de la potencia exigida, permitía la realización del estudio.

Las mediciones formales tuvieron lugar en el laboratorio de Fisioterapia de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. En un ambiente tranquilo donde se controlaron las condiciones ambientales de temperatura (entre $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y la humedad relativa (entre 40% y 60%).

Las condiciones previas para la realización de la prueba no resultaron muy exigentes ya que no se trataba de una prueba máxima, aún así se exigió a los participantes:

- No haber realizado esfuerzos intensos desde el día anterior a la prueba.
- Vestir con ropa cómoda.
- No ingerir alimentos ni bebidas estimulantes 2 horas previas a la prueba.
- Haber vaciado la vejiga durante la última hora.

Los criterios de interrupción que se tendrían en cuenta:

- Disnea severa.

- FC muy elevada.
- Malestar del participante, signos de vértigo, mareo o desmayo.

Desarrollo de la prueba

La prueba completa consistió de 2 series de 5 minutos de pedaleo de brazos continuo en un ergómetro de brazos, a 2 intensidades diferentes: $0,2 \text{ W} \cdot \text{Kg}^{-1}$ y $0,4 \text{ W} \cdot \text{Kg}^{-1}$.

Como medida tanto de control como de seguridad se monitorizó la FC y VO_2 en tiempo real durante el transcurso de la prueba.

Definidas las intensidades en función del peso de cada participantes y cumplimentados los datos de la hoja de registro, se procedió a la colocación del cardiotacómetro, de la máscara adecuada para cada persona, se colocó la turbina y se le ajustó mediante el soporte de cabeza.

El correcto funcionamiento y por tanto la validez de los datos obtenidos mediante el analizador de gases depende de una adecuada calibración previa, así como una apropiada conexión entre la unidad portátil y receptora del k4b² que analiza los gases y envía los datos al ordenador.

El protocolo del ejercicio dio comienzo con un calentamiento de duración comprendida entre 5 y 8 minutos. Tras este calentamiento se reajustaron las posiciones, las sujeciones de las manos en las empuñaduras, etc. siempre guiados por la opinión del participante.

Durante todo el desarrollo de la prueba se adquirió con el analizador de gases en modo “respiración a respiración”.

Una vez que el participante ajustó su cadencia de pedaleo a la cadencia indicada (20 min^{-1}) y la FC se mostró estable, se dio comienzo a la prueba.

Tras la finalización de la primera prueba se comprueba si es necesario algún ajuste y se reanudó el pedaleo fijando previamente la segunda intensidad.

Todos los participantes, y de acuerdo a sus necesidades, contaron con un sistema de estabilización/fijación de su tronco y de apoyo de sus pies, elementos que permitiesen la sujeción pasiva de las manos.

Para cada grupo se tuvieron en cuenta algunas particularidades a destacar:

- Grupo Control: Todos los participantes realizaron la prueba montados la misma silla de ruedas, a la distancia pertinente para una correcta extensión de codo. El tronco debía estar erecto en todo momento y los pies apoyados, para evitar la implicación de otros grupos musculares. La cadencia a la que realizaron la prueba residía en el rango de 18 min^{-1} a 22 min^{-1} .
- Grupo LM: Todos los participantes realizaron la prueba con su propia silla (la mayoría eléctrica). Además se hicieron las adaptaciones necesarias para que realizaran las pruebas sin molestias. Se utilizaron vendajes, y otros sistemas para asegurar una correcta posición y estabilización del cuerpo cuando fue necesario.
- Grupo PC: Todos los participantes realizaron la prueba con su propia silla (eléctrica en todos los casos) y también se ejecutaron los ajustes necesarios para realizar la prueba según sus necesidades de fijación de manos y tronco.

- ADF: Todas los participantes realizaron la prueba con su propia silla de ruedas (eléctrica o manual) ejecutando del mismo modo los ajustes individuales necesarios para la correcta realización de las pruebas.

Al finalizar cada prueba, se pidió a cada participante que valorara el esfuerzo percibido/realizado para así completar la ficha de registro con la puntuación correspondiente a su PE en la escala modificada de Borg (Tabla 4).

2.6 Tratamiento de los datos primarios

El almacenamiento primario de datos de espirometría se llevó a cabo en la propia aplicación del analizador de gases (k4b²), creando un usuario para cada participante donde se introdujeron además sus datos antropométricos, imprescindibles para el cálculo de algunas de las variables.

A continuación, los datos registrados durante las pruebas fueron exportados en formato “xls” para su depuración, estructuración, codificación, así como la creación de las variables “factores de clasificación” y el consiguiente tratamiento estadístico.

2.7 Tratamiento estadístico

En primer lugar, se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para estudiar la normalidad de la distribución de todas las variables cuantitativas, sin detectar datos sesgados o heteroscedásticos.

Se fijó un nivel de significación Alfa = 0,05 para todas las pruebas estadísticas.

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA), para cada una de las variables, en función de los factores “Intensidad” y “Grupo”, analizando además la interacción entre estos dos factores.

Debido a que el factor “Grupo” presenta más de dos niveles (concretamente cinco), se utilizó una prueba de rango múltiple (MRT) para conocer entre que niveles del factor las diferencias resultaban estadísticamente significativas, para un p global $< 0,05$.

Todas las pruebas estadísticas se llevaron a cabo con la aplicación StatGraphics (versión 16.1).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

A continuación se presentan los resultados del análisis de la varianza, para cada una de las variables dependientes, en función de los factores Intensidad y Grupo así, como la interacción entre ambos factores.

FC – Frecuencia cardíaca

Factor Intensidad

(Tabla 5)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$ y MRT) en FC entre los dos niveles del factor Intensidad para el grupo Control (8 %), para el grupo LMA (20 %), para el grupo LMB (16 %), y para el grupo ADF (9 %), correspondiendo el mayor valor en todos los casos a la Intensidad 2.

Para el grupo PC no se encontraron diferencias significativas (MRT) en FC entre ambos niveles del factor Intensidad.

Factor Grupo

Los grupos Control y LMB obtuvieron valores de FC similares entre ellos ($p < 0,001$ y MRT) y los más bajos, seguidos del grupo LMA, con valores más altos, 15 % a intensidad 1 y 28 % a intensidad 2. El grupo ADF alcanzó valores más altos, 54 % a intensidad 1 y 56 % a intensidad 2, y el

grupo PC alcanzó valores más altos, 86 % a intensidad 1 y 72 % a intensidad 2, siempre respecto al grupo Control.

Interacción

La interacción entre los factores Intensidad y Grupo resultó significativa ($p < 0,001$) para FC.

FR – Frecuencia respiratoria

Factor Intensidad

(Tabla 5)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) en FR entre los dos niveles del factor Intensidad para el grupo Control (3 %), para el grupo LMA (25 %), para el grupo LMB (16 %), para el grupo PC (5 %) y para el grupo ADF (8 %), correspondiendo el mayor valor siempre a la Intensidad 2, excepto para el grupo Control cuyos valores en la Intensidad 1 fueron un 3 % más altos respecto a la intensidad 2.

Factor Grupo

El grupo Control obtuvo los valores más bajos ($p < 0,001$ y MRT) de FR, seguido del grupo LMB, con valores 8 % más bajos a intensidad 1 y 29 % más altos a intensidad 2.

El grupo ADF alcanzó valores de FR más altos que el grupo Control, 24 % a intensidad 1 y 38 % a intensidad 2.

El grupo LMA alcanzó valores más altos de FR que el grupo de control, 27 % a intensidad 1 y 63 % a intensidad 2.

Por último, el grupo PC alcanzó valores más altos de FR que el grupo Control, 183 % a intensidad 1 y 205 % a intensidad 2.

Interacción

La interacción entre los factores Intensidad y Grupo resultó significativa ($p < 0,001$) para FR.

VT - Volumen corriente

Factor Intensidad

(Tabla 5)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$ y MRT) en VT entre los dos niveles del factor Intensidad para el grupo Control (21 %), para el grupo LMA (5 %), para el grupo LMB (18 %), y para el grupo ADF (16 %), correspondiendo el mayor valor siempre a la Intensidad 2.

Para el grupo PC no se encontraron diferencias significativas (MRT) en VT entre ambos niveles del factor Intensidad.

Factor Grupo

El grupo PC obtuvo los valores más bajos ($p < 0,001$ y MRT) de VT, seguido del grupo ADF, con valores 3 % más bajos a intensidad 1 y 17 % más altos a intensidad 2, seguido del grupo LMA con valores más altos, 7 % a intensidad 1 y 17 % a intensidad 2, seguidos del grupo LMB con valores más altos, 9 % a intensidad 1 y 32 % a intensidad 2 y por último, el grupo Control alcanzó los valores más altos, 13 % a intensidad 1 y 41 % a intensidad 2, siempre respecto al grupo PC.

