



universidad
de león

TESIS DOCTORAL

**EFECTOS INMEDIATOS DE LA
ELECTROESTIMULACIÓN DINÁMICA EN LA
MUSCULATURA ABDOMINAL: ENSAYO
CONTROLADO ALEATORIZADO**

LORENA ÁLVAREZ DEL BARRIO

“SALUD Y MOTRICIDAD HUMANA”

Tutora: María José Álvarez Álvarez

Directores: Ana Felicitas López Rodríguez

César Calvo Lobo

Ponferrada, 2023

El presente trabajo ha sido codirigido por la Dra. Ana Felicitas López Rodríguez, perteneciente al Departamento de Enfermería y Fisioterapia de la Universidad de León y por el Dr. César Calvo Lobo, profesor de la Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología de la Universidad Complutense de Madrid.

El estudio se ha llevado a cabo en el período correspondiente desde octubre de 2020 hasta octubre de 2022. Los principales objetivos de este trabajo han sido determinar los efectos inmediatos de una única sesión de electroestimulación dinámica local o global sobre la musculatura abdominal en personas sanas y sobre determinados parámetros fisiológicos. Así como, conocer las posibles diferencias en función de su forma de aplicación, local o global.

Para conseguir dichos objetivos se realizó la correspondiente revisión bibliográfica previa a la ejecución del estudio experimental. Como consecuencia de esta primera revisión se ha presentado la ponencia titulada “Electroestimulación global, sarcopenia y obesidad en personas mayores, presentada en el simposio intervención e investigación en salud”, dentro del VIII Congreso Internacional en Contextos Clínicos y de la Salud, celebrado en Murcia los días 7 y 8 de septiembre de 2022 y el capítulo de libro “Eficacia de los chalecos de electroestimulación en el tratamiento de la sarcopenia y obesidad sarcopénica”, publicado en Actualización en Salud para la mejora de la calidad de vida: un camino hacia la excelencia en el cuidado, editado por ASUNIVEP. Capítulo número 9 (pp.63-69). ISBN: 978-84-09-43731-3, con fecha de edición el 23 de septiembre de 2022 (450 páginas).

Las partes del estudio experimental que incluyen su diseño inicial, el reclutamiento de sujetos, la realización de las intervenciones, la valoración ecográfica y la recogida de datos, se desarrollaron en la Facultad de Ciencias de la Salud del Campus de Ponferrada, de la Universidad de León. Para llevar a cabo este estudio se dispuso del material aportado por el Área de Fisioterapia, perteneciente al Departamento de Enfermería y Fisioterapia, así como de instituciones de ámbito privado (Centro Pilates Homara, León). El trabajo de análisis e interpretación de los datos se desarrolló en la Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología de la Universidad Complutense de Madrid.

Como fruto de este proceso, se ha presentado la comunicación oral titulada “Valoración ecográfica del efecto de la electroestimulación dinámica sobre la musculatura abdominal: estudio cuasiexperimental”, presentada en el XVIII Congreso Internacional de la Sociedad Española de Medicina del Deporte, celebrado en Murcia, del 25 al 27 noviembre 2021. Comunicación científica publicada en Archivos de medicina del deporte 206, volumen 38(6). Noviembre- diciembre 2021. ISSN: 0212-8799.

Finalmente, como resultado principal de la presente investigación se ha publicado el artículo científico **Álvarez-Barrio L, Rodríguez-Pérez V, Calvo-Lobo C, Leirós-Rodríguez R, Alba-Pérez E, López-Rodríguez AF. Immediate Effects of Whole-Body versus Local Dynamic Electrostimulation of the Abdominal Muscles in Healthy People Assessed by Ultrasound: A Randomized Controlled Trial. Biology. 2023;12(3):454 <https://www.mdpi.com/2079-7737/12/3/454>**, en una revista científica indexada en el *Journal Citation Report* con factor de impacto de 5.168 y posición 21/94 Q₁ en la categoría Biology.

La difusión científica de estos hallazgos ha sido financiada por el Ilustre Colegio Profesional de Fisioterapeutas de Castilla y León a través de la subvención del proyecto “Efectos inmediatos de la electroestimulación sobre la musculatura abdominal” (INV2023-37), concedida en la IX Convocatoria de Becas de Investigación CPFCYL, el 19 de noviembre de 2022.

*“A mi abuelo,
mi motor académico”*

AGRADECIMIENTOS

Deseo manifestar mi más sincero y profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa en la realización de esta tesis doctoral.

En primer lugar, quiero expresar un agradecimiento especial a mis directores de tesis, Ana y César. Su compromiso y dedicación han sido de vital importancia para el logro de este trabajo. A lo largo de todo el proceso, su amplia experiencia, paciencia incansable y constante aliento han sido pilares fundamentales en cada paso del camino.

A mis compañeras y compañeros de trabajo, les agradezco sinceramente sus valiosos consejos, su ayuda desinteresada y su apoyo emocional. Gracias por vuestra presencia y disposición en mis momentos de crisis existencial que han sido un verdadero bálsamo durante esta travesía académica.

Agradecimiento al Área de Fisioterapia y al Departamento de Enfermería y Fisioterapia de la Universidad de León, por permitirme disponer de las instalaciones y del material necesarios para llevar a cabo este trabajo de investigación. Su colaboración ha sido fundamental para el desarrollo exitoso de este trabajo.

A Merche y Ana, quiero expresar mi profundo agradecimiento por su generosidad por el préstamo del material esencial de esta investigación y a Verónica por sus explicaciones. Gracias a su apoyo desinteresado y confianza, este proyecto cobró vida.

Gracias a mis amistades, por su compañía y aliento. Vuestra amistad ha sido un respaldo invaluable durante todo este tiempo.

Y, por último, mi agradecimiento más profundo va dirigido a mi familia.

A mis padres que, gracias a su educación, sacrificio y constante apoyo, han hecho posible este momento. Vuestra confianza en mí y vuestro amor incondicional han sido mi mayor motivación.

A mi hermano, mi segundo padre, gracias por estar siempre a mi lado y por ser mi apoyo constante en cada paso del camino. Saber que estás ahí, me otorga fortaleza y eres mi ejemplo a seguir. Mi eterna gratitud a ti y a Carolina, por darme el impulso necesario para dar el salto al vacío y perseguir mi sueño. Gracias por creer en mí.

