





# VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

 Facultat de Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport



## “USO DE TELÉFONOS INTELIGENTES PARA LA MEDICIÓN Y PROMOCIÓN DE LA ACTIVIDAD FÍSICA EN PERSONAS CON LESIÓN MEDULAR”

TESIS DOCTORAL

PROGRAMA DE DOCTORADO 3161

DPTO. EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

PRESENTADA POR:

**D. ADRIÀ MARCO AHULLÓ**

DIRIGIDA POR:

**DR. D. XAVIER GARCÍA MASSÓ**

**DR. D. LUIS-MILLÁN GONZÁLEZ MORENO**

**DRA. DÑA. LLUÏSA MONTESINOS MAGRANER**

VALENCIA, MAYO DE 2021



---

Este trabajo ha sido presentado en mayo de 2021 en el Departamento de Educación Física y Deportiva de la Facultad de Educación Física y Ciencias del Deporte de la Universitat de València.

Firma:

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Fdo: A Marco Ahulló

---



---

Dr. D. Xavier García Massó, Profesor Titular de la Universidad de Valencia, adscrito al Departamento Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal.

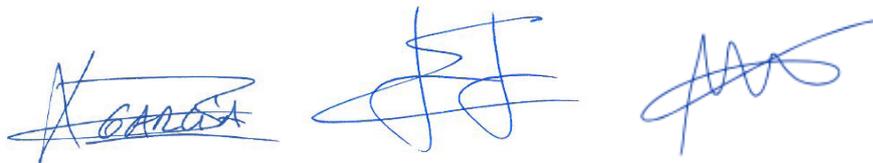
Dr. D. Luis Millán González Moreno, Profesor Titular de la Universidad de Valencia, adscrito al Departamento de Educación Física y Deportiva.

Dra. Dña. M. Lluïsa Montesinos Magraner, jefa de la unidad de lesionados medulares del Hospital Universitari Vall d'Hebron.

CERTIFICAN:

Que el presente trabajo, titulado “Validación del uso de smartphones para la estimación del gasto energético y efectos del uso de una mhealth específica para la promoción de la actividad física en personas con lesión medular”, ha sido realizado bajo su dirección, por D. Xavier García Massó, para optar al grado de Doctor por la Universidad de Valencia. Habiéndose concluido, y reuniendo a su juicio las condiciones de originalidad y rigor científico necesarias, autoriza su presentación a fin de que pueda ser defendido ante el tribunal correspondiente.

Y para que así conste expide y firma la presente certificación en Valencia a 18 de marzo de 2021

Three handwritten signatures in blue ink are displayed horizontally. The first signature on the left is the most legible, appearing to read 'X. GARCIA MASSO'. The middle and right signatures are more stylized and less legible.

Fdo: X García Massó Fdo: LM Gonzalez Moreno Fdo: Ll Montesinos Magraner

---



---

Deseo expresar mi agradecimiento:

A mis directores, los doctores D. Xavier García Massó, D. Luis-Millán González Moreno y Dña. Lluïsa Montesinos Magraner, los cuáles me han guiado de una manera excelente durante el proceso de realización de este trabajo de investigación. Además del valioso apoyo brindado en el plano académico, también me gustaría agradecerles su magnífico trato en el plano personal. Ha sido un honor haber podido trabajar con todos ellos y poder considerarlos amigos.

A todos los componentes del servicio de Medicina Física y Rehabilitación del Hospital Vall d'Hebron. En especial a los doctores Xurxo Segura, Jose Bernabéu y Diego Sánchez por su gran amistad y apoyo en el desarrollo de este trabajo.

A todos los participantes del estudio, los cuáles fueron generosos al dedicar a este trabajo muchas horas de su valioso tiempo, recorriendo en muchos casos grandes distancias para que este se llevara a cabo.

A mis padres y mi hermano. Sin su confianza y apoyo incondicional nada de esto hubiera sido posible. Gracias por haberme inculcado el valor del esfuerzo y por hacer el sacrificio necesario para que pueda dedicarme a lo que más me gusta.

Por último, a la Fundació de la Marató de TV3 por haber financiado esta investigación.

A todos vosotros, gracias.

---



---

*Esta investigación ha sido realizada bajo el apoyo de  
la Fundación Marató TV3 (201720-10)*

---



---

**ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	25
1.1 La lesión medular.....	25
1.1.1 Clasificación de los niveles de afectación de las lesiones medulares.....	27
1.1.2 Epidemiología de la lesión medular .....	32
1.1.3 Alteraciones y problemas médicos derivados de la lesión medular .....	35
1.1.4 Bienestar psicológico, calidad de vida y lesión medular.....	37
1.2 Actividad física y lesión medular .....	39
1.2.1 Beneficios de la actividad física en personas con lesión medular .....	40
1.2.2 Intervenciones para aumentar el nivel de actividad física en personas con lesión medular .....	42
1.3 Gasto energético y lesión medular .....	48
1.3.1 Instrumentos autoinformados para la estimación del gasto energético .....	51
1.3.2 Acelerometría .....	54
1.4 Objetivos e hipótesis .....	57
2. METODOLOGÍA .....	61
2.1 Estudio 1 .....	61
2.1.1 Diseño del estudio.....	61
2.1.2 Participantes .....	61
2.1.3 Material.....	62
2.1.3.1 Analizador de gases .....	62
2.1.3.2 Acelerómetro.....	65
2.1.4 Procedimiento experimental .....	65

## *Índice*

---

2.1.5 Análisis de los datos .....	71
2.2 Estudio 2.....	74
2.2.1 Diseño del estudio.....	74
2.2.2 Participantes .....	75
2.2.3 Material.....	78
2.2.3.1 Physical Activity Scale for Individuals with Physical Disabilities .....	78
2.2.3.2 Assesment of Quality of Life-8 dimensions .....	78
2.2.3.3 Hospital Anxiety and Depression Scale .....	80
2.2.3.4 Resilience Scale-25.....	81
2.2.3.5 Spinal Cord Independence Measure.....	83
2.2.3.6 Fuerza muscular respiratoria.....	83
2.2.3.7 Pruebas de esfuerzo y espirometría .....	84
2.2.3.8 mHealth ParaSportAPP.....	87
2.2.3.9 Usabilidad de la mHealth .....	92
2.2.4 Procedimiento experimental .....	94
2.2.5 Análisis de los datos .....	97
2.2.6 Análisis estadístico.....	97
3. RESULTADOS.....	101
3.1 Resultados del estudio 1.....	101
3.2 Resultados del estudio 2 .....	103
4. DISCUSIÓN.....	115
4.1 Discusión del estudio 1 .....	115
4.2 Discusión del estudio 2.....	120
5. CONCLUSIONES FINALES .....	139
6. BIBLIOGRAFÍA.....	143

---

---

7. ANEXOS .....	181
7.1 Anexo 1: Informes del comité ético.....	181
7.2 Anexo 2: Tablas de estadísticos descriptivos de las variables del estudio 2.....	184



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Dermatomas y puntos clave utilizados en la exploración clínica de la sensibilidad en pacientes con LM según la escala AIS.....	30
<b>Figura 2.</b> Acelerómetro triaxial Actigraph GT3X.....	55
<b>Figura 3.</b> Unidad portátil K4b <sup>2</sup> con máscara buco-nasal.....	63
<b>Figura 4.</b> <i>Smartphone</i> MI A2 (Xiaomi, Pekín, China) .....	65
<b>Figura 5.</b> Participante equipado con los instrumentos. a) Cosmed K4b <sup>2</sup> b) <i>Smartphone</i> con acelerómetro incorporado .....	67
<b>Figura 6.</b> Diagrama de flujo de la pérdida de la muestra.....	76
<b>Figura 7.</b> Manómetro respiratorio bucal MicroRPM.....	84
<b>Figura 8.</b> Ergómetro de brazos Ergoselect 400.....	85
<b>Figura 9.</b> Menú principal de la mHealth ParaSportAPP .....	87
<b>Figura 10.</b> Ejemplos de ejercicios físicos proporcionados a demanda por la mHealth ParaSportAPP.....	88
<b>Figura 11.</b> Ejemplos del feedback proporcionado por la mHealth ParaSportAPP .....	90
<b>Figura 12.</b> Representación simplificada del árbol de decisiones utilizado para la clasificación del <i>feedback</i> .....	91
<b>Figura 13.</b> Participantes del estudio realizando la prueba de esfuerzo .....	95

*Índice de figuras*

---

<b>Figura 14.</b> Procedimiento del estudio.....	96
<b>Figura 15.</b> Rendimiento de los modelos obtenidos según el número de predictores utilizados para crearlo.....	102
<b>Figura 16.</b> Diagramas de cajas de las puntuaciones del PASIPD en los tres momentos de medición .....	104
<b>Figura 17.</b> Diagrama de cajas de las puntuaciones del AQoL 8-D en los tres momentos de medición .....	105
<b>Figura 18.</b> Diagramas de cajas de las puntuaciones del RS-25 en los tres momentos de medición .....	107
<b>Figura 19.</b> Diagramas de cajas de las puntuaciones del SCIM en los tres momentos de medición .....	108
<b>Figura 20.</b> Diagramas de cajas de las puntuaciones de la PIM (izquierda) y la PEM (derecha) en los tres momentos de medición .....	108
<b>Figura 21.</b> Diagramas de cajas de los valores de FEV <sub>1</sub> (arriba), FVC (abajo izquierda) y PEF (abajo derecha) obtenidos en los tres momentos de medición.....	110

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de la Asociación Spine Injury Association Improvement Scale según el grado de afectación .....	29
<b>Tabla 2.</b> Miotomas evaluados por extremidad para el examen neurológico	32
<b>Tabla 3.</b> Especificaciones técnicas de los sensores de gases del analizador de gases K4b <sup>2</sup> .....	64
<b>Tabla 4.</b> Rutina de actividades .....	68
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de las variables que forman cada modelo según su tipología.....	73
<b>Tabla 6.</b> Características de los sujetos que finalizaron el seguimiento cumplimentando todos los cuestionarios (n=14) .....	77
<b>Tabla 7.</b> Características de los sujetos que finalizaron el seguimiento realizando todas las pruebas de esfuerzo (n=8) .....	77
<b>Tabla 8.</b> Características del carro metabólico Vyntus CPX .....	85
<b>Tabla 9.</b> Instrumentos de medición y variables extraídas.....	93
<b>Tabla 10.</b> Descripción y rendimiento de los modelos resultantes .....	103
<b>Tabla 11.</b> Estadísticos descriptivos de las variables extraídas del cuestionario Hospital Anxiety and Depression Scale en los tres momentos de medición.....	106
<b>Tabla 12.</b> Estadísticos descriptivos de las variables extraídas de las pruebas de esfuerzo en los tres momentos de medición .....	109



## **ABREVIATURAS**

**AF:** Actividad física

**AFMV:** Actividad física de moderada a vigorosa

**AQoL-8D:** Assesment of Quality of Life-8 dimensions

**ASIA:** American Spinal Injury Association

**FEV<sub>1</sub>:** Volumen espiratorio forzado en el primer segundo

**FVC:** Capacidad vital forzada

**GE:** Gasto energético

**GEAF:** Gasto energético debido a la AF

**GER:** Gasto energético en reposo

**GMB:** Gasto metabólico basal

**HADS:** Hospital Anxiety and Depression Scale

**LM:** Lesión medular

**MLM:** Modelos lineales múltiples

**PADS:** Physical Activity and Disability Survey

**PAG-SCI:** Physical Activity Guidelines for adults with Spinal Cord Injury

*Abreviaturas*

---

**PARA-SCI:** Physical Activity Recall Assessment for People with Spinal Cord Injury

**PASIPD:** Physical Activity Scale for Individuals with Physical Disabilities

**PEF:** Pico de flujo espiratorio

**PEM:** Presión expiratoria máxima

**PIM:** Presión inspiratoria máxima

**RER:** Cociente respiratorio pico

**RS-25:** Resilience Scale 25 items

**SCIM:** Spinal Cord Independency Measure

**VO<sub>2</sub>max:** Consumo máximo de oxígeno

**VO<sub>2</sub>VT1:** Consumo de oxígeno durante el primer umbral ventilatorio

**VO<sub>2</sub>VT2:** Consumo de oxígeno durante el segundo umbral ventilatorio

---

# INTRODUCCIÓN GENERAL

1

## **1.1. La lesión medular**

1.1.1. Clasificaciones de los niveles de afectación de las lesiones medulares.

1.1.2. Epidemiología de la lesión medular.

1.1.3. Alteraciones y problemas médicos derivados de la lesión medular.

1.1.4. Bienestar psicológico, calidad de vida y lesión medular.

## **1.2. Ejercicio físico y lesión medular**

1.2.1. Beneficios de la actividad física en personas con lesión medular.

1.2.2. Intervenciones para aumentar el nivel de actividad física en personas con lesión medular.

## **1.3. Gasto energético y lesión medular**

1.3.1. Instrumentos autoinformados para la estimación del gasto energético.

1.3.2. Acelerometría.

## **1.4. Objetivos e hipótesis**

---



## **1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

En este capítulo se va a ofrecer una panorámica sobre la lesión medular (LM) centrándonos en qué es, dónde se produce a nivel anatómico, cuál es el tipo de población en la que más prevalencia se observa, que consecuencias conlleva a nivel de la salud y cómo la actividad física (AF) puede ser capaz de reducir o paliar ciertas complicaciones derivadas de la lesión. Asimismo, también se explorarán diferentes métodos para la estimación de la AF en personas con LM.

### **1.1 La lesión medular**

La espina dorsal del ser humano es una estructura compleja que está compuesta por 24 unidades vertebrales móviles más la región sacra (5 vertebrales fusionadas). Estas 24 unidades vertebrales se pueden dividir en tres subgrupos diferentes según en la posición en la que se encuentren, pudiendo encontrar así 7 vértebras cervicales, 12 vértebras dorsales o torácicas y 5 vértebras lumbares.

Las vértebras cervicales son las que tienen un tamaño más pequeño si las comparamos con los otros tipos, seguidamente se encuentran las vértebras torácicas con un tamaño intermedio que se va agrandando conforme más cerca de las lumbares se sitúan y que se caracterizan por poseer unas caras costales a ambos lados del cuerpo y apófisis transversas con las que se engarzan con las costillas. Por último, las vértebras lumbares, situadas a continuación de las torácicas, se caracterizan por su gran tamaño y falta de las caras costales (1).

### *Introducción general*

---

Entre el cuerpo y las apófisis de estas estructuras vertebrales se hallan unos forámenes, los cuáles, encadenándose a lo largo de la columna constituyen el canal vertebral. La médula espinal se sitúa a lo largo de dicho canal vertebral y es la principal conexión nerviosa del cerebro con el resto del cuerpo. En el centro de la médula espinal podemos encontrar la llamada materia gris (que alberga a la mayoría de los cuerpos de las células neuronales espinales), y esta se encuentra rodeada por tractos espinales orientados longitudinalmente (sustancia blanca) que están compuestos por axones que conectan diferentes partes de la materia gris entre sí.

Kirshblum et al. (2, p535) nos explican que “la materia gris está organizada en segmentos que comprenden neuronas sensoriales y motoras. Los axones de las neuronas sensitivas entran y los axones de las neuronas motoras salen de la médula espinal a través de nervios o raíces segmentales”.

La LM por definición es un daño producido en la medula espinal que puede deberse a causas traumáticas o no traumáticas. Este suceso provoca alteraciones en el buen funcionamiento y transmisión de la información, existiendo diversos grados de afectación a nivel motor y sensitivo dependiendo del alcance y tipología de la lesión (3). Se denomina LM traumáticas a aquellas que han sido causadas por una fuerza externa (accidentes automovilísticos, peleas, caídas...) (4,5). En cambio, las LM no traumáticas (no han sido producidas por ningún daño externo) incluyen las originadas por causas como infección por

espondilosis vertebral, compresión tumoral, isquemia vascular o enfermedades congénitas (6,7).

El nivel neurológico de la LM se establece como el segmento más caudal de la médula espinal con función motora, sensitiva y antigraavitatoria “normal” en ambas partes del cuerpo. Asimismo, con el fin de describir la LM podemos identificar así 4 segmentos diferentes para determinar el nivel neurológico del lesionado/a (lado izquierdo sensitivo, lado derecho sensitivo, lado izquierdo motor y lado derecho motor).

La LM es un problema médico importante en la actualidad por el hecho de que hasta la fecha todavía no se ha hallado la forma de reparar el sistema nervioso central (SNC) y restaurar su función (8). Además, provoca un gran grado de discapacidad, siendo una situación extremadamente grave que afecta al paciente, su familia y todo su entorno.

### **1.1.1 Clasificación de los niveles de afectación de las lesiones medulares**

Actualmente, los términos utilizados para determinar la pérdida o el deterioro de las funciones motoras y/o sensoriales debidas al daño de los elementos neurales dentro del canal espinal son tetraplejía y paraplejía.

El término paraplejía hace referencia al resultado de los daños sufridos en los elementos neurales del canal espinal torácico, lumbar y/o sacro, pero dependiendo de la zona donde se haya producido la lesión se van

### *Introducción general*

---

a ver involucrados el tronco, las piernas y/o los órganos pélvicos. En cambio, la tetraplejía se centra en la afectación sufrida en los elementos neurales del canal espinal cervical y cuya afectación también llega a los brazos (2,9).

Las LM pueden dividirse en dos tipos: completas o incompletas. Cuando hablamos de una LM completa nos referimos a cuando hay ausencia de función sensorial y motora más de tres niveles por debajo del nivel de la lesión y decimos que es incompleta si existe algún tipo de función sensorial y/o motora por debajo de estos segmentos.

Han sido varios los instrumentos que se han utilizado para la evaluación y clasificación de las LM. De entre estas clasificaciones se debe mencionar la Escala de Frankel (10), una escala de gravedad de 5 puntos utilizada ampliamente desde su creación en 1969. Aunque este instrumento proporcionó un esquema simple para la categorización de las LM, la información aportada resultaba inespecífica, destacando entre sus limitaciones la no incorporación del nivel de lesión o la subjetividad para juzgar la fuerza motriz útil (11).

Con el fin de ofrecer una herramienta de clasificación más completa y universal, la *American Spinal Injury Association* (ASIA según sus siglas en inglés) realizó una escala para evaluar y clasificar a los sujetos con LM según el alcance de su lesión [*American Spinal Injury Association Impairment Scale* (AIS)] (2). El AIS es un examen estandarizado que consistente en una exploración de la función motora graduando cada uno de los miotomas, una exploración de la función sensorial graduando cada uno

de los dermatomas y un examen anorectal. La clasificación obtenida de dicho test distingue entre 5 grupos diferentes según el nivel de afectación de los sujetos (Tabla1).

**Tabla 1.** Clasificación de la Association Spine Injury Association Improvement Scale según el grado de afectación

---

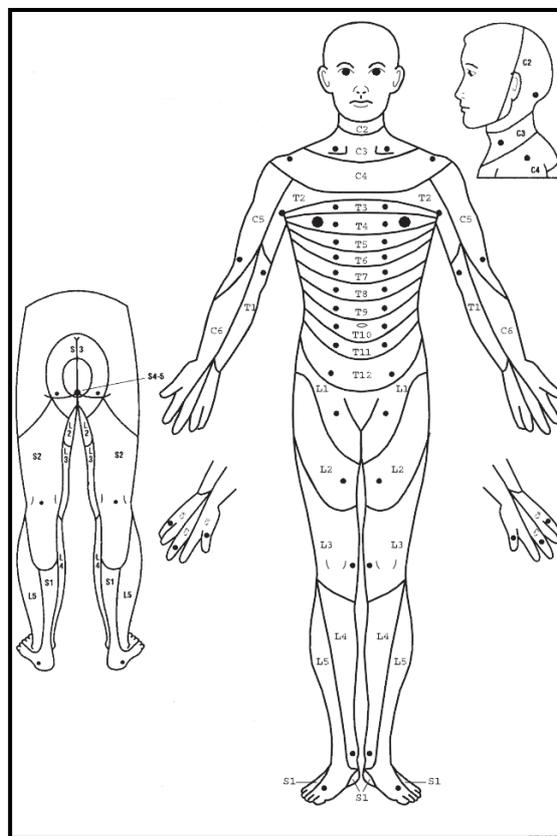
A	Completo	No se conserva la función sensitiva ni motora en los segmentos sacros (S4-S5)
B	Incompleto	La función sensitiva se conserva pero no la función motora por debajo del nivel neurológico, incluyendo los segmentos sacros (S4-S5)
C	Incompleto	La función motora se conserva por debajo del nivel neurológico, y más de la mitad de los músculos claves por debajo del nivel neurológico tienen un grado muscular menor que 3.
D	Incompleto	La función motora se conserva por debajo del nivel neurológico, y al menos la mitad de los músculos clave por debajo del nivel neurológico tienen un grado muscular de 3 o más.
E	Normal	Las funciones sensitivas y motoras son normales.

---

Para evaluar la capacidad sensorial, se examinan 28 dermatomas específicos de forma bilateral (Figura 1), con el fin de ver si el sujeto es capaz de percibir una sensación de tacto ligero (e.g. un trozo de algodón) y de pinchazo (e.g. una aguja o imperdible limpio). Para evaluar la presencia o ausencia de capacidad sensitiva en cada dermatoma se utiliza una escala del 0 al 2, siendo 0 la ausencia total de sensación, 1 capacidad

*Introducción general*

sensitiva alterada y 2 capacidad sensitiva normal. En el supuesto que se realizara este examen a una persona sin ningún tipo de alteración debería de obtener una puntuación de 224 en total, ya que se suman las puntuaciones de las dos sensaciones por cada dermatoma de forma bilateral [i.e. 4 puntos (2/2 sensación tacto ligero y 2/2 sensación de pinchazo) por los 28 dermatomas por cada lado].



**Figura 1.** Dermatomas y puntos clave utilizados en la exploración clínica de la sensibilidad en pacientes con LM según la escala AIS

Por otro lado, para evaluar la función motora se clasifican 5 grupos musculares específicos de las extremidades superiores y 5 de las inferiores (Tabla 2). Cada uno de estos grupos musculares se evalúa bilateralmente utilizando una escala del 0 al 5 (Escala de Daniels). Por tanto, la puntuación máxima para un sujeto sano sería de 100 [i.e. 50 puntos en la evaluación de las extremidades superior e inferior izquierdas (5/5 en todos los dermatomas) y 50 puntos en las extremidades superior e inferior derechas]. A continuación, se expone el significado que se le atribuye a cada puntuación de esta escala:

- 0=parálisis total.
- 1=contracción palpable o visible.
- 2=movimiento activo sin acción de la gravedad (rango de movimiento completo).
- 3=movimiento activo contra gravedad (rango de movimiento completo).
- 4=movimiento activo contra resistencia moderada (rango de movimiento completo).
- 5=movimiento activo contra resistencia elevada (rango de movimiento completo).
- NE=no evaluable.

### *Introducción general*

**Tabla 2.** Miotomas evaluados por extremidad para el examen neurológico

<b>EXTREMIDAD SUPERIOR</b>		<b>EXTREMIDAD INFERIOR</b>	
<i>Segmento medular</i>	<i>Grupo funcional (miotoma)</i>	<i>Segmento medular</i>	<i>Grupo funcional (miotoma)</i>
C5	Flexores de codo (biceps brachii y brachialis)	L2	Flexores de cadera (psoas mayor)
C6	Extensores de muñeca (extensor carpi radialis brevis y extensor carpi radialis longus)	L3	Extensores de rodilla (quadriceps femoris)
C7	Extensores de codo (triceps brachii)	L4	Flexores dorsales de tobillo (tibialis anterior)
C8	Flexor común profundo de los dedos (flexor digitorum profundus)	L5	Extensor del dedo gordo (extensor hallucis longus)
T1	Abductor del meñique (abductor digiti minimi)	S1	Flexores plantares del tobillo (gastrocnemius)

### **1.1.2 Epidemiología de la lesión medular**

En cuanto a la epidemiología de la LM, aunque son muchos los estudios existentes que abordan este tema, son muy pocos los que se centran en aportar datos a nivel global. En la mayoría de casos los estudios se han centrado en la incidencia de un tipo de LM en concreto (e.g. traumáticas o no traumáticas) (6,7,12), en países o ciudades concretas (13–15), y/o

en un tipo de población específico (adultos mayores, adultos o niños) (16–18).

Thietje et al. (19) en su capítulo de libro publicado en 2017 ofrecen datos estimatorios a nivel mundial de la incidencia de las LM. Los autores exponen que en países en vías de desarrollo la media de LM por cada millón de personas por año asciende a 25, con un rango entre 2,1 y 130,7. En cambio, en países industrializados las tasas se fijan entre 15 casos por millón al año en Europa Occidental y 39 en Estados Unidos. Además, este trabajo apunta también la diferencia de las causas principales de LM no traumáticas entre los países en vías de desarrollo (infecciones como la tuberculosis y el VIH) y los países industrializados (enfermedades degenerativas y tumores). Por último, los autores indican que la proporción de LM traumáticas según el sexo se reparte en una proporción de 3:1, siendo los hombres los más afectados, en cambio, las LM no traumáticas se reparten casi por igual, sin discriminar por sexo.

Si nos centramos en datos de otros trabajos que se centran en el estudio de la epidemiología de las LM de origen traumático, Lee et al. (6) estimaron que en 2007 hubo un ratio de incidencia de 23 LM al año por cada millón de personas a nivel mundial (unos 179.312 casos por año), afectando mayoritariamente a hombres entre 18 y 32 años en los países en vías de desarrollo, mientras que en países desarrollados los afectados mayoritariamente son los mayores de 65 sin discriminación por sexo.

### *Introducción general*

---

Rahimi-Movaghar et al. (20) aportan datos algo más exhaustivos sobre la epidemiología de las LM traumáticas en países en vías de desarrollo, siendo la proporción de afectados por millón de personas algo más alta que la media mundial (i.e., 25,5), siendo las causas principales los accidentes de coche (41,4%) y las caídas (34,9%). Además, las LM completas son más comunes (56,6% aproximadamente) que las incompletas (43% aproximadamente) y los casos de paraplejia (58,7% aproximadamente) son más frecuentes que los de tetraplejia. Por último, los autores de este trabajo de revisión estiman que los hombres son los más afectados por este tipo de lesión y establecen la media de edad en la que se sufre la lesión en 32,4 años, reforzando de esta manera los datos ofrecidos por Lee et al.(6) expuestos en el párrafo anterior.

Según los datos ofrecidos por Lee et al. (6), en la parte occidental de Europa (en la que nos situamos y la cual podríamos considerar como zona de países desarrollados) el número de casos anuales por cada millón de habitantes baja a 16.

Si hablamos de los estudios epidemiológicos sobre LM en España, son diversos los trabajos que se centran en regiones específicas del país como Aragón (21,22), Galicia (23) o Gran Canaria (24), pero escasos los que abarcan todo el territorio español (25). El primer estudio publicado que aborda esta temática en nuestro país fue el realizado por Garcia-Reneses et al. (26), el cuál recoge datos de 1010 casos de LM registrados en distintos puntos de España (Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Granada, Bilbao, Toledo, Oviedo y Zaragoza) entre el 1984 y el 1985.

Si hablamos del estudio más reciente sobre esta temática hallamos el de Pérez et al. (27), que comprende datos entre los años 2000-2009, y el cuál estimó que en España se producían unas 23,5 LM por cada millón de habitantes cada año, teniendo mayor prevalencia en hombres que en mujeres. En este caso, los autores destacaron que el 34,8% de las hospitalizaciones por LM tuvieron como causa un accidente de tráfico. Aunque también se señala que la tendencia de este tipo de lesiones decreció en el rango de años estudiado, mientras que las que se debieron a otras causas se mantuvieron estables.

### **1.1.3 Alteraciones y problemas médicos derivados de la lesión medular**

La gravedad de las LM viene dada por el deterioro de las funciones motoras y sensitivas, junto con la alteración del sistema nervioso autónomo y la imposibilidad de realizar actividades de la vida diaria. Asimismo, pueden traer consigo consecuencias y complicaciones sobre la salud de las personas afectadas como úlceras de presión, complicaciones musculoesqueléticas, respiratorias, cardiovasculares, gastrointestinales y del tracto genitourinario, disreflexia autonómica, dolores relacionados con la lesión y/o espasticidad debida a la lesión (4,28,29).

En general, la población con LM se considera un colectivo con una menor condición física (30). Además, como consecuencia de la LM se produce una reducción de la masa muscular y de la densidad mineral ósea, especialmente durante el primer año tras la lesión (31–33),

haciendo más susceptibles a las fracturas a las personas que conviven con ella.