Interacción

La interacción entre los factores Intensidad y Grupo resultó significativa ($p < 0,001$) para VT.

VE – Volumen espirado

Factor Intensidad

(Tabla 6)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$ y MRT) en VE entre los dos niveles del factor Intensidad para el grupo Control (18 %), para el grupo LMA (29 %), para el grupo LMB (37 %) y para el grupo ADF (26 %), correspondiendo el valor más alto siempre a la Intensidad 2.

Para el grupo PC no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$ y MRT) en VE, entre ambos niveles del factor Intensidad.

Factor Grupo

El grupo Control obtuvo los valores más bajos ($p < 0,001$ y MRT) de VE, seguido del grupo LMB, con valores 2 % más bajos a intensidad 1 y 14 % más altos a intensidad 2, seguido a su vez por el grupo ADF con valores más altos, 14 % a intensidad 1 y 22 % a intensidad 2, por el grupo LMA con valores más altos, 21 % a intensidad 1 y 33 % a intensidad 2 y finalmente por el grupo PC, con valores más altos, 173 % a intensidad 1 y 131 % a intensidad 2, siempre respecto al grupo Control.

Interacción

La interacción entre los factores Intensidad y Grupo resultó significativa ($p < 0,001$) para VE.

VO₂R – Consumo de Oxígeno relativo

Factor Intensidad

(Tabla 6)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) en VO₂R entre los dos niveles del factor Intensidad para el Control (25 %), para el grupo LMA (23 %), para el grupo LMB (35 %), para el grupo PC (9,4 %) y para el grupo ADF (15 %), correspondiendo el valor más alto siempre a la Intensidad 2.

Factor Grupo

Los grupos LMA y LMB obtuvieron los valores más bajos ($p < 0,001$ y MRT) de VO₂R, seguido del grupo Control, con valores más altos, 20 % a intensidad 1 y 11 % a intensidad 2, del grupo ADF, con valores más altos, 37 % a intensidad 1 y 17 % a intensidad 2 y del grupo PC con valores más altos, 143 % a intensidad 1 y 98 % a intensidad 2, siempre respecto a los grupos LMA y LMB.

Interacción

La interacción entre los factores Intensidad y Grupo no resultó significativa ($p > 0,05$) para VO₂R.

VO₂/FC – Pulso de Oxígeno

Factor Intensidad

(Tabla 6)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$ y MRT) en VO_2/FC entre los dos niveles del factor Intensidad para el grupo Control (15 %), para el grupo LMB (18 %), para el grupo ADF (7 %) y para el grupo PC (8 %), correspondiendo el valor más alto siempre a la Intensidad 2.

Para el grupo LMA no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$ y MRT) en VO_2/FC entre ambos niveles del factor Intensidad.

Factor Grupo

El grupo ADF obtuvo los valores más bajos ($p < 0,001$ y MRT) de VO_2/FC , seguido del grupo LMA, con valores más altos, 34 % a intensidad 1 y 27 % a intensidad 2, seguidos también del grupo PC con valores más altos, 37 % a intensidad 1 y 38 % a intensidad 2, del grupo LMB, con valores más altos, 53 % a intensidad 1 y 68 % a intensidad 2, y del grupo Control con valores más altos, 57 % a intensidad 1 y un 68 % a intensidad 2, siempre respecto al grupo ADF.

Entre los grupos LMB y Control no se encontraron diferencias significativas en VO_2/FC (MRT).

Interacción

La interacción entre los factores Intensidad y Grupo resultó significativa ($p < 0,001$) para VO_2/FC .

VE/VO₂ – Equivalente ventilatorio de O₂

Factor Intensidad

(Tabla 7)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas (únicamente en MRT) en VE/VO₂ entre los dos niveles del factor Intensidad para el grupo Control (6 %), para el grupo LMA (14 %), para el grupo LMB (4 %), para el grupo PC (8 %) y para el grupo ADF (10 %), correspondiendo el valor más alto a la Intensidad 2 para los grupos LMA y ADF, mientras que para los grupos Control, LMB y PC el valor más alto correspondió a la Intensidad 1.

Para el grupo LMB no se encontraron diferencias significativas (MRT) en VE/VO₂ entre ambos niveles del factor Intensidad.

Factor Grupo

El grupo Control obtuvo los valores más bajos ($p < 0,001$ y MRT) de VE/VO₂, seguido del grupo LMB, con valores más altos, 16 % a intensidad 1 y 18 % a intensidad 2, del grupo ADF, con valores más altos, 17 % a intensidad 1 y 37 % a intensidad 2, del grupo LMA, con valores más altos, 30 % a intensidad 1 y 58 % a intensidad 2 y del grupo PC con valores más altos, 75 % a intensidad 1 y 71 % a intensidad 2, siempre respecto al grupo Control.

Interacción

La interacción entre los factores Intensidad y Grupo resultó significativa ($p < 0,001$) para VE/VO₂.

VE/VCO₂ – Equivalente ventilatorio de CO₂

Factor Intensidad

(Tabla 7)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,0262$ y MRT) en VE/VCO₂ entre los dos niveles del factor Intensidad únicamente para el grupo Control (5 %) correspondiendo el valor más alto a la Intensidad 1.

Factor Grupo

El grupo Control obtuvo los valores más bajos ($p < 0,001$ y MRT) de VE/VCO₂, seguido del grupo ADF, con valores más altos, 15 % a intensidad 1 y 25 % a intensidad 2, del grupo LMA y LMB (sin diferencias significativas entre ambos grupos) con valores más altos, 25 % para LMA a intensidad 1 y 40 % para LMA a intensidad 2, 46 % para LMB a intensidad 1 y 21 % para LMB a intensidad 2, siempre respecto al grupo Control.

Por último, el grupo PC alcanzó valores más altos que el grupo Control, 49 % a intensidad 1 y 55 % a intensidad 2.

Interacción

La interacción entre los factores Intensidad y Grupo resultó significativa ($p = 0,0005$) para VE/VCO₂.

R – Cociente respiratorio

Factor Intensidad

(Tabla 7)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$ y MRT) en R entre los dos niveles del factor Intensidad para el grupo LMA (9 %), LMB (6 %), para el grupo PC (12 %) y para el grupo ADF (6 %), correspondiendo el valor más alto a la Intensidad 2, a excepción del grupo PC con el valor más alto a Intensidad 1.

Para el grupo Control no se encontraron diferencias significativas (MRT) en R entre ambos niveles del factor Intensidad.

Factor Grupo

El grupo Control obtuvo los valores más bajos ($p < 0,001$ y MRT) de R, seguido del grupo LMB, con valores 2 % más bajos a intensidad 1 y 4 % más altos a intensidad 2, del grupo ADF con valores más altos, 2 % a intensidad 1 y 5 % a intensidad 2, y de los grupos PC y LMA (sin diferencias significativas entre ambos grupos) y con valores más altos, 19 % para PC a intensidad 1 y 1 % para PC a intensidad 2, 7 % para LMA a intensidad 1 y 13 % para LMA a intensidad 2, siempre respecto al grupo Control.

Interacción

La interacción entre los factores Intensidad y Grupo resultó significativa ($p < 0,001$) para R.

PE – Percepción del Esfuerzo

Factor Intensidad

(Tabla 8)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$ y MRT) entre los niveles del factor Intensidad para el grupo Control (131 %), LMA (238 %), LMB (83 %), PC (48 %), ADF (48 %). Siendo en todos los casos la PE más alta a Intensidad 2.

Factor Grupo

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$ y MRT) entre los niveles del factor Grupo.

El grupo Control mostró los valores más bajos con 1,27 a intensidad 1 y 2,95 a intensidad 2. El grupo LMB mostró valores más altos, 56 % a intensidad 1 (1,99) y 83 % a intensidad 2 (3,63) respecto al grupo Control. El grupo ADF obtuvo valores más altos, 88 % más a intensidad 1 (2,39) y 48 % más a intensidad 2 (3,54). El grupo PC 120 % más altos a la intensidad 1 (2,80) y 48% más altos a intensidad 2 (4,14). Por último el grupo LMA alcanzó valores más altos 113 % a intensidad 1 (2,71) y 210 % más a intensidad 2 (9,16).

Interacción

La interacción entre los factores Intensidad y Grupo resultó significativa ($p < 0,001$) para PE.

Tabla 8. Valores medios de la variable Percepción del Esfuerzo (PE) según el factor Grupo e Intensidad.