Agradecer a Marco por estar simplemente a mi lado, por su apoyo incondicional y confianza.

Finalmente, dar las gracias a mi ser más especial, a mi hijo Samuel, por ser mi inspiración cada día. Tu presencia en mi vida me impulsa a esforzarme cada día para ser una mejor versión y ejemplo para ti.

LISTA DE ABREVIATURAS

AEF: Asociación Española de Fisioterapia.
ANOVA: análisis de varianza.
CCI: coeficiente de correlación interclase.
CI: contraindicaciones.
CPK: fosfocreatina quinasa.
CV: contracción voluntaria.
CVM: contracción voluntaria máxima.
DE: desviación estándar.
DER: distancia entre rectos del abdomen.
DOMS: aparición de dolor muscular retardado.
EENM: estimulación eléctrica neuromuscular.
EIAS: espina iliaca anterosuperior.
EMS: electroestimulación muscular.
FC: frecuencia cardíaca.
FTL: fascia toracolumbar.
IMC: índice de masa corporal.
IPAQ: cuestionario internacional de actividad física.
IRA: insuficiencia renal aguda.
OE: músculo oblicuo externo del abdomen.
OI: músculo oblicuo interno del abdomen.
PA: presión arterial.
PAD: presión arterial diastólica.
PAS: presión arterial sistólica.
RA: músculo recto anterior del abdomen.
RI: rango intercuartílico.
RM: rabdomiólisis.
RME: rabdomiólisis de esfuerzo.
RPE: índice o rango de esfuerzo percibido.
RUSI: *Rehabilitative Ultrasound Imaging*.
SNA: Sistema nervioso autónomo.

SNC: sistema nervioso central.

SNP: sistema nervioso parasimpático.

SNS: sistema nervioso simpático.

TC: técnica combinada.

TEPE: prueba de elevación de la pierna extendida.

TrA: músculo transverso del abdomen.

UM: unidades motoras.

VFC: variabilidad de la frecuencia cardíaca.

WB-EMS: trajes o chalecos de electroestimulación de cuerpo entero.

WCPT: *World Confederation for Physical Therapy* (Confederación mundial de Fisioterapia).

RESUMEN	1
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	
1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	
1.1.1 CONCEPTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA FISIOTERAPIA	15
1.1.2 CONCEPTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ELECTROTERAPIA	20
1.1.2.1 Evolución histórica de la electroterapia	20
a) Origen de la electroterapia	20
b) Siglo XVIII	21
c) Siglos XIX y XX	22
1.1.2.2 Evolución de la electroterapia aplicada al campo de la potenciación muscular	23
d) Evolución de la comprensión del fenómeno de la contracción muscular	23
e) Evolución de la electroterapia aplicada a la potenciación muscular	25
f) Antecedentes históricos de los chalecos de electroestimulación	32
1.1.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ECOGRAFÍA	35
1.2. RECUERDO ANATOMOFISIOLÓGICO	
1.2.1. LA MUSCULATURA ESQUELÉTICA	39
1.2.1.1. Las fibras musculares	39
a) Características de las fibras musculares	40
b) Inervación de las fibras musculares	42
1.2.1.2. La musculatura de la pared abdominal	45
1.2.2. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS AL EJERCICIO	52
1.3. ELECTROESTIMULACIÓN NEUROMUSCULAR (EENM)	
1.3.1. CONCEPTO DE ELECTROESTIMULACIÓN	59
1.3.2. CLASIFICACIÓN CORRIENTES EXCITOMOTORAS	60
1.3.3. PARÁMETROS PRINCIPALES DE EENM	61
1.3.4. EENM Y MOVIMIENTO VOLUNTARIO	64
1.3.4.1. Diferencias entre el movimiento voluntario y EENM	64
1.3.5. INDICACIONES DE EENM	66

1.3.6. PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN DE EENM	69
1.3.6.1.EENM local	69
1.3.6.2.EENM global	69
a) Normativa sobre el uso de WB-EMS.....	72
b) Recomendaciones para un uso eficaz y seguro de WB-EMS.....	75
1.3.6.3.EENM aislada, combinada o superpuesta al movimiento voluntario	76
c) Uso combinado de EENM y ejercicio voluntario	77
d) Protocolo de entrenamiento con WB-EMS.....	78
1.3.7.RIESGOS PARA LA SALUD POR USO INADECUADO DE EENM	79
1.3.7.1.Rabdomiólisis por esfuerzo (RME).....	81
e) Rabdomiólisis por EMS	83
f) Rabdomiólisis por WB-EMS	84
1.3.8. CONTRAINDICACIONES DE EENM.....	87
1.3.8.1.Contraindicaciones de EENM	87
1.3.8.2.Contraindicaciones de WB-EMS.....	88

1.4. ECOGRAFÍA

1.4.1. CONCEPTO DE ECOGRAFÍA MUSCULOESQUELÉTICA	91
1.4.2. VENTAJAS DE LOS ULTRASONIDOS	92
1.4.3. INCONVENIENTES DE LOS ULTRASONIDOS.....	93
1.4.4. FUNDAMENTOS DE LA ECOGRAFÍA MUSCULOESQUELÉTICA	94
1.4.5. APLICACIONES CLÍNICAS DE LOS ULTRASONIDOS	99
1.4.5.1.Técnica <i>Rehabilitative Ultrasound Imaging</i>	100

CAPÍTULO II. ESTUDIO EXPERIMENTAL

2.1. JUSTIFICACIÓN.....	103
2.2. HIPÓTESIS.....	106
2.3. OBJETIVOS	107

CAPÍTULO III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO DEL ENSAYO EXPERIMENTAL	109
3.2. CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	110
3.3. MUESTRA.....	111
3.3.1. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	111