Otro problema de salud que afecta casi a la mitad de las personas con LM es la resistencia a la insulina (34), que podría deberse a la inactividad física, la obesidad y disfunción simpática. Además, las alteraciones del sistema nervioso autónomo también producen alteraciones de la circulación, de la coagulación, degenerativas articulares, de control intestinal y de la vejiga (35).

Esta población también puede presentar alteraciones en la capacidad respiratoria debido a su lesión. Estas alteraciones están causadas por la disfunción de la musculatura respiratoria, y puede afectar a variables como el consumo de oxígeno máximo (36), la capacidad vital, la retención de secreciones bronquiales y disfunción autonómica (37). Asimismo, cuanto más completa es la lesión y más alto es el nivel neurológico estas complicaciones respiratorias se vuelven más graves (38). Schilero et al. (39) exponen en su trabajo que los sujetos con LM a nivel cervical y dorsal alto, tienen comprometida en mayor medida la función de los músculos espiratorios que la de los inspiratorios, lo cual puede dar lugar a una tos ineficaz, propensión a la retención del moco y a la atelectasia. Además, estos cambios en el funcionamiento del sistema respiratorio también tienen un efecto sobre los trastornos del sueño, provocando alteraciones en la respiración durante el sueño, especialmente en lo referente a la apnea obstructiva del sueño (40,41).

Algunos parámetros fisiológicos relacionados con el sistema cardiovascular también se ven afectados, como la frecuencia cardíaca en reposo y la variabilidad cardíaca (42). Estas alteraciones sobre parámetros cardíacos tienen su origen en que en la medula espinal se hallan centros reguladores cardiovasculares que integran las entradas de los centros cerebrales con entradas aferentes del sistema cardiovascular para ajustar la frecuencia cardíaca y la presión arterial a través de vías eferentes simpáticas y parasimpáticas (43).

Cabe decir que, cuanto más alto es el nivel de la lesión, mayores son las repercusiones de esta sobre el sistema cardiovascular (44). El nivel de lesión estimado como el más bajo para el desarrollo de un control cardíaco autónomo alterado es la zona perteneciente a la dorsal 6, ya que las alteraciones en estas áreas afectan a los niveles inferiores de las vías simpáticas responsables de la modulación autónoma de la frecuencia cardíaca, y por tanto, las variables relacionadas con esta, permanecen intactas (45). Sin embargo, parece ser que las funciones autónomas del corazón se pueden ver afectadas también en niveles de lesión más bajos que la dorsal 6, llegando a afectar a sujetos con lesiones situadas entre la dorsal 8 y la 10.

#### **1.1.4 Bienestar psicológico, calidad de vida y lesión medular**

A parte de los problemas motrices y sensitivos que derivan de una LM, también existen consecuencias a nivel de salud mental, ya que parece que las personas con LM tienen una especial vulnerabilidad a sufrir

### *Introducción general*

---

desordenes emocionales. Un estudio en el que se realizó una encuesta a 443 personas con LM sobre depresión, ansiedad y estrés, y el trastorno de stress post-traumático (46) (mediante la *Depression, Anxiety and Stress Scale* y la *Impact of Events Scale-Revised*, respectivamente), concluyó que el 48,5% de la muestra sufría problemas mentales de depresión (37%), ansiedad (30%), niveles clínicos de estrés (25%) o de trastorno de estrés post-traumático (8,4%).

Si comparamos los niveles de calidad de vida de esta población con respecto a los niveles de calidad de vida en personas sanas, Westgren et al. (47) realizaron un estudio comparando las puntuaciones del cuestionario SF-36 (utilizado para medir la calidad de vida) entre las dos poblaciones anteriormente comentadas. El resultado fue que las personas con LM traumática obtuvieron unos niveles de calidad de vida significativamente menores en todas las subescalas del cuestionario en comparación con la población sana, sin existir diferencias entre las personas con diferente grado de lesión (excepto en el funcionamiento físico). Estos resultados se asociaron a complicaciones médicas como el dolor neuropático, la espasticidad y los problemas de vejiga e intestino neurógenos.

Post et al. (48) realizaron un constructo sobre los predictores del bienestar en personas con LM. En dicho trabajo se relacionaron las características de la LM (nivel de la lesión y si esta es completa o no), con el estatus de la salud física, la cual junto con el estatus de salud mental, la edad de los sujetos y otras condiciones secundarias formaron

el estatus de salud social (que está tremendamente ligado con el nivel de satisfacción con la vida).

Por tanto, partiendo de este constructo, si somos capaces de intervenir sobre el estatus de salud física seremos capaces de mejorar en gran medida el nivel de bienestar de los sujetos. Además, si asumimos que la práctica de ejercicio físico también es capaz de incidir de una manera positiva sobre aspectos de la salud mental, ya que en poblaciones que tienen un gran nivel de estrés y/o depresión (49,50) ha resultado ser eficaz), mediante el uso de un programa de ejercicio físico en esta población se podría mejorar dos de los aspectos claves para el nivel de bienestar de las personas con LM. Viéndose reforzada esta teoría en trabajos como el de Stevens et al. (51), en el que se expone que existe una correlación positiva entre el nivel de actividad física (AF) y los niveles de calidad de vida en personas con LM.

## **1.2 Actividad física y lesión medular**

Cuando hablamos de AF en términos generales, nos referimos a cualquier actividad que implique un movimiento voluntario de los músculos esqueléticos que resulte en un aumento del gasto energético (GE). Como se ha mencionado en el apartado anterior, el aumento de los niveles de AF en personas con LM puede tener repercusiones positivas en varias dimensiones de la salud, tanto física como mental. Por ello este apartado se va a centrar en exponer los beneficios que puede producir el aumento de los niveles de AF en personas con LM y

las intervenciones que se han ido llevando a cabo para promocionar la AF en esta población.

### **1.2.1 Beneficios de la actividad física en personas con lesión medular**

El hecho de haber sufrido una LM puede llevar a una falta de práctica de ejercicio físico, lo cual puede llegar a incrementar el impacto de su lesión añadiendo un mayor riesgo de complicaciones de salud crónicas secundarias (52). Además, la falta de condición física puede ser un problema serio para la autonomía de las personas con LM, pudiendo incluso verse afectados significativamente sus niveles de calidad de vida tras periodos muy breves de inactividad, colocándolas en una situación de dependencia aún mayor si cabe (53).

Por otra parte, la AF en personas con LM puede modular algunas de las alteraciones debidas a dicha lesión, ayudando en la prevención primaria y secundaria de diferentes enfermedades metabólicas en esta población (37), a llevar un envejecimiento saludable controlando la pérdida de masa ósea (54), a reducir los riesgos cardiovasculares (55–57), a reducir el dolor (58–60), a reducir la espasticidad (61), y/o mejorar variables respiratorias (e.g. capacidad vital, volumen residual...) (62). Además, mejoras en capacidades físicas como la fuerza también pueden prevenir lesiones por sobreuso en las extremidades superiores (63).

De todos estos factores, las mejoras en el sistema cardio-respiratorio en esta población son cruciales, ya que las enfermedades cardiovasculares

se han establecido como una de las principales causas de fallecimiento en personas con LM (64).

En esta línea, Montesinos-Magraner et al. (28) realizaron un estudio con 67 personas con LM completa (T2-T12) en el que hallaron que los sujetos que eran más activos físicamente tenían un menor nivel de comorbilidad, es decir que tenían un menor número de enfermedades o complicaciones debidas a la lesión además de la propia LM. Lo cual refuerza la necesidad de aumentar la práctica de AF en esta población.

Con el objetivo de marcar unos mínimos de ejercicio físico a realizar semanalmente por las personas con LM para la mejora de su salud cardiometabólica y de su condición física, se han creado ciertas pautas basándose en las evidencias científicas que existían en cada momento sobre la temática. Una de las primeras guías de este tipo que se llevó a cabo mediante el proceso de Evaluación de Pautas para Investigación y Evaluación II (AGREE II en sus siglas en inglés) fue el de Ginis et al. (52) el cuál ha sido actualizado en el 2018 por Ginis et al. (65)

En esta última guía se estableció que para mejorar capacidades como la respiratoria o la fuerza muscular, las personas con LM deberían realizar al menos 20 minutos de ejercicios aeróbicos de intensidad moderada a vigorosa 2 veces por semana y 3 series de ejercicios de fuerza por cada grupo muscular funcional con una intensidad de moderada a vigorosa. Además, si se quieren lograr beneficios en la salud cardiometabólica los ejercicios aeróbicos de intensidad moderada o vigorosa deberían de llevarse a cabo al menos 3 días a la semana.

### **1.2.2 Intervenciones para aumentar el nivel de actividad física en personas con lesión medular**

A pesar de los beneficios que puede aportar la práctica de ejercicio físico y mantener niveles altos de AF a nuestra salud, una gran parte de la población es físicamente inactiva, siendo más patente esta inactividad en personas con LM (66). Un estudio desarrollado por Ginis et al. (67) expuso que, además de ser un grupo poblacional que refería niveles bajos de AF, se debe de tener en cuenta a subgrupos como lo son los adultos mayores, las mujeres, las personas con LM graves, las personas con LM con más tiempo de evolución y/o los usuarios de sillas eléctricas y de ayudas para la marcha, ya que pueden requerir de una atención o recursos especiales para superar barreras para llevar a cabo AF en su tiempo de ocio.

Por todo lo anteriormente comentado, parte de la comunidad científica dedicada a mejorar la salud de las personas con LM se ha centrado en crear intervenciones para conseguir aumentar los niveles de AF en esta población (68).

Algunas de las intervenciones llevadas a cabo con el fin de aumentar el nivel de AF de las personas con LM se han basado en proveer información y recomendaciones para su práctica a los sujetos. Arbour-Nicitopoulos et al. (69) proporcionaron a un grupo de sujetos con LM una guía de AF para adultos con LM (PAG-SCI) (n=48) y a otro grupo con el *SCI Get Fit Toolkit* (n=42). El instrumento PAG-SCI [véase en Ginis et al. (52)] es una guía general de AF de una página de extensión

en la que se refieren pautas y recomendaciones generales para la práctica de ejercicio físico, específicas para personas con LM. En cambio, el SCI Get Fit Toolkit [véase en Arbour-Nicitopoulos et al. (70)] es un documento de 4 páginas que contiene un resumen del PAG-SCI, sugerencias de actividades para usuarios de sillas de ruedas manuales y eléctricas, información sobre como planificar el entrenamiento, beneficios de la AF moderada y vigorosa (AFMV), barreras comunes para su realización y estrategias para su afrontamiento y consejos de seguridad. En este caso, ninguna de las dos intervenciones logró incrementar los niveles de AF de una manera significativa en los sujetos que componían sus respectivos grupos. Por otra parte, Zemper et al. (71) optaron por crear una intervención en la que se realizaron talleres de bienestar orientados a personas con LM en los que se abordaron temáticas como la nutrición, el manejo del estilo de vida y la AF. El grupo al que se le aplicó la intervención mostró mejoras en algunas variables relacionadas con la AF, autoeficacia y comportamientos relacionados con la salud.

Arbour-Nicitopoulos et al. (72) en cambio, realizaron una intervención mediante la redacción de planes de acción (rutinas de entrenamiento) para realizar 30 minutos de AFMV tres días a la semana durante su tiempo de ocio combinándolos (o no) con planes de afrontamiento. Finalmente, los autores declararon que el grupo en el que se combinaron las rutinas de entrenamiento con planes de afrontamiento mostró un nivel de AF significativamente más elevado que el que únicamente utilizó las rutinas de entrenamiento.

### *Introducción general*

---

Por otra parte, estudios como el realizado por Froehlich-Grobe et al. (73), Arbour-Nicitopoulos et al. (74) o Tomasone (75) intentaron valorar la importancia del apoyo de personal especializado (no presencial, vía telefónica) para promocionar la AF. Froehlich-Grobe et al. (73) se centraron en el estudio del efecto de este tipo de refuerzo en el cumplimiento (o no) de rutinas de entrenamiento en usuarios de silla de ruedas inactivos (el 46,1% de la muestra tenía LM). Los resultados hallados por los autores mostraron que el grupo al que asignaron apoyo de personal especializado mostró niveles de AF superiores al grupo que no recibió esta asistencia, aunque en cambio no reportaron diferencias significativas entre ambos grupos en cuanto a las variables fuerza y capacidad aeróbica. Arbour-Nicitopoulos et al. (74) siguieron una táctica similar y ofrecieron un contacto telefónico de un entrenador especialista en ejercicio físico y LM a 53 personas con este tipo de lesión. Los autores registraron los datos que proporcionaron los sujetos respondiendo telefónicamente a un cuestionario sobre la intención de realizar AF y otro sobre las AF autoreportada en los últimos 7 días en su tiempo de ocio al principio y a los 2, 4 y 6 meses durante la intervención. Como resultado se observó una tendencia a que los participantes realizaran AFMV en su tiempo libre a los 6 meses en comparación al momento de inicio de la intervención. De la misma manera, Tomasone et al. (75) realizaron una intervención muy similar a la de Arbour-Nicitopoulos et al. (74), aunque además en este estudio se les proporcionó formación a todos los sujetos mediante el envío de un paquete de bienvenida formado por el PAG-SCI, el SCI Get Fit Toolkit,

dos bandas elásticas, una guía de instrucciones, una hoja de consejos de seguridad para el ejercicio, consejos y estrategias para alcanzar los objetivos de AF, y una tabla de clasificación de la intensidad de las actividades. Los autores justifican que mediante esta intervención se logró mantener la intención de realizar AF y aumentar el tiempo dedicado al entrenamiento de fuerza y los niveles totales de AF realizada durante el tiempo de ocio.

Otros trabajos como los de Nooijen et al. (76,77) hacen hincapié en la importancia de las intervenciones sobre el comportamiento y la motivación en la adopción de modos de vida saludable en general. En los trabajos mencionados la población de estudio fueron personas con LM subagudas (con una media de 6 meses de evolución). En ambos estudios la muestra se dividió en dos grupos (uno que actuó como control y otro como experimental), donde la única intervención que se realizó en el segundo grupo fueron 13 entrevistas con un entrenador formado en entrevistas motivacionales. En el primer estudio (76) los autores se centraron más en cuantificar los cambios en los niveles de AF, mientras que en el segundo (77) se centraron más en los cambios a nivel fisiológico y social de los sujetos. Nooijen et al. (76) hallaron que el grupo experimental aumentó su nivel de AF (medida con un acelerómetro colocado en las sillas de ruedas de los sujetos para llevar el seguimiento oportuno), además de mejorar la AF auto-reportada. En cambio, no se registraron cambios significativos en cuanto al tiempo de actividades sedentarias. Por otra parte, Nooijen et al. (77) hallaron mejoras en la participación social y en variables relacionadas con la salud

cardiovascular de los sujetos.

Latimer et al. (78) realizaron un estudio en el que se aplicó una intervención mediante la estrategia de intención de implementación para la promoción de AF en personas con LM. Los investigadores contactaron con los sujetos del grupo experimental y les comunicaron que debían de realizar 30 minutos de AFMV tres días a la semana, ayudándoles a crear una rutina de entrenamiento (haciendo que los sujetos especificaran el tipo, intensidad y duración de las actividades a realizar). Además, se le envió a cada uno de los participantes un calendario con la planificación que habían establecido vía e-mail, con el fin de que consultaran sus rutinas y pudiesen llevar un seguimiento y marcar si las realizaban o no. Esta técnica resultó obtener mejores resultados en cuanto a la realización de AF en comparación al grupo control, y también mostraron una mayor motivación y confianza para la planificación de ejercicio físico.

Por último, Letts et al. (79) afirmaron que tanto internet como el ordenador en sí eran vías de comunicación válidas y factibles para promocionar la AF en personas con LM. En los últimos tiempos algunos investigadores se han centrado en la utilización de recursos electrónicos para promocionar la AF en personas con y sin LM (80–82). Aunque bien es cierto que la aplicación de este tipo de intervenciones es aún escasa en esta población podemos destacar estudios recientes como el de Gaffurini et al. (80) o Hiremath et al. (82). En el caso de Gaffurini et al. (80), los autores no aplicaron una intervención en sí, sino

que realizaron un trabajo en el que se estudió si el uso de videojuegos activos o *exergames* (utilizando la NintendoWii con el juego WiiSports), son capaces de aumentar realmente el GE en personas con LM. La respuesta a la pregunta de investigación fue sí (especialmente en el juego de boxeo), dejando abierta la puerta para la realización de futuras intervenciones que utilicen *exergames* para aumentar el nivel de AF en esta población. Por otro lado, Hiremath et al. (82) realizan un acercamiento a la creación de una mHealth (aplicación móvil destinada a mejorar variables relacionadas con la salud) para personas con LM para la promoción de AF. En dicho estudio, se creó una mHealth que recibía información del acelerómetro de un *smartwatch* (reloj inteligente) y de un dispositivo colocado en una de las ruedas de la silla de los sujetos para calcular aproximadamente el GE diario de cada uno de ellos. Aunque se trató de un estudio piloto, los autores declararon que la mayoría de los sujetos del grupo experimental incrementaron sus niveles de AF ligera y/o moderada.

Estas últimas intervenciones realizadas mediante aparatos tecnológicos pueden ser de gran interés. Actualmente los avances tecnológicos han conseguido que los llamados *smartphones* se hallen al alcance de la mayoría de la población (83,84), convirtiéndolos en instrumentos con unas características muy interesantes para poder llevar a cabo futuras intervenciones por todas las funciones que se pueden implementar en ellos.

### **1.3 Gasto energético y lesión medular**

Como se ha podido ver en el apartado anterior, el GE es una variable tremendamente relacionada con la AF. Dicho esto, antes de profundizar más en la literatura sobre el GE en personas con LM se debe definir correctamente el concepto de GE, así como los tipos de subcategorías existentes.

Cuando hablamos de GE nos referimos a la energía total que un individuo utiliza para mantener sus funciones corporales básicas y como resultado de la AF realizada (85). Teniendo en cuenta esta definición, podemos encontrar diferentes subclasificaciones de este término como por ejemplo el gasto metabólico basal (GMB), el gasto energético en reposo (GER) y el gasto energético debido a la AF (GEAF). Los dos primeros términos son muy similares, ya que básicamente expresan la energía mínima que las personas necesitan para vivir, aunque la GMB se debe medir inmediatamente después del despertar en la mañana, en ayuno y en una posición de relajación absoluta, en cambio, la GER puede medirse en cualquier momento del día siempre que hayan transcurrido entre 3 y 4 horas desde la última comida. Por último, la GEAF es el total de energía que un individuo invierte en la realización de cualquier movimiento voluntario de los músculos esqueléticos. El conjunto de todas estas variables componen el gasto energético total (GET).

De todas las subclasificaciones de GE expuestas, la GEAF es la más variable y en la que, por tanto, más podemos producir cambios mediante intervenciones en el ámbito de la salud.

Un aspecto importante desde el punto de vista de la salud y la AF es analizar el GE de las personas con LM para poder diseñar unas dietas y unas guías de ejercicio físico adecuadas para ellas. Pero algunas publicaciones nos hacen saber de la dificultad y el desafío que supone medir la AF y el GE en personas con LM (86,87).

Además, cabe destacar que el GMB de personas con LM puede diferir de las de personas sanas, por tanto, se requiere de modelos de estimación del GE específicos para esta población. Estas diferencias pueden deberse a la atrofia muscular existente por debajo del nivel de la lesión y la alta masa grasa relativa de los individuos con LM en comparación con las personas sanas, ya que son factores que pueden resultar en una disminución del GMB (88,89).

En la literatura científica se han especificado hasta la fecha más de 30 técnicas para la medición de la AF y/o el GEAF (90), destacando entre ellas algunas como la técnica del agua doblemente marcada (91), el uso monitores de ritmo cardíaco (92), la calorimetría directa e indirecta (93,94), el uso de instrumentos autoinformados (87) o la acelerometría (95).

De entre todos los métodos anteriormente mencionados cabe señalar a la calorimetría directa como el más preciso para desarrollar estas

### *Introducción general*

---

mediciones de GEAF (90). Aunque también cabe decir que es una técnica tremendamente costosa en cuanto a términos económicos se refiere, requiriendo de la instalación de una cámara de unas dimensiones similares a las de una habitación.

En cambio, la calorimetría indirecta (aunque en un rango menor) también ha resultado una herramienta fiable y precisa para el cálculo del GEAF. El precio del instrumental es más asequible (un analizador de gases) y el hecho de que actualmente existan dispositivos portátiles hace posible llevarla a cabo mediciones en situaciones de desplazamiento. Por ello, esta técnica se considera un buen *gold standard* a la hora de validar otros instrumentos de medición como los acelerómetros. Aunque es un instrumento válido para el registro del GE producido durante la AF en personas con LM, la utilización de estas herramientas en estudios de intervención para registrar la AF que realizan los usuarios durante su vida diaria resultaría en un costo muy alto y en una gran molestia para los sujetos. Esto se debe a que, aunque el aparataje es más económico que el de otras opciones, sigue teniendo un precio muy elevado y los grupos de investigación no pueden disponer de suficientes unidades como para poder monitorizar a un gran número de sujetos al mismo tiempo. Asimismo, el analizador de gases portátil debe de estar conectado al sujeto mediante el uso de una máscara que cubra nariz y boca, y además este debe de cargar con un chaleco en el que se sitúe el analizador con la correspondiente batería. Por tanto, el uso de este tipo de material queda descartado para este tipo de mediciones de campo.

A continuación, se van a explicar detalladamente las técnicas de medición del GEAF mediante instrumentos autoinformados y acelerometría. Siendo estos dos los métodos más utilizados en la medición del GEAF y/o la AF en usuarios de silla de ruedas (87).

### **1.3.1 Instrumentos autoinformados para la estimación del gasto energético**

Los cuestionarios han sido herramientas utilizadas para reportar los niveles de AF en diversos tipos de población (96–98). Concretamente, si nos centramos en la población con LM, existen 3 instrumentos de evaluación de AF autoreportada que se han utilizado en la literatura científica: el *Physical Activity and Disability Survey* (PADS) (99), el *Physical Activity Scale for Individuals with Physical Disabilities* (PASIPD) (100) y el *Physical Activity Recall Assessment for People with Spinal Cord Injury* (PARA-SCI) (101).

El PADS fue uno de los primeros cuestionarios diseñados para el cálculo de la AF en personas con diversidad funcional. Este instrumento fue validado en una amplia gama de poblaciones como personas que han sufrido un ictus o personas con diabetes tipo 2, por lo cual parece que no es capaz de registrar muchas de las actividades específicas de personas que se desplazan en silla de ruedas. Este cuestionario consta de 46 preguntas, las cuales cubren un espacio temporal de 7 días. La puntuación obtenida se halla registrando el tiempo que se le dedica a cada actividad y multiplicándolo por un valor establecido según el tipo

### *Introducción general*

---

de actividad. A mayor puntuación en el cuestionario, mayor nivel de AF reportado.

En cambio, el PASIPD es un cuestionario que, aunque ha sido validado en poblaciones con deficiencias visuales o auditivas, también lo ha sido en personas con SCI y otras poblaciones con discapacidad motriz, e incluye diversas actividades típicas de personas que se desplazan en silla de ruedas. Este cuestionario está formado por 13 preguntas que abordan actividades de reparación del hogar o jardinería, trabajo en el hogar, AF vigorosa, AF moderada y la actividad laboral. En este caso, la puntuación se obtiene multiplicando el promedio de horas por día de cada elemento por un valor de MET asociado a la intensidad de la actividad. Como resultado del cuestionario hallamos una puntuación expresada en METS (unidad de medida del índice metabólico). De Groot et al. (102) publicaron una validación del constructo del PASIPD en personas con LM, identificando así diferencias de puntuaciones en función del nivel y el tiempo de evolución de la lesión, hallando además correlaciones débiles entre las puntuaciones totales del PASIPD y parámetros de capacidad física (fuerza muscular, pico de oxígeno y producción máxima de energía). Además, van der Ploeg et al. (103) realizaron un estudio de fiabilidad test-retest y de validez de criterio (comparado el PASIPD con un acelerómetro). Se obtuvo un coeficiente de correlación de Spearman de 0,77 para el estudio de fiabilidad test-retest y de 0,30 cuando se compararon las puntuaciones totales del PASIPD con las del acelerómetro. Por último, los autores declararon que el PASIPD mostró una fiabilidad y una validez de criterio

comparable a la de cuestionarios de AF establecidos en la literatura para población general.

Si hablamos del PARA-SCI, debemos de decir en primera instancia que es el único cuestionario desarrollado específicamente para la medición de la AF en personas con LM. Este instrumento se diseñó para llevarse a cabo como una entrevista telefónica semiestructurada en la que el entrevistador es guiado mediante un diagrama de flujo y preguntando al entrevistado sobre las acciones realizadas en diferentes momentos del día, registrando la información de 3 días en total. El entrevistador registra la actividad realizada y el número de minutos que se le dedica, y las clasifica según su intensidad, obteniendo de esta manera información sobre los minutos que se le dedica a la AF ligera, moderada y/o vigorosa por separado, y con el sumatorio de estas la AF total. De este cuestionario se realizaron estudios de validación tanto de criterio como de constructo (101,104). Ginis et al. (101) realizaron el estudio de validación de criterio, hallando correlaciones de 0,27; 0,63; 0,88 y 0,79 entre el  $VO_2$  y la AF de intensidad ligera, moderada, vigorosa y total respectivamente. Latimier et al. (104) por su parte, pusieron a prueba la validez del constructo mediante correlaciones con la fuerza muscular y capacidad aeróbica y mediante comparación de grupos extremos. Los autores hallaron pocas correlaciones significativas en las sub-categorías de las variables físicas analizadas, siendo además estas correlaciones débiles. Por último, las comparaciones con grupos extremos mostraron efectos de la edad, el sexo y la pertenencia a entidades deportivas, pero no entre el nivel y grado de la LM.

Una vez desarrollados y explicados estos instrumentos, cabe decir que ninguno de los cuestionarios desarrollados hasta la fecha y utilizados para la medición de la AF en personas con LM resulta totalmente idóneo para llevar a cabo esta tarea. Aunque sí que pueden reportarnos información importante sobre las actividades que dicen realizar los sujetos (sobre todo el PASIPD y el PARA-SCI).

### **1.3.2 Acelerometría**

Aunque, como se ha explicado anteriormente existen un gran número de herramientas y técnicas que se han utilizado para medir el GEAF en personas con LM, algunas de estas presentan dificultades para integrarlas en la vida cotidiana de los sujetos (eg. calorimetría directa e indirecta) o son poco precisas (e.g. instrumentos autoinformados o monitores de frecuencia cardíaca). Como alternativa a ellas podemos recurrir al uso de la acelerometría, la cual, según Liu et al. (105) es una opción económica, precisa y que no presenta dificultades para integrarla en la vida cotidiana de los sujetos.

La acelerometría es una técnica mediante la que se pueden registrar las aceleraciones y/o desaceleraciones de un cuerpo, siendo los acelerómetros los instrumentos que se utilizan para llevarla a cabo (106,107). Asimismo, estos aparatos han sido utilizados en un gran número de trabajos para calcular la AF en diferentes tipos de población, incluyendo a las personas con LM (28,108–110).

Habitualmente, para la medición de AF encontramos dos tipos de acelerómetros según los planos que registre: uniaxiales o triaxiales.

Como se puede deducir de su nombre, los acelerómetros uniaxiales únicamente registran las aceleraciones en un plano de movimiento (este dependerá de la posición en la que se coloque), en cambio los acelerómetros triaxiales son capaces de registrar datos en los planos vertical, anteroposterior y mediolateral (111). Siendo teóricamente los acelerómetros triaxiales una herramienta más precisa para el cálculo de la AF (112).

Tsang et al. (113) llevaron a cabo una revisión sistemática sobre la validez de los monitores de actividad en usuarios de sillas de ruedas diferenciando entre los estudios que utilizaban monitores comerciales con algoritmos predeterminados o personalizados y los que cuantificaban la AF con dispositivos y algoritmos personalizados. En este trabajo se sitúa a los acelerómetros triaxiales como los más usados para la validación y creación de modelos de estimación de GEAF en personas con LM. En concreto, el acelerómetro Actigraph GT3X (Figura 2) y su variante GT3X+.