<i>Nivel</i>	<i>Media ± SE</i>	<i>Grupo por Intensidad</i>	<i>Intensidad (W · Kg⁻¹)</i>	<i>Media ± SE</i>
GRAN MEDIA	3,46	0 (Control)	0,2	1,27 ± 0,03
Grupo		0 (Control)	0,4	2,95 ± 0,03
0 (Control)	2,11 ± 0,02	1 (LMA)	0,2	2,71 ± 0,04
1 (LMA)	5,93 ± 0,03	1 (LMA)	0,4	9,16 ± 0,05
2 (LMB)	2,81 ± 0,03	2 (LMB)	0,2	1,99 ± 0,05
3 (PC)	3,47 ± 0,02	2 (LMB)	0,4	3,63 ± 0,05
4 (ADF)	2,97 ± 0,03	3 (PC)	0,2	2,80 ± 0,03
Intensidad		3 (PC)	0,4	4,14 ± 0,03
I1 = 0,2	2,23 ± 0,02	4 (ADF)	0,2	2,39 ± 0,05
I2 = 0,4	4,68 ± 0,02	4 (ADF)	0,4	3,54 ± 0,05

SE: error estándar; Control: grupo control; LMA: grupo lesión medular alta; LMB: lesión medular baja; PC: grupo parálisis cerebral; ADF: grupo ataxia de Friedreich; 0,2: intensidad 1; 0,4: intensidad 2.

3.2 Discusión de los resultados

A continuación se lleva a cabo una interpretación los resultados obtenidos así como su comparación con resultados de otros estudios realizados con personas con similar afectación neurológica.

A la intensidad de ejercicio analizada, era esperable que la FC del grupo Control no mostrara variaciones significativas, ya que no supondría un estímulo estresante para su organismo. En cambio estas mismas intensidades tuvieron respuestas diversas en los grupos de personas con distintos desordenes neurológicos.

Los valores más bajos de FC los obtuvieron el grupo Control y el grupo LMB con un comportamiento similar. El grupo LMB tiene un nivel de lesión medular cervical más baja, respecto al grupo LMA, por lo que el sistema autónomo, encargado de la activación nerviosa del corazón, está menos comprometido, su actividad parece no verse afectada y el corazón responde del modo esperable a ambas intensidades.

Por el contrario, el grupo LMA, con un nivel de lesión medular más alto, la regulación de la FC está más afectada que el grupo LMB y la respuesta del corazón se ve alterada (reducida en este caso) por la afectación del SNA. La intensidad del ejercicio supuso un estrés mayor para su organismo y una respuesta acentuada del corazón, obteniendo un incremento de la FC respecto al grupo Control del 15 % a la intensidad 1 y 28 % en la intensidad 2. A estas intensidades, sobre todo a la segunda, el grupo LMA va más al límite de sus capacidades respiratorias, cardiovasculares (y posiblemente musculares), lo que además se refleja en los valores más altos (junto al grupo PC) de FR y VE. Una prueba de esto es que para mantener la intensidad del ejercicio,

los participantes del grupo LMA se veían forzados a acompañar el PB con movimientos de la cabeza y/o del tronco, perdiendo eficiencia tanto mecánica como a nivel respiratorio y acercándose muy posiblemente también a su límite muscular.

Estos resultados de FC difieren con los de estudios como Hicks y col., (2003), Coutts y col., (1983), Hjeltnes (1986) y West y col., (2012), en los que personas con tetraplejia, en ocasiones comparados con personas con tetraplejia más baja o incompleta, y en otras comparadas con personas con paraplejia, siempre obtuvieron valores menores de FC, en pruebas de esfuerzo máximas, en las que se busca obtener el mayor nivel de consumo de oxígeno.

Nuestro estudio, a diferencia de los citados anteriormente, no se trata de una prueba máxima para todos los grupos, pero si resulta de muy alta intensidad, la Intensidad 2, para el grupo LMA. La conclusión, tanto en este como en los estudios mencionados, podría coincidir: la capacidad cardiorrespiratoria está limitada por la tetraplejia y marca diferencias importantes según el nivel de lesión.

Así pues, las razones por las que en una prueba máxima de PB los valores de FC y de VO_2 son menores en personas con LM, es simplemente porque en estas pruebas se busca medir el máximo rendimiento y la capacidad física de los otros grupos es evidentemente mayor.

La respuesta cardíaca del grupo ADF fue la esperable. Este grupo mostró una de FC más elevada (55 % de media) durante el ejercicio, frente a los grupos de LM y Control, debido a la habitual contracción involuntaria de grandes grupos musculares no implicados directamente

en el PB, lo cual supone un estrés mayor para el organismo y el sistema cardiovascular.

En el mismo sentido, resultó muy destacable, aunque perfectamente justificable, la FC alcanzada por el grupo PC, 86 % más alta a la intensidad 1 y 72 % más alta a la intensidad 2, comparadas con el grupo Control. De modo similar a lo que ocurre con el grupo ADF, la contracción de musculatura secundaria unido a la mayor espasticidad del grupo PC, somete al organismo a un estrés bastante mayor.

Sin embargo resultó sorprendente la similitud de FC registrada a las dos intensidades distintas para el grupo PC, causa por la cual la interacción entre el factor Grupo y el factor Intensidad resultara significativa ($p < 0,001$). Tras la sorpresa inicial, esto podría explicarse de modo muy simple: para las personas con PC ya supone un estímulo altamente estresante (y técnicamente complicado) moverse y realizar ejercicio.

La dificultad para coordinar la acción de diferentes músculos y realizar el PB es una tarea sumamente compleja para una persona con un nivel alto de PC y un incremento ligero o medio en la carga de trabajo puede resultar no medible en incrementos de FC.

En el mismo sentido, y basado en la experiencia de trabajar con personas con PC, es posible que con una resistencia algo mayor su coordinación intermuscular sea más eficiente y el pedaleo de brazos resulte más fluido. De este modo, el incremento de respuesta cardíaca necesaria para compensar un aumento de la intensidad de trabajo, podría verse equilibrado con un pedaleo más fluido que necesitaría, por el contrario, algo menos de energía.

Estos resultados parecen diferir con los obtenidos en el estudio de Tobimatsu y col., (1998) en el que se realizaron pruebas en PB con personas con PC al 75% de la FC máxima y no se encontraron diferencias significativas respecto al grupo control. Puede que el grado de afectación (muy leve) o la edad de los participantes (muy jóvenes) influyese en los resultados, ya que en este estudio las personas con PC eran deambulantes e independientes en ABVD (GMFS grado I), en contraposición a las características de los participantes de este estudio. En nuestro estudio los participantes del grupo PC presentaban una afectación motriz muy elevada que les sitúa en un grado IV de la escala GMFS.

Los valores de VO_2R alcanzados por los grupos PC y ADF mostraron una respuesta aumentada de GE respecto al resto de grupos, en el mismo sentido que lo observado con FC. Para el grupo PC, esto se refleja incluso a nivel respiratorio con los valores más altos de FR y VE.

Otro resultado llamativo, al combinar resultados de FC y VO_2R , es que ambos grupos de LM mostraron el menor GE durante el ejercicio de PB. En principio podría pensarse en una mayor eficiencia, quizás por lo familiar del ejercicio para los grupos LM, aunque seguramente se deba simplemente a la implicación de menor masa muscular para realizar el pedaleo de brazos. Esto incluye a la no utilización de musculatura de manos y muñecas, extensores de codos y sobre todo musculatura estabilizadora del raquis.

Estos resultados coinciden con estudios donde se comparó el GE durante la realización de distintas actividades, entre personas con y sin LM (Dearwater y col., 1985; Conger y Bassett, 2011). Del mismo modo,

coinciden con otros estudios que analizan el GE en actividades diarias donde el grupo con tetraplejia en comparación con los grupos con paraplejia y de control, obtiene menor gasto energético (Monroe y col., 1998; Pelletier y col., 2013; Buchholz y Pencharz, 2004; Yamasaki y col., 1992).

Los resultados en GE (VO_2R) de los grupos de ADF y PC resultaron bastante más altos que el resto de grupos. La afectación en el cerebelo, o en la corteza motora según el caso, causa una descoordinación muscular que les lleva a la implicación involuntaria de mucha más masa muscular de lo estrictamente necesario en el movimiento de PB, por lo que su FC como su GE es más alto que para el resto de grupos, **duplicando** el valor de GE del grupo Control.

A pesar de lo expuesto, es muy interesante destacar el trabajo de Groot y col., (2012) con personas adultas y físicamente activas, con PC, comparando tanto la capacidad aeróbica como la fuerza muscular, respecto a un grupo de control. Sus resultados subrayan que no existen diferencias en el $VO_2MÁX$, pero la fuerza muscular de las personas con PC está más limitada respecto al grupo de control. Parcialmente de acuerdo, la revisión de Hombergen y col. (2012), destaca la reducción en tres componentes de la CF como son la fuerza muscular (34 % - 60 %), la resistencia muscular (27 % - 52 %) y la resistencia cardiorrespiratoria (14 %) en jóvenes con PC comparado con un grupo Control.