3.3.2. TAMAÑO MUESTRAL	111
3.3.3. MÉTODO DE RECLUTAMIENTO DE LA MUESTRA.....	111
3.3.4. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y DE EXCLUSIÓN DEL ESTUDIO.....	112
3.3.5. PROCESO DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA.....	113
3.4. VARIABLES DE ESTUDIO.....	113
3.4.1. VARIABLES INDEPENDIENTES	113
3.4.2. VARIABLES DEPENDIENTES	114
3.4.3. VARIABLES INTERVINIENTES.....	116
3.5. INSTRUMENTOS.....	117
3.5.1. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA INTERVENCIÓN.....	117
3.5.2. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	118
3.6. MÉTODOS DE MEDIDA DE LAS VARIABLES	120
3.7. PROCEDIMIENTO GENERAL	121
3.7.1. PARTICIPANTES.....	121
3.7.2. LUGAR	123
3.7.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN COVID-19.....	124
3.7.4. PROTOCOLOS	124
3.7.4.3. Protocolo de la evaluación ecográfica	124
3.7.4.2. Protocolo de captura y medición de las imágenes ecográficas	127
a) Captura de imágenes ecográficas.....	127
b) Mediciones de las imágenes ecográficas	129
3.7.4.3. Procedimiento de la Intervención	131
a) Protocolo de WB-EMS/EMS.....	133
b) Protocolo de los ejercicios físicos:	137
c) Protocolo de la intervención	138
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	141
 CAPÍTULO IV. RESULTADOS	
4.1. DIAGRAMA DE FLUJO	143
4.2. MEDIDAS BASALES	144
4.3. DIFERENCIAS EN LAS MEDICIONES DE RESULTADOS TRAS LAS INTERVENCIONES	148
4.4. ANOVA DE DOS VÍAS DE MEDIDAS REPETIDAS PARA COMPARACIONES INTRAGRUPO E INTERGRUPO.....	150
4.5. MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIANTE.....	153

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

5.1. EFECTOS INMEDIATOS DE LA EMS DINÁMICA SOBRE EL ESPESOR DE LA MUSCULATURA ABDOMINAL	155
5.2. EFECTOS EN LOS PARÁMETROS FISIOLÓGICOS: FRECUENCIA CARDIACA, TENSIÓN ARTERIAL Y TEMPERATURA CORPORAL	166

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES.....	136
---------------------------------------	------------

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
---	------------

ANEXOS

ANEXO I. Clasificación de las posibles causas de la rabdomiólisis	199
ANEXO II. Informe del comité de ética del estudio experimental.....	201
ANEXO III. Informe del registro del estudio experimental en ClinicalTrials.gov.....	203
ANEXO IV. Hoja de información y consentimiento informado del participante.....	207
ANEXO V. Versión española del cuestionario Nijmegen	211
ANEXO VI. Cuestionario Internacional de Actividad física. Versión corta, en español.....	213
ANEXO VII. Hoja de registro de los datos del participantes y anamnesis.....	215
ANEXO VIII. Hoja de reclutamiento de los datos de la evaluación ecográfica.....	217
ANEXO IX. Secuencia de los ejercicios dinámicos de la parte principal de la sesión de EMS dinámica	221
ANEXO X. Producción científica.....	223

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Clasificación de las fibras musculares en función de sus principales características.....	41
TABLA 2. Porcentaje de tipo de fibras en función del hábito de esfuerzo	42
TABLA 3. Resumen de las características principales de las UM del sistema musculoesquelético.....	43
TABLA 4. Esquema de los tejidos neuromusculares eléctricamente excitables	60
TABLA 5. Reclutamiento de las UM durante la contracción voluntaria y con EENM.	65
TABLA 6. Guía para la aplicación de WB-EMS segura y efectiva.....	73
TABLA 7. Clasificación de la gravedad de la RM por el nivel de los valores de la CPK en la sangre	82
TABLA 8. Contraindicaciones relativas y absolutas para WB-EMS	89
TABLA 9. Tipos de sondas en función de la exploración y su rango de frecuencias ...	95
TABLA 10. Parámetros eléctricos utilizados en la sesión de EMS dinámica	133
TABLA 11. Grupos musculares estimulados con WB-EMS inalámbrico.....	136
TABLA 12. Secuencia de los ejercicios físicos realizados en la parte principal de la sesión de EMS dinámica.	138
TABLA 13. Protocolo de la sesión de EMS dinámica.....	140
TABLA 14. Comparaciones de datos descriptivos entre los grupos de EMS, WB-EMS y control.....	146
TABLA 15. Comparaciones de las mediciones de los resultados previos a la intervención entre los grupos EMS, WB-EMS y control.....	147
TABLA 16. Comparaciones de las diferencias en la medición de los resultados entre los grupos EMS, WB-EMS y control después de las intervenciones.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Lista de beneficios de WB-EMS	33
FIGURA 2. Reclutamiento de los diferentes tipos de fibras musculares según la intensidad de la fuerza de contracción muscular	44
FIGURA 3. Respuestas autonómicas durante el ejercicio.....	56
FIGURA 4. Ecogenicidad: escala de grises.....	96
FIGURA 5. Imagen ecográfica de la musculatura de la pared abdominal anterolateral	114
FIGURA 6. Imagen ecográfica del recto abdominal (RA) derecho	115
FIGURA 7. Imagen ecográfica de la distancia entre rectos (DER).....	115
FIGURA 8. Dispositivos de Electroterapia empleados en este estudio.....	118
FIGURA 9. Ecógrafo utilizado en la evaluación ecográfica de este estudio.....	118
FIGURA 10. Puntos de referencia para la captura de las imágenes abdominales RUSI	126
FIGURA 11. Evaluación ecográfica del RA derecho durante la contracción muscular	128
FIGURA 12. Imágenes ecográficas del recto abdominal (RA).....	130
FIGURA 13. Imágenes ecográficas de a musculatura abdominal lateral.....	130
FIGURA 14. Imágenes ultrasónicas de la distancia entre rectos abdominales (DER).....	131
FIGURA 15. Escala de Borg modificada CR-10	134
FIGURA 16. Secuencia de los ejercicios físicos realizados en la parte del calentamiento de la sesión de EMS dinámica	137
FIGURA 17. Diagrama del procedimiento de la intervención llevada a cabo en este estudio.....	139
FIGURA 18. CONSORT 2010 Diagrama de flujo que incluye todas las fases del ensayo clínico aleatorizado del estudio piloto.....	143
FIGURA 19. CONSORT 2010 Diagrama de flujo que incluye todas las fases del ensayo clínico aleatorizado.....	144
FIGURA 20. Gráficos de barras que muestran las diferencias de las medias de FC tras las intervenciones completadas con la DE entre los grupos EMS, WB-EMS y control	148