**Figura 2.** Acelerómetro triaxial Actigraph GT3X

Uno de los trabajos que engloba la revisión sistemática de Tsang et al. (113) y que debe de ser mencionado es el de Garcia-Massó et al. (114),

### *Introducción general*

---

cuyo hallazgo ha sido considerado por un estudio reciente como un modelo con un buen rendimiento para la estimación del GEAF comparado con otros que usan dispositivos portátiles en personas con LM (115). García-Massó et al. (114) validaron el uso del acelerómetro triaxial Actigraph GT3X mediante modelos lineales múltiples (MLM), identificando además cuál era la mejor localización para colocar el dispositivo (pecho, cintura, muñeca mano dominante o muñeca mano no dominante). Los autores de dicho trabajo consiguieron realizar un modelo de estimación del GEAF válido y concluyeron que el mejor lugar de los estudiados para colocar el acelerómetro fue la muñeca de la mano no dominante. Dicho modelo obtuvo un valor  $r$  de 0,86 y un error cuadrático medio de  $2,23 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ .

Habitualmente este tipo de instrumentos solo se hallan en las manos de investigadores o de profesionales de la salud interesados en cuantificar la AF de sus sujetos o pacientes. En cambio, los avances tecnológicos han logrado que este tipo de herramientas se implementen en aparatos tan comunes y que están al alcance de la mayoría de la población como lo son los *smartphones* (116).

Algunos estudios recientes realizados con poblaciones no afectas de LM ya han realizado validaciones de estos dispositivos para la medición de AF mediante los acelerómetros que llevan incorporados (116,117). Aunque hasta donde sabemos, todavía no existen trabajos que hayan abordado de una manera eficaz este tipo de validaciones en personas con LM.

La posibilidad de utilizar un *smartphone* como herramienta para cuantificar la AF en personas con LM de una manera efectiva puede abrir la puerta a la realización de estudios centrados en la promoción de AF en esta población desde diferentes perspectivas. Esta herramienta se puede utilizar como un simple cuantificador de la AF para proveer a los investigadores datos fiables sobre la AF realizada por los sujetos, o en cambio, puede ser una herramienta básica en la intervención realizada, proporcionando estos datos a los mismos sujetos para que ellos puedan llevar un seguimiento de la AF que realizan.

#### **1.4 Objetivos e hipótesis**

Los objetivos principales que se fijan para alcanzar tras la realización de este proyecto de investigación son:

1. Validar el uso del acelerómetro de un *Smartphone* para cuantificar el GEAF en personas con LM completa dorsal.
2. Crear una mHealth en la que se implemente la ecuación resultante de dicha validación, y que incluya ejercicios físicos específicos para personas con LM completa dorsal, con el fin promocionar la AF en esta población.
3. Analizar la usabilidad de la mHealth ParaSportAPP.
4. Analizar si el uso de la mHealth es capaz de producir cambios a nivel cardiorrespiratorio, en los niveles de AF autoreportados y en los niveles de calidad de vida, independencia, ansiedad, depresión y resiliencia.

### *Introducción general*

---

La hipótesis inicial que se plantea es que se va a conseguir realizar la validación del uso del acelerómetro de un *smartphone* para la cuantificación de la AF en personas con LM completa dorsal, que se va a conseguir crear una mHealth operativa, y que la intervención realizada con esta va a mostrar mejoras sobre las variables estudiadas.

Estas hipótesis se basan en la premisa de que los acelerómetros de los *smartphones* pueden ser válidos para cuantificar el GEAF en personas con LM. Por otra parte, las mHealth son herramientas que se han utilizado en diferentes intervenciones que tuvieron con el fin modificar o controlar diferentes factores relacionados con la salud, y pueden tener un gran potencial para promocionar la AF gracias a su gran accesibilidad.

---

# METODOLOGÍA

# 2

## **2.1 Estudio 1**

- 2.1.1. Diseño del estudio
- 2.1.2. Participantes
- 2.1.3. Material
- 2.1.4. Procedimiento experimental
- 2.1.5. Análisis de los datos

## **2.2 Estudio 2**

- 2.2.1. Diseño del estudio
  - 2.2.2. Participantes
  - 2.2.3. Material
  - 2.2.4. Procedimiento experimental
  - 2.2.5. Análisis de los datos
  - 2.2.6. Análisis estadístico
-



## **2. METODOLOGÍA**

Este trabajo de investigación se compone por dos estudios independientes con el fin de conseguir alcanzar todos los objetivos que se han marcado en el apartado anterior. Por ello, en este apartado se va a pasar a desarrollar la metodología de cada uno de ellos por separado.

### **2.1 Estudio 1**

#### **2.1.1 Diseño del estudio**

El estudio planteado se basó en un diseño descriptivo transversal. Con el objetivo de validar el uso del acelerómetro de un *smartphone* para cuantificar el GEAF en personas con LM completa dorsal, un grupo de sujetos de esta población realizaron de manera individual una sesión en la que tuvieron que llevar a cabo una rutina de actividades. Durante la sesión se monitorizó el  $VO_2$  y se registraron las aceleraciones producidas en el brazo no dominante de los sujetos. Posteriormente, se analizaron dichos datos para hallar un modelo válido con el que estimar el GEAF mediante las aceleraciones obtenidas por el *smartphone*.

#### **2.1.2 Participantes**

Con el fin de reclutar a los sujetos se utilizó un muestreo de casos consecutivos de las personas con LM dorsal completa usuarias de silla de ruedas a tiempo completo que estaban registradas en las instituciones clínicas del Hospital la Fe (Valencia, España) y/o la Asociación Provincial de Lesionados Medulares y Grandes Discapacitados (Valencia, España).

## *Metodología*

---

Los criterios que se marcaron para la inclusión de los sujetos en el estudio fueron: i) tener una LM entre T2 y L5 de al menos un año de evolución, ii) ser usuarios de silla de ruedas a tiempo completo y iii) haber perdido completamente la función motora de sus extremidades inferiores, descrita como una puntuación de 0 en los ítems de las extremidades inferiores de la escala AIS.

Como resultado del proceso anteriormente descrito se consiguió reclutar a 20 sujetos para participar en el estudio. Los participantes tenían una media (desviación típica) de 45,7 (8,37) años, un peso de 74,8 (18,05) kg y una altura de 173,1 (12,47) cm.

Este estudio fue aprobado por el comité ético de la Universidad de Valencia y todos los sujetos dieron su consentimiento informado por escrito para participar en el estudio.

### **2.1.3 Material**

Para la consecución de los objetivos marcados en este estudio y con el fin de poder obtener registros del  $VO_2$  y de las aceleraciones se hizo uso de dos instrumentos: el analizador de gases K4b<sup>2</sup> (Cosmed, Roma, Italia) y el *smartphone* basado en el sistema operativo Android, MI A2 (Xiaomi, Pekín, China).

#### *2.1.3.1 Analizador de gases*

El analizador de gases portátil K4b<sup>2</sup> (Figura3) (118) fue el instrumento utilizado para monitorizar el  $VO_2$ . Este dispositivo de calorimetría

indirecta utiliza la tecnología respiración a respiración (*breath-by-breath*) para el cálculo del intercambio de gases pulmonares ( $VO_2$  y  $VCO_2$ ).



**Figura 3.** Unidad portátil K4b<sup>2</sup> con máscara buco-nasal

Este dispositivo puede ser utilizado de tres modos diferentes según los requerimientos de la prueba a realizar: almacenando la información en el mismo aparato, mediante telemetría y/o conectado directamente al ordenador. Para la realización de este estudio se hizo uso de la primera opción, guardando los datos después de cada prueba y volcándolos en un ordenador tras su finalización. La memoria de almacenamiento interno del analizador de gases K4b<sup>2</sup> tiene una capacidad de 16000 respiraciones y la autonomía de la batería del dispositivo es de 6 horas. Las dimensiones del instrumento son de 170 x 55 x 100 mm, y tiene un peso de 475g.

Para registrar correctamente los gases, el participante debe de llevar una máscara buco-nasal (véase en la Figura3) para evitar las pérdidas de aire.

### Metodología

---

Esta máscara estaba conectada a una turbina digital bidireccional de 28 mm de diámetro, la cuál también estuvo acoplada a un medidor de flujo opto-electrónico (rango de flujo de 0,08-20 l/s; rango de ventilación de 0-300 l/m). Los gases espirados pasan desde esta turbina a un tubo de Nafion® desde el cual se bombean hacia los sensores de gases, cuyas especificaciones técnicas se muestran a continuación (Tabla3).

**Tabla 3.** Especificaciones técnicas de los sensores de gases del analizador de gases K4b<sup>2</sup>

---

	Sensor de O <sub>2</sub>	Sensor de CO <sub>2</sub>
<b>Tipo</b>	GFC	NDIR
<b>Rango</b>	7-24%	0-10%
<b>Tiempo de respuesta</b>	120 ms	100 ms
<b>Precisión</b>	0,02 %	0,02 %

---

Como se ha mencionado en apartados anteriores, la calorimetría indirecta es una de las técnicas más utilizadas como *gold standard* para la medición del GEAF. Además, el dispositivo K4b<sup>2</sup> se sitúa como el instrumento de este tipo más utilizado para la validación de monitores de actividad en personas usuarias de silla de ruedas (113).

### 2.1.3.2 Acelerómetro

Los datos de las aceleraciones se registraron con el acelerómetro triaxial incorporado en el *smartphone* basado en el sistema operativo Android, MI A2 (Xiaomi, Pekín, China). Este dispositivo contaba con un procesador Qualcomm Snapdragon 660 de 8 núcleos y 4 GB de RAM (Figura 4).



**Figura 4.** *Smartphone* MI A2 (Xiaomi, Pekín, China)

La velocidad de muestreo fue de 50 Hz. Se utilizó la APP móvil Physics Toolbox Suite (Vieyra Software, Washington DC, EE.UU.) (119) para especificar dicha velocidad de muestreo, guardar y exportar los datos de aceleración a un ordenador.

### 2.1.4 Procedimiento experimental

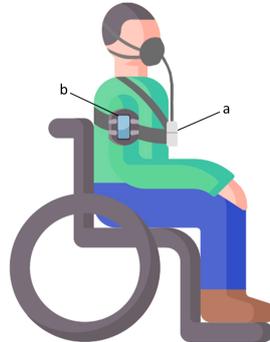
En primer lugar, los sujetos firmaron el consentimiento informado y voluntario. A continuación, se pasó a equipar a los participantes con los instrumentos mencionados en el subapartado anterior.

### *Metodología*

---

Se les colocó el *smartphone* en la parte superior del brazo no dominante (concretamente, en la superficie lateral del brazo a mitad de camino entre la apófisis del acromion y el epicóndilo lateral del húmero). La decisión de situar el dispositivo en el brazo no dominante se debió a los resultados obtenidos por García-Massó et al. (114), los cuales observaron que colocando el acelerómetro en la muñeca no dominante obtuvieron mejores valores que cuando se colocó en la dominante. Para conseguir que el *smartphone* estuviese bien sujeto y fijo al cuerpo del sujeto se utilizó un brazalete específico para realizar ejercicio físico ArmbandSpider (CellularLine, Milan, Italia).

Además, también se equipó a los sujetos con el analizador de gases K4b<sup>2</sup>. En este caso se les colocó un chaleco específico del producto en el que se ubicó la batería del dispositivo en la parte delantera y la unidad central en la parte trasera. Se comprobó qué talla de máscara buco-nasal se ajustaba mejor a las dimensiones de la cabeza del sujeto y se les fijó con unos agarres específicos para este fin. Por último, se aseguró que todas las conexiones tanto de la máscara con la unidad central, como de la unidad central con la batería externa estuvieran correctamente acopladas (ver Figura 5 para observar la configuración de la instrumentalización). Cabe destacar que previamente a la utilización del K4b<sup>2</sup>, se llevaron a cabo las calibraciones del aire de la habitación, del gas de referencia y del retardo de gas (según el manual de uso del instrumento). Además, todas las máscaras buco-nasales fueron desinfectadas antes y después de su utilización según las normas del fabricante.



**Figura 5.** Participante equipado con los instrumentos. a) Cosmed K4b<sup>2</sup> b) *Smartphone* con acelerómetro incorporado

Una vez equipados con el instrumental necesario para registrar los datos de las aceleraciones y del  $VO_2$ , los sujetos pasaron a realizar una rutina de actividades de la vida diaria (Tabla 4). Cabe decir que, antes de empezar la recolección de datos se sincronizaron manualmente ambos dispositivos (acelerómetro y analizador de gases), y durante las mediciones se fueron realizando marcas temporales en el analizador de gases para poder diferenciar con claridad el inicio y la finalización de cada actividad para su posterior análisis.

Estas actividades fueron seleccionadas por estar descritas en la literatura científica como algunas de las más comunes entre las realizadas por personas con LM (114,120,121). De hecho, se utilizaron las mismas actividades que las empleadas en el estudio de García-Massó et al. (114), sustituyendo únicamente las actividades de realizar transferencias y propulsión pasiva por las de limpiar cristales y planchar ropa. Esta decisión se tomó debido a que la acelerometría tiene limitaciones a la hora de calcular el GEAF de ejercicios de fuerza (entre los cuales

### *Metodología*

---

podríamos englobar las transferencias), y a que la propulsión pasiva resultaba muy similar a otras actividades sedentarias incluidas como ver la televisión o trabajar con el ordenador. De esta manera, añadiendo las actividades de limpiar cristales y planchar la ropa se pretendió aumentar la diversidad de situaciones del día a día utilizadas para crear el modelo de estimación del GEAF.

**Tabla 4.** Rutina de actividades

---

Orden	Actividad	Tipo
1	Estar tumbado	Sedentaria
2	Ver la televisión	Sedentaria
3	Trabajar con el ordenador	Sedentaria
4	Trasladar cajas	Tarea doméstica
5	Fregar el suelo	Tarea doméstica
6	Limpiar cristales	Tarea doméstica
7	Planchar ropa	Tarea doméstica
8	Ergómetro de brazos	Locomoción
9	Propulsión lenta	Locomoción
10	Propulsión rápida	Locomoción

---

Cada una de las 10 actividades seleccionadas se realizó durante 5 minutos, dejando un tiempo de descanso de entre 1 y 2 minutos entre actividades.

Para la realización de la actividad de estar tumbado los sujetos realizaron previamente una transferencia a una camilla dónde se colocaron en posición decúbito supino. Para disminuir las molestias ocasionadas por el K4b<sup>2</sup> en esta posición, el chaleco fue desabrochado, y la unidad central fue situada al lado de los sujetos en la camilla.

Una vez finalizada esta tarea se les volvió a colocar el chaleco y se pasó a la realización de la segunda y tercera tarea. Para ello, los sujetos se situaron enfrente de un ordenador portátil en el que se les mostró un monólogo humorístico durante los 5 minutos que duró la actividad. Posteriormente, y para cumplir con la actividad de trabajar con el ordenador, los sujetos buscaron una noticia en internet y la transcribieron a un documento Word.

Para la tarea de trasladar cajas se prepararon tres cofres de 1, 2 y 3 kg de peso respectivamente. Previamente al inicio de la actividad se les explicó a los sujetos que debían de coger únicamente un cofre y llevarlo hasta otra mesa situada a 10 metros, y después debían de volver a recoger otro cofre. Una vez que se hubiesen trasladado los tres cofres, los sujetos debían de repetir la acción depositándolos de nuevo en la mesa inicial, y repetir esta tarea tantas veces como fuese necesario hasta llegar a los 5 minutos de duración.

Para las actividades de fregar el suelo y limpiar cristales se les facilitó a los sujetos una fregona con un cubo lleno de agua y unos trapos limpios y limpiacristales. En estas tareas los sujetos fregaron el suelo y limpiaron

### *Metodología*

---

los cristales del laboratorio donde se realizaron las actividades, con la única indicación de que lo hiciesen como lo harían en sus domicilios.

A continuación, se pasó a realizar la última actividad referenciada como tarea doméstica (planchar ropa). Para el desarrollo de esta tarea se les facilitó una tabla de planchar de altura regulable para adaptarla a cada sujeto y una plancha de ropa. Durante los 5 minutos de duración de la actividad los sujetos debían de planchar un conjunto de piezas de ropa de la misma manera que lo harían en su domicilio.

Una vez concluida la realización de las tareas sedentarias y domésticas se pasó a la ejecución de las clasificadas como locomotoras. Para desarrollar la primera tarea se utilizó un ergómetro de brazos EXCITE® TOP (Technogym®, Cesena, Italia). Debido a la variedad de la muestra se les indicó a los sujetos que se autorregulasen la potencia del ergómetro para realizar el ejercicio a una intensidad que les supusiera un esfuerzo intenso pero que pudiesen mantener durante 5 minutos. Para ello, se les mostró la escala de percepción del esfuerzo y se les indicó que la intensidad debía de ser de 7-8 sobre 10 (122).

Para finalizar, los sujetos fueron trasladados a un pasillo de unos 25 metros de largo por 5 de ancho con un suelo liso con un coeficiente de rozamiento bajo para realizar las actividades de propulsión de la silla de ruedas. Para la propulsión lenta se les dijo que debían de ir a una velocidad similar a la que adoptarían si estuviesen paseando durante 5 minutos, y para la propulsión rápida se les indicó que se desplazasen como si tuvieran prisa por llegar a algún sitio.

Una vez se finalizó la rutina de tareas se pasó a retirar el instrumental a los sujetos y a desinfectar las máscaras buco-nasales.

### **2.1.5 Análisis de los datos**

En cuanto al análisis de las señales de acelerometría, para cada actividad se calcularon 55 variables, incluidas 13 variables para cada eje (es decir, X, Y y Z) y el vector resultante  $VR = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$  así como tres variables correspondientes a la correlación cruzada entre los tres ejes ortogonales, que se incluyeron en el análisis.

Las variables relativas a la acelerometría se estimaron de la siguiente manera. Inicialmente, se dividió cada eje y el vector resultante en ventanas de un minuto. Para cada ventana temporal, estimamos los siguientes estadísticos: la desviación estándar, la varianza, los percentiles 10, 25, 50, 75 y 90 y el rango intercuartílico. También se estimó la función de autocorrelación con un desfase de un dato (un segundo) de cada ventana de tiempo de un minuto, como medida de la dinámica temporal (123). Las señales de aceleración fueron analizadas usando una transformación wavelet de dos niveles, siendo la onda madre la Daubechies 2 (124). Se calcularon las normas Euclidianas de los coeficientes de detalle para los primeros y segundos niveles de resolución y los coeficientes de aproximación del segundo nivel, comúnmente denominados ND1, ND2 y NA2, respectivamente (125). También se calculó la entropía de la muestra para cada eje, utilizando una tolerancia de 0,3 SD y una longitud del patrón de 2 (126). Por último, además de las 52 variables resultantes del cálculo de las 13

### *Metodología*

---

variables para cada eje y el vector resultante, estimamos la correlación cruzada entre los tres ejes ortogonales (correlaciones cruzadas x-y, y-z, y x-z) (127), lo que produjo tres variables adicionales, para un total de 55 variables.

Posteriormente, una vez analizadas todas las variables relativas a las señales de acelerometría, se aplicó un modelo lineal múltiple (MLM) con un método de validación cruzada *10-fold* (128,129), utilizando el consumo medio de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ,  $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) para cada minuto como variable dependiente y las variables de aceleración como variables de entrada. Como resultado se obtuvieron tres MLM diferentes: uno considerando todas las variables (Modelo A), otro considerando únicamente los parámetros descriptivos (Modelo B) (ya que son los más utilizados y sencillos de calcular) y otro considerando los parámetros frecuenciales, de orden, de dinámica de la señal y multieje (Modelo C). A continuación, en la Tabla 5 se exponen las variables utilizadas según su clasificación y una pequeña descripción de cada variable.

En cada validación cruzada, se utilizó un conjunto de datos de entrenamiento, que incluía el 90% del conjunto total de datos, para obtener MLM. También se dispuso de un conjunto de datos de validación, que incluía el 10% restante del conjunto total, que se utilizó para determinar la bondad del ajuste para cada modelo.

**Tabla 5.** Clasificación de las variables que forman cada modelo según su tipología.

<b>Modelo A</b>	<b>Modelo B</b>	<b>Parámetros descriptivos</b>	<i>Desviación estándar</i>	Medida de dispersión que indican como de alejados están los datos respecto a la media
			<i>Varianza</i>	Desviación típica elevada al cuadrado
			<i>Percentiles 10, 25, 50, 75, 90</i>	Valor de la señal bajo el cual se encuentra el 10, 25, 50, 75 y 90 por ciento de los datos, respectivamente.
			<i>Rango intercuartílico</i>	Diferencia entre el percentil 75 y el percentil 25.
	<b>Modelo C</b>	<b>Parámetros frecuenciales, de orden y dinámica de la señal</b>	<i>ND1</i>	Norma vectorial de los coeficientes de detalle de primer nivel de resolución de la transformada wavelet.
			<i>ND2</i>	Norma vectorial de los coeficientes de detalle de segundo nivel de resolución de la transformada wavelet.
			<i>NA2</i>	Norma vectorial de los coeficientes de aproximación de segundo nivel de resolución de la transformada wavelet.
			<i>Entropía</i>	Variable que indica el nivel de orden del sistema o señal
			<i>Correlación de desfase</i>	Autocorrelación de la señal con desfase de 1 dato. Es una variable que informa sobre la dinámica de la señal.
			<b>Parámetros multi-eje</b>	<i>Correlaciones cruzadas x-y</i>
<i>Correlaciones cruzadas x-z</i>	Correlación entre las señales del eje x-z			
<i>Correlaciones cruzadas y-z</i>	Correlación entre las señales del eje y-z			

Cada uno de los tres MLM construidos se compuso por tres variables. El número de variables que se incluyeron en cada modelo se determinó utilizando ecuaciones que contenían de uno a diez estimadores para cada modelo. Para ello se analizaron las gráficas en las que se expuso el rendimiento de la ecuación según el número de variables incluidas en

ellas. En este caso, el número de variables independientes incluidas en los modelos se determinó como una compensación entre el rendimiento y el coste de los cálculos. Es decir, a partir de la inclusión de la tercera variable en la ecuación, el rendimiento de esta se veía poco afectado.

Por último, para cada modelo resultante se calcularon el coeficiente de correlación, el error cuadrático medio y el error absoluto medio, ya que se establecen como las variables más utilizadas en la literatura (113). Las correlaciones por debajo de 0,2 se consideraron muy débiles. Las correlaciones que van de 0,2 a 0,4; >0,4 a 0,6 y >0,6 a 0,8 se consideraron débiles, moderadas y fuertes, respectivamente. Por último, las correlaciones superiores a 0,8 se consideraron excelentes (130).

El procesamiento de las señales se realizó utilizando Matlab R2018a (Mathworks Inc., Natick, MA, USA).

## **2.2 Estudio 2**

### **2.2.1 Diseño del estudio**

Este segundo estudio tuvo un diseño experimental intrasujetos de medidas repetidas en el que solo fue necesario un grupo. Todos los sujetos pertenecientes a este grupo realizaron tres sesiones de medición a los 0, 8 y 16 meses desde el inicio del estudio. En todas las sesiones se realizaron las mismas pruebas a todos los pacientes, consistentes en la realización de una batería de test sobre diferentes aspectos (AF, calidad de vida, ansiedad y depresión, resiliencia e independencia) y de una prueba de esfuerzo. Las sesiones uno y dos (pre-test 1 y pre-test 2)

sirvieron de período control, en cambio, entre la sesión 2 y 3 (pre-test 2 y post-test) se realizó una intervención para la promoción de la AF mediante el uso de *smartphones*.

### 2.2.2 Participantes

Previamente al inicio de este estudio se realizó el cálculo del tamaño de la muestra mediante el software G\*Power (Universität Düsseldorf, Alemania) utilizando los datos ( $d=0,65$ ) obtenidos en el trabajo de Chemtob et al. (131). La potencia estadística se fijó en 0,9 y el nivel de significación 0,05. Como resultado se halló un tamaño de la muestra de 27 participantes, pero calculando un 30% de pérdida muestral, y por tanto el número de sujetos a reclutar se fijó en 35.

Al igual que en el estudio expuesto en el punto 2.1, con el fin de reclutar a los sujetos se utilizó un muestreo de casos consecutivos de las personas con LM usuarias de silla de ruedas a tiempo completo, aunque en este caso estas personas debían de estar registradas en el Hospital Universitari Vall d'Hebrón (Barcelona, España). Además, esta estrategia de reclutamiento fue complementada por un muestreo por bola de nieve por las dificultades que se tuvo para encontrar muestra que estuviera dispuesta a participar en el estudio.

Como resultado de este proceso se consiguió reclutar a los 35 sujetos, que además cumplieron con los criterios de inclusión (los cuales se van a detallar más adelante) en un inicio. Sin embargo, la mortandad de la muestra fue superior a lo esperado (alrededor del 75%) debido a diversas razones como: problemas con los dispositivos móviles, falta de

## Metodología

disposición para realizar los test, operaciones quirúrgicas (e.g. de úlceras por presión), y/o miedo al contagio por la situación de pandemia provocada por el COVID-19. En la figura 6 se detalla la pérdida de la muestra mediante un diagrama de flujo.

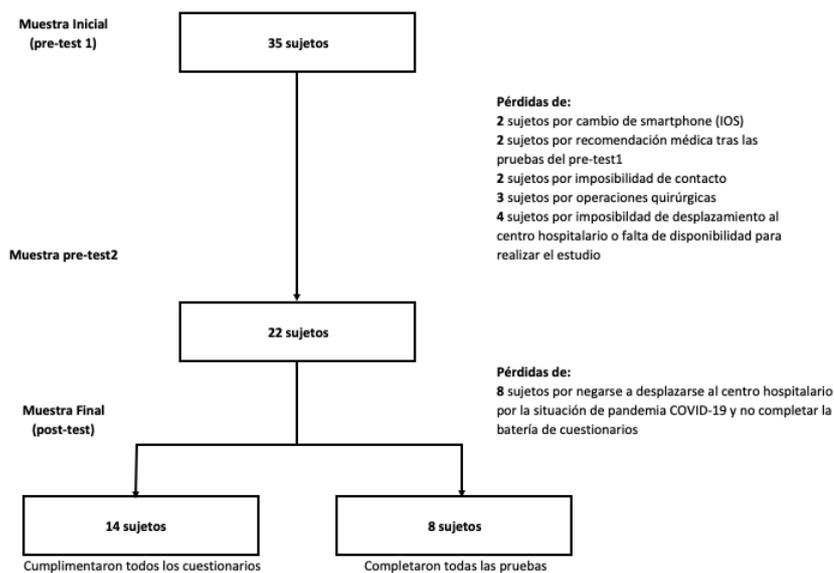


Figura 6. Diagrama de flujo de la pérdida de la muestra

Los criterios que se marcaron para la inclusión de los sujetos en el estudio fueron: i) tener una LM entre T2 y L5 de al menos un año de evolución, ii) ser usuarios de silla de ruedas a tiempo completo, iii) haber perdido completamente la función motora de sus extremidades inferiores, descrita en una puntuación de 0 en los ítems de las extremidades inferiores de la escala AIS y iv) tener disposición a tiempo completo de un *smartphone* con un sistema operativo Android.

Por otra parte, los criterios de exclusión establecidos para los sujetos de este estudio fueron: i) que tuvieran desórdenes cognitivos y/o depresión

que precise de tratamiento psiquiátrico intensivo, ii) que padecieran mielopatía cervical postraumática, iii) que presentaran siringomielia y/o alteración motora o sensitiva de las extremidades superiores, iv) que padecieran desorden isquémico cardíaco, v) que padecieran fracturas osteoporóticas recientes, vi) que hubieran sido traqueotomizados o que fueran dependientes de un respirador, vii) que estuvieran en concurrencia con un proceso neoplásico activo y/o viii) que presentasen úlceras por presión isquiáticas, sacras o trocántereas.

A continuación, se aportan las características de la muestra en las Tablas 6 y 7.

**Tabla 6.** Características de los sujetos que finalizaron el seguimiento cumplimentando todos los cuestionarios (n=14)

Edad (años)	Sexo (M/H)	Altura lesión dorsal (alta/baja)	Peso (kg)	Altura (cm)	Tiempo de lesión (años)
43,14 (9,49)	3/11	6/8	70,96 (12,92)	174,07 (9,37)	16,57 (11,03)

\*Los datos están expresados mediante la media (desviación típica)

**Tabla 7.** Características de los sujetos que finalizaron el seguimiento realizando todas las pruebas de esfuerzo (n=8)

Edad (años)	Sexo (M/H)	Altura lesión dorsal (alta/baja)	Peso (kg)	Altura (cm)	Tiempo de lesión (años)
47,87 (12,47)	1/7	3/5	71,94 (18,45)	173,25 (11,49)	20,5 (11,02)

\*Los datos están expresados mediante la media (desviación típica)

### 2.2.3 Material

En este estudio se ha hecho uso de diversos instrumentos tanto para recolectar datos como para llevar a cabo la intervención. A continuación, se va a pasar a exponer detalladamente cada instrumento utilizado.