Nuestro estudio aporta algo más a estos dos últimos citados, a intensidades de ejercicio baja y media, la capacidad aeróbica de las personas con PC no se ve comprometida, alcanzando valores de VO_2R mucho más altos (hasta el 120 %) que el grupo Control.

Debido a que la interacción entre los factores Intensidad y Grupo, no resultó estadísticamente significativa para la variable VO_2R , puede afirmarse que el efecto del aumento de la intensidad sobre el aumento del GE es similar para todos los grupos.

La respuesta puramente ventilatoria (VE) acompaña en buena medida a los resultados de GE, aunque pueden destacarse algunos matices. El grupo LMB mostró valores similares de VE que el grupo Control a la Intensidad 1, en cambio, a Intensidad 2 el VE del grupo LMB resultó 2 l superior que el VE del grupo Control, a pesar de no encontrarse diferencias en FC entre ambos grupos. Por otro lado el grupo LMA también mostró incrementos de unos 5 l en VE entre ambas intensidades con volúmenes superiores respecto a LMB. Estos hechos parecen reflejar que para el grupo LMA la intensidad 2 le supone un esfuerzo mucho más próximo al máximo, tanto a nivel respiratorio como cardiovascular, viendo el incremento tanto de VE como de FC, incluso medible también en PE (más adelante).

El grupo ADF, al comprometer otros grupos musculares que no participan directamente en el PB, requiere una mayor ventilación y su VE aumenta considerablemente durante el ejercicio, respecto a los grupos LM y Control, del mismo modo que se ha mencionado el incremento de GE y FC.

Finalmente, el grupo PC vuelve a sorprender y, así como con la FC, no muestra diferencias en VE entre ambas intensidades. La misma explicación podría satisfacer ambas cuestiones: la respuesta cardiorrespiratoria al ejercicio viene determinada en mayor medida por la necesidad de coordinar el movimiento, luchando contra su propia

espasticidad, más que por vencer la carga del ejercicio, al menos a las intensidades que hemos analizado en el presente estudio. A nivel pulmonar el trabajo es muy considerable, llegando a doblar el valor de VE del resto de grupos participantes.

Hjeltnes (1986) en un estudio hecho a personas con tetraplejia completa, concluye que el aumento necesario del VE se consigue básicamente aumentando la FR, lo cual coincide plenamente con los resultados del grupo LMA de nuestro estudio. Esto es debido a que las personas con LMA realizan una respiración diafragmática y compensan el menor llenado de los pulmones con una mayor FR.

Sin embargo, a partir de los resultados de nuestro estudio, podemos añadir que cuando la LM es algo más baja y compromete algo menos al sistema cardiorrespiratorio (grupo LMB de nuestro estudio), los valores de FR aumentan pero es más destacable el incremento de VT, evidentemente debido a la posibilidad de implicar mayor masa de músculos respiratorios.

Como era esperable, el grupo Control de nuestro estudio obtuvo los valores más bajos de FR en ambas intensidades, incluso no debe extrañar que su FR resultara algo más alta (3 %) a la intensidad 1 que a la intensidad 2, ya que ambas intensidades resultaban extremadamente bajas y no suponían casi estrés para el grupo Control.

A propósito del grupo Control, el incremento en la intensidad del ejercicio, supuso un incremento exclusivamente del VT, sin variar la FR, es decir, aumentó el llenado de los pulmones en cada respiración. De modo parecido, el grupo de LMB aumentó ambas variables aunque la diferencia fue más acusada también en VT. Sin embargo, los demás

grupos (LMA, PC y ADF) incrementaron casi exclusivamente la FR al aumentar la intensidad del ejercicio.

Otra vez vuelve a destacar el grupo de PC, con unos valores de FR (sin aumento de VT) que alcanzaron el 183 %, a Intensidad 1, y el 205 % a Intensidad 2, respecto al grupo Control. Esto podría suponer que es mucho más factible para las personas con PC aumentar la FR más que intentar llenar más los pulmones en cada respiración (VT)

Este comportamiento diferente (contrario) en la mecánica respiratoria entre diferentes grupos (Control y PC), es la causa de que la interacción entre los factores Intensidad y Grupo resultara estadísticamente significativa para la variable FR.

El pulso de Oxígeno (VO_2/FC) refleja la eficiencia del sistema cardiorrespiratorio, involucrando el funcionamiento del corazón así como el transporte y la absorción de Oxígeno. En el presente estudio los valores más bajos corresponden al grupo ADF, alcanzando un valor un valor 57 % inferior a intensidad 1 y 68 % inferior a intensidad 2, comparado con el grupo Control. Este hecho implica una baja eficiencia cardiovascular debido a que, en la ADF, la mutación del gen provoca alteraciones en la producción energética mitocondrial. Las cardiomiopatías también están fuertemente relacionadas con esta mutación, así se sugiere un deterioro en la eficiencia cardíaca incluso en ausencia de cardiomiopatías (Shawn y col., 2007; Maring y Croarkin, 2007).

El siguiente grupo con valores más bajos es el grupo LMA, hecho claramente relacionado con la interrupción del SNSi, encargado de la estimulación del corazón, subrayando que el volumen sistólico está

disminuido en personas con tetraplejia (Nash y col., 1991). Si a este hecho se añade la hipotensión y la dificultad del retorno venoso (también presente en personas con LM alta) se podría explicar el bajo grado de eficiencia del sistema circulatorio, y por lo tanto el transporte de oxígeno.

Puede destacarse además, que para el grupo LMA, a diferencia del resto de grupos, no existan diferencias en los valores de VO_2/FC entre ambas intensidades, hecho que establece una diferencia estadísticamente significativa en la interacción de los factores Grupo e Intensidad para esta variable. Este hallazgo podría informar que la capacidad de incrementar el VO_2R está más afectada incluso que el aumento de la FC en personas con LMA, debido probablemente a un déficit básicamente circulatorio.

El grupo de PC consiguió valores de VO_2/FC más elevados que el grupo LMA lo que refleja que su sistema cardiovascular no está afectado desde punto de vista nervioso, es más eficiente y/o está más entrenado, debido a su mayor nivel de de AF de forma habitual en su vida diaria.

Los grupos Control y LMB fueron los grupos más eficientes a nivel cardiovascular con los valores más altos de VO_2/FC , donde se subraya que no existen diferencias entre ambos grupos en las dos intensidades, coincidiendo con los valores en FC donde ambos grupos obtuvieron los valores más bajos y sin diferencia entre ellos. Este hecho permitiría concluir que la eficacia en el transporte y/o absorción del oxígeno no se ve influenciada por la interrupción parcial del sistema simpático que actúa en la activación cardíaca en el grupo de LMB, a las intensidades analizadas en el presente estudio.

Los equivalentes respiratorios tanto VE/VO_2 como VE/VCO_2 dan información sobre la eficiencia a nivel pulmonar. Estos valores aportan información indirecta sobre la principal fuente de aporte energético del organismo, o dicho de otra forma, se puede deducir, según sus valores, si el organismo está trabajando en aporte aeróbico o anaeróbico de energía.

En la variable VE/VO_2 los valores obtenidos fueron los esperados, coincidiendo con los datos de VE siendo el grupo Control quien menor cantidad de oxígeno ventilaba al minuto, debido esencialmente a la baja intensidad del ejercicio. Por el contrario el grupo de PC fueron quienes mayores valores obtuvieron, ya que el esfuerzo a nivel pulmonar era mucho mayor.

En general, los valores de VE/VCO_2 resultaron superiores respecto al VE/VO_2 lo que significa que para algunos de los grupos (especialmente LMA y PC), se está más cerca del aporte anaeróbico de energía.

Finalmente, R expresa la relación entre el Oxígeno absorbido y el dióxido de Carbono expulsado y su incremento indica como se pasa de una provisión de energía aeróbica (el medio más eficiente de proveerse de energía) a una provisión de energía anaeróbica (menos eficiente y limitado en su duración), cuando aumenta la intensidad del ejercicio.

En nuestro estudio, los grupos LMA y PC (con un comportamiento similar), son los grupos que aumentaron en mayor medida su VE y FR, debido a que les supone un esfuerzo mayor, especialmente a Intensidad 2, reflejando que buena parte de la energía necesaria para el ejercicio la obtiene por la vía anaeróbica. El grupo LMA, seguramente haya estado trabajando a intensidades en la que el componente anaeróbico era muy

considerable, acercándose a su límite muscular y especialmente a Intensidad 2 tenían comprometida la capacidad máxima del sistema cardiorrespiratorio.

Como dato complementario importante, los grupos que aumentaron más la FR respecto a VT alcanzaron valores más altos de R, alcanzando un mayor grado de implicación anaeróbica. Este aumento de R fue más acusado en el grupo PC.