FIGURA 21. Gráficos lineales que muestran las FC medias, antes y después de las intervenciones, así como las comparaciones intra e intergrupo entre los grupos EMS, WB-EMS y control..... 150

FIGURA 22. Gráficos lineales que muestran la temperatura media, antes y después de las intervenciones, así como las comparaciones intragrupos entre los grupos EMS, WB-EMS y control..... 151

FIGURA 23. Gráficos lineales que muestran el cambio medio de la DER, antes y después de las intervenciones, así como comparaciones intragrupos entre los grupos EMS, WB-EMS y control..... 152

RESUMEN

RESUMEN

La Electroterapia es un procedimiento de Fisioterapia que emplea corrientes eléctricas con el objetivo de obtener determinados efectos fisiológicos beneficiosos en el organismo, como pueden ser la analgesia para provocar una sensación de alivio en el paciente o la electroestimulación muscular con la finalidad de mejorar la fuerza, la resistencia y la funcionalidad muscular.

Existen diferentes formas de aplicación de la electroestimulación muscular: local, con la colocación de los electrodos en una determinada zona corporal o global, con la estimulación simultánea de varios grupos musculares. Estas formas de aplicación, a su vez, pueden usarse de forma aislada o combinada con el ejercicio físico.

La combinación simultánea de ejercicio físico con corrientes eléctricas excitomotoras, es conocida como electroestimulación dinámica y puede tener efectos beneficiosos sobre la musculatura en términos de ganancia de masa y fuerza muscular. Según la evidencia consultada, se obtienen mejores resultados cuando se combinan ambas que por separado, obteniéndose mejoras similares al entrenamiento convencional, siendo necesarias intensidades menores de entrenamiento. Por tanto, este método podría considerarse una alternativa para aquellas personas que presentan dificultades para realizar un entrenamiento de alta intensidad.

La musculatura de la pared abdominal desempeña un papel crucial en la estabilización de la pelvis y de la columna vertebral, por lo cual es esencial su correcto funcionamiento. Incluye a los músculos transversos del abdomen, a los rectos anteriores y a los oblicuos mayores y menores, que trabajan de manera sinérgica para mantener la integridad estructural y funcional de la región abdominal.

A pesar de su importancia, aún existen lagunas en el conocimiento sobre su anatomía, sobre sus mecanismos de activación y su funcionamiento preciso. La continua investigación en este campo es fundamental para mejorar su comprensión y el

desarrollo de estrategias terapéuticas más eficaces, especialmente en el tratamiento de afecciones y disfunciones que afectan la estabilidad y la función abdominal, lo que puede tener un impacto significativo en la salud y el bienestar de las personas. Asimismo, es escasa la literatura científica que aporte conocimiento sobre los efectos inmediatos de la electroestimulación dinámica y en concreto, sobre la musculatura abdominal y las posibles diferencias entre aplicación local o global.

Los objetivos de la presente investigación fueron determinar los efectos inmediatos de una única sesión de electroestimulación dinámica sobre el espesor de la musculatura de la pared abdominal que incluye los músculos rectos anteriores, transverso del abdomen, oblicuos mayor y menor, así como la distancia entre rectos abdominales. Además de conocer su influencia sobre los parámetros fisiológicos correspondientes a la frecuencia cardíaca, la tensión arterial (diastólica y sistólica) y la temperatura corporal. Asimismo, conocer las posibles diferencias en función de la forma de aplicación, local a través de electrodos de superficie colocados en la zona abdominal o global mediante los trajes o chalecos de electroestimulación de cuerpo entero.

La muestra del estudio constó de 120 participantes jóvenes y sanos, de edades comprendidas entre los 18 y los 35 años, divididos aleatoriamente en tres grupos de estudio: WB-EMS (electroestimulación global), EMS (electroestimulación local) y control. La intervención consistió en una única sesión de 20 minutos de duración de ejercicios dinámicos dirigidos a estimular la contracción de la musculatura abdominal combinados con la electroestimulación global, local o en el caso del grupo control, con el chaleco de electroestimulación de cuerpo completo apagado. Se utilizó una corriente eléctrica simétrica rectangular bipolar con parámetros eléctricos específicos: 85 Hz de frecuencia de estimulación, 350 μ s de anchura de pulso y ciclo de trabajo de 50 % (4 s de estimulación, 4 s de reposo). La intensidad de la parte principal de la sesión fue entre algo fuerte y fuerte en función de la percepción subjetiva del esfuerzo de cada participante.

Para evaluar los efectos de la intervención, se empleó la ecografía mediante la técnica *Rehabilitative Ultrasound Imaging*, procedimiento válido para evaluar los

cambios en la morfología y en la función de los músculos, realizando las mediciones del espesor de la musculatura abdominal y de la distancia entre rectos en reposo y durante la contracción muscular a través de la prueba de elevación de la pierna extendida. Además, se registraron parámetros fisiológicos como la frecuencia cardíaca, la tensión arterial y la temperatura corporal.

No se hallaron diferencias estadísticamente significativas en las variables analizadas entre los grupos de estudio, excepto para la frecuencia cardíaca. El grupo EMS mostró un menor aumento de la frecuencia cardíaca tras la intervención en comparación con los grupos WB-EMS y control. Este hallazgo sugiere que la electroestimulación muscular de la musculatura abdominal podría ser de interés en la aplicación clínica en poblaciones con trastornos cardiorrespiratorios. No obstante, se requiere más investigaciones para profundizar en este tema y conocer los efectos producidos por su aplicación de la electroestimulación dinámica en un mayor número de sesiones.

ABSTRACT

Electrotherapy is a physiotherapeutic procedure that utilizes electrical currents to elicit specific beneficial physiological effects within the body. One such effect is analgesia, which aims to induce a sense of relief in the patient. Additionally, muscle electrostimulation is employed to enhance strength, endurance, and overall muscle functionality.

Muscular electrostimulation can be applied through different methods: localized, where the electrodes are placed in specific areas of the body, or global, which involves simultaneous stimulation of multiple muscle groups. These application techniques can be used individually or in conjunction with physical exercise.