#### *2.2.3.1 Physical Activity Scale for Individuals with Physical Disabilities*

La *Physical Activity Scale for Individuals with Physical Disabilities* o PASIPD fue el instrumento utilizado para registrar la AF de los sujetos con LM.

Tanto la estructura de este cuestionario como sus estudios de validación en personas con LM han sido expuestos previamente en este trabajo (apartado 1.3.1).

#### *2.2.3.2 Assesment of Quality of Life-8 dimensions*

Para registrar los niveles de calidad de vida de los sujetos que participaron en el estudio se utilizó la traducción al español del *Assesment of Quality of Life-8 dimensions* (AQoL-8D) (132).

Whitehurst et al. (133) identificaron esta herramienta como el instrumento más adecuado para la recolección de los datos relativos a la calidad de vida relacionada con la salud en personas con LM, por delante de cuestionarios como EQ-5D-5L (134), *Health Utilities Index* (HUI) (135), *Quality of Well-Being Scale Self-Administered* (QWB-SA), y el SF-36 (136).

El AQoL-8D es un cuestionario de unos aproximadamente 5 minutos de duración que consta de 35 ítems utilizados para la evaluación de 8 dimensiones distintas de la calidad de vida: i) independencia, ii) dolor, iii) sentidos, iv) felicidad, v) afrontamiento, vi) salud mental, vii) relaciones personales y viii) autoestima.

Cada uno de los 35 ítems tiene respuestas múltiples que oscilan de entre 4 a 6 (según el ítem) y cada respuesta se le otorga un valor numérico para su computo preliminar según el orden en el que esté la respuesta [por ejemplo: primera respuesta = 1; última respuesta = 4 o 6 (dependiendo del número de respuestas del ítem)]. Una vez completado el cuestionario, los datos de este fueron trasladados a un documento del Statistical Package for Social Science versión 24 (SPSS inc., Chicago, IL, EEUU) creado específicamente para otorgar directamente el peso pertinente a cada respuesta de cada ítem. Como resultado podemos obtener diferentes puntuaciones, siendo capaces de hallar una puntuación total que englobe las 8 dimensiones, la puntuación de cada dimensión por separado o la puntuación de dos superdimensiones formadas por el conjunto de algunas de las 8 dimensiones [Superdimensión Física (independencia, dolor y sentidos) y psico-social (salud mental, felicidad, relaciones personales, autoestima y afrontamiento)]. La puntuación más baja que se puede obtener en cada una de las dimensiones una vez realizado el cálculo pertinente es de 1, que corresponde con la mejor calidad de vida posible, y las puntuaciones más altas oscilan entre 4 y 7 (dependiendo de cada ítem), y se corresponden con la peor calidad de vida posible.

Richardson et al. (132) comprobaron la validez convergente, predictiva y del contenido del AQoL-8D usando como comparadores a 5 instrumentos que también tenían como objetivo evaluar la calidad de vida (EQ-5D, SF-6D, HUI, 15D y QWB-SA). Como resultado, los autores expusieron que el rendimiento del cuestionario es al menos igual de bueno que el de los otros instrumentos, concluyendo que el AQoL-8D es un instrumento válido y fiable para la evaluación de la calidad de vida.

#### *2.2.3.3 Hospital Anxiety and Depression Scale*

El *Hospital Anxiety and Depression Scale* (HADS) (137) fue el instrumento utilizado para registrar los niveles de ansiedad y depresión de los sujetos del estudio.

Este instrumento es un cuestionario autoinformado que se compone por 14 ítems. A su vez, podemos distinguir dos subescalas dentro del mismo cuestionario que evalúan la ansiedad (HADS-A) y la depresión (HADS-D), las cuales se componen de 7 preguntas cada una. Cada ítem se puntúa con una escala tipo Likert del 0 al 3. La puntuación final se obtiene del sumatorio de todas las puntuaciones. Las puntuaciones totales de cada subescala que se establezcan entre 8 y 10 puntos se clasifican como casos leves, entre 11 y 15 moderados, y los de una puntuación de 16 puntos o superior son considerados casos graves.

Herrero et al. (138) fueron los encargados de realizar un estudio de validación de la versión española del HADS. Los autores hallaron una buena consistencia interna (0,9 para la escala completa, 0,84 para la

---

subescala de depresión y 0,85 para la de ansiedad), siendo esta evaluada mediante el Alpha de Cronbach's. Además, el cuestionario mostró una buena validez externa, a la vez que una sensibilidad y especificidad favorable en la identificación de casos de desorden psiquiátrico.

Aunque este cuestionario se ha utilizado en múltiples trabajos con población con LM (139–142), cabe mencionar el estudio realizado por Müller et al. (143), el cual tuvo como objetivo evaluar las propiedades psicométricas del HADS cuando este se aplica en esta población. Con este fin, los autores registraron los datos del HADS de 102 personas con LM, y posteriormente aplicaron un análisis de Rasch. Como resultado de dicho análisis, los autores concluyeron que el HADS es un instrumento válido para evaluar las variables de ansiedad y depresión en personas con LM.

#### *2.2.3.4 Resilience Scale-25*

La *Resilience Scale-25* (RS-25) (144) ha sido el cuestionario elegido para evaluar la resiliencia en los sujetos de este estudio, la cual se define en relación con la adaptación positiva ante una adversidad importante (145).

Este cuestionario consta de 25 ítems, que a su vez se descomponen en dos subescalas de 17 y 8 ítems, que corresponden a la competencia personal y a la aceptación de sí mismo y de la vida. Los rangos de respuesta a cada ítem van de 1 (totalmente en desacuerdo) a 7 (totalmente de acuerdo). La puntuación total se obtiene con el sumatorio de la puntuación de cada ítem, siendo 25 la puntuación

---

mínima y 175 la máxima. Las puntuaciones mayores o iguales a 145 son indicativas de una resiliencia de moderada-alta a alta, las puntuaciones que oscilan entre 116 y 144 indican una resiliencia de moderada-baja a moderada y las puntuaciones iguales o menores que 115 indican una resiliencia muy baja.

La RS-25 ha sido validada en diversas ocasiones en su versión en español (146–149), aunque el único trabajo que ha conseguido reproducir la estructura bifactorial conservando los 25 ítems del cuestionario original fue el trabajo de Las Hayas et al. (148,150).

La muestra del estudio de validación realizado por Las Hayas et al. (148) estuvo compuesto por población general y personas con trastornos alimentarios. En dicho trabajo, se hallaron unas puntuaciones mediante el Alpha de Cronbach's de 0,93 para la población general y 0.94 para la población la población con trastornos alimentarios, en lo referente a las puntuaciones totales del cuestionario. En cambio, para las subescalas de competencia personal y aceptación de sí mismo y de la vida, se obtuvieron unas puntuaciones de 0,90 y 0,82 en la población general y de 0,93 y 0,88 en la población con desórdenes alimentarios. Estos datos corroboran que la validación obtuvo una buena consistencia interna.

Por último, también se hallaron correlaciones de ambas subescalas de las dos poblaciones con la salud física, la salud psicológica, las interacciones sociales, el ambiente, la ansiedad y la depresión, obteniendo valores de correlación moderados en su mayoría, mostrando en todos los casos correlaciones con una  $p < 0,001$ .

#### 2.2.3.5 *Spinal Cord Independence Measure*

El *Spinal Cord Independence Measure* (SCIM-III) (151) es un instrumento diseñado específicamente para la medición de los niveles de independencia en personas con LM, abordando todos los aspectos relevantes de las actividades de la vida diaria de esta población.

La primera versión de esta escala se desarrolló en los años 90 (152), y desde entonces ha sufrido 2 actualizaciones (151,153), siendo la última el SCIM-III, la que fue utilizada en este estudio. Dicha versión de la escala fue adaptada y validada al español en 2014 (154).

#### 2.2.3.6 *Fuerza muscular respiratoria*

La capacidad para generar fuerza por parte de los músculos respiratorios se evalúa normalmente mediante la medición de la presión máxima que un sujeto puede llevar a cabo durante una inspiración o espiración forzada (155). Por tanto, las variables utilizadas para la medición de la fuerza de los músculos inspiratorios y espiratorios son la presión inspiratoria máxima (PIM) y la presión espiratoria máxima (PEM). Dichas variables se expresan en centímetros de H<sub>2</sub>O.

En este trabajo se hizo uso de un manómetro respiratorio bucal portátil MicroRPM (CardinalHealth, Kent, Reino Unido) para la medición de la fuerza muscular respiratoria (Figura 7). Este dispositivo fue utilizado en estudios previos para la medición del PIM y el PEM en personas con LM (156,157).



**Figura 7.** Manómetro respiratorio bucal MicroRPM

El dispositivo MicroRPM (CardinalHealth, Kent, Reino Unido) tiene una presión de funcionamiento de  $\pm 300$  centímetros de H<sub>2</sub>O (presión diferencial de  $\pm 5$ ) y de ruptura de  $\pm 700$  centímetros de H<sub>2</sub>O (presión diferencial de  $\pm 20$ ), con una precisión de  $\pm 3\%$ , según las características aportadas por el fabricante.

#### *2.2.3.7 Pruebas de esfuerzo y espirometría*

Para la realización de las pruebas de esfuerzo se hizo uso de un cicloergómetro de brazos Ergoselect 400 (Ergoline, Bitz, Alemania) conectado al carro metabólico Vyntus CPX (Jaeger-Care-Fusion, Hoechberg, Germany). Además, el carro metabólico también se utilizó para la realización de las espirometrías (Figura 8).



**Figura 8.** Ergómetro de brazos Ergoselect 400

El ergómetro de brazos utilizado es capaz de tolerar una carga de hasta 999 vatios y hasta 130 revoluciones por minuto. Por otra parte, las especificaciones del carro metabólico Vyntus CPX (Jaeger-Care-Fusion, Hoechberg, Germany) se exponen en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Características del carro metabólico Vyntus CPX

	Sensor de O <sub>2</sub>	Sensor de CO <sub>2</sub>
<b>Tipo</b>	Basado en el principio electroquímico	Basado en el principio de absorción infrarroja
<b>Rango</b>	0-100%	0-15%
<b>Tiempo de respuesta</b>	75 ms	75 ms
<b>Precisión</b>	0,05-0,2 %	0,05-0,1%

El carro metabólico utilizado nos ofrece una gran información tras la realización de la prueba de esfuerzo. Dicho esto, en este trabajo se analizaron únicamente 6 variables por ser las más relevantes para la

### *Metodología*

---

interpretación de las pruebas: consumo de oxígeno durante el primer umbral ventilatorio ( $\text{VO}_2\text{VT1}$ ), consumo de oxígeno durante el segundo umbral ventilatorio ( $\text{VO}_2\text{VT2}$ ), consumo máximo de oxígeno ( $\text{VO}_2\text{max}$ ), pulso de oxígeno, cociente respiratorio pico (RER) y la potencia máxima.

Aunque una de las variables más importantes en las pruebas de esfuerzo es el  $\text{VO}_2\text{max}$  por ser históricamente el predictor de rendimiento más importante (158), también es relevante analizar el consumo de oxígeno durante los umbrales ventilatorios ( $\text{VO}_2\text{VT1}$  y  $\text{VO}_2\text{VT2}$ ). Asimismo, el pulso de oxígeno se traduce como la cantidad de oxígeno que puede ser extraída por el tejido periférico en cada latido (159). El RER, por su parte, relaciona el consumo de  $\text{O}_2$  con el de  $\text{CO}_2$ , siendo un indicativo del grado de fatiga alcanzado. Por último, la potencia máxima indica la carga máxima que ha podido tolerar el sujeto en la realización de la prueba de esfuerzo.

En cuanto a la espirometría, las variables analizadas fueron la capacidad vital forzada (FVC), el volumen espiratorio forzado en el primer segundo ( $\text{FEV}_1$ ) y el pico de flujo espiratorio (PEF). La FVC indica el volumen total de aire que puede ser expulsado tras una inspiración completa, siendo el  $\text{FEV}_1$  el volumen exhalado correspondiente al primer segundo de la prueba y el PEF el flujo máximo de aire exhalado (expresado en litros por minuto) (160–163). Unos mayores valores en estas tres variables corresponderían con mejores volúmenes pulmonares y flujo respiratorio (37).

### 2.2.3.8 mHealth ParaSportAPP

La mHealth ParaSportAPP es una aplicación móvil creada específicamente para promocionar la AF en personas con LM dorsal completa usuarias de silla de ruedas manual a tiempo completo (Figura 9).



**Figura 9.** Menú principal de la mHealth ParaSportAPP

Dicha mHealth se basa en la provisión de ejercicios físicos (teniendo integrados 79 ejercicios físicos específicos para la población objetivo) y el registro del ejercicio físico de los usuarios para aumentar la carga de AF realizada por estos. Además, ParaSportAPP provee ejercicios físicos de dos formas distintas: a demanda del usuario o de manera planificada.

Cuando hacemos referencia a la opción en la que se demanda el ejercicio, nos referimos a una situación en la que el usuario quiere realizar algún tipo de ejercicio de los integrados en la mHealth y es el

## Metodología

mismo el que accede a la aplicación y elige la capacidad física a trabajar (fuerza, resistencia o flexibilidad). En esta modalidad de provisión de ejercicio físico, los usuarios pueden elegir (además de la capacidad física a trabajar) si quieren realizar los ejercicios con implementos [gomas o pesas (sustituibles por botellas de agua o toallas en ausencia de material)] o únicamente haciendo uso de la silla de ruedas manual (Figura 10).



**Figura 10.** Ejemplos de ejercicios físicos proporcionados a demanda por la mHealth ParaSportAPP. \*En la parte izquierda se puede observar un ejemplo de ejercicio físico de fuerza con implementos. En cambio en la parte derecha se observa un ejercicio físico de la misma capacidad pero sin implementos.

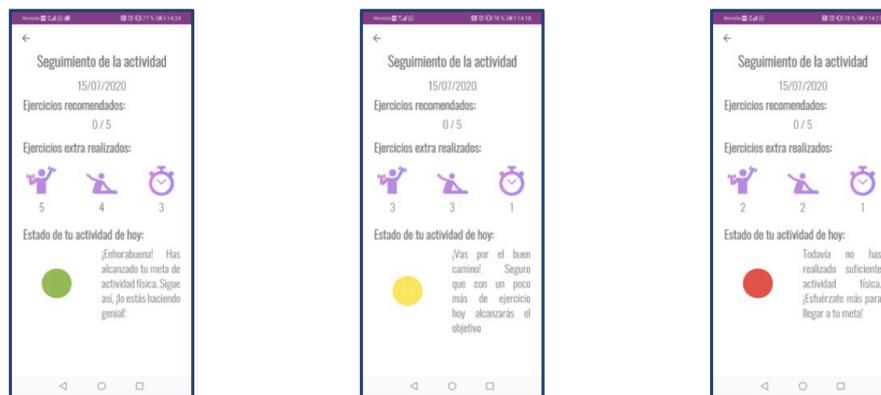
Como se puede observar en la Figura 10, en cada ejercicio proporcionado por la mHealth se especifica el ejercicio a realizar mediante una breve descripción escrita y una imagen en movimiento en formato GIF. Además, también se informa de las series de cada ejercicio que se deben de realizar y de las repeticiones que componen cada serie (o del tiempo que le deben de dedicar en el caso de los ejercicios de resistencia).

En el caso de los ejercicios proporcionados de manera planificada, la mHealth lleva integrado un sistema de 5 avisos modificables para realizar ejercicio físico. Este sistema se encarga de lanzar notificaciones a los usuarios en ciertos momentos del día a modo de recordatorio de práctica de ejercicio físico. En el caso de que los sujetos rechacen la notificación no se da lugar a ninguna otra acción, en cambio, de aceptar la notificación, se les proporcionará un bloque de 3 ejercicios sin implementos escogidos aleatoriamente de la base de datos. El hecho de que los ejercicios de esta modalidad se provean únicamente sin implementos se debe a que, mediante esta función se puede realizar el ejercicio en cualquier lugar, sin depender de material alguno. Además, los usuarios son capaces de modificar las horas de aparición de las notificaciones para que se ajusten mejor a su horario personal.

Como uno de los objetivos de la aplicación es también ofrecer información sobre el ejercicio físico realizado a parte del proporcionado por ella misma, ParaSportAPP cuenta con una opción para el registro del ejercicio físico (e.g. práctica de deportes como pádel, tenis). Para registrar dichos ejercicios, los usuarios únicamente deben pulsar el icono “Registrar” del menú principal y colocarse el Smartphone en el brazo no dominante mediante algún brazalete o sujeción apta para este tipo de dispositivos. Toda esta AF queda registrada en el Smartphone mediante el acelerómetro triaxial del propio dispositivo y, además, se calculan los minutos de AF realizada a una intensidad moderada/vigorosa gracias a la inclusión de la ecuación hallada en el estudio 1 de este trabajo de investigación.

## Metodología

Asimismo, la mHealth también es capaz de ofrecer un *feedback* sobre el ejercicio físico realizado de manera diaria. Esta información se le transmite al usuario mediante un informe que a nivel visual se asemeja a un semáforo (Figura 11).

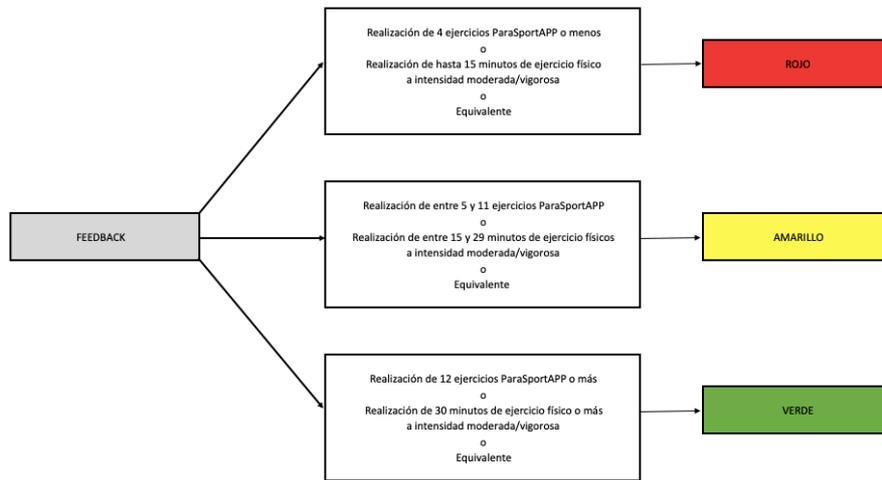


**Figura 11.** Ejemplos del feedback proporcionado por la mHealth ParaSportAPP

Como se puede observar en la Figura 11, en la pantalla de consulta del ejercicio físico diario realizado (acceso mediante el icono “Seguimiento”), el usuario obtiene un breve resumen sobre el ejercicio realizado. Cuando el estado de la actividad aparece en color verde se refleja que se ha conseguido alcanzar el objetivo de ejercicio físico diario, cuando aparece en amarillo significa que se está cerca, y cuando se presenta en rojo que todavía se está lejos de alcanzar el objetivo diario.

Para discriminar entre los 3 posibles tipos de *feedback* se hace uso de un sistema de clasificación basado en un árbol de decisiones. Dicho árbol de decisiones utiliza como variables de clasificación el número de ejercicios realizados mediante la aplicación y el número de minutos de

ejercicio físico a una intensidad moderada/vigorosa registrados mediante esta (Figura 12).



**Figura 12.** Representación simplificada del árbol de decisiones utilizado para la clasificación del *feedback*

Como se puede observar en la Figura 12, para alcanzar el objetivo diario los sujetos deberán realizar, al menos: 12 ejercicios de los proporcionados por ParaSportAPP o 30 minutos de ejercicio físico a una intensidad moderada/vigorosa o su combinación equivalente.

Las directrices científicas de ejercicio para personas adultas con LM presentan que los individuos deben de realizar al menos 20 minutos de ejercicio aeróbico a una intensidad moderada-vigorosa combinados con tres series de ejercicios de fuerza a la misma intensidad por cada grupo muscular funcional (dos veces por semana). En cambio, para mejorar la salud cardiometabólica de esta población se sugiere que las personas con LM realicen al menos 30 minutos de ejercicio aeróbico a una intensidad

### *Metodología*

---

moderada-vigorosa tres veces por semana. En nuestro trabajo se decidió fijar los objetivos de ejercicio físico en niveles más altos. De esta manera aunque en algunas ocasiones los usuarios no lleguen al objetivo diario, se espera que puedan alcanzar, al menos el mínimo recomendado por la literatura científica.

Por último, la mHealth también incluye 21 consejos de vida saludable específicos para la población con LM dorsal completa, los cuales se proporcionan mediante notificaciones diarias (1 notificación al día).

#### *2.2.3.9 Usabilidad de la mHealth*

En este trabajo también se intentó analizar la usabilidad de la mHealth reportada por los participantes que finalizaron la intervención con ella. Para ello los participantes del estudio tuvieron que completar la versión original de la Escala de Usabilidad del Sistema validada al español (164). En los datos de nuestro estudio se obtuvo un Alpha de Cronbach's de 0,89.

La Escala de Usabilidad del Sistema consta de 10 ítems (5 positivos y 5 negativos) con un sistema de respuesta tipo Likert del 0 al 4, siendo 0 “estoy totalmente en desacuerdo” y 4 “estoy totalmente de acuerdo”. Una vez registrados los datos de cada pregunta se transforman los resultados de las respuestas negativas (es decir, 0 pasaría a ser 4, 1 pasaría a ser 3...). Una vez realizado este procedimiento se realiza el sumatorio de las puntuaciones de cada ítem y se multiplica por 2,5 el resultado final para obtener una puntuación final que oscila entre 0 y 100.

Por último, en la Tabla 9 se ofrece a modo aclaratorio un resumen de las variables que se estudiaron en este trabajo y el instrumento del cual se extrajeron.

**Tabla 9.** Instrumentos de medición y variables extraídas

<b>Instrumentos</b>	<b>Variables extraídas</b>
<i>PASIPD</i>	METs Totales; METs AF en actividades recreativas; METs en tareas domésticas; METs en actividades ocupacionales
<i>AQoL-8D</i>	Calidad de Vida Total; Independencia; Dolor; Sentidos; Salud Mental; Felicidad; Relaciones personales; Afrontamiento; Autoestima
<i>HADS</i>	Puntuación total de ansiedad y depresión; Puntuación total de depresión; Puntuación total de ansiedad
<i>RS-25</i>	Resiliencia
<i>SCIM-III</i>	Independencia
<i>MicroRPM</i>	PIM; PEM
<i>Ergoselect 400 + Vyntus CPX</i>	VO <sub>2</sub> VT1; VO <sub>2</sub> VT2; VO <sub>2</sub> max; Potencia máxima; Pulso de Oxígeno; RER
<i>Vyntus CPX</i>	FEV <sub>1</sub> ; FVC; PEF
<i>Escala de Usabilidad del Sistema</i>	Usabilidad de la mHealth

#### **2.2.4 Procedimiento experimental**

En primer lugar, los sujetos del estudio fueron recibidos y se les realizó una anamnesis. En dicha sesión se recolectaron datos relativos a la edad, la lesión del paciente (i.e. altura de la lesión y tiempo transcurrido desde esta), medidas antropométricas, medicación o tratamientos actuales.

A continuación, los sujetos pasaron a realizar la batería de tests especificados en el apartado 2.2.3 (menos el cuestionario de usabilidad). Cuando los participantes cumplieron todos los cuestionarios, pasaron a realizar las pruebas de medición de la fuerza respiratoria (PIM y PEM), la espirometría y, por último, la prueba de esfuerzo incremental.

Tanto en la realización del test de PIM como la del PEM se le colocó al participante una pinza nasal y se le hizo saber la importancia de sellar bien los labios para evitar fugas para que la prueba fuese válida. En el caso de la medición de la PEM se le informó al sujeto de que debía de inspirar todo el aire que pudiese y que después los expulsase de la forma más potente posible, en cambio en la medición del PIM se le comunicó a los participantes que debían de soltar todo el aire posible y posteriormente realizar una inspiración lo más fuerte que pudiesen. Para obtener valores válidos de las variables de fuerza muscular respiratoria se debieron de repetir los test (PIM y PEM) en tres ocasiones, y seleccionar el valor más alto obtenido.

De la misma manera, la espirometría, se realizó con el participante sentado en su silla de ruedas y manteniendo la cabeza en una posición estable (Figura 13). De nuevo, siguiendo las recomendaciones de la

---

American Thoracic Society y de la European Respiratory Society se realizaron 3 pruebas válidas de espirometría, de las cuales se registró la que obtuvo unos valores más altos.



**Figura 13.** Participantes del estudio realizando la prueba de esfuerzo

La prueba de esfuerzo realizada fue de intensidad incremental, con una progresión en la carga de 10 vatios por minuto. Dicha prueba se inició con 3 minutos de registro de las variables cardiorrespiratorias en reposo, seguidos de 3 minutos de calentamiento sin carga. Pasado este período de 6 minutos se dio por comenzada la prueba y se inició el incremento de la carga a una intensidad de 10 vatios por minuto (como se ha comentado previamente). El período de esfuerzo terminó cuando los participantes informaron de su incapacidad para continuar con la prueba (ya sea porque no fueron capaces de continuar por motivos cardiorrespiratorios, o por no poder continuar movilizandando la carga). Cabe decir que, a todos los participantes se les indicó que debían de llevar un ritmo constante de alrededor de 50 pedaleos por minuto (los cuáles podían ver en la pantalla de la máquina). Una vez finalizado el

## Metodología

período de esfuerzo, los participantes permanecieron durante 3 minutos más en reposo, tras los cuales se dio por finalizada la prueba.

El proceso previamente detallado se llevó a cabo en los 3 momentos de medición (pre-test 1, pre-test 2 y post-test). Asimismo, en el post-test, los participantes completaron también el cuestionario de usabilidad sobre la mHealth. A modo aclaratorio, en la figura 14 se puede apreciar el procedimiento seguido en el estudio.

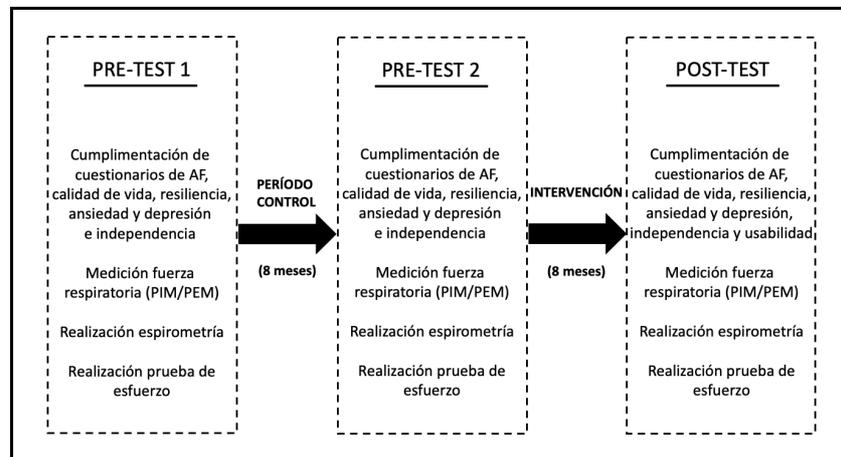


Figura 14. Procedimiento del estudio

Durante el pre-test 1 y el pre-test 2 no se realizó ningún tipo de intervención, este espacio temporal sirvió como período control. La intervención se realizó entre el pre-test 2 y el post-test, y esta se centró únicamente en la instalación de la mHealth ParaSportAPP en el *smartphone* de los participantes. Una vez instalada la mHealth en los dispositivos móviles, los sujetos únicamente debían de hacer uso de ella de una manera autónoma.

### **2.2.5 Análisis de los datos**

En primer lugar, todas las respuestas de los cuestionarios fueron volcados a un documento Excel (Microsoft, EEUU). Una vez, se tuvo digitalizada la información, fueron calculados los resultados según se describió en sus correspondientes guías.

En el caso de las pruebas de esfuerzo, se calcularon los valores de cada variable estudiada mediante el dispositivo Vyntus CPX.