Otra vez, una interacción estadísticamente significativa entre los factores Grupo e Intensidad avisan de un comportamiento diferente para diferentes grupos, respecto a la variable R, tal y como se ha discutido.

Respecto a la percepción subjetiva del esfuerzo realizado durante el ejercicio (PE), puede destacarse que los participantes de todos los grupos percibieron ambas intensidades de ejercicio como claramente diferentes, aunque en diferente medida y, muy posiblemente, de acuerdo a la respuesta de su organismo frente a la intensidad del ejercicio.

A pesar de que la potencia aplicada se duplicaba de Intensidad 1 a Intensidad 2 (de $0,2 \text{ W} \cdot \text{Kg}^{-1}$ a de $0,4 \text{ W} \cdot \text{Kg}^{-1}$), los grupos PC y ADF percibieron un incremento del esfuerzo del 48 %. Los grupos LMB y Control percibieron un incremento del esfuerzo muy próximo a la realidad (83 % y 131 % respectivamente). Sin embargo el grupo LMA, acercándose mucho más a sus capacidades máximas de esfuerzo y posiblemente sobrepasando su umbral anaeróbico, percibió una diferencia del 238 % entre ambas intensidades.

Resulta destacable que los valores de algunas variables importantes como la FC, VE o VO_2R son muy altos en el grupo PC y en cambio su PE

no lo refleja así. Esto, muy posiblemente se deba a la costumbre de las personas con PC de percibir que su organismo responda siempre de ese modo (algo exagerado si se compara con el grupo Control) a cualquier esfuerzo y aunque ellos/as sepan que es un esfuerzo ligero o medio.

3.2.1. Recomendaciones prácticas

Lesión medular

Las personas con LM cervicales completas (tetraplejia) no alcanzan a generar niveles de estrés elevados para su sistema cardiorrespiratorio durante el pedaleo de brazos estático, debido fundamentalmente a la baja cantidad de masa muscular que pueden activar voluntariamente. Esto supone un muy bajo nivel de riesgo de sobrepasar los límites de intensidad recomendables para un ejercicio saludable. Debido a esto, no parece necesaria la utilización de sistema de monitorización de la FC con el fin de evitar sobrepasar los límites saludables, aunque sí podría ser útil para controlar diferentes zonas de intensidad submáxima de entrenamiento, pudiendo posiblemente detectar un acercamiento al ejercicio anaeróbico.

Se ha podido contrastar que su gasto energético durante el pedaleo de brazos es similar o inferior que el del grupo de control. Del mismo modo, otros estudios concluyen que su consumo calórico diario es muy inferior al de una persona de su mismo peso. Por lo tanto, podría recomendarse de manera general una ingesta calórica reducida (a ajustar por un nutricionista) así como la realización de ejercicio físico regular que generará tanto un aumento de masa muscular, como un mayor gasto

energético y una mayor estimulación, y adaptación positiva, del sistema cardiorrespiratorio.

Parálisis Cerebral

El ejercicio de pedaleo de brazos puede generar fácilmente niveles de estrés altos al sistema cardiorrespiratorio de las personas con PC. Intensidades de ejercicio que para otras personas podrían resultar ligeras o muy ligeras, podrían estar superando los límites de ejercicio aeróbico saludable, para las personas con PC, debido a sus características particulares, especialmente la espasticidad.

De este modo, sería muy recomendable el control habitual de la respuesta del organismo al ejercicio para las personas con PC, utilizando dispositivos de monitorización de la FC, por ejemplo, pero además, realizar un control de salud periódico que permitan evitar diferentes accidentes cardiovasculares, cerebrovasculares, etc. en ocasiones relacionados con ejercicios de intensidad demasiado elevada.

En cuanto al balance energético, el sobrepeso no debería ser de especial preocupación para las personas con PC de tipo espástica. Al igual que en otros estudios, se ha comprobado que su gasto energético es relativamente alto (el más alto en este estudio) por lo que la ingesta calórica podrá superar normalmente a la de una persona con LM alta.

Ataxia de Friedreich

Para las personas con ADF, el pedaleo de brazos podría ser un excelente ejercicio aeróbico para mantener o mejorar su condición física, con beneficios importantes en su sistema cardiorrespiratorio. Sin embargo debe tenerse en consideración que, al igual que para las

personas con PC (aunque en menor grado) las intensidades del ejercicio suelen generar respuestas cardiorrespiratorias más altas que para otras personas y alcanzar más fácilmente los límites de ejercicio aeróbico saludable. Esto puede ser especialmente peligroso para las personas con ADF debido a sus frecuentes alteraciones cardíacas.

El control habitual o periódico de la respuesta del organismo al ejercicio, con dispositivos de monitorización de la FC, podría ser recomendable, al menos durante la dosificación de nuevas cargas de entrenamiento. Por supuesto, el control médico periódico así como el seguimiento de sus recomendaciones es de obligado cumplimiento.

Mientras la ADF no evolucione hasta impedir el ejercicio físico, el sobrepeso no debería ser una preocupación especial. Sin embargo, no debe descuidarse la ingesta calórica ya que, aunque el gasto energético durante la realización de ejercicio es algo más alto que el esperable, el gasto de energía diario difícilmente alcanzará al de una persona sedentaria sin alteraciones neurológicas.

4. CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones de resultados

De modo general se puede afirmar que se ha observado el efecto que origina el ejercicio de pedaleo de brazos sobre la respuesta fisiológica de personas con diferentes desórdenes neurológicos.

La respuesta cardíaca, respiratoria y de gasto energético, durante el ejercicio de pedaleo de brazos, resulta diferente entre personas con PC, ADF y LM. Las personas con PC muestran una respuesta cardíaca, respiratoria y de gasto energético, aumentada frente al resto de grupos, mientras que las personas con LM muestran los valores más bajos, y muy próximos o similares al grupo Control. Las personas con ADF muestran respuestas cardiorrespiratorias y de gasto energético intermedias.

La respuesta cardíaca, respiratoria y de gasto energético es incrementada positivamente al incrementar la intensidad del ejercicio de pedaleo de brazos para las personas con ADF y LM. Sin embargo, para las personas con PC un incremento de la intensidad del ejercicio modifica únicamente su gasto energético y su frecuencia respiratoria.

Puede concluirse que la respuesta fisiológica al ejercicio de pedaleo de brazos, resulta claramente explicable según las características propias del desorden neurológico de las personas que integran los diferentes grupos.

Finalmente en el presente estudio, apoyándose además en los conocimientos ya existentes, se generan una serie de recomendaciones

prácticas para la planificación y el control del ejercicio físico de personas con diferentes desórdenes neurológicos.

4.2 Conclusiones metodológicas

Se ha desarrollado un método que permite medir parámetros fisiológicos durante el pedaleo de brazos y compararlos entre personas con diferentes desórdenes neurológicos.

La principal aportación del método es la disminución de la cadencia de pedaleo a 20 min^{-1} , cadencia a la que pueden pedalear de forma muy continua incluso las personas con PC y ADF, y alto grado de afectación.

Del mismo modo, se ha desarrollado una forma de compensar el déficit de control motor (equilibrio, prensión) de los participantes, mediante la fijación externa de las manos a las empuñaduras, del tronco a la silla de ruedas y en algunos casos de las extremidades inferiores.

4.3 Limitaciones y futuras líneas de trabajo

En primer lugar sería muy recomendable ampliar el estudio incorporando un mayor número de participantes así como un número equilibrado de personas de ambos géneros en todos los grupos. Del mismo modo, podría resultar muy interesante la ampliación del estudio con personas con otros niveles de afectación neurológica.

En segundo lugar, sería necesaria la utilización de un ergómetro de brazos que permitiese un ajuste más preciso de la potencia entregada a bajas cadencias de pedaleo y a potencias especialmente bajas.

Debe tenerse en consideración que en el presente estudio la cadencia de pedaleo empleada por los participantes no se corresponde con la establecida de forma generalizada, por lo que la comparación de los resultados con otros estudios puede verse afectada.

Otro avance en el conocimiento podría darse mediante la utilización de procedimientos de medición de la composición corporal con el fin de utilizar parámetros fisiológicos relativos al peso muscular magro, lo cual puede ser muy diferente a lo habitual, en personas con desórdenes neurológicos.

Finalmente, la medición complementaria de la lactacidemia podría aportar información muy relevante sobre la implicación de la vía anaeróbica durante la generación del trabajo por parte del músculo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, J.C., Varón, L.F., Berbeo, M.E., Feo, O., Díaz, R. (2008). Avances fisiopatológicos para el entendimiento de la lesión medular traumática. Revisión bibliográfica. *Revista Colombiana De Ortopedia y Traumatología*, 22(4), 272-281.