The simultaneous combination of physical exercise with excitomotor electrical currents referred to as dynamic electrostimulation, can yield advantageous outcomes for muscle tissue, including increased muscle mass and strength. Based on available evidence, superior results are achieved when both modalities are combined as opposed to when they are used separately. Furthermore, these combined approaches produce similar improvements to conventional training, albeit with lower training intensities required. Consequently, this method may be considered an alternative for individuals facing challenges in performing high-intensity training.

The abdominal wall musculature plays a crucial role in stabilizing the pelvis and spine, making proper function essential. It includes the transverse abdominis, anterior rectus abdominis, and the greater and lesser obliques, which work synergistically to maintain the structural and functional integrity of the abdominal region.

Despite their importance, there are still gaps in knowledge about their anatomy, their activation mechanisms, and precise functioning. Continued research in this field is essential to improve its understanding and the development of more effective therapeutic strategies, especially in the treatment of conditions and dysfunctions that

affect abdominal stability and function. These advancements can have a significant impact on people's health and well-being. Likewise, there is little scientific literature on the immediate effects of dynamic electrostimulation, specifically on the abdominal musculature, and the possible differences between local and global applications.

The objectives of this research were to determine the immediate effects of a single session of dynamic electrostimulation on the thickness of the abdominal wall musculature, as well as the distance between the rectus abdominis muscles. In addition to knowing their influence on the physiological parameters corresponding to heart rate, blood pressure (diastolic and systolic) and body temperature. Also, to know the possible differences depending on the form of application, local employing surface electrodes placed in the abdominal area or global through whole-body electrostimulation.

The study sample consisted of 120 young, healthy participants aged between 18 and 35 years, randomly divided into three study groups: WB-EMS (global electrostimulation), EMS (local electrostimulation), and control. The intervention consisted of a single 20-minute session of dynamic exercises aimed at stimulating abdominal muscle contraction combined with global electrostimulation, local electrostimulation, or in the case of the control group, with the whole-body electrostimulation turned off. A symmetrical rectangular bipolar electric current was used with specific electrical parameters: 85 Hz stimulation frequency, 350 μ s pulse width and 50 % duty cycle (4 s stimulation, 4 s rest). The intensity of the main part of the session ranged from “somewhat strong” to “strong”, depending on each participant's subjective perception of exertion.

To evaluate the effects of the intervention, ultrasound was used using the Rehabilitative Ultrasound Imaging technique, a valid procedure to evaluate changes in the morphology and function of the muscles, measuring the thickness of the abdominal musculature and the distance between rectus muscles at rest and during muscle contraction using the extended leg raise test. In addition, physiological parameters such as heart rate, blood pressure and body temperature were recorded.

No statistically significant differences were found in the variables analyzed between the study groups, except for heart rate. The EMS group showed a smaller increase in heart rate after the intervention compared to the WB-EMS and control groups. This finding suggests that muscle electrostimulation of the abdominal musculature could be of interest for clinical application in populations with cardiorespiratory disorders. However, further research is needed to investigate this topic in more depth and to find out the effects produced by the application of dynamic electrostimulation in a greater number of sessions.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La Fisioterapia es la disciplina que busca mejorar la calidad de vida de las personas a través del movimiento, la prevención y el tratamiento de lesiones y patologías, especialmente del sistema musculoesquelético¹. Su estudio y desarrollo continúan siendo fundamentales para el avance de la salud y el bienestar humano.

En la actualidad, la Electroterapia es una herramienta fundamental en la práctica clínica de la Fisioterapia. A través de la aplicación de diversas corrientes eléctricas, se pueden conseguir efectos terapéuticos que ayudan a reducir el dolor, mejorar la función muscular y acelerar la recuperación de lesiones. Al tratarse de una técnica no invasiva y segura, la convierte en una opción atractiva tanto para pacientes como para profesionales de la salud. Dentro de las herramientas terapéuticas disponibles, destaca la electroestimulación muscular (EMS), dirigiéndose la investigación en las últimas décadas hacia nuevas formas de aplicación, como es la EMS global con el chaleco de cuerpo completo (WB-EMS), lo que demuestra su importancia y relevancia en el ámbito de la Fisioterapia²⁻⁴.

En este contexto, la presente tesis doctoral pretende conocer los efectos inmediatos de la EMS dinámica local y global sobre la musculatura abdominal y sobre determinados parámetros fisiológicos en personas sanas siendo importante su conocimiento para su uso seguro y eficaz en la práctica clínica de la Fisioterapia.

A lo largo del tiempo, se ha utilizado la abreviatura EMS, resultando un término demasiado general y poco específico para describir este concepto. Lo más adecuado es emplear el término electroestimulación neuromuscular (EENM) cuando las estructuras anatómicas involucradas, músculo diana y nervio motor, están en buen estado y el término estimulación eléctrica muscular (EEM) cuando el nervio motor está dañado². A pesar de ello, la terminología en Electroterapia sigue siendo heterogéneo, usando indistintamente los términos EMS y ENNM en la literatura científica actual. Por dicha circunstancia, en el presente trabajo se emplea el término EENM en el apartado del

marco teórico con el fin de plasmar la información más relevante sobre esta técnica de Electroterapia ya que la muestra de estudio fue una población sana y por lo tanto resulta más apropiado. En cambio, en los capítulos de resultados y discusión se utiliza el término EMS al igual que en la literatura científica consultada.

El presente trabajo de tesis doctoral se compone de siete capítulos. El primero de ellos corresponde al marco teórico, que se divide en distintos apartados que son fundamentales para comprender los efectos de la EMS local y WB-EMS en la musculatura abdominal y en los parámetros fisiológicos.

En un primer apartado, se abordan los antecedentes históricos de la Fisioterapia y la Electroterapia, así como su evolución a lo largo de diferentes etapas históricas. Este apartado proporciona un contexto histórico que ayuda a comprender cómo ha evolucionado la Electroterapia y cómo se ha utilizado para potenciar la musculatura desde sus inicios hasta la actualidad.