Una vez se obtuvieron los valores de todas las variables a estudiar, se volcaron todos los datos en el programa de tratamiento estadístico SPSS para su posterior análisis estadístico.

### **2.2.6 Análisis estadístico**

En primer lugar, se comprobó el supuesto de normalidad ( $p < 0,05$ ) mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov en todas las variables en cada momento de medición haciendo uso del programa estadístico SPSS. De cumplirse dicho supuesto se pasó a la aplicación de pruebas paramétricas, en cambio, de no ser así, se aplicaron pruebas no paramétricas.

En el caso de las pruebas paramétricas, en un primer momento se solicitó una ANOVA de medidas repetidas (entre los tres momentos de medición). De encontrarse un efecto significativo, se realizaron comparaciones por pares mediante pruebas T para muestras relacionadas.

### *Metodología*

---

Por otra parte, en el caso de las pruebas no paramétricas, se aplicó primeramente la prueba estadística ANOVA de Friedman, y, de nuevo, de encontrarse un efecto, se aplicó la prueba de Dunn Test con la corrección de Bonferroni para las comparaciones por pares.

---

# RESULTADOS

3

## 3. Resultados

3.1. Resultados estudio 1

3.2. Resultados estudio 2

---



### **3. RESULTADOS**

Al igual que en el apartado anterior, se va a pasar a exponer los resultados de cada uno de los estudios que componen este trabajo de investigación por separado.

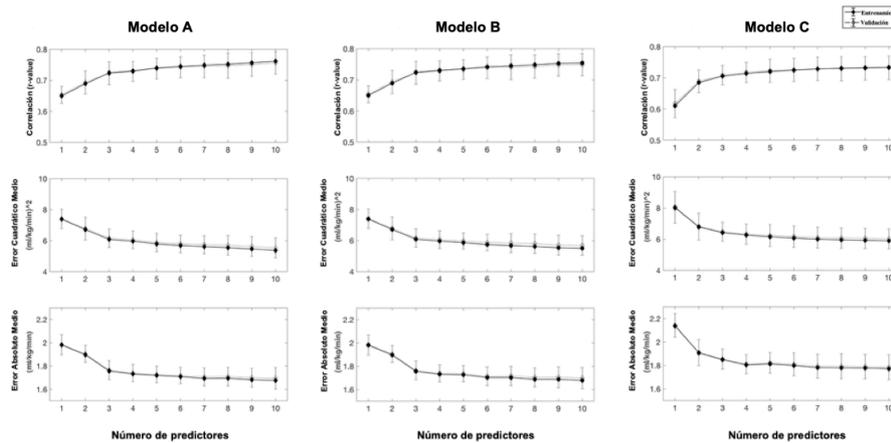
#### **3.1 Resultados del estudio 1**

El coeficiente de correlación, el error cuadrático medio y el error absoluto medio de los modelos resultantes se muestran en la Figura 6. Todos los modelos mostraron correlaciones fuertes, manifestando en todos ellos una correlación mayor a 0,7. Sin embargo, el modelo que incluía todas las variables y el modelo B proporcionaron resultados similares, y mejores que el modelo C.

Como puede deducirse de las inflexiones de las curvas, los tres primeros predictores proporcionaron las contribuciones más sustanciales al rendimiento del modelo, lo que fue especialmente evidente en el modelo que incluyó todas las variables y en el que solo consideró variables descriptivas. La inclusión de predictores adicionales produjo cambios mínimos en el rendimiento de todos los modelos. Aunque, si bien en el modelo C podía ser suficiente la utilización de dos predictores, también se creyó conveniente incluir un tercer predictor en este modelo, para asegurar que todos los modelos tuvieran los mismos grados de libertad, facilitando las comparaciones entre ellos. Por lo tanto, se consideraron tres predictores en los tres modelos, como una compensación aceptable entre el rendimiento y el coste.

## Resultados

Las aplicaciones de los modelos resultantes a los conjuntos de datos de entrenamiento y validación mostraron resultados muy similares (Figura 15).



**Figura 15.** Rendimiento de los modelos obtenidos según el número de predictores utilizados para crearlo

La Tabla 10 muestra las ecuaciones y el rendimiento de los tres modelos. El modelo que utiliza todas las variables y el modelo que solo utiliza las descriptivas incluye los mismos predictores y pesos muy similares. El modelo C incluía diferentes predictores y tenía un rendimiento ligeramente peor que los otros modelos.

**Tabla 10.** Descripción y rendimiento de los modelos resultantes

<i>Modelos</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Conjunto de datos</i>	<i>Correlación (r)</i>	<i>Error Cuadrático Medio (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)<sup>2</sup></i>	<i>Error Absoluto Medio (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)</i>
<i>Modelo A</i>	VO <sub>2</sub> = 3,4921 +	Entre.	0,72	6,08	1,76
	10,784RV <sub>75-25</sub> - 25,4524Y <sub>VAR</sub> + 21,0447Y <sub>sd</sub>	Validación	0,72	6,16	1,76
<i>Modelo B</i>	VO <sub>2</sub> = 3,4921 +	Entre.	0,72	6,08	1,76
	10,7083RV <sub>75-25</sub> - 25,4524Y <sub>VAR</sub> + 21,04487Y <sub>sd</sub>	Validación	0,72	6,16	1,76
<i>Modelo C</i>	VO <sub>2</sub> = -343,0891 +	Entre.	0,71	6,42	1,85
	503,1303RV <sub>DYN</sub> + 1,6797RV <sub>ND1</sub> - 156,1103Y <sub>DYN</sub>	Validación	0,71	6,48	1,85

*Entre.*=Entrenamiento; *RV*= vector resultante; *Y* = eje y; *VAR* = variancia; *sd* = desviación estándar; *ND1* = coeficiente de detalle de primer nivel; *75-25* = rango intercuartílico; *DYN* = correlación de desfase

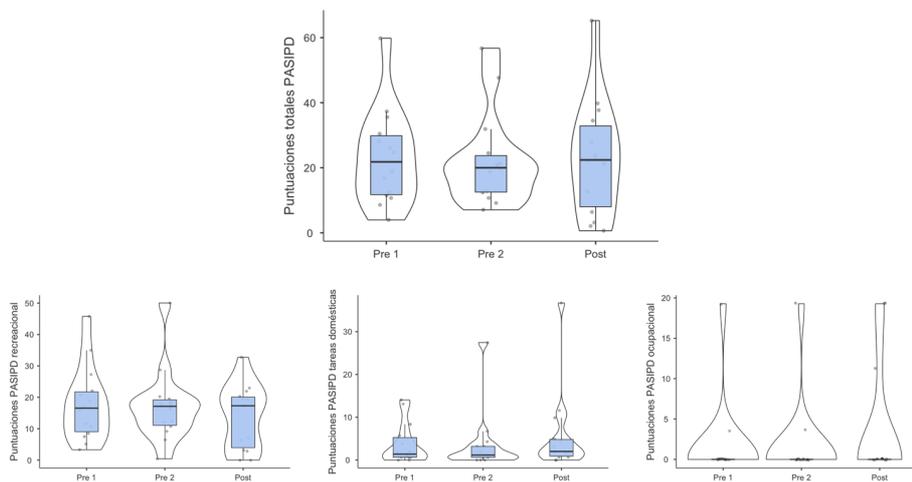
## 3.2 Resultados del estudio 2

### 3.2.1 Niveles autoreportados de actividad física

En primer lugar, se comprobó el supuesto de normalidad tanto de las puntuaciones totales del PASIPD como de sus subescalas (AF recreacional, AF dedicada a tareas domésticas y AF ocupacional). Tras comprobar que todas las variables analizadas incumplieron el supuesto

## Resultados

de normalidad se pasó a aplicar pruebas no paramétricas. Como resultado del análisis estadístico (Figura 16) se halló que no hubo diferencias en las puntuaciones totales del PASIPD ( $\chi^2_2=0,25$ ;  $p=0,88$ ;  $\varepsilon^2=0,019$ ), en la AF recreacional ( $\chi^2_2=3,31$ ;  $p=0,19$ ;  $\varepsilon^2=0,25$ ), la AF dedicada a tareas domésticas ( $\chi^2_2=4,158$ ;  $p=0,12$ ;  $\varepsilon^2=0,32$ ) ni AF ocupacional ( $\chi^2_2=2,0$ ;  $p=0,37$ ;  $\varepsilon^2=0,15$ ). entre los momentos de medición (pre-test 1, pre-test 2 y post-test).

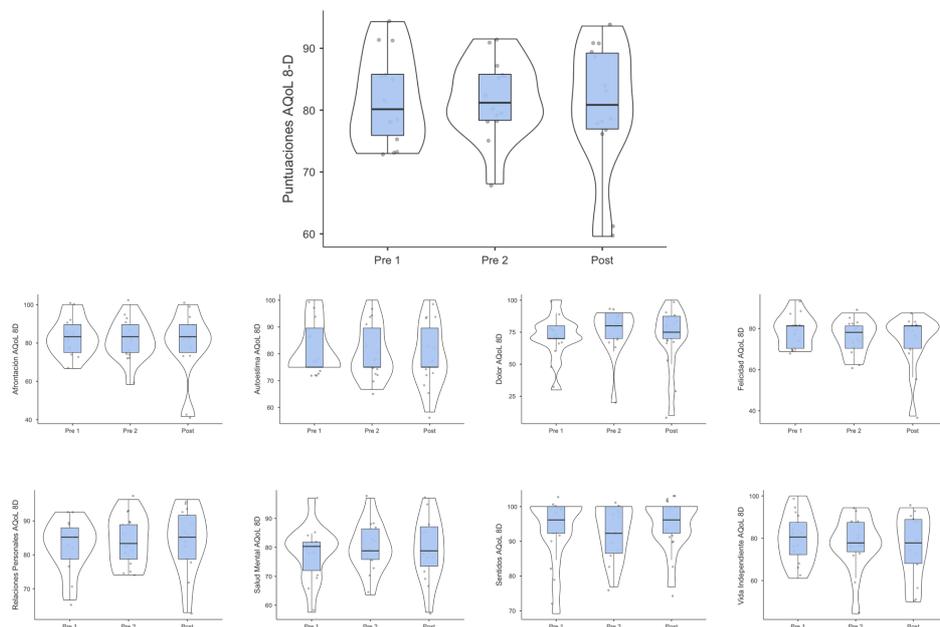


**Figura 16.** Diagramas de cajas de las puntuaciones del PASIPD en los tres momentos de medición. \*En la parte superior se puede observar la gráfica relativa a las puntuaciones totales. En cambio, en la parte inferior se aportan las representaciones gráficas relativas a las puntuaciones del cuestionario sobre AF en el ámbito recreacional, en las tareas domésticas y en el ámbito ocupacional (de izquierda a derecha)

### 3.2.2 Calidad de vida

Tras la consiguiente comprobación del supuesto de normalidad, se encontró que únicamente las variables de las subescalas de vida independiente y relaciones personales del AQoL cumplieron dicho supuesto. Seguidamente y tras la aplicación de las pertinentes pruebas

estadísticas, no se observaron diferencias significativas en las variables de puntuación total ( $\chi^2_2=0,04$ ;  $p=0,98$ ;  $\varepsilon^2=0,003$ ), afrontación ( $\chi^2_2=0,45$ ;  $p=0,79$ ;  $\varepsilon^2=0,035$ ), dolor ( $\chi^2_2=2,54$ ;  $p=0,28$ ;  $\varepsilon^2=0,19$ ), felicidad ( $\chi^2_2=3,95$ ;  $p=0,14$ ;  $\varepsilon^2=0,3$ ), relaciones personales [ $F(2,26)=0,41$ ;  $p=0,67$ ;  $\eta^2_p=0,031$ ], salud mental ( $\chi^2_2=2,21$ ;  $p=0,33$ ;  $\varepsilon^2=0,17$ ), sentidos ( $\chi^2_2=0,84$ ;  $p=0,66$ ;  $\varepsilon^2=0,064$ ) y vida independiente [ $F(2,26)=0,68$ ;  $p=0,516$ ;  $\eta^2_p=0,05$ ], entre los momentos de medición. En cambio, sí que se halló un efecto en la subescala de autoestima ( $\chi^2_2=6,0$ ;  $p=0,05$ ;  $\varepsilon^2=0,46$ ). Aunque tras la posterior comparación por pares no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los momentos de medición (Figura 17).



**Figura 17.** Diagrama de cajas de las puntuaciones del AQoL 8-D en los tres momentos de medición. *\*En la parte superior se puede observar la gráfica relativa a las puntuaciones totales. En cambio en la parte inferior se aportan las representaciones gráficas relativas a las puntuaciones de las subescalas del AQoL 8-D*

## Resultados

### 3.2.3 Ansiedad y depresión

Si hablamos del análisis de las variables extraídas del cuestionario HADS, debemos de decir que únicamente la subescala de ansiedad cumplió con el supuesto de normalidad. Seguidamente, tras la aplicación de las consiguientes pruebas estadísticas, no se halló ningún efecto en las variables puntuación total ( $\chi^2_2=0,54$ ;  $p=0,76$ ;  $\varepsilon^2=0,041$ ), la subescala de ansiedad [ $F(2,26)=0,096$ ;  $p=0,91$ ;  $\eta^2_p=0,007$ ] y la subescala de depresión ( $\chi^2_2=0,2$ ;  $p=0,9$ ;  $\varepsilon^2=0,015$ ) entre los momentos de medición (Tabla 11).

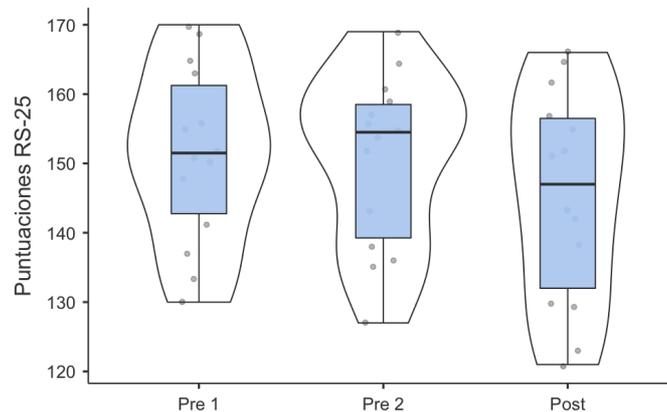
**Tabla 11.** Estadísticos descriptivos de las variables extraídas del cuestionario Hospital Anxiety and Depression Scale en los tres momentos de medición

	<b>HADS Total*</b>	<b>HADS Ansiedad</b>	<b>HADS Depresión*</b>
<b>Pre-test 1</b>	6 (4)	4 (2,83)	2 (2,5)
<b>Pre-test 2</b>	6,5 (4,25)	3,93 (2,81)	2 (3,25)
<b>Post-test</b>	5,5 (6,25)	3,79 (2,91)	2 (3,25)

*\*Todos los datos están expresados mediante la media (desviación típica), menos aquellas variables marcadas con un asterisco, que se expresan mediante la mediana (rango intercuartílico)*

### 3.2.4 Resiliencia

En el caso del análisis de las puntuaciones del RS-25, se optó por aplicar pruebas paramétricas debido al cumplimiento del supuesto de normalidad. Por último, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre las puntuaciones del cuestionario RS-25 según el momento de medición [ $F(2,26)=3,16$ ;  $p=0,059$ ;  $\eta^2_p=0,196$ ]. Ver figura 18.

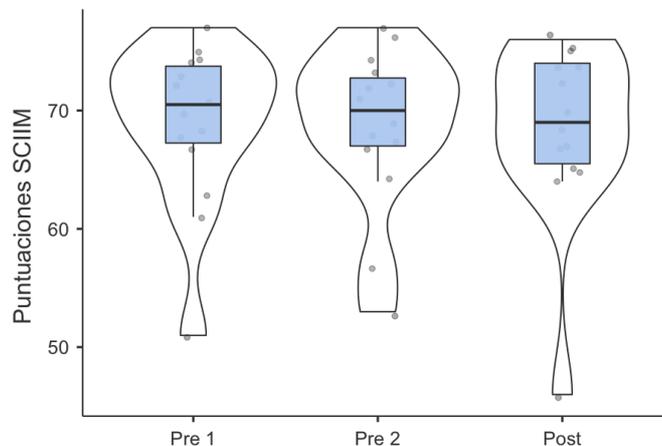


**Figura 18.** Diagramas de cajas de las puntuaciones del RS-25 en los tres momentos de medición

### 3.2.5 Independencia

Las puntuaciones del cuestionario SCIM cumplieron el supuesto de normalidad, por lo cual se llevaron a cabo pruebas paramétricas para su análisis. En este caso, el análisis estadístico no mostró un efecto de las puntuaciones del cuestionario entre los momentos de medición [ $F(1,42;18,42)=0,153$ ;  $p=0,785$ ;  $\eta^2_p=0,012$ ]. Ver figura 19.

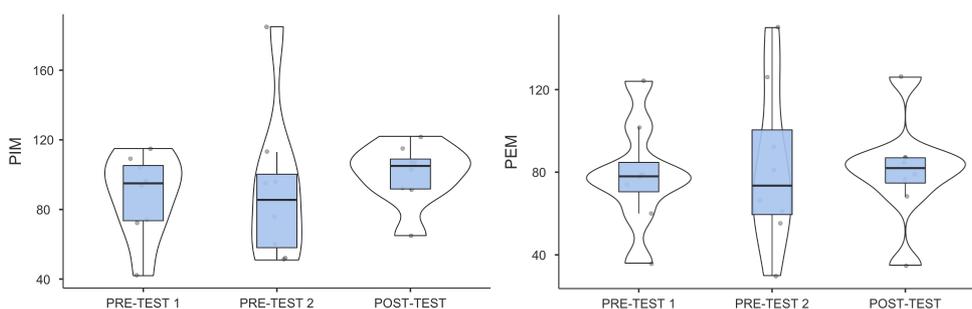
## Resultados



**Figura 19.** Diagramas de cajas de las puntuaciones del SCIM en los tres momentos de medición

### 3.2.6 Fuerza muscular respiratoria

Las variables estudiadas relativas a la fuerza muscular respiratoria (PIM y PEM) cumplieron con los supuestos de normalidad. Por otra parte, no se encontraron diferencias entre los momentos de medición (Figura 20) ni en la PIM [ $F(2,14)=0,448$ ;  $p=0,648$ ;  $\eta^2_p=0,06$ ] ni en la PEM [ $F(2,14)=0,082$ ;  $p=0,922$ ;  $\eta^2_p=0,012$ ].



**Figura 20.** Diagramas de cajas de las puntuaciones de la PIM (izquierda) y la PEM (derecha) en los tres momentos de medición

## 3.2.7 Pruebas de esfuerzo

Si nos centramos en las variables analizadas derivadas de la prueba esfuerzo, todas ellas cumplieron con el supuesto de normalidad. Tras la aplicación de la prueba ANOVA de medidas repetidas, no se hallaron diferencias en los valores relacionados con el consumo de oxígeno entre los tres momentos de medición (Tabla 12): VO<sub>2</sub>VT1 [F(2,14)=1,231; p=0,32;  $\eta^2_p=0,150$ ], VO<sub>2</sub>VT2 [F(2,14)=0,646; p=0,54;  $\eta^2_p=0,084$ ], VO<sub>2</sub> max [F(2,14)=0,824; p=0,46;  $\eta^2_p=0,105$ ].

Asimismo, tampoco se encontraron diferencias entre los tres momentos de medición en las variables pulso de oxígeno [F(2,14)=2,578; p=0,11;  $\eta^2_p=0,269$ ], RER [F(2,14)=1,937; p=0,18;  $\eta^2_p=0,217$ ] y la potencia máxima [F(2,14)=2,48; p=0,12;  $\eta^2_p=0,262$ ].

**Tabla 12.** Estadísticos descriptivos de las variables extraídas de las pruebas de esfuerzo en los tres momentos de medición

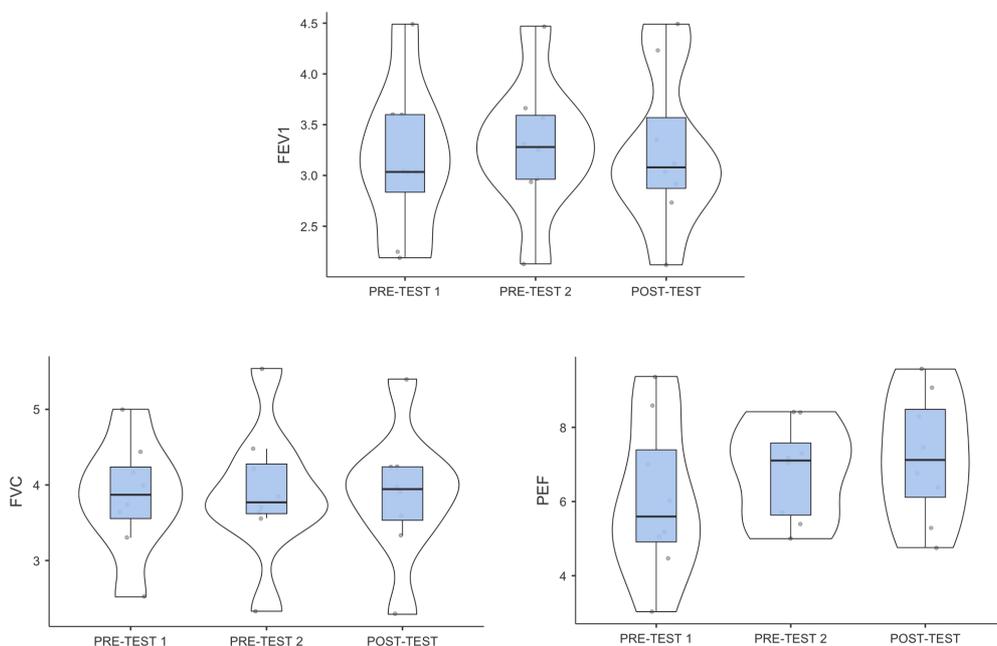
	VO <sub>2</sub> VT1	VO <sub>2</sub> VT2	VO <sub>2</sub> max	Potencia	Pulso Oxígeno	RER
<b>Pre-test 1</b>	10,59 (3,53)	16,5 (2,47)	20,1 (2,85)	94,62 (19,48)	10,92 (3,48)	1,19 (0,092)
<b>Pre-test 2</b>	10,22 (2,29)	14,96 (1,64)	19,91 (4,35)	94,25 (22,45)	9,62 (1,5)	1,12 (0,099)
<b>Post- test</b>	9,07 (2,72)	15,64 (4,41)	18,66 (4,91)	85 (18,4)	8,29 (2,77)	1,18 (0,11)

\*Los datos están expresados mediante la media (desviación típica)

## Resultados

### 3.2.8 Espirometrías

Todas las variables extraídas de la prueba de espirometría cumplieron con el supuesto de normalidad. Dicho esto, no se hallaron diferencias entre los momentos de medición en las variables FEV<sub>1</sub> [ $F(2,14)=0,595$ ;  $p=0,565$ ;  $\eta^2_p=0,078$ ], FVC [ $F(2,14)=0,217$ ;  $p=0,81$ ;  $\eta^2_p=0,030$ ] y PEF [ $F(1,34;9,39)=3,613$ ;  $p=0,081$ ;  $\eta^2_p=0,34$ ]. Ver figura 21.



**Figura 21.** Diagramas de cajas de los valores de FEV<sub>1</sub>(arriba), FVC (abajo izquierda) y PEF (abajo derecha) obtenidos en los tres momentos de medición

### 3.2.9 Usabilidad de la mHealth

En cuanto a los datos hallados sobre la usabilidad de la mHealth ParaSportAPP, una vez registrados se trataron según las instrucciones

de los autores. De esta manera se halló una puntuación media de 77,5 con una desviación típica de 18,85.

Como información adicional, en el apartado de ANEXOS (subapartado 7.2) se pueden consultar los estadísticos descriptivos de las variables expuestas en este apartado en los tres momentos de medición.



---

# DISCUSIÓN

# 4

## 4. Discusión

4.1. Discusión del estudio 1

4.2. Discusión del estudio 2

---



## 4. DISCUSIÓN

### 4.1 Discusión del estudio 1

En este estudio se evaluó la viabilidad de utilizar un teléfono inteligente con acelerómetro incorporado para medir el GEAF en personas con LM usuarios de sillas de ruedas manuales a tiempo completo. Para ello se registró el consumo de oxígeno y las aceleraciones de las extremidades superiores de 20 participantes durante la realización de una rutina de actividades utilizando un analizador de gas portátil y un *smartphone*, respectivamente, y se estimaron MLM basados en las variables halladas mediante los acelerómetros.

El modelo que incluía todas las variables y el que utilizaba sólo las variables de parámetros descriptivos fueron los que mostraron un mejor rendimiento. Estos dos modelos ofrecieron una correlación de 0,72, un error cuadrático medio de 6,16  $(\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})^2$  y un error absoluto medio de 1,76  $(\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$ . Estos resultados sugirieron que los *smartphones* pueden utilizarse como una posible alternativa de bajo coste a los instrumentos de laboratorio, lo que podría apoyar su uso en actividades tanto clínicas como de investigación.

Los métodos de análisis y procesamiento de datos utilizados en este estudio para modelar los algoritmos predictivos del GEAF activa fueron similares a los utilizados en un estudio previo realizado por García-Massó et al. (114), cuyo rendimiento se ha puesto de relieve en un estudio reciente que tuvo como objetivo comparar modelos que utilizaban dispositivos portátiles para medir la AF en personas con LM

---

### *Discusión*

---

(115). Los modelos resultantes del presente estudio demostraron un mejor rendimiento que los modelos ofrecidos por García-Massó et al. (114) en los que se utilizaron datos de los acelerómetros colocados en el pecho [ $r = 0,68$ ; error cuadrático medio =  $10,41(\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})^2$ ; error absoluto medio =  $2,41(\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$ ] y en la cintura ( $r = 0,67$ ; error cuadrático medio =  $10,61(\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})^2$ ; error absoluto medio =  $2,39(\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})^2$ ). Sin embargo, los datos registrados por los acelerómetros fijados a la muñeca dieron lugar a modelos con un rendimiento mejor que el que se indica en este trabajo, especialmente cuando el acelerómetro estaba fijado a la muñeca no dominante [ $r = 0,86$ ; error cuadrático medio =  $4,98(\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})^2$ ; error absoluto medio =  $1,65(\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$ ].

Esta evidente diferencia en el rendimiento de los modelos se puede deber en parte a las diferencias en la ubicación de los instrumentos (165). La fijación del acelerómetro al pecho o a la cintura probablemente limitó la capacidad de estos dispositivos para registrar muchos de los movimientos realizados durante las actividades diarias. La colocación de los acelerómetros en partes anatómicas más distales podría proporcionar una mayor sensibilidad para la detección de GEAF durante las actividades diarias, como la propulsión de sillas de ruedas (166). En nuestro estudio, el tamaño y el peso del *smartphone* obstaculizaron su fijación a la muñeca, lo que habría hecho que los participantes se sintieran incómodos y podría haber disminuido la validez ecológica de las evaluaciones. Por el contrario, la fijación del *smartphone* en la parte superior de los brazos de los participantes les

permitió moverse cómodamente y tuvo efectos mínimos en el rendimiento del movimiento. Además, aunque es cierto que el sitio donde se colocan los acelerómetros triaxiales es de gran importancia y ha podido repercutir en los resultados de nuestro estudio, algunos estudios apuntan que el brazo es uno de los mejores sitios para situarlos en personas usuarias de silla de ruedas (166,167).

El uso de acelerómetros de laboratorio también podría mejorar la estimación del GEAF, en comparación con las estimaciones realizadas con los acelerómetros incorporados en los *smartphones*. Un estudio anterior examinó la sensibilidad de los acelerómetros de laboratorio colocados en la parte superior del brazo, similares a la colocación utilizada en nuestro estudio, mostró una mejor exactitud ( $r = 0,87$ ) en usuarios de sillas de ruedas manuales con LM y otras patologías (166).

El uso de los acelerómetros incorporados en teléfonos inteligentes, en lugar de acelerómetros profesionales, podría explicar en este caso la menor exactitud detectada en nuestro estudio, aunque todos los modelos construidos durante nuestra investigación mostraron una gran exactitud. Además, el menor costo y la amplia disponibilidad de los teléfonos inteligentes ponen de relieve los resultados de nuestro estudio. Dicho esto, cabe decir que en el trabajo antes mencionado se utilizaron únicamente actividades sedentarias y actividades de propulsión de la silla de ruedas a diferentes intensidades. Por lo tanto, puede que el modelo que se expone en dicho estudio muestre un mejor rendimiento *a priori*, pero en cambio, puede que tenga una menor capacidad para estimar el

## *Discusión*

---

GE con la misma exactitud en otro tipo de actividades como las tareas domésticas incluidas en nuestro estudio.