Adams, G.M. (2002). *Exercise physiology: Laboratory manual*. Boston: McGraw-Hill Interamericana.

Adler, S.S., Beckers, D., Buck, M. (2000). En Heidelberg (Ed.), *PNF in practice: An illustrated guide*. Berlin: Springer.

Arai, M., Shimizu, H., Shimizu, M.E., Tanaka, Y., Yanagisawa, K. (2001). Effects of the use of cross-education to the affected side through various resistive exercises of the sound side and settings of the length of the affected muscles. *Hiroshima Journal of Medical Sciences*, 50(3), 65-73.

Armutlu, K., Karabudak, R., Nurlu, G. (2001). Physiotherapy approaches in the treatment of ataxic multiple sclerosis: A pilot study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 15(3), 203-211. doi: 10.1177/154596830101500308

Bastian, A.J. (1997). Mechanisms of ataxia. *Physical Therapy*, 77(6), 672-5.

Bauman, W.A. (2009). The potential metabolic consequences of cerebral palsy: Inferences from the general population and persons with spinal cord injury. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 51, 64-78. doi: 10.1111/j.1469-8749.2009.03430.x

Bax, M., Goldstein, M., Rosenbaum, P., Leviton, A., Paneth, N., Dan, B., Damiano, D. (2005). Proposed definition and classification of cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 47(8), 571-576.

Bermejo-Franco, A. (2012). Ayudas para la marcha en la parálisis cerebral infantil. *Revista Internacional de Ciencias Podológicas*, 6(1), 9-24.

Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad, BOE núm. 96. (21 Abril 2008).

Brenes, G., Dearwater, S., Shapera, R., LaPorte, R.E., Collins, E. (1986). High density lipoprotein cholesterol concentrations in physically active and sedentary spinal cord injured patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 67(7), 445-450.

Brizuela, G., Sinz, S., Aranda, R., Martínez, I. (2010). Efecto del pedaleo de brazos sobre el sistema cardiorrespiratorio de las personas con tetraplejia. *International Journal of Sport Science*, 297-310. doi:10.5332/ricyde2010.02104

Buchholz, A.C., Pencharz, P.B. (2004). Energy expenditure in chronic spinal cord injury. *Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 7(6), 635-639.

Bulthuis, Y., Drossaers-Bakker, W., Oosterveld, F., van der Palen, J., van de Laar, M. (2010). Arm crank ergometer is reliable and valid for measuring aerobic capacity during sub maximal exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2809-2815. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e31242

Cano, S. J., Hobart, J. C., Hart, P. E., Korlipara, L. V., Schapira, A. H., Cooper, J. M. (2005). International cooperative ataxia rating scale (ICARS): Appropriate for studies of Friedreich's ataxia? *Movement Disorders*, 20(12), 1585-1591.

Chamberlain, S., Shaw, J., Rowland, A., Wallis, J., South, S., Nakamura, Y., Williamson, R. (1988). Mapping of mutation causing Friedreich's

ataxia to human chromosome 9. *Nature*, 334(6179), 248-250. doi: 10.1038/334248a0

Chicharro, J., Campos, D., López, J. (2013). *Fisiología del entrenamiento aeróbico: Una visión integrada*. Madrid: Médica Panamericana.

Chicharro, J., Vaquero, A. (2006). *Fisiología del ejercicio / Physiology of exercise*. Madrid: Médica Panamericana.

Collins, E.G., Gater, D., Kiratli, J., Butler, J., Hanson, K., Langbein, W.E. (2010). Energy cost of physical activities in persons with spinal cord injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(4), 691-700. doi:10.1249/MSS.0b013e3181bb902f

Confederación ASPACE. (2007). *Descubriendo la parálisis cerebral*. Madrid: Confederación ASPACE.

Conger, S.A., Bassett, D.R. (2011). A compendium of energy costs of physical activities for individuals who use manual wheelchairs *Adapted Physical Activity Quarterly*, 28(4), 310-325.

Consejo Superior de Deportes. (2010). In Consejo Superior de Deportes (Ed.), *Plan integral para la actividad física y deporte. Personas con discapacidad*. Madrid: Underbau. Disponible en <http://www.csd.gob.es/csd/estaticos/plan-integral/LIBRO-PLAN-AD.pdf>

Coutts, K.D., Rhodes, E.C., McKenzie, D.C. (1983). Maximal exercise responses of tetraplegics and paraplegics. *Journal of Applied Physiology*, 55(2), 479-482.

Dallmeijer, A.J., van der Woude, L.H.V. (2001). Health related functional status in men with spinal cord injury: Relationship with lesion level and endurance capacity. *Spinal Cord*, 39, 577-583.

Dallmeijer, A.J., Zentgraaff, D.B., Zijp, N.I., van der Woude, L.H.V. (2004). Submaximal physical strain and peak performance in handcycling versus handrim wheelchair propulsion. *Spinal Cord* (2004) 42, 91–98, 42, 91-98.

De Groot, S., Dallmeijer, A.J., Bessems, P.J.C., Lamberts, M.L., van der Woude, L.H.V., Janssen, T.W.J. (2012). Comparison of muscle strength, sprint power and aerobic capacity in adults with and without cerebral palsy. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 44(11), 932.

Dearwater, S.R., Laporte, R.E., Cauley, J.A., Brenes, G. (1985). Assessment of physical activity in inactive populations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(6), 651-654. doi: 10.1249/00005768-198512000-00005

Delatycki, M.B., Holian, A., Corben, L., Rawicki, H.B., Blackburn, C., Hoare, B., Churchyard, A. (2005). Surgery for equinovarus deformity in Friedreich's ataxia improves mobility and independence. *Clinical Orthopedics and Related Research*, (430), 138-141. doi:10.1097/01.blo.0000150339.74041.0e

Delatycki, M.B., Williamson, R., Forrest, S.M. (2000). Friedreich ataxia: An overview. *Journal of Medical Genetics*, 37(1), 1-8. doi:10.1136/jmg.37.1.1

Devís-Devís, J. (2001). *La educación física, el deporte y la salud en el siglo XXI. Colección educación física y deporte*. Alcoy: Marfil.

Diracoglu, D., Aydin, R., Baskent, A., Celik, A. (2005). Effects of kinesthesia and balance exercises in knee osteoarthritis. *Journal of Clinical Rheumatology*, 11(6), 303-310. doi: 10.1097/01.rhu.0000191213.37853.3d

Ditor, D.S., Latimer, A.E., Martin, K.A., Arbour, K.P., McCartney, N., Hicks, A.L. (2003). Maintenance of exercise participation in individuals with spinal cord injury: Effects on quality of life, stress and pain. *Spinal Cord*, 41, 446-450.

Ditunno, J.F., Young, W., Donovan, W.H., Creasey, G. (1994). The International standards booklet for neurological and functional classification of spinal-cord injury. *Paraplegia*, 32(2), 70-80.

Engel, J.M., Schwartz, L., Jensen, M.P., Johnson, D.R. (2000). Pain in cerebral palsy: The relation of coping strategies to adjustment. *Pain*, 88(3), 225-230.

Erikssen, G., Liestøl, K., Bjørnholt, J., Thaulow, E., Sandvik, L., Erikssen, J. (1998). Changes in physical fitness and changes in mortality. *The Lancet*, 352, 759-762.

Figoni, S.F. (1993). Exercise responses and quadriplegia. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 433-441.

Fillyaw, M.J., Ades, P.A. (1989). Endurance exercise training in friedreich ataxia. *Physical Medicine and Rehabilitation*, 70(10), 786-788.

Finocchiaro, G., Baio, G., Micossi, P., Micossi, P., Pozza, G., Didonato, S. (1988). Glucose metabolism alterations in Friedreich's ataxia. *Neurology*, 38, 1292-1296.

Folkins, C., Sime, W. (1981). Physical fitness training and mental health. *Physical Fitness Training and Mental Health. American Psychologist*, 36, 373-389.

Fukuoka, Y., Endo, M., Kagawa, H., Itoh, M., Nakanishi, R. (2002). Kinetics and steady-state of VO₂ responses to arm exercise in trained spinal cord injury humans. *Spinal Cord*, 40, 631-638.

Garber, C.E., Blissmer, B., Deschenes, M.R., Franklin, B.A., Lamonte, M.J., Lee, M.D., y col. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(7), 1334-1359.

Goosey-Tolfrey, V.L., Alfano, H., Fowler, N. (2008). The influence of crank length and cadence on mechanical efficiency in hand cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 189-194. doi: 10.1007/s00421-007-0576-7

Goosey-Tolfrey, V.L., Sindall, P. (2007). The effects of arm crank strategy on physiological responses and mechanical efficiency during submaximal exercise. *Journal of Sports Sciences*, 25(4), 453-460. doi: 10.1080/02640410600702883

Guyton, A.C., Hall, J.E. (2011). *Tratado de fisiología médica* (duodécima ed.). Barcelona: GEA Consultoría Editorial, S.L.