El segundo apartado del marco teórico se enfoca en un breve recuerdo anatomofisiológico, proporcionando una base teórica sólida para comprender el funcionamiento del cuerpo humano y, en particular, de la musculatura esquelética y del sistema nervioso. Se detallan las características e inervación de las fibras musculares, lo cual es fundamental para comprender los efectos de la EMS, de la WB-EMS y los ejercicios dinámicos en la musculatura abdominal. Además, se ofrece una descripción anatómica detallada de la musculatura de la pared abdominal anterolateral, permitiendo entender su papel en la estabilización del tronco, de sus funciones y la importancia de su adecuado funcionamiento. Finalmente, se aborda el sistema nervioso autónomo, tanto simpático como parasimpático, y se explica cómo estos sistemas controlan las respuestas fisiológicas al ejercicio. Este conocimiento es fundamental para entender las respuestas del cuerpo a los diferentes tipos de estímulos que se aplican en las intervenciones del estudio experimental, y para interpretar los resultados obtenidos de manera rigurosa y fundamentada.

El tercer apartado del marco teórico trata sobre el procedimiento de Electroterapia empleado en este estudio, la EMS o EENM, proporcionando los conocimientos necesarios para su comprensión detallada y para su correcta aplicación. Primero se explica el concepto de EENM y las distintas corrientes excitomotoras, así como los parámetros que se utilizan en la EENM. También se describen las indicaciones y contraindicaciones de esta técnica, lo que es importante para su aplicación segura. Además, se aborda la relación entre la EENM y el movimiento humano, haciendo hincapié en las diferencias entre la aplicación de la EENM y los ejercicios dinámicos en la musculatura esquelética. En este apartado se detallan los diferentes procedimientos de aplicación de la EENM, local o global, y su uso de forma aislada, combinada o superpuesta al ejercicio físico, lo que permite entender los distintos enfoques de su aplicación en la presente investigación. Por otro lado, se destacan los riesgos para la salud de un uso inadecuado de la EMS y WB-EMS, lo que es relevante para su adecuada aplicación en la investigación y en su uso clínico. Este conocimiento es esencial para entender los límites y precauciones de la técnica, y para establecer medidas preventivas en su aplicación.

En el último apartado del marco teórico se profundiza sobre la importancia de la ecografía como herramienta diagnóstica y terapéutica en el campo de la Fisioterapia. Se explica sus ventajas e inconvenientes, así como, los fundamentos de la ecografía musculoesquelética. Se detallan las aplicaciones clínicas de la ecografía, haciendo especial mención a la técnica *Rehabilitative Ultrasound Imaging*, (RUSI) que se emplea en este estudio como instrumento de medida para evaluar el espesor de la musculatura abdominal y la distancia entre rectos abdominales. Este apartado proporciona los conocimientos necesarios para entender la importancia de la ecografía en la evaluación y tratamiento de diversas patologías musculoesqueléticas, incluyendo la musculatura abdominal. Es una herramienta especialmente útil en la Fisioterapia para evaluar el estado de los tejidos musculares y tendinosos, ya que permite obtener imágenes en tiempo real de la estructura y función muscular. RUSI es utilizada en este estudio para evaluar objetivamente los efectos inmediatos de la EMS local y WB-EMS en el espesor de la musculatura abdominal y la distancia entre rectos abdominales.

El segundo capítulo de la tesis doctoral es clave para comprender la importancia de este estudio, así como para el diseño adecuado de su metodología y su procedimiento general. En él se aborda la justificación, los objetivos y las hipótesis que guían esta investigación. Se realizó un análisis de la literatura científica existente en las principales bases de datos científicas, *Web of Science*, *Pubmed*, *Scopus* y *SportDiscus*, utilizando diversas combinaciones de los descriptores siguientes: *abdominal muscles*, *abdominal wall*, *transversus abdominis*, *rectus abdominis*, *abdominal oblique muscles*, *interrectus distance*, *electrostimulation*, *electromyostimulation*, *EMS*, *electrical stimulation*, *electric stimulation*, *electrical stimulation therapy*, *whole body electrostimulation*, *whole body electromyostimulation*, *integral electrical stimulation*, *global body electromyostimulation*, *whole body electrical muscle stimulation*, *WB-EMS*, *real time ultrasound imaging*, *rehabilitative ultrasound imaging*, *RUSI*, *straight leg raise*, analizando las limitaciones y las lagunas en el conocimiento sobre los efectos de la EMS dinámica en la musculatura abdominal, resaltando la necesidad y la relevancia de este estudio en el contexto actual de Fisioterapia y de la potenciación muscular.

El tercer capítulo de esta tesis doctoral corresponde a material y métodos, en el que se describe de manera detallada cómo se llevó a cabo la investigación. En este capítulo se especifica el diseño del estudio, la muestra, especificando el tamaño y las características de los participantes, así como los criterios de inclusión y exclusión. También se definen las variables de estudio, que incluyen el espesor de la musculatura abdominal, la distancia entre rectos y los parámetros fisiológicos de frecuencia cardíaca, presión arterial y temperatura corporal y los instrumentos utilizados, entre los que destaca la ecografía musculoesquelética mediante RUSI para la evaluación del espesor de la musculatura abdominal y la distancia entre rectos. El procedimiento general se describe paso a paso, desde la selección de los participantes hasta la evaluación final de los resultados, indicando los protocolos seguidos en cada etapa del estudio. Por último, se especifica el análisis estadístico utilizado para evaluar los resultados obtenidos. La descripción detallada de los materiales y métodos utilizados es esencial para garantizar la reproducibilidad de los resultados y la validez científica de la misma.

El capítulo cuarto de la tesis doctoral se centra en la presentación de los resultados obtenidos tras finalizar las intervenciones del estudio. En este capítulo se muestran los datos recopilados y se lleva a cabo un análisis detallado de los mismos. Los resultados son esenciales para poder responder a los objetivos y verificar o refutar las hipótesis planteadas en el segundo capítulo.

En el capítulo quinto, la discusión, se realiza una interpretación rigurosa de los resultados obtenidos en el estudio experimental y se establecen las relaciones y comparaciones necesarias para su correcta comprensión con estudios previos y se discuten las implicaciones de los hallazgos en relación con la teoría existente. En este capítulo se evalúa si los resultados obtenidos son coherentes con la hipótesis inicial y si se han cumplido los objetivos. Asimismo, se identifican las limitaciones y fortalezas propias de la investigación.