Aunque otros trabajos han examinado el uso de teléfonos inteligentes con acelerómetros incorporados para medir el GEAF (168–170), ningún estudio anterior ha investigado la validez de estos dispositivos para usuarios de sillas de ruedas manuales con LM. Los únicos artículos hallados en esta línea se centraron en la identificación de los movimientos de la silla de ruedas utilizando los datos del sensor de un teléfono inteligente acoplado a la silla de ruedas (171,172).

Los avances tecnológicos de la última década han promovido el uso generalizado de los teléfonos inteligentes, que se han convertido en partes vitales de la vida de las personas (83,84). El creciente número de sensores incorporados a los *smartphones* y a los dispositivos que se pueden llevar puestos ha proporcionado a los investigadores un potencial sin explotar para la recolección de datos de manera válida, fiable y a un coste bajo.

La viabilidad de los modelos presentados en este estudio para medir el GEAF en personas con LM utilizando *smartphones* comerciales pone de relieve el potencial de estos dispositivos y podría apoyar su uso como alternativa portátil y de bajo costo a los instrumentos de laboratorio.

El rendimiento de los modelos construidos en nuestro estudio también podría respaldar el uso de *smartphones* para evaluaciones sucesivas del GEAF en individuos con LM dorsal completa, guiados remotamente

por médicos e investigadores, y facilitar el desarrollo de *mHealth* que puedan proporcionar a los individuos con LM estimaciones exactas de su GEAF, utilizando sus propios dispositivos *smartphones* (170).

Desde la perspectiva de su aplicación en el ámbito médico, el uso de estos dispositivos como herramientas para la monitorización de los usuarios puede ser muy interesante. De esta manera el personal médico puede ser consciente de la AF semanal que realizan sus pacientes de una manera más objetiva, pudiendo complementar estos datos con los ofrecidos por cuestionarios como el PASIPD. De esta manera la prescripción del ejercicio físico por parte del médico rehabilitador podría ser más precisa y/o específica.

Aunque la telemedicina es un campo que poco a poco va abriéndose paso, todavía existen multitud de barreras que se deben de superar para establecer este método como un procedimiento viable en nuestra sociedad. Una revisión sistemática realizada en 2016 por Kruse et al. (173) tuvo como objetivo identificar las principales barreras para llevar a cabo la telemedicina mediante el análisis de 30 artículos. Como resultado, los autores identificaron 33 barreras diferentes, de entre las que destacaron por su reiterada presencia los problemas técnicos del personal, la resistencia al cambio, el coste y la edad y el nivel de educación de los pacientes.

Por último, la integración de este tipo de herramientas en trabajos científicos puede ser de gran ayuda para los investigadores. De esta manera, aparte de abaratar costes en instrumental, se podría llegar a

acortar tiempos en las recogidas de datos y aumentar el número de registros realizados al mismo tiempo (ya que, si se realizan con acelerómetros de laboratorio, el tiempo invertido va a depender en cierta medida de cuántos acelerómetros tengamos a nuestra disposición).

## **4.2 Discusión del estudio 2**

En este trabajo de investigación se pretendió analizar el efecto de una intervención para la promoción de la AF en personas con LM dorsal completa usuarias de silla de ruedas mediante el uso de una mHealth novedosa. Con este fin, se llevó a cabo un seguimiento sobre variables de calidad de vida, ansiedad, depresión, resiliencia, independencia, AF y capacidad física (mediante las pruebas de esfuerzo y pruebas de medición de variables respiratorias).

En un primer momento, la hipótesis inicial que se planteó cuando se diseñó el estudio fue que la intervención tendría un impacto positivo sobre las variables estudiadas. No obstante, durante el periodo de aplicación de la intervención (entre noviembre-diciembre de 2019 y julio-agosto del 2020) irrumpió la pandemia provocada por la aparición del coronavirus COVID-19, lo cual forzó a realizar cambios en los estilos de vida de la población. En España, este hecho trajo consigo, en un primer momento, un periodo de confinamiento domiciliario como medida para la contención del virus (174,175) (escenario que se mantuvo desde el 15 de Marzo al 4 de Mayo de 2020). Posteriormente, se relajaron las medidas adoptadas para dicha contención, entrando en la fase llamada “nueva normalidad”, durante la que se continuó aplicando

medidas de limitación de la movilidad y cierre o limitación del acceso a centros deportivos (176,177). Todos estos factores (los cuales pueden tener una repercusión directa sobre las variables estudiadas) hacen que se replantee la hipótesis del estudio, y que en lugar de observarse en los hallazgos un efecto positivo en los factores, se espere que, al menos, la intervención haya conseguido mantener los niveles encontrados en las mediciones pre-pandémicas.

En esta línea, analizando los resultados obtenidos en el análisis estadístico, encontramos que los participantes de este estudio no experimentaron cambios estadísticamente significativos en sus niveles de calidad de vida, ansiedad, depresión, resiliencia, independencia, AF y capacidad física. Sin embargo, en la dimensión de autoestima del cuestionario AQoL 8-D se apreció un efecto mediante la prueba de ANOVA de Friedman, aunque la posterior comparación por pares no expresó ninguna diferencia estadísticamente significativa entre ninguno de los momentos.

*Variables psicológicas, independencia y calidad de vida*

Aunque la mayoría de estudios de intervención para la promoción de la AF realizados, teniendo como población objetivo a las personas con LM, se han centrado sobre todo en el estudio de los efectos sobre los niveles de AF y los cambios en las capacidades físicas, también hay ciertos trabajos que han llevado el seguimiento de variables psicológicas (e.g. ansiedad, depresión), la independencia y la calidad de vida.

## *Discusión*

---

En cuanto a la variable de calidad de vida, en la introducción general de este trabajo ya se ha señalado que algunos estudios apuntan que la población de personas con LM presenta menores niveles en esta variable que la población sin LM (47). Martin Ginis et al. (178) expusieron en su meta-análisis que existe una relación positiva entre los niveles de AF y el bienestar subjetivo de las personas con LM. De la misma manera, Tomasone et al. (179) mostraron en su trabajo de revisión que existía una relación positiva entre la AF practicada en el tiempo libre y la calidad de vida de las personas con LM.

En 2017 Quel de Oliveira et al. (180) publicaron una revisión sistemática y meta-análisis sobre los efectos de las llamadas “activity-based therapy interventions” sobre los niveles de independencia y de calidad de vida en personas con LM. Este tipo de intervenciones se basa en la aplicación de técnicas y herramientas para mejorar la activación muscular o la función sensorial por debajo del nivel de la LM (e.g. estimulación eléctrica de músculos y nervios). En esta revisión se analizaron los efectos de dichas intervenciones comparándolos con grupos control o grupos que realizaron intervenciones llamadas “tradicionales”. Los autores hallaron que dichas intervenciones sí que parecían mejorar los niveles de independencia, pero sin embargo, no mostraron mejoras en los niveles de calidad de vida cuando se compararon con las terapias tradicionales. Estos resultados parecen lógicos si consideramos que el uso de herramientas tecnológicas/robóticas puede repercutir en la independencia de los sujetos, ya que mediante ellas, pueden realizar

tareas que, sin ellas, requerirían de un gran esfuerzo o les sería directamente imposible.

Por otra parte, el poseer una LM es un factor que puede tener una gran incidencia sobre los niveles de resiliencia, ansiedad y depresión de las personas que la sufren. Un estudio con una muestra compuesta por 233 personas con LM aguda evaluó sus niveles de ansiedad y depresión a las 6 semanas, 3 meses, 1 y 2 años después de la lesión, y observó que los niveles de ansiedad se reestablecieron con el tiempo, no siendo así con los valores de depresión que se identificaron como crónicos (181). Algunos trabajos apuntan que los niveles de depresión y ansiedad se ven relacionados de una manera negativa con los niveles de AF en esta población, es decir, a mayores niveles de AF menores niveles de ansiedad y depresión (182,183).

En cuanto a las intervenciones para la promoción de AF, encontramos algunos trabajos que evalúan variables como la calidad de vida y/o variables psicológicas como la ansiedad o la depresión (71,77,131,184). En general, parece que en los estudios en los que se consiguió aumentar los niveles de AF y/o capacidad física, también se consiguió aumentar la calidad de vida de los participantes. Una revisión sistemática publicada en 2020 sobre las intervenciones de AF sobre el dolor crónico y el bienestar subjetivo (incluyendo variables como la satisfacción con la vida) en personas con LM, expuso que en 14 de los 15 trabajos analizados se encontraron mejoras en las variables relacionadas con el bienestar subjetivo.

## *Discusión*

---

Por otro lado las variables psicológicas, además de estar presentes como variables de estudio en una menor cantidad de trabajos, parece que no se vieron afectadas por las intervenciones. Quizás uno de los trabajos cuya mención es de especial importancia por la tipología de intervención utilizada, y por incluir variables de calidad de vida y psicológicas fue el realizado por Chemtob et al. (131). Los autores de este trabajo llevaron a cabo recientemente un estudio piloto realizado mediante tele-ejercicio basado en videoconferencias con un especialista en AF, teniendo como población de estudio las personas con LM. En dicho trabajo, se llevó un seguimiento de variables de motivación, psicológicas, de los niveles de AF y de calidad de vida. Los autores notificaron que, en comparación al grupo control, los sujetos del grupo experimental mostraron una mayor motivación autónoma y AF realizada en el tiempo libre. Además, también se hallaron efectos de moderados a grandes a favor del grupo experimental en cuanto a experiencias de vida significativas y predictores cognitivo sociales de AF realizada en el tiempo libre, encontrando efectos pequeños sobre variables como los síntomas depresivos. De esta manera, parece que la intervención sí que tuvo un efecto sobre variables relacionadas con los niveles de AF y calidad de vida, pero que no obtuvieron cambios importantes en cuanto a los síntomas depresivos.

Por tanto, los resultados hallados en este trabajo de investigación coinciden en general con los obtenidos en otros estudios de intervención en cuanto a las variables psicológicas, ya que, no se encontraron cambios en estos factores. En cambio, en cuanto a los factores relacionados con

la calidad de vida, parece que otras intervenciones sí que han logrado producir mejoras en estas variables.

Si bien es cierto que nuestros resultados no parecen alentadores, ya que no se han encontrado mejoras en las variables estudiadas, debemos recordar el contexto pandémico en el que se vio envuelta la intervención. Pese al escaso tiempo transcurrido desde el inicio de la pandemia, ya son muchos los artículos científicos que señalan los efectos negativos que han provocado las medidas adoptadas para la contención del virus en lugares como Italia o España (185,186), los cuales han sido dos de los países europeos más castigados por el virus en forma de contagios y defunciones. Además, algunos estudios apuntan que uno de los grupos más afectados en los factores psicológicos y de salud mental y con mayor factor de riesgo fueron las personas con enfermedades crónicas y/o discapacidad (187–189), dentro de las cuales podríamos encontrar a las personas con LM. Es tal la preocupación por los efectos generados por la pandemia sobre la salud mental, que autores como Xiong et al. (188) advierten sobre el alarmante nivel de afectación en la población, haciendo un llamamiento a las organizaciones gubernamentales para iniciar intervenciones con el fin de mitigar los efectos del COVID-19 sobre estas variables. Además, a todo lo anteriormente comentado, le debemos sumar que autores como Alexander (190) o O’Connell et al. (191) apuntan que las personas que conviven con una LM pueden ser especialmente vulnerables a los efectos negativos provocados por sucesos como la actual crisis sanitaria. De esta manera, puede que los resultados obtenidos en nuestro trabajo

## *Discusión*

---

sean interesantes por el hecho de haber podido mantener los registros de las variables psicológicas estudiadas en unos niveles similares a los pre pandémicos, ya que, como se ha comentado previamente, la intervención llevada a cabo en este estudio coincidió temporalmente con el inicio de la pandemia provocada por el COVID-19.

### *Niveles de actividad física, capacidad física y usabilidad de la mHealth*

Al contrario que las variables tratadas en el subapartado anterior, los niveles de AF y los datos relacionados con la capacidad física han sido incluidos como variables principales en gran parte de los trabajos de intervención para la promoción de AF en personas con LM, por tanto están presentes en un mayor número de trabajos de esta tipología.

En una reciente revisión sistemática realizada por Rezende et al. (68), se vislumbró que 6 de las 7 intervenciones para la promoción de la AF en personas con LM analizadas en ella obtuvieron mejoras en los niveles de AF (la única intervención que no resultó efectiva simplemente facilitó una guía de ejercicio para que la leyeran los participantes). Además, algunos trabajos publicados en los últimos tiempos (posteriormente a la mencionada revisión), siguen aportando datos esperanzadores sobre la aplicación de intervenciones para la promoción de la AF en personas con LM. Un ejemplo de ello es el estudio elaborado por Ma et al. (192), los cuales llevaron a cabo una intervención compuesta de una sesión introductoria de 1 hora seguida por 8 sesiones semanales de entrenamiento conductual de 15 minutos por semana. Los autores de la nombrada intervención declararon que el grupo experimental mostró

un incremento en los niveles de AF (tanto autoreportada como registrada mediante acelerómetros), en el VO<sub>2</sub>max y en los predictores psicosociales de AF cuando se compararon con el grupo control después de la intervención.

Si bien es importante analizar la información ofrecida en las revisiones sistemáticas y en los artículos publicados en la literatura científica, también debemos de ser cautos en su interpretación. En este caso, es importante puntualizar este hecho, ya que, cuando hablamos del estudio de las variables de calidad de vida o psicológicas en los trabajos de intervención de AF, estas variables se suelen enmarcar como secundarias, siendo las variables relacionadas directamente con la AF y las capacidades físicas las principales, como ya hemos mencionado anteriormente. Esto puede provocar un sesgo de publicación, haciendo que los estudios de intervención publicados muestren mayoritariamente mejoras en dichas variables principales, reduciendo de esta manera el número de trabajos que no muestren resultados positivos sobre estos factores.

Asimismo, y una vez hecha esta reflexión, es importante hacer hincapié y centrarnos en trabajos de la misma tipología que la intervención llevada a cabo en este trabajo. El estudio expuesto en este trabajo realiza una intervención mediante tele-ejercicio, en la que los participantes no tuvieron un apoyo humano para llevar el seguimiento, sino que fueron ellos mismos los que se autogestionaron mediante el uso de la mHealth instalada en sus *smartphones*. Este tipo de intervenciones mediante tele-

## *Discusión*

---

ejercicio todavía han sido poco estudiadas en la población con LM, aunque en los últimos tiempos se está viendo incrementada su presencia en la literatura (sobre todo en forma de estudios piloto).

Estudios previos al realizado en este trabajo hicieron uso de herramientas telemáticas para mejorar la salud de maneras distintas en personas con LM (e.g. APPs, llamadas telefónicas/correos electrónicos, páginas web) (80,82,131,193–202). Si nos centramos en el uso de las aplicaciones móviles en estudios en personas con LM, una revisión publicada en 2020 (203) mostró que, aunque parece que cada vez son más las aplicaciones específicas para personas con LM o limitaciones motrices halladas en las principales bases de datos de descarga móvil, únicamente se encontraron 2 estudios que utilizaban dichas herramientas para comprobar sus efectos en la salud en la literatura científica (194,204). El estudio realizado por Dicianno et al. (204) hizo uso de la mHealth iMHere en personas afectas de espina bífida. Esta aplicación fue utilizada con el fin de mejorar el auto-manejo de la lesión, pero no incluyeron ningún apartado relacionado con la AF ni la evaluaron. En cambio, Coulter et al. (194) si que tuvieron en cuenta la AF en su intervención, pero en realidad no hicieron uso de una mHealth en sí, si no que se utilizó la plataforma web [www.webbasedphysio.com](http://www.webbasedphysio.com). Mediante dicha plataforma web, los investigadores proveyeron de ejercicios físicos específicos para cada usuario según su lesión durante 8 semanas con una frecuencia recomendada de, al menos, 2 veces por semana (30 minutos por sesión aproximadamente). Además, un fisioterapeuta contactó con los participantes vía telefónica o e-mail para

intercambiar opiniones sobre los ejercicios realizados y modificarlos si fuera necesario. Los autores del citado trabajo no evaluaron las mejoras en los niveles de AF, únicamente valoraron la distancia que eran capaces de recorrer los participantes mediante el 6 Minutes Push Test o el 6 Minutes Walking Test (según si tenían o no capacidad de marcha) y la fuerza mediante un dinamómetro de garra. Contrariamente a lo esperado, no se hallaron mejoras en las variables de los test de marcha, por otra parte, no se reportaron los resultados finales de los test de fuerza. Además, en este estudio también se evaluaron otras variables como la calidad de vida, la ansiedad y la depresión, en las cuales tampoco se hayó ninguna diferencia significativa. En su discusión, Coulter et al. (194) aprovecharon para defender su intervención exponiendo que aunque los cambios no fueron estadísticamente significativos (en parte por la reducida muestra utilizada), si lo fueron desde el punto de vista clínico.

Como se ha comentado anteriormente, el interés por las mHealth y por este tipo de intervenciones muestra una tendencia creciente (205–207), e incluso siendo muy recientes los estudios de revisión, continúan existiendo trabajos sobre intervenciones haciendo uso de mHealth en población con LM que no se ven incluidos en estas (82,208–210). Si nos centramos en el uso de mHealth para promocionar la AF en personas con LM cabe destacar dos estudios publicados recientemente realizados por Hiremath et al. y Canori et al. (82,210). En ambos estudios se hizo uso la misma mHealth, la cual estaba instalada a un *smartphone* y conectada mediante este a un *smartwatch* de muñeca. En ambos casos, a

## *Discusión*

---

diferencia del trabajo desarrollado en el presente estudio, únicamente se le transmitió a los participantes un feedback sobre la AF que estuvieron realizando mediante la metodología JITAI (diseño de intervención que utiliza las mHealth para ofrecer información en momentos y contextos apropiados para apoyar los comportamientos de salud de los individuos)(211,212). Hiremath et al. (82) realizaron un estudio a modo de piloto en un primer momento, dónde se hallaron mejoras en los niveles de AF ligera y/o moderada llevada a cabo por los participantes. Posteriormente, Canori et al. (210) publicaron un trabajo más completo en el que evaluaron un mayor número de factores (dolor, fatiga y AF realizada) en tres condiciones diferentes (condición basal, proporcionando el feedback en tiempo real y proporcionando el feedback mediante la metodología JITAI). Aunque los autores ofrecieron datos sobre los valores de las variables estudiadas en cada condición, no realizaron un análisis comparativo entre ellas, sino que se centraron en realizar correlaciones y regresiones lineales entre las variables estudiadas en las diferentes condiciones. Sin embargo, mediante los estadísticos descriptivos facilitados en el estudio se pueden observar disminuciones en las puntuaciones de dolor crónico (no siendo así en las puntuaciones de dolor de hombro, las cuales se vieron aumentadas), en los valores de fatiga (aunque muy ligeramente en la condición de feedback JITAI) y de AF de baja intensidad. Sin embargo, las condiciones de control y de feedback en tiempo real mostraron valores superiores a los de la condición de feedback JITAI en los minutos reportados de AF moderada (con medianas de 57,8; 61,5 y 54

minutos respectivamente). En el caso de nuestro trabajo, la mHealth ParaSportAPP optó por ofrecer un feedback en tiempo real de los ejercicios físicos realizados por los usuarios, en cambio no ofreció información sobre los minutos AF realizados (lo cual puede ser interesante de implementar en futuras intervenciones), únicamente informó sobre el número de ejercicios realizados, la capacidad física trabajada en cada uno de ellos y si se había cumplido o no con el objetivo de ejercicio físico diario (o si se estaba cerca de ello). Por último cabe mencionar que el 25% de la muestra del estudio de Canori et al. (210) (4 participantes) fueron personas con LM a nivel cervical y el 37,5% del total (6 participantes) poseían un LM incompleta. Por tanto, el perfil de los participantes difiere también con la muestra que ha compuesto el presente estudio, cuyos participantes fueron en su totalidad personas con LM dorsal completa.

Al igual que ocurrió en el caso de las variables relacionadas con la calidad de vida, nuestros resultados referentes a la AF y la capacidad física difieron de los hallados en la literatura. Como ya se ha discutido a lo largo de este apartado, la aparición del COVID-19 ha podido condicionar en parte los resultados obtenidos en este estudio. La población de personas con LM tienen de por sí diferentes barreras y factores desmotivacionales que les dificulta la práctica de ejercicio físico (e.g. falta de conocimiento sobre los ejercicios que pueden/deben realizar, problemas con el material o falta de recursos económicos para llevar el seguimiento de programas de ejercicio), lo cual suele derivar en una menor frecuencia de práctica de ejercicio físico (213). Teniendo en

## *Discusión*

---

cuenta que las medidas aplicadas para la contención del virus han limitado o prohibido la asistencia a centros deportivos, es plausible pensar que, en general, se hayan podido ver afectados los niveles de AF realizados y como consecuencia también el estado físico de las personas. Autores como Hall et al. (214) advierten sobre una pandemia secundaria al COVID-19 relacionada con los comportamientos sedentarios y la inactividad física. De hecho, un reciente trabajo evaluó los efectos de la pandemia provocada por el COVID-19 sobre la AF autoreportada en personas con LM dorsal completa (215). Dicho estudio halló que los participantes obtuvieron unas puntuaciones globales significativamente menores en cuanto a METS y minutos de AFMV en el periodo pandémico cuando se compararon con las obtenidas 3 meses antes del comienzo de este.

Teniendo en consideración esta información, la interpretación de nuestros resultados se puede tornar en positiva, ya que, los sujetos que han participado en nuestro trabajo no solo han reportado unos niveles de AF que no difieren de los alcanzados en periodos pre-pandémicos, si no que las pruebas de esfuerzo muestran que tampoco se evidenciaron cambios en la condición física de los participantes. Por tanto, siempre siendo cautos en la interpreteación de nuestros resultados, se puede considerar que el uso de la mHealth ParaSportAPP ha tenido un efecto mitigador del impacto producido por la COVID-19 en las variables estudiadas.

Por último, si hablamos de la usabilidad de la mHealth, los resultados hallados parecen indicar que los participantes valoraron generalmente de una manera positiva la usabilidad de ParaSportAPP. Entre los hallazgos encontrados se destaca que los usuarios transmitieron que el sistema era fácil de usar, en cambio, aunque los resultados siguen siendo positivos, se mostró una mayor variedad de opinión en cuanto al ítem relativo a las inconsistencias del sistema. Estas puntuaciones pudieron deberse a que algunos de los sujetos reportaron que en ciertas ocasiones durante la intervención tuvieron falta de acceso a los ejercicios por la caída de alguno de los servidores de la mHealth. Por último, la puntuación total hallada de 77,5 se interpreta como una buena usabilidad, quedando únicamente a 2,5 puntos para calificarse como excelente e incluyéndose en el índice de aceptabilidad más alto (216).

#### *Limitaciones*

Este estudio no carece de limitaciones. En primer lugar, una de las grandes problemáticas existentes fue el pequeño tamaño de la muestra, condicionado por la dramática mortandad obtenida, debida en parte a la aparición del COVID-19. Desde el centro hospitalario en el que se desarrolló el trabajo, se requirió que, a partir de la aparición de la pandemia, todas las pruebas de esfuerzo fueran acompañados por una prueba PCR negativa realizada máximo 48 horas antes de las mediciones (dicha prueba resultaba gratuita para los participantes). Este hecho hizo que muchos de los participantes se negaran a realizar los tests. Para intentar retener el máximo de datos de los participantes que no quisieron

## *Discusión*

---

acudir a realizar las pruebas PCR, se contactó con ellos para que, al menos, completaran los cuestionarios. Aunque se consiguió que un número importante de participantes contestaran a dichos cuestionarios, no se logró recibir los documentos de todos los sujetos, pese a la insistencia del equipo investigador. Asimismo, hasta donde saben los autores, esta ha sido la única intervención mediante el uso de una mHealth con el fin de promocionar la AF en personas con LM que se ha llevado a cabo en período COVID, teniendo a su vez un periodo control en tiempos pre-pandémicos.

Por otra parte, hubiese sido interesante marcar una mayor cantidad de puntos de corte para realizar mediciones y así obtener más información de la evolución de las variables estudiadas a lo largo del tiempo. En parte, esto no ha sido posible porque no fue viable realizar las pruebas de esfuerzo en periodo COVID. En cambio, se podría haber captado la información derivada de los cuestionarios de manera telemática.

Además, también se pudieron observar diversos fallos en el sistema de servidores en varios momentos, los cuales fueron solventados de manera rápida una vez se identificaron, pero que aún así pudieron inutilizar la mHealth durante breves períodos de tiempo, tal y como se ha comentado anteriormente.

Por último, cabe mencionar que la mHealth era capaz de proveer ejercicio físico según la capacidad demandada por el usuario, pero estos no pudieron elegir los ejercicios, sino que se le facilitaron de manera aleatoria. En este sentido, se utilizó esta arquitectura para que la

aplicación no tuviera un tamaño demasiado grande, lo cual podría derivar en problemas de instalación en los dispositivos de los usuarios. Dicho esto, para futuras investigaciones sería de gran interés mejorar este aspecto para que los usuarios pudiesen elegir que ejercicio concreto quieren consultar.



---

**CONCLUSIONES  
FINALES**

5



## 5. CONCLUSIONES FINALES

Como resultado de este trabajo de investigación, el cual se compone de dos estudios independientes, se han obtenido las siguientes conclusiones que responden a los objetivos e hipótesis planteados:

1. Se ha conseguido crear tres modelos diferentes para la estimación del GEAF en personas con LM mediante el acelerómetro de un *smartphone*. De entre los tres modelos cabe destacar que el A y el B mostraron un ligero mejor rendimiento cuando se compararon con el modelo C. Por último, aunque las ecuaciones A y B utilizaron los mismos predictores con pesos realmente similares, se optó por implementar el modelo B en la mHealth.
2. Se ha conseguido crear una mHealth operativa para la promoción de la AF en personas con LM dorsal completa que incluye la ecuación para el cálculo de GEAF creada específicamente para esta población mediante el uso de *smartphones*. Dicha aplicación contiene un total de 79 ejercicios físicos diferentes para trabajar 3 condiciones físicas (fuerza, resistencia y flexibilidad). Además, el sistema ofrece una retroalimentación sobre el ejercicio físico realizado para que el usuario pueda llevar un correcto seguimiento de él.
3. Los resultados obtenidos de la Escala de Usabilidad del Sistema sugieren que la mHealth ParaSportAPP tiene una buena usabilidad.

### *Conclusiones*

---

4. No se ha logrado hallar mejoras en ninguna de las variables estudiadas. Por otra parte, los resultados obtenidos pueden reflejar que la mHealth ayudó a mantener los niveles pre-pandémicos en las variables de estudio.

---

# BIBLIOGRAFÍA



6



## **6. BIBLIOGRAFÍA**

1. Gianino JM, Paice JA, York MM. Spinal Cord Anatomy. En: Intrathecal Drug Therapy for Spasticity and Pain [Internet]. Springer, New York, NY; 1996. p. 3-14. Disponible a: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-2348-1\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-2348-1_2)
2. Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, Donovan W, Graves DE, Jha A, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2011;34(6):535-46.
3. Waters RL, Adkins RH, Yakura JS. Definition of complete spinal cord injury. *Spinal Cord.* 1991;29(9):573-81.
4. Jain AK. ISCOS - Textbook on comprehensive management of spinal cord injuries. *Indian J Orthop.* 2016;50(2):223-4.
5. Organization WH, Society ISC. International Perspectives on Spinal Cord Injury. World Health Organization; 2013. 250 p.
6. Lee BB, Cripps RA, Fitzharris M, Wing PC. The global map for traumatic spinal cord injury epidemiology: update 2011, global incidence rate. *Spinal Cord.* 2014;52(2):110-6.
7. New PW, Rawicki HB, Bailey MJ. Nontraumatic spinal cord injury: Demographic characteristics and complications. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2002;83(7):996-1001.