Haisma, J.A., van der Woude, L.H.V., Stam, H.J., Bergen, M.P., Sluis, T.A., Bussmann, J.B.J. (2006). Physical capacity in wheelchair-dependent persons with a spinal cord injury: A critical review of the literature. *Spinal Cord*, 44, 642-652.

Harris, J.E., Eng, J.J. (2010). Strength training improves upper-limb function in individuals with stroke: A meta-analysis. *Stroke*, 41(1), 136-140. Doi:10.1161/STROKEAHA.109.567438

Hatzitaki, V., Pavlou, M., Bronstein, A.M. (2004). The integration of multiple proprioceptive information: Effect of ankle tendon vibration on postural responses to platform tilt. *Experimental Brain Research*, 154(3), 345-354. Doi: 10.1007/s00221-003-1661-8

Heller, T., Ying, G.S., Rimmer, J.H., Marks, B.A. (2002). Determinants of exercise in adults with cerebral palsy. *Public Health Nursing*, 19(3), 223-231.

Hicks, A.L., Martin, K.A., Pelletier, C.A., Ditor, D.S., Foulon, B., Wolfe, D. L. (2010). The effects of exercise training on physical capacity, strength, body composition and functional performance among adults with spinal cord injury: A systematic review. *Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(5), 729-733.

Hicks, A.L., Martin, K.A., Ditor, D.S., Latimer, A.E., Craven, C., Bugaresti, J., McCartney, N. (2003). Long-term exercise training in persons with spinal cord injury: Effects on strength, arm ergometry performance and psychological well-being. *Spinal Cord*, 41(1), 34-43.

Hintzy, F., Grappe, F., Perrey, S. (2008). Relationship between limbs anthropometrical characteristics and energy expenditure during arm cranking and leg cycling unloaded exercises. *Science and Sports*, 23, 145-148.

Hjeltnes, N. (1986). Cardiorespiratory capacity in tetra- and paraplegia shortly after injury. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 18(2), 65-70.

Hjeltnes, N., Wallberg-Henriksson, H. (1998). Improved work capacity but unchanged peak oxygen uptake during primary rehabilitation in tetraplegic patients. *International Medical Society of Paraplegia*, 36(691), 698.

Hombergen, S.P., Huisstede, B.M., Streur, M.F., Stam, H.J., Slaman, J., Bussmann, J.B., van den Berg-Emons, R.J. (2012). Impact of cerebral palsy on health-related physical fitness in adults: Systematic review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(5), 871-881. doi:10.1016/j.apmr.2011.11.032

Ibáñez, J., Eseverri, C. (2002). Ejercicio físico en la prevención y tratamiento de la obesidad. *Nutrición y Obesidad*, (5), 59-66.

Ilg, W., Synofzik, M., Broetz, D., Burkard, S., Giese, M.A., Schoels, L. (2009). Intensive coordinative training improves motor performance in degenerative cerebellar disease. *Neurology*, 73(22), 1823-1830.

Jahnsen, R., Villien, L., Egeland, T., Stanghelle, J.K., Holm, I. (2004). Locomotion skills in adults with cerebral palsy. *Clinical Rehabilitation*, 18(3), 309-316.

Jebb S.A., Prentice A.M. (1997). Assessment of human energy balance. *Journal of Endocrinology*, (155), 183-5.

Jequier E., Tappy L. (1999). Regulation of body weight in humans. *Physiological Review* 1999, (79), 451-480.

Johnson, R.K., Hildreth, H.G., Contompasis, S.H., Goran, M.I. (2005). Total energy expenditure in adults with cerebral palsy as assessed by doubly labeled water. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 347-353.

Johnson, R. (2001). En Mahan K., Escott-Stump S. (Eds.), *Energía, nutrición y dietoterapia de Krause*. México: Mc Graw Hill Interamericana.

Klimek-Piskorz, E., Piskorz, C. (2006). Physiological responses to graded exercise test in youths with spastic tetraplegia subjected to upper extremity training. *Biology of Sport*, 23, 283-290.

Krum, H., Howes, L.G., Brown, D.J., Ungar, G., Moore, P., McNeil, J.J., Louis, W.J. (1992). Risk factors for cardiovascular disease in chronic spinal cord injury patients. *International Medical Society of Paraplegia*, 30, 381-388.

Labayen, I., Rodríguez, C., Martínez, J.A. (2002). En Astiasarán, I., Lasheras, B., Ariño, D., Martínez, J.A. (Ed.), *Alimentos y nutrición en la práctica sanitaria*. 371-92. Pamplona: Eurograf Navarra, S.L.

Labelle, H., Tohmé, S., Duhaime, M., Allard, P. (1986). Natural history of scoliosis in Friedreich's ataxia. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 68A (4), 564-572.

Lawson, J.A. (2006). *Comparative quantification of health risks. Global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors*. Ottawa: Canadian Public Health Association.

Lidal, I.B., Snekkevik, H., Aamodt, G., Hjeltnes, N., Stanghelle, J.K., Biering-Sorensen, F. (2007). Mortality after spinal cord injury in Norway. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 39(2), 145-151. doi: 10.2340/16501977-0017

Malagon, J. (2007). Parálisis cerebral. *Medicina*, 67(6)

Malina, R.M., Bouchard, C. (1991). *Somatic growth. En: Growth, maturation, and physical activity*. pp. 39-64. Champaign: Human Kinetics.

Maltais, D., Kondo, I., Bar-Or, O. (2000). Arm cranking economy in spastic cerebral palsy: Effects of different speed and force combinations yielding the same mechanical power. *Pediatric Exercise Science*, 12(3), 258-269.

Maring, J.R., Croarkin, E. (2007). Presentation and progression of friedreich ataxia and implications for physical therapist examination. *Physical Therapy*, 87(12), 1687-1696. doi:10.2522/ptj.20060232

Mariotti, C., Fancellu, R., Di Donato, S. (2005). An overview of the patient with ataxia. *Journal of Neurology*, 252(5), 511-518. doi: 10.1007/s00415-005-0814-z

Martínez, J. (1998). *Fundamentos teórico-prácticos de nutrición y dietética*. En: *Balance energético: Peso y composición corporal*. pp. 37-50. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.

Mataix J. (2002). *Nutrición y alimentación humana*. Madrid: Ergon.

Miles, D.S., Critz, J.B., Knowlton, R.G. (1980). Cardiovascular, metabolic and ventilatory responses of women to equivalent cycle ergometer and treadmill exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(1), 14-19.

Monroe, M.B., Tataranni, P.A., Pratley, R., Manore, M.M., Skinner, J.S., Ravussin, E. (1998). Lower daily energy expenditure as measured by chamber in subjects with spinal cord injury compared with control subjects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 68(6), 1223-1227.

Murphy, K.P., Molnar, G.E., Lankasky, K. (1995). Medical and functional status of adults with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 37(12), 1075-1084.

Mutch, L., Alberman, E., Hagberg, B., Kodama, K., Perat, M.V. (1992). Cerebral palsy epidemiology: Where are we now and where are we going?. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 34(6), 547-551.

McLean, K. P., Jones, P. P., y Skinner, S. J. (1995). Exercise prescription for sitting and supine exercise in subjects with quadriplegia. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27, 15-21.

Napoli, R., Horton, E. (1999). En Ziegler E., Filer L. (Eds.), *Energy requirements. Present knowledge in nutrition* (6ª edición). Washington DC: ILSI Press.

Nash, S.M. (2005). Exercise as a health-promoting activity following spinal cord injury. *Journal of Neurological Physical Therapy*, 29(2), 87-106.

Nash, S.M., Bilsker, S., Marcillo, A. E., Isaac, S. M., Botelho, L. A., Klose, J.K., Green, B.A., Rountree, M.T., Shea, D.J. (1991). Reversal of adaptive left ventricular atrophy following electrically-stimulated exercise training in human tetraplegics. *Paraplegia*, 29, 590-599.

Organización Mundial de la Salud. (2010). *Recomendaciones mundiales sobre la actividad física para la salud*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.

Organización Mundial de la Salud. (2011). *Informe sobre la situación mundial de las enfermedades no transmisibles 2010*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.

Organización Mundial de la Salud. (2011). *Informe mundial sobre la discapacidad*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.

Palisano, R., Rosenbaum, P., Walter, S., Russell, D., Wood, E., Galuppi, B. (1997). Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 39(4), 214-223.