Finalmente, el capítulo sexto, las conclusiones, se resumen los principales hallazgos y su importancia en relación con la teoría y la práctica en el ámbito de la Fisioterapia. Las conclusiones obtenidas permiten responder a las preguntas de investigación, dar respuesta a los objetivos del estudio y, por tanto, aportar nuevos conocimientos en el campo de la Fisioterapia.

Las evidencias científicas recabadas a lo largo de este proceso han sido incluidas en el último capítulo correspondiente a las referencias bibliográficas.

Asimismo, al final de esta memoria de la tesis doctoral, se han añadido la totalidad de diez anexos que incluyen el informe de comité de ética y *Clinical trials*, el consentimiento informado, los cuestionarios empleados en el estudio, las hojas de registro de los datos y de la evaluación ecográfica, la sesión de ejercicios dinámicos empleados en la intervención, la producción científica, etc.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

1.1.1 CONCEPTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA FISIOTERAPIA

Desde el punto de vista etimológico, la Fisioterapia significa “curación por la naturaleza” o “tratamiento por medio de agentes naturales” ya que proviene de los vocablos griegos *physis* (sustantivo derivado del verbo *phyeo*: nacer, brotar, crecer) que significa naturaleza y *therapía*, tratamiento o curación⁵.

En la Antigüedad, los agentes físicos ya se utilizaban como recursos terapéuticos por quienes se encargaban de atender y de cuidar a las personas con enfermedades y lesiones. Las fricciones, el calor y el frío, el masaje y el ejercicio físico fueron considerados como formas precientíficas de curación, en la época primitiva⁶.

El empleo de los agentes físicos alcanzó su máximo auge en la Roma Imperial del siglo I d.C. y con el desarrollo de las ciencias en la Edad Moderna, se racionalizó su empleo⁶.

En el siglo XIX, los agentes físicos se convierten en terapias físicas y comenzaron a profesionalizarse, hecho que se produce en el siglo XX con el nacimiento de la profesión fisioterapéutica y la configuración de la Fisioterapia como disciplina científica⁶.

A principios del siglo XX se publicó la obra “*Biblioteca de Terapéutica de Gilbert y Carnot*”⁷, que recopiló el conocimiento disponible en aquel momento sobre los agentes físicos para la prevención y tratamiento de enfermedades y lesiones. Fue el primero en presentar el término de Fisioterapia, definiéndose como una rama de la terapéutica: “el estudio de los agentes físicos ha tomado, desde algunos años a esta parte, un considerable incremento. Por esto mismo, las distintas ramas de la Fisioterapia ofrecen al práctico una nueva serie de nuevos recursos. Tanto si se trata de Quinesioterapia, de masaje, de Hidroterapia, de Electroterapia, de Radioterapia, etc. deben aplicar los métodos más usuales, y conocer el principio, las indicaciones y los resultados”⁷.

Se clasifican por primera vez los agentes físicos, la cual hoy en día, sigue vigente. En dicha obra se especifica que la Electroterapia es un agente físico y que forma parte de la Fisioterapia (tomo IV)⁸.

Con el transcurso de los años, se han utilizado diversas definiciones de Fisioterapia que hacen referencia a los agentes físicos, plasmando la continua evolución que ha sufrido su conceptualización a lo largo del siglo XX, en función del concepto de la disciplina que se tenía en ese preciso momento.

En las primeras décadas, la Fisioterapia se centraba en el tratamiento de lesiones musculoesqueléticas y trastornos neurológicos, mediante el uso de técnicas manuales, ejercicios y masajes. En este período, la Fisioterapia se consideraba como un enfoque complementario a la Medicina y se utilizaba principalmente en hospitales y clínicas.

A partir de los años 50 y 60, la Fisioterapia comenzó a adquirir un enfoque más científico, impulsada por la necesidad de desarrollar técnicas más específicas y efectivas para el tratamiento de diferentes trastornos. La investigación en el campo de la Fisioterapia permitió el desarrollo de técnicas innovadoras y avanzadas, haciendo esfuerzos para integrarla con la práctica médica convencional. Además, se comenzó a hacer hincapié en la prevención de lesiones y se desarrollaron programas de ejercicio y educación para pacientes con enfermedades crónicas.

En 1967, la Confederación Mundial de Fisioterapia (*World Confederation for Physical Therapy*, WCPT) define la Fisioterapia como “el arte y la ciencia del tratamiento físico, es decir, el conjunto de técnicas que, mediante la aplicación de **medios físicos**, curan, previenen, recuperan y readaptan a los pacientes susceptibles de recibir tratamiento físico”⁹. Al año siguiente, la Organización Mundial de la Salud (OMS), la define como “el arte y la ciencia del tratamiento por medio del ejercicio terapéutico, calor, frío, agua, masaje y **electricidad**”⁶.

Durante los años 70 y 80, la Fisioterapia experimentó una notable evolución, surgiendo nuevas técnicas y enfoques terapéuticos que contribuyeron a mejorar la

práctica clínica, destacando la Terapia manual, la Electroterapia y el uso de dispositivos ortopédicos y prótesis. Además, en esta época se reconoció la importancia de la Fisioterapia en la rehabilitación de pacientes tras cirugías y traumatismos, lo que propició un importante desarrollo de la Fisioterapia en el ámbito de la Traumatología y la Ortopedia.

En 1986, la Ley General de sanidad (LGS), expone que “la Fisioterapia es una profesión sanitaria que se define como el conjunto de métodos que, mediante la aplicación de **agentes físicos**, cura, previene, recupera y adaptada a personas con disfunciones orgánicas y que desarrolla sus actividades en el campo de la Atención primaria y la Atención especializada”¹⁰.

La Asociación Española de Fisioterapia (AEF), en 1987, la define como “el conjunto de métodos, actuaciones y técnicas que mediante la aplicación de **medios físicos** y con el apoyo de otras ciencias curan, previenen, recuperan y adaptan a personas afectadas de disfunciones somáticas, psicosomáticas y orgánicas o a las que se desea mantener en un nivel adecuado de salud”¹¹.

La Asociación Americana de Fisioterapia (*American Physical Therapy Association*, APTA), en 1989, define la Fisioterapia como “una profesión de la salud cuyo principal propósito es la promoción de la salud y función óptima mediante la aplicación de principios científicos para prevenir, identificar, evaluar, corregir o aliviar disfunciones del movimiento agudas o prolongados”¹².