*Bibliografia*

---

8. McDonald JW, Becker D, Huettner J. Chapter 62 - Spinal Cord Injury. En: Handbook of Stem Cells (Second Edition). San Diego: Academic Press; 2013. p. 723-38. Disponible a: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123859426000627>
9. Bryce TN. Chapter 59 - Spinal cord injury. En: Devlin VJ, editor. Spine Secrets Plus (Second Edition). Saint Louis: Mosby; 2012. p. 404-10.
10. Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, Melzak J, Michaelis LS, Ungar GH, et al. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. *Spinal Cord*. 1969;7(3):179-92.
11. van Middendorp JJ, Goss B, Urquhart S, Atresh S, Williams RP, Schuetz M. Diagnosis and Prognosis of Traumatic Spinal Cord Injury. *Global Spine J*. 2011;1(1):1-8.
12. New PW, Cripps RA, Bonne Lee B. Global maps of non-traumatic spinal cord injury epidemiology: towards a living data repository. *Spinal Cord*. 2014;52(2):97-109.
13. Smith E, Fitzpatrick P, Murtagh J, Lyons F, Morris S, Synnott K. Epidemiology of Traumatic Spinal Cord Injury in Ireland, 2010–2015. *NED*. 2018;51(1-2):19-24.

14. Halvorsen A, Pettersen AL, Nilsen SM, Halle KK, Schaanning EE, Rekand T. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Norway in 2012–2016: a registry-based cross-sectional study. *Spinal Cord*. 2019;57(4):331-8.
15. Yang R, Guo L, Huang L, Wang P, Tang Y, Ye J, et al. Epidemiological Characteristics of Traumatic Spinal Cord Injury in Guangdong, China. *Spine*. 2017;42(9):E555-61.
16. Mirzaeva L, Gilhus NE, Lobzin S, Rekand T. Incidence of adult traumatic spinal cord injury in Saint Petersburg, Russia. *Spinal Cord*. 2019;57(8):692-9.
17. Knox J. Epidemiology of spinal cord injury without radiographic abnormality in children: a nationwide perspective. *J Child Orthop*. 2016;10(3):255-60.
18. Chen H-Y, Chen S-S, Chiu W-T, Lee L-S, Hung C-I, Hung C-L, et al. A Nationwide Epidemiological Study of Spinal Cord Injury in Geriatric Patients in Taiwan. *NED*. 1997;16(5):241-7.
19. Thietje R, Hirschfeld S. Epidemiology of Spinal Cord Injury. En: Weidner N, Rupp R, Tansey KE, editors. *Neurological Aspects of Spinal Cord Injury*. Cham: Springer International Publishing; 2017. p. 3-17. Disponible a: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46293-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46293-6_1)

*Bibliografía*

---

20. Rahimi-Movaghar V, Sayyah MK, Akbari H, Khorramirouz R, Rasouli MR, Moradi-Lakeh M, et al. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in developing countries: a systematic review. *Neuroepidemiology*. 2013;41(2):65-85.
21. Berg MVD, Castellote JM, Mahillo-Fernandez I, de Pedro-Cuesta J. Incidence of Traumatic Spinal Cord Injury in Aragón, Spain (1972–2008). *Journal of Neurotrauma*. 2010;28(3):469-77.
22. Berg MVD, Castellote JM, Mahillo-Fernandez I, Pedro-Cuesta J de. Incidence of Nontraumatic Spinal Cord Injury: A Spanish Cohort Study (1972–2008). *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2012;93(2):325-31.
23. Montoto-Marqués A, Ferreiro-Velasco ME, Salvador-De La Barrera S, Balboa-Barreiro V, Rodriguez-Sotillo A, Meijide-Failde R. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Galicia, Spain: Trends over a 20-year period. *Spinal Cord*. 2017;55(6):588-94.
24. Bárbara-Bataller E, Méndez-Suárez JL, Alemán-Sánchez C, Ramírez-Lorenzo T, Sosa-Henríquez M. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Gran Canaria. *Neurocirugía*. 2017;28(1):15-21.
25. Jazayeri SB, Beygi S, Shokraneh F, Hagen EM, Rahimi-Movaghar V. Incidence of traumatic spinal cord injury worldwide: a systematic review. *Eur Spine J*. 2015;24(5):905-18.

26. García-Reneses J, Herruzo-Cabrera R, Martínez-Moreno M. Epidemiological study of spinal cord injury in Spain 1984-1985. *Spinal Cord*. 1991;29(3):180-90.
27. Pérez K, Novoa AM, Santamariña-Rubio E, Narvaez Y, Arrufat V, Borrell C, et al. Incidence trends of traumatic spinal cord injury and traumatic brain injury in Spain, 2000-2009. *Accid Anal Prev*. 2012;46:37-44.
28. Montesinos-Magraner L, Serra-Añó P, García-Massó X, Ramírez-Garcerán L, González L-M, González-Viejo MÁ. Comorbidity and physical activity in people with paraplegia: a descriptive cross-sectional study. *Spinal Cord*. 2018;56(1):52-6.
29. Harvey LA. Physiotherapy rehabilitation for people with spinal cord injuries. *Journal of Physiotherapy*. 2016;62(1):4-11.
30. Whiteneck GG, Charlifue SW, Gerhart KA, Overholser JD, Richardson GN. Quantifying handicap: a new measure of long-term rehabilitation outcomes. *Arch Phys Med Rehabil*. 1992;73(6):519-26.
31. Home Page - NSCISC Application [Internet]. Disponible a: <https://www.nscisc.uab.edu/>
32. Roca J. Spirometric reference values from a Mediterranean population. *Bull Eur Physiopathol Resir*. 1986;22:217-24.
33. Walter JS, Sacks J, Othman R, Rankin AZ, Nemchausky B, Chintam R, et al. A database of self-reported secondary medical

*Bibliografía*

---

problems among VA spinal cord injury patients: its role in clinical care and management. *J Rehabil Res Dev.* 2002;39(1):53-61.

34. Esliger DW, Copeland JL, Barnes JD, Tremblay MS. Standardizing and Optimizing the Use of Accelerometer Data for Free-Living Physical Activity Monitoring. *Journal of Physical Activity and Health.* 2005;2(3):366-83.

35. Charlifue S, Lammertse DP, Adkins RH. Aging with spinal cord injury: Changes in selected health indices and life satisfaction. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2004;85(11):1848-53.

36. Pickett GE, Campos-Benitez M, Keller JL, Duggal N. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Canada. *Spine.* 2006;31(7):799-805.

37. Montesinos-Magraner L, López-Bueno L, Gómez-Garrido A, Gomis M, González LM, García-Massó X, et al. The influence of regular physical activity on lung function in paraplegic people. *Spinal Cord.* 2016;54(10):861-5.

38. Linn WS, Adkins RH, Gong H, Waters RL. Pulmonary function in chronic spinal cord injury: A cross-sectional survey of 222 Southern California adult outpatients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2000;81(6):757-63.

39. Schilero GJ, Spungen AM, Bauman WA, Radulovic M, Lesser M. Pulmonary function and spinal cord injury. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2009;166(3):129-41.
40. Biering-Sørensen F, Jennum P, Laub M. Sleep disordered breathing following spinal cord injury. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2009;169(2):165-70.
41. Chiodo AE, Sitrin RG, Bauman KA. Sleep disordered breathing in spinal cord injury: A systematic review. *J Spinal Cord Med*. 2016;39(4):374-82.
42. McKinley WO, Jackson AB, Cardenas DD, DeVivo MJ. Long-term medical complications after traumatic spinal cord injury: a regional model systems analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80(11):1402-10.
43. McCraty R, Shaffer F. Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health risk. *Glob Adv Health Med*. 2015;4(1):46-61.
44. Serra-Añó P, Montesinos LL, Morales J, López-Bueno L, Gomis M, García-Massó X, et al. Heart rate variability in individuals with thoracic spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2015;53(1):59-63.
45. Van Stee E W. Autonomic innervation of the heart. *Environmental Health Perspectives*. 1978;26:151-8.
46. Migliorini C, Tonge B, Taleporos G. Spinal Cord Injury and Mental Health. *Aust N Z J Psychiatry*. 2008;42(4):309-14.

*Bibliografia*

---

47. Westgren N, Levi R. Quality of life and traumatic spinal cord injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1998;79(11):1433-9.
48. Post MWM, de Witte LP, van Asbeck FWA, van Dijk AJ, Schrijvers AJP. Predictors of health status and life satisfaction in spinal cord injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1998;79(4):395-401.
49. Parry DA, Oeppen RS, Amin MSA, Brennan PA. Could exercise improve mental health and cognitive skills for surgeons and other healthcare professionals? *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2018; Disponible a: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266435618300858>
50. Ströhle A. Physical activity, exercise, depression and anxiety disorders. *J Neural Transm*. 2008;116(6):777.
51. Stevens SL, Caputo JL, Fuller DK, Morgan DW. Physical Activity and Quality of Life in Adults With Spinal Cord Injury. *J Spinal Cord Med*. 2008;31(4):373-8.
52. Martin Ginis KA, Hicks AL, Latimer AE, Warburton DER, Bourne C, Ditor DS, et al. The development of evidence-informed physical activity guidelines for adults with spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2011;49(11):1088-96.

53. Noreau L, Shephard RJ. Spinal cord injury, exercise and quality of life. *Sports Med.* 1995;20(4):226-50.
54. Dolbow DR, Gorgey AS, Daniels JA, Adler RA, Moore JR, Gater DR. The effects of spinal cord injury and exercise on bone mass: a literature review. *NeuroRehabilitation.* 2011;29(3):261-9.
55. Rimaud D, Calmels P, Devillard X. Training programs in spinal cord injury. *Ann Readapt Med Phys.* 2005;48(5):259-69.
56. Hetz SP, Latimer AE, Buchholz AC, Martin Ginis KA, SHAPE-SCI Research Group. Increased participation in activities of daily living is associated with lower cholesterol levels in people with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2009;90(10):1755-9.
57. Buchholz AC, Martin Ginis KA, Bray SR, Craven BC, Hicks AL, Hayes KC, et al. Greater daily leisure time physical activity is associated with lower chronic disease risk in adults with spinal cord injury. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2009;34(4):640-7.
58. Van Straaten M, Cloud BA, Morrow MM, Ludewig PM, Zhao KD. Effectiveness of Home Exercise on Pain, Function, and Strength of Manual Wheelchair Users With Spinal Cord Injury: A High-Dose Shoulder Program With Telerehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014;95(10):1810-1817.e2.
59. Kratz AL, Ehde DM, Bombardier CH, Kalpakjian CZ, Hanks RA. Pain Acceptance Decouples the Momentary Associations Between

### *Bibliografía*

---

Pain, Pain Interference, and Physical Activity in the Daily Lives of People With Chronic Pain and Spinal Cord Injury. *Journal of Pain*. 2017;18(3):319-31.

60. Serra-Añó P, Pellicer-Chenoll M, García-Massó X, Morales J, Giner-Pascual M, González L-M. Effects of resistance training on strength, pain and shoulder functionality in paraplegics. *Spinal Cord*. 2012;50(11):827-31.

61. Rekand T, Hagen EM, Grønning M. Spasticity following spinal cord injury. *Tidsskr Nor Laegeforen*. 2012;132(8):970-3.

62. Van Houtte S, Vanlandewijck Y, Gosselink R. Respiratory muscle training in persons with spinal cord injury: a systematic review. *Respir Med*. 2006;100(11):1886-95.

63. Martin Ginis KA, Jörgensen S, Stapleton J. Exercise and Sport for Persons With Spinal Cord Injury. *PM&R*. 2012;4(11):894-900.

64. Garshick E, Kelley A, Cohen S, Garrison A, Tun C, Gagnon D, et al. A prospective assessment of mortality in chronic spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2005;43(7):408-16.

65. Martin Ginis KA, van der Scheer JW, Latimer-Cheung AE, Barrow A, Bourne C, Carruthers P, et al. Evidence-based scientific exercise guidelines for adults with spinal cord injury: an update and a new guideline. *Spinal Cord*. 2018;56(4):308-21.

66. Kerstin W, Gabriele B, Richard L. What promotes physical activity after spinal cord injury? An interview study from a patient perspective. *Disabil Rehabil.* 2006;28(8):481-8.
67. Martin Ginis KA, Latimer AE, Arbour-Nicitopoulos KP, Buchholz AC, Bray SR, Craven BC, et al. Leisure time physical activity in a population-based sample of people with spinal cord injury part I: demographic and injury-related correlates. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010;91(5):722-8.
68. Rezende LS, Lima MB, Salvador EP. Interventions for Promoting Physical Activity Among Individuals With Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *Journal of Physical Activity and Health.* 1 2018;15(12):954-9.
69. Arbour-Nicitopoulos KP, Sweet SN, Lamontagne M-E, Martin Ginis KA, Jeske S, Routhier F, et al. A randomized controlled trial to test the efficacy of the SCI Get Fit Toolkit on leisure-time physical activity behaviour and social-cognitive processes in adults with spinal cord injury. *Spinal Cord Series and Cases.* 2017;3(1):1-8.
70. Arbour-Nicitopoulos KP, Martin Ginis KA, Latimer-Cheung AE, Bourne C, Campbell D, Cappe S, et al. Development of an evidence-informed leisure time physical activity resource for adults with spinal cord injury: the SCI Get Fit Toolkit. *Spinal Cord.* 2013;51(6):491-500.

*Bibliografia*

---

71. Zemper ED, Tate DG, Roller S, Forchheimer M, Chiodo A, Nelson VS, et al. Assessment of a holistic wellness program for persons with spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003;82(12):957-68; quiz 969-71.
72. Arbour-Nicitopoulos KP, Ginis KAM, Latimer AE. Planning, Leisure-Time Physical Activity, and Coping Self-Efficacy in Persons With Spinal Cord Injury: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2009;90(12):2003-11.
73. Froehlich-Grobe K, Lee J, Aaronson L, Nary DE, Washburn RA, Little TD. Exercise for Everyone: A Randomized Controlled Trial of Project Workout on Wheels in Promoting Exercise Among Wheelchair Users. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2014;95(1):20-8.
74. Arbour-Nicitopoulos KP, Tomasone JR, Latimer-Cheung AE, Martin Ginis KA. Get in motion: an evaluation of the reach and effectiveness of a physical activity telephone counseling service for Canadians living with spinal cord injury. *PM R.* 2014;6(12):1088-96.
75. Tomasone JR, Arbour-Nicitopoulos KP, Latimer-Cheung AE, Martin Ginis KA. The relationship between the implementation and effectiveness of a nationwide physical activity telephone counseling service for adults with spinal cord injury. *Disabil Rehabil.* 2018;40(5):527-37.

76. Nooijen CF, Stam HJ, Bergen MP, Bongers-Janssen HM, Valent L, van Langeveld S, et al. A behavioural intervention increases physical activity in people with subacute spinal cord injury: a randomised trial. *Journal of Physiotherapy*. 2016;62(1):35-41.
77. Nooijen CF, Stam HJ, Sluis T, Valent L, Twisk J, van den Berg-Emons RJ. A behavioral intervention promoting physical activity in people with subacute spinal cord injury: secondary effects on health, social participation and quality of life. *Clin Rehabil*. 2017;31(6):772-80.
78. Latimer AE, Ginis KAM, Arbour KP. The efficacy of an implementation intention intervention for promoting physical activity among individuals with spinal cord injury: A randomized controlled trial. *Rehabilitation Psychology*. 2006;51(4):273-80.
79. Letts L, Martin Ginis KA, Faulkner G, Colquhoun H, Levac D, Gorczynski P. Preferred methods and messengers for delivering physical activity information to people with spinal cord injury: a focus group study. *Rehabil Psychol*. 2011;56(2):128-37.
80. Gaffurini P, Bissolotti L, Calza S, Calabretto C, Orizio C, Gobbo M. Energy metabolism during activity-promoting video games practice in subjects with spinal cord injury: evidences for health promotion. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2013;49(1):23-9.
81. Müller AM, Alley S, Schoeppe S, Vandelanotte C. The effectiveness of e- & mHealth interventions to promote physical activity and healthy diets in developing countries: A systematic review.
-

*Bibliografia*

---

International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity. 10 octubre 2016;13(1):109.

82. Hiremath SV, Amiri AM, Thapa-Chhetry B, Snethen G, Schmidt-Read M, Ramos-Lambooy M, et al. Correction: Mobile health-based physical activity intervention for individuals with spinal cord injury in the community: A pilot study. PLoS ONE. 2019;14(11):e0225490.

83. Topol EJ, Steinhubl SR, Torkamani A. Digital Medical Tools and Sensors. JAMA. 2015;313(4):353-4.

84. Jee H. Review of researches on smartphone applications for physical activity promotion in healthy adults. J Exerc Rehabil. 2017;13(1):3-11.

85. Heaney J. Energy: Expenditure, Intake, Lack of. En: Gellman MD, Turner JR, editors. Encyclopedia of Behavioral Medicine [Internet]. New York, NY: Springer; 2013. p. 699-700. Disponible a: [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1005-9\\_454](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1005-9_454)

86. Nevin AN, Steenson J, Vivanti A, Hickman IJ. Investigation of measured and predicted resting energy needs in adults after spinal cord injury: a systematic review. Spinal Cord. 2016;54(4):248-53.

87. Nightingale TE, Rouse PC, Thompson D, Bilzon JLJ. Measurement of Physical Activity and Energy Expenditure in

Wheelchair Users: Methods, Considerations and Future Directions. *Sports Med Open*. 2017;3(1):10.

88. Giangregorio L, McCartney N. Bone Loss and Muscle Atrophy in Spinal Cord Injury: Epidemiology, Fracture Prediction, and Rehabilitation Strategies. *J Spinal Cord Med*. 2006;29(5):489-500.

89. Collins EG, Gater D, Kiratli J, Butler J, Hanson K, Langbein WE. Energy cost of physical activities in persons with spinal cord injury. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(4):691-700.

90. Valanou EM, Bamia C, Trichopoulou A. Methodology of physical-activity and energy-expenditure assessment: a review. *J Public Health*. 2006;14(2):58-65.

91. Ainslie P, Reilly T, Westerterp K. Estimating human energy expenditure: a review of techniques with particular reference to doubly labelled water. *Sports Med*. 2003;33(9):683-98.

92. Kurpad AV, Raj R, Maruthy KN, Vaz M. A simple method of measuring total daily energy expenditure and physical activity level from the heart rate in adult men. *Eur J Clin Nutr*. 2006;60(1):32-40.

93. Lam YY, Ravussin E. Indirect calorimetry: an indispensable tool to understand and predict obesity. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2017;71(3):318-22.

*Bibliografia*

---

94. Kenny GP, Notley SR, Gagnon D. Direct calorimetry: a brief historical review of its use in the study of human metabolism and thermoregulation. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(9):1765-85.
95. White T, Westgate K, Hollidge S, Venables M, Olivier P, Wareham N, et al. Estimating energy expenditure from wrist and thigh accelerometry in free-living adults: a doubly labelled water study. *International Journal of Obesity.* 2019;43(11):2333-42.
96. Lee PH, Macfarlane DJ, Lam T, Stewart SM. Validity of the international physical activity questionnaire short form (IPAQ-SF): A systematic review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity.* 2011;8(1):115.
97. Janz KF, Lutuchy EM, Wenthe P, Levy SM. Measuring Activity in Children and Adolescents Using Self-Report: PAQ-C and PAQ-A. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 2008;40(4):767-72.
98. Washburn RA, McAuley E, Katula J, Mihalko SL, Boileau RA. The Physical Activity Scale for the Elderly (PASE): Evidence for Validity. *Journal of Clinical Epidemiology.* 1999;52(7):643-51.
99. Rimmer JH, Riley BB, Rubin SS. A New Measure for Assessing the Physical Activity Behaviors of Persons with Disabilities and Chronic Health Conditions: The Physical Activity and Disability Survey. *Am J Health Promot.* 2001;16(1):34-45.

100. Washburn RA, Zhu W, McAuley E, Frogley M, Figoni SF. The physical activity scale for individuals with physical disabilities: development and evaluation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83(2):193-200.
101. Ginis KAM, Latimer AE, Hicks AL, Craven BC. Development and evaluation of an activity measure for people with spinal cord injury. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(7):1099-111.
102. de Groot S, van der Woude LHV, Niezen A, Smit C a. J, Post MWM. Evaluation of the physical activity scale for individuals with physical disabilities in people with spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2010;48(7):542-7.
103. van der Ploeg HP, Streppel KRM, van der Beek AJ, van der Woude LHV, Vollenbroek-Hutten M, van Mechelen W. The Physical Activity Scale for Individuals with Physical Disabilities: test-retest reliability and comparison with an accelerometer. *J Phys Act Health.* 2007;4(1):96-100.
104. Latimer AE, Martin Ginis KA, Craven BC, Hicks AL. The Physical Activity Recall Assessment for People with Spinal Cord Injury: Validity. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 2006;38(2):208-16.
105. Liu S, Gao RX, Freedson PS. Computational methods for estimating energy expenditure in human physical activities. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(11):2138-46.

### *Bibliografía*

---

106. González LM, García-Massó X. Aplicación de la acelerometría en la medición de la actividad física. En: Metodología y aplicación práctica de la biomecánica deportiva. Paidotribo; 2018. p. 163-76. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6403658>
107. Aguilar Cordero J, Sánchez López M, Guisado Barrilao R, Rodriguez Blanque R, Noack Segovia J, Pozo Cano M. Descripción del acelerómetro como método para valorar la actividad física en los diferentes periodos de la vida: revisión sistemática. *Nutricion Hospitalaria*. 2014;29(6):1250-61.
108. Berkemeyer K, Wijndaele K, White T, Cooper AJM, Luben R, Westgate K, et al. The descriptive epidemiology of accelerometer-measured physical activity in older adults. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2016;13(1):2.
109. Hagströmer M, Troiano RP, Sjöström M, Berrigan D. Levels and Patterns of Objectively Assessed Physical Activity—A Comparison Between Sweden and the United States. *Am J Epidemiol*. 2010;171(10):1055-64.
110. Loprinzi PD, Addoh O. Accelerometer-Determined Physical Activity and All-Cause Mortality in a National Prospective Cohort Study of Adults Post-Acute Stroke. *Am J Health Promot*. 2018;32(1):24-7.
111. Migueles JH, Cadenas-Sanchez C, Ekelund U, Delisle Nyström C, Mora-Gonzalez J, Löf M, et al. Accelerometer Data Collection and

Processing Criteria to Assess Physical Activity and Other Outcomes: A Systematic Review and Practical Considerations. *Sports Med.* 2017;47(9):1821-45.

112. Kelly LA, McMillan DG, Anderson A, Fippinger M, Fillerup G, Rider J. Validity of actigraphs uniaxial and triaxial accelerometers for assessment of physical activity in adults in laboratory conditions. *BMC Medical Physics.* 2013;13(1):5.

113. Tsang K, Hiremath SV, Crytzer TM, Dicianno BE, Ding D. Validity of activity monitors in wheelchair users: A systematic review. *J Rehabil Res Dev.* 2016;53(6):641-58.

114. García-Massó X, Serra-Añó P, García-Raffi LM, Sánchez-Pérez EA, López-Pascual J, Gonzalez LM. Validation of the use of Actigraph GT3X accelerometers to estimate energy expenditure in full time manual wheelchair users with spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2013;51(12):898-903.

115. Shwetar YJ, Veerubhotla AL, Huang Z, Ding D. Comparative validity of energy expenditure prediction algorithms using wearable devices for people with spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2020;1-10.

116. Rousset S, Guidoux R, Paris L, Farigon N, Miolanne M, Lahaye C, et al. A Novel Smartphone Accelerometer Application for Low-Intensity Activity and Energy Expenditure Estimations in Overweight and Obese Adults. *J Med Syst.* 2017;41(8):117.

*Bibliografía*

---

117. Hekler EB, Buman MP, Grieco L, Rosenberger M, Winter SJ, Haskell W, et al. Validation of Physical Activity Tracking via Android Smartphones Compared to ActiGraph Accelerometer: Laboratory-Based and Free-Living Validation Studies. *JMIR mHealth and uHealth*. 2015;3(2):e36.
118. Duffield R, Dawson B, Pinnington HC, Wong P. Accuracy and reliability of a Cosmed K4b2 portable gas analysis system. *J Sci Med Sport*. 2004;7(1):11-22.
119. Physics Toolbox Sensor Suite - Aplicaciones en Google Play [Internet]. Disponible: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es>
120. Lee M, Zhu W, Hedrick B, Fernhall B. Determining metabolic equivalent values of physical activities for persons with paraplegia. *Disability and Rehabilitation*. 2010;32(4):336-43.
121. Lee M, Zhu W, Hedrick B, Fernhall B. Estimating MET Values Using the Ratio of HR for Persons with Paraplegia. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2010;42(5):985-90.
122. Robertson RJ, Goss FL, Dubé J, Rutkowski J, Dupain M, Brennan C, et al. Validation of the Adult OMNI Scale of Perceived Exertion for Cycle Ergometer Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2004;36(1):102-8.

123. Staudenmayer J, Pober D, Crouter S, Bassett D, Freedson P. An artificial neural network to estimate physical activity energy expenditure and identify physical activity type from an accelerometer. *J Appl Physiol.* 2009;107(4):1300-7.
124. Preece SJ, Goulermas JY, Kenney LPJ, Howard D. A Comparison of Feature Extraction Methods for the Classification of Dynamic Activities From Accelerometer Data. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering.* 2009;56(3):871-9.
125. García-Massó X, Serra-Añó P, Gonzalez LM, Ye-Lin Y, Prats-Boluda G, Garcia-Casado J. Identifying physical activity type in manual wheelchair users with spinal cord injury by means of accelerometers. *Spinal Cord.* 2015;53(10):772-7.
126. Hurd WJ, Morrow MM, Kaufman KR. Tri-axial accelerometer analysis techniques for evaluating functional use of the extremities. *J Electromyogr Kinesiol.* 2013;23(4):924-9.
127. Teixeira FG, Jesus IRT, Mello RGT, Nadal J. Cross-correlation between head acceleration and stabilograms in humans in orthostatic posture. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2012;2012:3496-9.
128. Catal C, Tufekci S, Pirit E, Kocabag G. On the use of ensemble of classifiers for accelerometer-based activity recognition. *Applied Soft Computing.* 2015;37:1018-22.

### *Bibliografia*

---

129. Gao L, Bourke AK, Nelson J. Evaluation of accelerometer based multi-sensor versus single-sensor activity recognition systems. *Medical Engineering & Physics*. 2014;36(6):779-85.
130. Evans J. Pearson's correlation. En: *Straightforward Statistics for the Behavioral Sciences*. Duxbury Press; 1995. p. 624.
131. Chemtob K, Rocchi M, Arbour-Nicitopoulos K, Kairy D, Fillion B, Sweet SN. Using tele-health to enhance motivation, leisure time physical activity, and quality of life in adults with spinal cord injury: A self-determination theory-based pilot randomized control trial. *Psychology of Sport and Exercise*. 2019;43:243-52.
132. Richardson J, Iezzi A, Khan MA, Maxwell A. Validity and Reliability of the Assessment of Quality of Life (AQoL)-8D Multi-Attribute Utility Instrument. *Patient*. 2014;7(1):85-96.
133. Whitehurst DGT, Suryaprakash N, Engel L, Mittmann N, Noonan VK, Dvorak MFS, et al. Perceptions of individuals living with spinal cord injury toward preference-based quality of life instruments: a qualitative exploration. *Health Qual Life Outcomes*. 2014;12:50.
134. Herdman M, Gudex C, Lloyd A, Janssen M, Kind P, Parkin D, et al. Development and preliminary testing of the new five-level version of EQ-5D (EQ-5D-5L). *Qual Life Res*. 2011;20(10):1727-36.

135. Furlong WJ, Feeny DH, Torrance GW, Barr RD. The Health Utilities Index (HUI) system for assessing health-related quality of life in clinical studies. *Ann Med.* 2001;33(5):375-84.
136. Brazier J, Roberts J, Deverill M. The estimation of a preference-based measure of health from the SF-36. *J Health Econ.* 2002;21(2):271-92.
137. Zigmond AS, Snaith RP. The hospital anxiety and depression scale. *Acta Psychiatr Scand.* juny 1983;67(6):361-70.
138. Herrero MJ, Blanch J, Peri JM, De Pablo J, Pintor L, Bulbena A. A validation study of the hospital anxiety and depression scale (HADS) in a Spanish population. *General Hospital Psychiatry.* 2003;25(4):277-83.
139. Wolter T, Fauler I, Kieselbach K. The impact of psychological factors on outcomes for spinal cord stimulation: an analysis with long-term follow-up. *Pain Physician.* 2013;16(3):265-75.
140. Shin J-I, Chae J-H, Min J-A, Lee C-U, Hwang S-I, Lee B-S, et al. Resilience as a Possible Predictor for Psychological Distress in Chronic Spinal Cord Injured Patients Living in the Community. *Ann Rehabil Med.* 2012;36(6):815-20.
141. Al-Owesie RM, Moussa NM, Robert AA. Anxiety and depression among traumatic spinal cord injured patients. *Neurosciences.* 2012;17(2):145-50.