Pelletier, C.A., Jones, G., Latimer-Cheung, A.E., Warburton, D.E., Hicks, A.L. (2013). Aerobic capacity, orthostatic tolerance, and exercise perceptions at discharge from inpatient spinal cord injury rehabilitation. *Achieves of Physical Medicine and Rehabilitation*, (94), 2013-2019.

Pendergast, D. (1989). Cardiovascular, respiratory, and metabolic responses to upper body exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21, 121-125.

Peterson, M.D., Gordon, P.M., Hurvitz, E.A. (2013). Chronic disease risk among adults with cerebral palsy: The role of premature sarcopenia, obesity and sedentary behaviour. *Obesity Reviews*, 14(2), 171-182. doi:10.1111/j.1467-789X.2012.01052.x

Peterson, M.D., Lukasik, L., Muth, T., Esposito, P., Haapala, H., Gordon, P. M., Hurvitz, E.A. (2013). Recumbent cross-training is a feasible and safe mode of physical activity for significantly motor-impaired adults with cerebral palsy. *Achieves of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94, 401-407.

Powers, S.K., Beadle, R.E., Mangum, M. (1984). Exercise efficiency during arm ergometry: Effects of speed and work rate. *Journal of Applied Physiology Respiratory Environmental and Exercise Physiology*, 56(2), 495-499.

Price, M.J., Bottoms, L., Smith, P.M., Nicholettos, A. (2011). The effects of an increasing versus constant crank rate on peak physiological responses during incremental arm crank ergometry. *Journal of Sports Science*, 29(3), 263-269. doi:10.1080/02640414.2010.525520

Quejereta, M. (2004). En Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (Ed.), *Discapacidad/Dependencia unificación de criterios de valoración y clasificación*. Madrid: IMSERSO.

Rajan, S., McNeely, M.J., Warmes, C., Goldstein, B. (2008). Clinical assessment and management of obesity in individuals with spinal cord injury: A review. *Journal of Spinal Cord*, 31(4), 361-372.

Rimmer, J.H. (2008). Health promotion for people with disabilities: Implications for empowering the person and promoting disability-friendly environments. *Journal of Lifestyle Medicine*, (2), 409-420. doi: 10.1177/1559827608317397

Risberg, M.A., Mørk, M., Jenssen, H.K., Holm, I. (2001). Design and implementation of a neuromuscular training program following anterior cruciate ligament reconstruction. *The Journal of Orthopedic and Sports Physical Therapy*, 31(11), 620-630.

Ristow, M., Giannakidou, E., Hebinck, J., Busch, K., Vorgerd, M., Kotzka, J., Mueller-Wieland, D. (1998). An association between NIDDM and a GAA trinucleotide repeat polymorphism in the X25/frataxin (Friedreich's ataxia) gene. *Diabetes*, 47(5), 851-854.

Rouvière, H., Delmas, A., y Delmas, V. (2005). *Anatomía humana: Descriptiva, topográfica y funcional, volumen 2* (11 edición). Barcelona: Masson, S.A.

Sánchez, C. (2003). Trastornos del sistema nervioso autónomo. *Medicine*, 8(102), 5475-5483. doi: 10.1016/S0304-5412(03)71014-2

Schlough, K., Nawoczinski, D., Case, L. E., Nolan, K., Wigglesworth, J. K. (2005). The effects of aerobic exercise on endurance, strength, function and self-perception in adolescents with spastic cerebral palsy: A report of three case studies. *Pediatric Physical Therapy*, 17(4), 234-250.

Schrack, J.A., Simonsick, E.M., Ferrucci, L. (2010). Comparison of the cosmed K4b2 portable metabolic system in measuring steady-state walking energy expenditure. *PlosOne*, 5(2), 1-5. doi:10.1371/journal.pone.0009292

Schuhfried, O., Mittermaier, C., Jovanovic, T., Pieber, K., Paternostro-Sluga, T. (2005). Effects of whole-body vibration in patients with multiple sclerosis: A pilot study. *Clinical Rehabilitation*, 19(8), 834-842. Doi: 10.1191/0269215505cr919oa

Shawn A.G., Calum A.M., Kusai, A., Sims, K.B., Schmahmann, J.D., Kardan, A., Fischman, A.J. (2007). Myocardial blood flow and oxygen consumption in patients with Friedreich's ataxia prior to onset or cardiomyopathy. *Coronary Artery Disease*, 18(1), 15-22. doi:10.1097/01.mca.0000236289.02178.60

Sjöström, M., Oja, P., Hagströmer, M., Smith, B.J., Bauman, A. (2006). Health-enhancing physical activity across European Union countries: The eurobarometer study. *Journal of Public Health*, 14(1), 291-300. doi: 10.1007/s10389-006-0031-y

Smith, P.M., Doherty, M., Price, M.J. (2006). The effect of crank rate on physiological responses and exercise efficiency using a range of submaximal workloads during arm crank ergometry. *International Journal of Sport Medicine*, 27, 199-204.

Snell, R.S. (2007). *Neuroanatomía clínica (6ª edición)*. Madrid: Panamericana.

Sociedad Española de Epidemiología., Agència de Salut Pública de Barcelona., Dirección General de Tráfico., Departamento de Salud., Ministerio de Sanidad y Política Social., y col. (2011). En Ministerio de sanidad, política social e igualdad. (Ed.), Lesiones medulares traumáticas y traumatismos craneoencefálicos en España, 2000-2008. Grupo de trabajo de la sociedad española de epidemiología sobre la medida del impacto en la salud de las lesiones por traumatismos. Madrid: Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad.

Storey, E., Tuck, K., Hester, R., Hughes, A., Churchyard, A. (2004). Inter-rater reliability of the international cooperative ataxia rating scale (ICARS). *Movement Disorders*, 19(2), 190-192.

Taylor, N.F., Dodd, K.J., Larkin, H. (2004). Adults with cerebral palsy benefit from participating in a strength training programme at a community gymnasium. *Disability and Rehabilitation*, 26(19), 1128-1134.

Thorpe, D. (2009). The role of fitness in health and disease: Status of adults with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 51, 52-58. doi:10.1111/j.1469-8749.2009.03433.x

Tobimatsu, Y., Nakamura, R., Kusano, S. (1998). Cardiorespiratory endurance in people with cerebral palsy measuring with arm ergometer. *Physical Medicine and Rehabilitation*, 79, 991-993.

Toung, T., Chang, Y., Williams, M., Crain, B., Traystman, R., Bhardwaj, A. (2004). Experimental spinal cord ischemia: Model characterization and improved outcome with arterial hypertension. *Critical Care Medicine*, 32(6), 1346-1351. doi:10.1097/01.CCM.0000128562.80108.61

Trouillas, P., Takayanagi, T., Hallett, M., Currier, R. D., Subramony, S. H., Wessel, K., y col. (1997). International cooperative ataxia rating scale for pharmacological assessment of the cerebellar syndrome. *Journal of the Neurological Sciences*, 145(2), 205-211.

Valent, L.J.M., Dallmeijer, A.J., Houdijk, H., Sloopman, J.H., Janssen, T.W., van der Woude, L.H.V. (2009). Effects of hand cycle training on physical capacity in individuals with tetraplegia: A clinical trial. *Physical Activity and Therapy*, 89, 1051-1060.

Verellen, J., Theisen, D., Vanlandewijck, Y. (2004). Influence of crank rate in hand cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1826-1831. doi:10.1249/01.MSS.0000142367.04918.5A

Vidal, J., Garcés, C.J., Segura, R., Lizarraga, A., Barbany, J.R., Pérez, A. (2003). Physiological adaptations to exercise in people with spinal cord injury. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 59(1), 11-18.

Villanueva Díaz, M.J. (2008). *Capacidad aeróbica, calidad de vida e integración social del lesionado medular; relevancia de la práctica deportiva*. Disponible en <http://www.tesisenred.net/handle/10803/133783>.

Volianitis, S., Yoshiga, C.C., Nissen, P., Secher, N.H. (2004). Effect of fitness on arm vascular and metabolic responses to upper body exercise.

American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology, 286(5), 1736-1741. doi:10.1152/ajpheart.01001.2003

Washburn, R.A., Figoni, S.F. (1999). High density lipoprotein cholesterol in individuals with spinal cord injury: The potential role of physical activity. *Spinal Cord*, 37(10), 685-695.

Watkins, P.J., Thomas, P.K. (1998). Diabetes mellitus and the nervous system. *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry*, 65(5), 620-632. doi:10.1136/jnnp.65.5.620

West, C.R., Mills, P., Krassioukov, A.V. (2012). Influence of the neurological level of spinal cord injury on cardiovascular outcomes in humans: A meta-analysis. *Spinal Cord*, 50(7), 484-492.

Yamasaki, M., Irizawa, M., Komura, T. (1992). Daily energy expenditure in active and inactive persons with spinal cord injury. *Journal of Human Ergology*, 21, 125-133.