*Bibliografía*

---

142. Sadosky A, Parsons B, Emir B, Nieshoff EC. Pain relief and functional improvement in patients with neuropathic pain associated with spinal cord injury: an exploratory analysis of pregabalin clinical trials. *J Pain Res.* 2016;9:405-16.
143. Müller R, Cieza A, Geyh S. Rasch analysis of the Hospital Anxiety and Depression Scale in spinal cord injury. *Rehabilitation Psychology.* 2012;57(3):214-23.
144. Wagnild GM, Young HM. Development and psychometric evaluation of the Resilience Scale. *J Nurs Meas.* 1993;1(2):165-78.
145. Snyder CR, Lopez SJ. *Oxford Handbook of Positive Psychology.* Oxford University Press; 2009. 742 p.
146. Rodríguez M, Pereyra MG, Gil E, Jofré M, Bortoli MD, Labiano LM. Propiedades psicométricas de la escala de resiliencia versión argentina. *Revista Evaluar.* 2009;9(1). Disponible a: <https://revistas.psi.unc.edu.ar/index.php/revaluar/article/view/465>
147. Heilemann MV, Lee K, Kury FS. Psychometric Properties of the Spanish Version of the Resilience Scale. *Journal of Nursing Measurement.* 2003;11(1):61-72.
148. Las Hayas C, Calvete E, Gómez del Barrio A, Beato L, Muñoz P, Padierna JÁ. Resilience Scale-25 Spanish version: Validation and assessment in eating disorders. *Eating Behaviors.* 2014;15(3):460-3.

149. Ruiz-Párraga GT, López-Martínez AE, Gómez-Pérez L. Factor Structure and Psychometric Properties of the Resilience Scale in a Spanish Chronic Musculoskeletal Pain Sample. *The Journal of Pain*. 2012;13(11):1090-8.
150. Echezarraga A, Las Hayas C, González-Pinto AM, Jones S. The Resilience Questionnaire for Bipolar Disorder: Development and validation. *Archives of Psychiatric Nursing*. 2017;31(4):376-85.
151. Itzkovich M, Gelernter I, Biering-Sorensen F, Weeks C, Laramée MT, Craven BC, et al. The Spinal Cord Independence Measure (SCIM) version III: Reliability and validity in a multi-center international study. *Disability and Rehabilitation*. 2007;29(24):1926-33.
152. Catz A, Itzkovich M, Agranov E, Ring H, Tamir A. SCIM--spinal cord independence measure: a new disability scale for patients with spinal cord lesions. *Spinal Cord*. 1997;35(12):850-6.
153. Catz A, Itzkovich M, Steinberg F, Philo O, Ring H, Ronen J, et al. The Catz-Itzkovich SCIM: a revised version of the Spinal Cord Independence Measure. *Disabil Rehabil*. 2001;23(6):263-8.
154. Aguilar-Rodríguez M, Peña-Pachés L, Grao-Castellote C, Torralba-Collados F, Hervás-Marín D, Giner-Pascual M. Adaptation and validation of the Spanish self-report version of the Spinal Cord Independence Measure (SCIM III). *Spinal Cord*. 2015;53(6):451-4.

### *Bibliografía*

---

155. Tonguino-Rosero S, Rosero-Carvajal HE, Betancourt-Peña J. Fuerza muscular respiratoria y movilidad torácica en niños sanos. Relación con medidas antropométricas. *Fisioterapia*. 2020;42(6):286-94.
156. West CR, Taylor BJ, Campbell IG, Romer LM. Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in Paralympic athletes with cervical spinal cord injury. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2014;24(5):764-72.
157. Postma K, Haisma JA, Hopman MTE, Bergen MP, Stam HJ, Bussmann JB. Resistive Inspiratory Muscle Training in People With Spinal Cord Injury During Inpatient Rehabilitation: A Randomized Controlled Trial. *Physical Therapy*. 2014;94(12):1709-19.
158. Allison T, Burdiat G. Pruebas de esfuerzo cardiopulmonar en la práctica clínica. *Revista Uruguaya de Cardiología*. 2010;25(1):17-27.
159. González-Rojas L, Soto-Sánchez J, Cano-Cappellacci M, Muñoz Claro R, Cancino-Ramírez J, González-Rojas L, et al. Pulso de oxígeno como factor protector de resistencia a la insulina en mujeres sedentarias con sobrepeso u obesidad. *Nutrición Hospitalaria*. 2018;35(6):1305-9.
160. García-Río F, Calle M, Burgos F, Casan P, del Campo F, Galdiz JB, et al. Espirometría. *Archivos de Bronconeumología*. 2013;49(9):388-401.

161. Biering-Sørensen F, Krassioukov A, Alexander MS, Donovan W, Karlsson A-K, Mueller G, et al. International spinal cord injury pulmonary function basic data set. *Spinal Cord*. 2012;50(6):418-21.
162. Edginton S, O'Sullivan DE, King WD, Loughheed MD. The effect of acute outdoor air pollution on peak expiratory flow in individuals with asthma: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*. 2021;192:110296.
163. Gómez Garrido A, León Espitia AM, Montesinos Magraner L, Ramirez Galceran L, Soler Canudes E, González Viejo MA. Validación española del cuestionario International Spinal Cord Injury Pulmonary Function Basic Data Set para valorar la repercusión de la lesión medular en el sistema respiratorio. *Med Clin (Barc)*. 2015;145(11):477-81.
164. Aguilar MIH, Villegas AAG. Análisis comparativo de la Escala de Usabilidad del Sistema (EUS) en dos versiones / Comparative analysis of the System Usability Scale (SUS) in two versions. *RECI Revista Iberoamericana de las Ciencias Computacionales e Informática*. 2016;5(10):44-58.
165. Kim DY, Jung Y-S, Park R-W, Joo N-S. Different Location of Triaxial Accelerometer and Different Energy Expenditures. *Yonsei Medical Journal*. 2014;55(4):1145-51.
166. Nightingale TE, Walhim J-P, Thompson D, Bilzon JLJ. Predicting physical activity energy expenditure in manual wheelchair users. *Med Sci Sports Exerc*. 2014;46(9):1849-58.
-

*Bibliografia*

---

167. Nightingale TE, Walhin J-P, Thompson D, Bilzon JJ. Influence of Accelerometer Type and Placement on Physical Activity Energy Expenditure Prediction in Manual Wheelchair Users. *PLOS ONE*. 2015;10(5):e0126086.
168. Ruiz-Zafra A, Orantes-González E, Noguera M, Benghazi K, Heredia-Jimenez J. A Comparative Study on the Suitability of Smartphones and IMU for Mobile, Unsupervised Energy Expenditure Calculi. *Sensors*. 2015;15(8):18270-86.
169. Pande A, Zhu J, Das AK, Zeng Y, Mohapatra P, Han JJ. Using Smartphone Sensors for Improving Energy Expenditure Estimation. *IEEE J Transl Eng Health Med*. 2015;3:2700212.
170. del Rosario MB, Redmond SJ, Lovell NH. Tracking the Evolution of Smartphone Sensing for Monitoring Human Movement. *Sensors (Basel)*. 31 juliol 2015;15(8):18901-33.
171. Fu J, Jones M, Liu T, Hao W, Yan Y, Qian G, et al. A Novel Mobile-Cloud System for Capturing and Analyzing Wheelchair Maneuvering Data: A Pilot Study. *Assist Technol*. 2016;28(2):105-14.
172. Fu J, Liu T, Jones M, Qian G, Jan Y-K. Characterization of wheelchair maneuvers based on noisy inertial sensor data: a preliminary study. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2014;2014:1731-4.

173. Scott Kruse C, Karem P, Shifflett K, Vegi L, Ravi K, Brooks M. Evaluating barriers to adopting telemedicine worldwide: A systematic review. *J Telemed Telecare*. 2018;24(1):4-12.
174. Jiménez-Pavón D, Carbonell-Baeza A, Lavie CJ. Physical exercise as therapy to fight against the mental and physical consequences of COVID-19 quarantine: Special focus in older people. *Prog Cardiovasc Dis*. 2020; Disponible a: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7118448/>
175. Lippi G, Henry BM, Sanchis-Gomar F. Physical inactivity and cardiovascular disease at the time of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Eur J Prev Cardiol*. 2020;2047487320916823.
176. Angosto S, Berengüí R, Vegara-Ferri JM, López-Gullón JM. Motives and Commitment to Sport in Amateurs during Confinement: A Segmentation Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(20):7398.
177. García-Tascón M, Sahelices-Pinto C, Mendaña-Cuervo C, Magaz-González AM. The Impact of the COVID-19 Confinement on the Habits of PA Practice According to Gender (Male/Female): Spanish Case. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(19):6961.
178. Martin Ginis KA, Jetha A, Mack DE, Hetz S. Physical activity and subjective well-being among people with spinal cord injury: a meta-analysis. *Spinal Cord*. 2010;48(1):65-72.

*Bibliografia*

---

179. Tomasone JR, Wesch NN, Ginis KAM, Noreau L. Spinal Cord Injury, Physical Activity, and Quality of Life: A Systematic Review. *Kinesiology Review*. 2013;2(2):113-29.
180. Quel de Oliveira C, Refshauge K, Middleton J, de Jong L, Davis GM. Effects of Activity-Based Therapy Interventions on Mobility, Independence, and Quality of Life for People with Spinal Cord Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Neurotrauma*. 2016;34(9):1726-43.
181. Bonanno GA, Kennedy P, Galatzer-Levy IR, Lude P, Elfström ML. Trajectories of resilience, depression, and anxiety following spinal cord injury. *Rehabil Psychol*. 2012;57(3):236-47.
182. Mulroy SJ, Hatchett PE, Eberly VJ, Haubert LL, Connors S, Gronley J, et al. Objective and Self-Reported Physical Activity Measures and Their Association With Depression and Satisfaction With Life in Persons With Spinal Cord Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2016;97(10):1714-20.
183. Kim D, Lee J, Park H, Jeon JY. The Relationship between Physical Activity Levels and Mental Health in Individuals with Spinal Cord Injury in South Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(12):4423.
184. Nightingale TE, Rouse PC, Walhin J-P, Thompson D, Bilzon JIJ. Home-Based Exercise Enhances Health-Related Quality of Life in Persons With Spinal Cord Injury: A Randomized Controlled Trial.

Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 2018;99(10):1998-2006.e1.

185. Rodríguez-Rey R, Garrido-Hernansaiz H, Collado S. Psychological Impact and Associated Factors During the Initial Stage of the Coronavirus (COVID-19) Pandemic Among the General Population in Spain. *Front Psychol.* 2020;11. Disponible a: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2020.01540/full?report=reader>

186. Rossi R, Soggi V, Talevi D, Mensi S, Ntoli C, Pacitti F, et al. COVID-19 Pandemic and Lockdown Measures Impact on Mental Health Among the General Population in Italy. *Front Psychiatry.* 2020;11.

187. Ozamiz-Etxebarria N, Idoiaga Mondragon N, Dosil Santamaría M, Picaza Gorrotxategi M. Psychological Symptoms During the Two Stages of Lockdown in Response to the COVID-19 Outbreak: An Investigation in a Sample of Citizens in Northern Spain. *Front Psychol* 2020;11.

188. Xiong J, Lipsitz O, Nasri F, Lui LMW, Gill H, Phan L, et al. Impact of COVID-19 pandemic on mental health in the general population: A systematic review. *Journal of Affective Disorders.* 2020;277:55-64.

*Bibliografia*

---

189. Lund EM, Forber-Pratt AJ, Wilson C, Mona LR. The COVID-19 pandemic, stress, and trauma in the disability community: A call to action. *Rehabilitation Psychology*. 2020;65(4):313-22.
190. Alexander M. Pandemics, climate change, and disability related to SCI. *Spinal Cord Series and Cases*. 2020;6(1):1-2.
191. O'Connell CM, Eriks-Hoogland I, Middleton JW. Now, more than ever, our community is needed: spinal cord injury care during a global pandemic. *Spinal Cord Series and Cases*. 2020;6(1):1-2.
192. Ma JK, West CR, Martin Ginis KA. The Effects of a Patient and Provider Co-Developed, Behavioral Physical Activity Intervention on Physical Activity, Psychosocial Predictors, and Fitness in Individuals with Spinal Cord Injury: A Randomized Controlled Trial. *Sports Med*. 2019;49(7):1117-31.
193. Cole M, Froehlich-Grobe K, Driver S, Shegog R, McLaughlin J. Website Redesign of a 16-Week Exercise Intervention for People With Spinal Cord Injury by Using Participatory Action Research. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*. 2019;6(2):e13441.
194. Coulter EH, McLean AN, Hasler JP, Allan DB, McFadyen A, Paul L. The effectiveness and satisfaction of web-based physiotherapy in people with spinal cord injury: A pilot randomised controlled trial. *Spinal Cord*. 2017;55(4):383-9.

195. Allin S, Shepherd J, Thorson T, Tomasone J, Munce S, Linassi G, et al. Web-Based Health Coaching for Spinal Cord Injury: Results From a Mixed Methods Feasibility Evaluation. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*. 2020;7(2):e16351.
196. Jeske SJD, Brawley LR, Arbour-Nicitopoulos KP. Videoconference-Delivered Group-Based Physical Activity Self-Regulatory Support for Adults With Spinal Cord Injury: A Feasibility Study. *Adapted Physical Activity Quarterly*. 2020;37(3):270-88.
197. Rocchi MA, Robichaud Lapointe T, Gainforth HL, Chemtob K, Arbour-Nicitopoulos KP, Kairy D, et al. Delivering a tele-health intervention promoting motivation and leisure-time physical activity among adults with spinal cord injury: An implementation evaluation. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*. 2020.
198. Bombardier CH, Dyer JR, Burns P, Crane DA, Takahashi MM, Barber J, et al. A tele-health intervention to increase physical fitness in people with spinal cord injury and cardiometabolic disease or risk factors: a pilot randomized controlled trial. *Spinal Cord*. 2020;1-11.
199. Hill ML, Cronkite RC, Ota DT, Yao EC, Kiratli BJ. Validation of home telehealth for pressure ulcer assessment: a study in patients with spinal cord injury. *J Telemed Telecare*. 2009;15(4):196-202.
200. Houlihan BV, Jette A, Friedman RH, Paasche-Orlow M, Ni P, Wierbicky J, et al. A pilot study of a telehealth intervention for persons with spinal cord dysfunction. *Spinal Cord*. settembre 2013;51(9):715-20.
-

*Bibliografía*

---

201. Van Straaten MG, Cloud BA, Zhao KD, Fortune E, Morrow MMB. Maintaining Shoulder Health After Spinal Cord Injury: A Guide to Understanding Treatments for Shoulder Pain. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2017;98(5):1061-3.
202. Wilroy JD, Martin Ginis KA, Rimmer JH, Wen H, Howell J, Lai B. An E-Learning Program for Increasing Physical Activity Associated Behaviors Among People with Spinal Cord Injury: Usability Study. *JMIR Form Res*. 2019;3(3):e14788.
203. Medina Riaño CA, Cumbal Figueroa D, Nieto Ortiz LY, Cano de la Cuerda R, Pinzón Bernal MY. Aplicaciones móviles para lesión medular. Una revisión sistemática. *Fisioterapia*. 2020;42(6):319-26.
204. Dicianno BE, Fairman AD, McCue M, Parmanto B, Yih E, McCoy A, et al. Feasibility of Using Mobile Health to Promote Self-Management in Spina Bifida. *Am J Phys Med Rehabil*. 2016;95(6):425-37.
205. Fiordelli M, Diviani N, Schulz PJ. Mapping mHealth research: a decade of evolution. *J Med Internet Res*. 2013;15(5):e95.
206. Dicianno BE, Parmanto B, Fairman AD, Crytzer TM, Yu DX, Pramana G, et al. Perspectives on the evolution of mobile (mHealth) technologies and application to rehabilitation. *Phys Ther*. març 2015;95(3):397-405.

207. Nussbaum R, Kelly C, Quinby E, Mac A, Parmanto B, Dicianno BE. Systematic Review of Mobile Health Applications in Rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2019;100(1):115-27.
208. Kryger MA, Crytzer TM, Fairman A, Quinby EJ, Karavolis M, Pramana G, et al. The Effect of the Interactive Mobile Health and Rehabilitation System on Health and Psychosocial Outcomes in Spinal Cord Injury: Randomized Controlled Trial. *J Med Internet Res.* 2019;21(8):e14305.
209. MacGillivray MK, Sadeghi M, Mills PB, Adams J, Sawatzky BJ, Mortenson WB. Implementing a self-management mobile app for spinal cord injury during inpatient rehabilitation and following community discharge: A feasibility study. *J Spinal Cord Med.* 2020;43(5):676-84.
210. Canori A, Amiri AM, Thapa-Chhetry B, Finley MA, Schmidt-Read M, Lamboy MR, et al. Relationship between pain, fatigue, and physical activity levels during a technology-based physical activity intervention. *J Spinal Cord Med.* 2020;1-8.
211. Nahum-Shani I, Hekler EB, Spruijt-Metz D. Building health behavior models to guide the development of just-in-time adaptive interventions: A pragmatic framework. *Health Psychol.* 2015;34S:1209-19.
212. Nahum-Shani I, Smith SN, Spring BJ, Collins LM, Witkiewitz K, Tewari A, et al. Just-in-Time Adaptive Interventions (JITAI) in Mobile

## *Bibliografia*

---

Health: Key Components and Design Principles for Ongoing Health Behavior Support. *Ann Behav Med.* 18 2018;52(6):446-62.

213. Fekete C, Rauch A. Correlates and determinants of physical activity in persons with spinal cord injury: A review using the International Classification of Functioning, Disability and Health as reference framework. *Disabil Health J.* 2012;5(3):140-50.

214. Hall G, Laddu DR, Phillips SA, Lavie CJ, Arena R. A tale of two pandemics: How will COVID-19 and global trends in physical inactivity and sedentary behavior affect one another? *Prog Cardiovasc Dis.* 2020;Disponibile:<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7194897/>

215. Marco-Ahulló A, Montesinos Magraner L, González LM, Morales J, Bernabéu-García JA, García-Massó X. Impact of COVID-19 on the self-reported physical activity of people with complete thoracic spinal cord injury full-time manual wheelchair users. *Journal of Spinal Cord Medicine.* 2021;1-5.

216. Bangor A, Kortum PT, Miller JT. An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction.* 2008;24(6):574-94.

---

# ANEXOS



7

**7.1 Anexo 1: Informes del comité ético**

**7.2 Anexo 2: Tablas de estadísticos descriptivos de las variables del estudio 2**

---



---

## 7. ANEXOS

### 7.1 Anexo 1: Informes del comité ético

VNIVERSITAT  
DE VALÈNCIA  
Vicerectorat d'Investigació i Política Científica

**D. Fernando A. Verdú Pascual**, Profesor Titular de Medicina Legal y Forense, y Secretario del Comité Ético de Investigación en Humanos de la Comisión de Ética en Investigación Experimental de la Universitat de València,

CERTIFICA:

Que el Comité Ético de Investigación en Humanos, en la reunión celebrada el día 20 de septiembre de 2011, una vez estudiado el proyecto de investigación titulado:

*“Metodología para la estimación del gasto energético en lesionados medulares mediante el empleo de acelerómetros”*, cuyo investigador principal es D. Luis-Millán González Moreno, ha acordado informar favorablemente el mismo dado que se respetan los principios fundamentales establecidos en la Declaración de Helsinki, en el Convenio del Consejo de Europa relativo a los derechos humanos y cumple los requisitos establecidos en la legislación española en el ámbito de la investigación biomédica, la protección de datos de carácter personal y la bioética.

Y para que conste, se firma el presente certificado en Valencia, a veintidós de septiembre de dos mil once.

Carrer: Blasco Ibáñez, 13  
VALENCIA 46071

Telèfon: (96) 386 41 09  
Fax: (96) 398 32 21  
e-mail: viceret.investigacio@uv.es



Pg. Vall d'Hebron, 119-129  
08035 Barcelona  
Tel. 93 489 38 91  
Fax 93 489 41 80  
ceic@vhir.org

ID-RTF080

**INFORME DEL COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN CON MEDICAMENTO Y  
COMISIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DEL HOSPITAL UNIVERSITARI  
VALL D'HEBRON**

Sra. Mireia Navarro Sebastián, Secretaria del COMITÉ DE ÉTICA DE  
INVESTIGACIÓN CON MEDICAMENTOS del Hospital Universitari Vall d'Hebron,

**CERTIFICA**

Que el Comité de Ética de Investigación con Medicamentos del Hospital Universitario Vall d'Hebron, en el cual la Comisión de proyectos de investigación está integrada, se reunió en sesión ordinaria nº 284 el pasado 3 de marzo de 2017 y evaluó el proyecto de investigación PR(ATR)85/2017 presentado con fecha 01/02/2017, titulado "*SISTEMA DE AYUDA Y ASISTENCIA PARA LA PROMOCIÓN DE LA ACTIVIDAD FÍSICA EN PERSONAS CON LESIÓN MEDULAR.*" que tiene como investigador principal a la Dra. Lluïsa Montesinos Magraner del Servicio de Rehabilitación de nuestro Centro.

Y que tras emitir un informe aprobado condicionado en dicha reunión y evaluar la documentación recibida posteriormente en respuesta a este informe

Versión de documentos:

- Memoria Versión 3. 20 de diciembre del 2018.
- Informació al pacient grup control revisor Versión: 3 Fecha: 08/03/2019
- Informació al pacient grup experimental Versión: 3 Fecha: 08/03/2019
- Consentiment informat Versión 3. 20 de diciembre del 2018
- Solicitud informe Versión 3. 20 de diciembre del 2018.

El resultado de la evaluación fue el siguiente:

**DICTAMEN FAVORABLE**



Hospital Universitari Vall d'Hebron  
Universitat Autònoma de Barcelona



El Comité tanto en su composición como en los PNT cumple con las normas de BPC (CPMP/ICH/135/95) y con el Real Decreto 1090/2015, y su composición actual es la siguiente:

Presidenta: Gallego Melcón, Soledad. Médico  
Vicepresidente: Segarra Sarries, Joan. Abogado  
Secretaria: Navarro Sebastián, Mireia. Química  
Vocales: Armadans Gil, Lluís. Médico  
Azpiroz Vidaur, Fernando. Médico  
Balasso, Valentina. Médico  
Cucurull Folguera, Esther. Médico Farmacóloga  
De Torres Ramírez, Inés M. Médico  
Fernández Liz, Eladio. Farmacéutico de Atención Primaria  
Fuentes Camps, Inmaculada. Médico Farmacóloga  
Gálvez Hernando, Gloria María. Diplomada Enfermería, Unidad de Atención al Paciente  
Guardia Massó, Jaume. Médico  
Joshi Jubert, Nayana. Médico  
Hortal Ibarra, Juan Carlos. Profesor de Universidad de Derecho  
Iavecchia, María Luján. Médico Farmacólogo  
Roca Gas, Oriol. Médico  
Rodríguez Gallego, Alexis. Médico Farmacólogo  
Sánchez Raya, Judith. Médico  
Solé Orsola, Marta. Diplomada Enfermería  
Suñé Martín, Pilar. Farmacéutica Hospital  
Vargas Blasco, Víctor. Médico  
Zuríguel Pérez, Esperanza. Diplomada Enfermería

En dicha reunión del Comité de Ética de Investigación con Medicamentos se cumplió el quórum preceptivo legalmente.

En el caso de que se evalúe algún proyecto del que un miembro sea investigador/colaborador, éste se ausentará de la reunión durante la discusión del proyecto.

Lo que firmo en Barcelona a 28 de Enero de 2019

Firmado digitalmente por MIREIA NAVARRO SEBASTIAN  
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, ou=Vegeu <https://www.aoc.cat/>  
CATCert/Regulacio, sn=NAVARRO SEBASTIAN, givenName=MIREIA,  
serialNumber=38121226Z, cn=MIREIA NAVARRO SEBASTIAN  
Fecha: 2019.03.11 15:39:52 +01'00'

Sra. Mireia Navarro  
Secretaria del CEIm

## 7.2 Anexo 2: Tablas de estadísticos descriptivos de las variables del estudio 2

### *Variables extraídas de las pruebas de esfuerzo*

	VO <sub>2</sub> VT1	VO <sub>2</sub> VT2	VO <sub>2</sub> max	Potencia	Pulso	RER
	Oxígeno					
<b>Pre-test 1</b>	10,59 (3,53)	16,5 (2,47)	20,1 (2,85)	94,62 (19,48)	10,92 (3,48)	1,19 (0,092)
<b>Pre-test 2</b>	10,22 (2,29)	14,96 (1,64)	19,91 (4,35)	94,25 (22,45)	9,62 (1,5)	1,12 (0,099)
<b>Post-test</b>	9,07 (2,72)	15,64 (4,41)	18,66 (4,91)	85 (18,4)	8,29 (2,77)	1,18 (0,11)

\*Los datos están expresados mediante la media (desviación típica).

### *Variables respiratorias*

	PIM	PEM	FVC	FEV <sub>1</sub>	PEF
<b>Pre-test 1</b>	88,25 (24,18)	78,87 (26,16)	3,85 (0,75)	3,15 (0,75)	6,08 (2,13)
<b>Pre-test 2</b>	91 (44,18)	82,62 (39,26)	3,91 (0,91)	3,29 (0,67)	6,8 (1,31)
<b>Post-test</b>	100,25 (17,67)	80,5 (25,11)	3,87 (0,88)	3,25 (0,77)	7,2 (1,72)

\*Los datos están expresados mediante la media (desviación típica).

**VARIABLES EXTRAÍDAS DEL CUESTIONARIO PASIPD**

	PASIPD Total	PASIPD AF Recreativa	PASIPD AF Doméstica	PASIPD AF Ocupacional
<b>Pre-test 1</b>	21,81 (20,4)	16,56 (15,16)	1,39 (5,745)	0 (0)
<b>Pre-test 2</b>	20 (14,37)	17,13 (9,34)	1,17 (3,03)	0 (0)
<b>Post-test</b>	22,4 (29,69)	17,29 (17,65)	2,01 (5,53)	0 (2,81)

\*Los datos están expresados mediante la mediana (rango intercuartílico).

**VARIABLES EXTRAÍDAS DEL CUESTIONARIO RS-25, SCIM III y HADS**

	Resiliencia	Independencia	HADS Total*	HADS Ansiedad	HADS Depresión*
<b>Pre-test 1</b>	151,43 (12,81)	68,88 (6,85)	6 (4)	4 (2,83)	2 (2,5)
<b>Pre-test 2</b>	150,42 (12,49)	68,57 (6,83)	6,5 (4,25)	3,93 (2,81)	2 (3,25)
<b>Post-test</b>	145,29 (15,34)	68,43 (7,7)	5,5 (6,25)	3,79 (2,91)	2 (3,25)

\*Todos los datos están expresados mediante la media (desviación típica), menos aquellas variables marcadas con un asterisco, que se expresan mediante la mediana (rango intercuartílico).

**Variables extraídas del cuestionario AQoL-8D**

	AQoL Total	Afrontamiento	Autoestima	Dolor	Felicidad
<b>Pre-test 1</b>	80,15 (12,57)	83,33 (16,66)	75 (16,66)	70 (12,5)	81,25 (14,06)
<b>Pre-test 2</b>	81,2 (8,15)	83,33 (16,66)	75 (16,66)	80 (20)	78,12 (12,5)
<b>Post-test</b>	80,85 (13,33)	83,33 (16,66)	75 (18,74)	75 (25)	81,25 (12,5)

\*Los datos están expresados mediante la media (desviación típica).

	Relaciones personales*	Salud mental	Sentidos	Vida independiente*
<b>Pre-test 1</b>	82,8 (7,63)	80,3 (12,88)	96,15 (9,62)	80,16 (11,67)
<b>Pre-test 2</b>	84,13 (7,47)	78,78 (12,87)	92,31 (15,39)	77,78 (13,25)
<b>Post-test</b>	84,13 (9,57)	78,78 (15,9)	96,15 (7,69)	76,19 (15,77)

\*Todos los datos están expresados mediante la mediana (rango intercuartílico), menos aquellas variables marcadas con un asterisco, que se expresan mediante la media (desviación típica).