En los años 90, la Fisioterapia experimentó un cambio significativo en su enfoque terapéutico, pasando de un modelo centrado en la enfermedad a un modelo centrado en la persona. En esta época, se comenzó a enfatizar la importancia de la promoción de la salud y la prevención de enfermedades, así como el papel de la Fisioterapia en la mejora de la calidad de vida de los pacientes.

En 1999, la WCPT especifica que “la Fisioterapia es el servicio únicamente proporcionado por, o bajo la dirección y supervisión de un fisioterapeuta e incluye la

valoración, diagnóstico, planteamiento, intervención y evaluación. El movimiento completo y funcional es la base de lo que significa estar sano”¹³.

El Consejo general de colegios de fisioterapeutas de España (CGCFE) y la AEF (2000) suscriben la definición de la WCPT:

- “Ciencia y arte del tratamiento físico; es decir, el conjunto de métodos, actuaciones y técnicas que, mediante la aplicación de **medios físicos**, curan, previenen las enfermedades, promueven la salud, recuperan, habilitan, rehabilitan y readaptan a las personas afectadas de disfunciones psicofísicas o a las que se desea mantener un nivel adecuado de salud”¹⁴.

- “El ejercicio de la Fisioterapia incluye, además, la ejecución por el fisioterapeuta, por sí mismo o dentro del equipo multidisciplinario, de pruebas eléctricas y manuales destinadas a determinar el grado de afectación de la inervación y la fuerza muscular, pruebas para determinar las capacidades funcionales, la amplitud del movimiento articular y medidas de capacidad vital, todas ellas enfocadas a la determinación de la valoración del diagnóstico fisioterápico, como paso previo a cualquier acto fisioterápico, así como la utilización de ayudas diagnósticas para el control de la evolución de los usuarios”¹⁴.

- “El objetivo último de la Fisioterapia es promover, mantener, restablecer y aumentar el nivel de salud de los ciudadanos a fin de mejorar la calidad de vida de la persona y facilitar su inserción social plena”¹⁴.

La evolución del concepto de la Fisioterapia ha sido influenciada por diversos factores como el contexto histórico, las creencias culturales y las investigaciones científicas. A medida que se ha avanzado en la comprensión de la anatomía y fisiología humana, en la Tecnología y en la investigación, la Fisioterapia ha evolucionado para incluir técnicas y herramientas cada vez más especializadas y efectivas en el tratamiento de una extensa variedad de trastornos musculoesqueléticos y neurológicos, ampliando el alcance y la eficacia de la profesión.

En la actualidad, la WCPT (2019) define la Fisioterapia como “una disciplina de la salud centrada en las personas para desarrollar, mantener y reestablecer el máximo movimiento y capacidad funcional a lo largo de la vida, cuando se presentan alteraciones en el movimiento y la función debidas al envejecimiento, las lesiones, el dolor, las enfermedades, los trastornos, las afecciones y/o los factores ambientales”¹.

Por tanto, la Fisioterapia implica la evaluación, diagnóstico y tratamiento de enfermedades, lesiones y discapacidades, centrándose en la restauración y mejora del movimiento, de la función y de la calidad de vida de las personas a través de un enfoque holístico. Además, el fisioterapeuta desempeña un papel importante en la prevención de lesiones y enfermedades, en la promoción de la salud y en el bienestar general¹.

Incluyendo en esta descripción de la Fisioterapia a los agentes físicos, los cuales, proporcionan una amplia gama de opciones terapéuticas que incluyen modalidades como la Termoterapia, la Crioterapia, la Hidroterapia, la Terapia manual, el Ejercicio terapéutico... o la **Electroterapia**, constituyendo valiosas herramientas terapéuticas en la práctica de la Fisioterapia¹.

Durante las últimas décadas, la Fisioterapia ha evolucionado para adaptarse a las necesidades cambiantes de los pacientes y de la sociedad en general. La atención se ha centrado cada vez más en el paciente, teniendo en cuenta sus necesidades y objetivos individuales. A su vez, se ha incorporado tecnología avanzada en la práctica clínica y se ha utilizado la investigación científica para desarrollar técnicas y tratamientos efectivos y basados en la evidencia. Además, la Fisioterapia ha expandido su ámbito de actuación hacia otros campos, como la salud mental, oncología y obstetricia, y se ha enfocado en el papel del fisioterapeuta como educador. En resumen, la Fisioterapia ha evolucionado de manera significativa para proporcionar una atención óptima a los pacientes y mejorar su bienestar general¹.

1.1.2 CONCEPTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ELECTROTERAPIA

La palabra Electroterapia proviene del griego, compuesta por el prefijo [*elektro*] que significa “ámbar” y posteriormente “electricidad” y el sufijo [*therapeía*], “tratamiento”; cuyo significado etimológico es el “empleo de la electricidad con fines terapéuticos”¹⁵.

Es la rama de la Fisioterapia definida como “el arte y la ciencia del tratamiento de lesiones y enfermedades por medio de la electricidad”, es decir, utiliza los efectos biológicos, fisiológicos y físicos de las corrientes eléctricas, aplicando métodos de tratamiento que emplean la corriente eléctrica directamente o aquellos donde la electricidad se transforma previamente en otras clases de energía como la luz, los ultrasonidos, los campos magnéticos, etc¹⁶.

Su aplicación comenzó en el siglo XVII, dando lugar al nacimiento de la Electroterapia en el siglo XVIII gracias al avance de la Física. Se desarrolló como disciplina terapéutica en el siglo XIX, alcanzando su máxima expansión en el siglo XX gracias al avance de la Tecnología, la Bioingeniería y la Electrofisiología⁶.

1.1.2.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ELECTROTERAPIA

a) ORIGEN DE LA ELECTROTERAPIA

La Electroterapia tiene sus raíces en tiempos antiguos, con la aplicación terapéutica de sacudidas eléctricas provocadas por el contacto con rayas o peces eléctricos en un baño de agua¹⁷.

En tiempo de Sócrates (469 – 399 a.C) se aplicó por primera vez la electricidad con fines curativos para el tratamiento de la artritis a través de las descargas eléctricas producidas por el pez Torpedo¹⁷.

El uso terapéutico de los peces eléctricos puede considerarse como las primeras referencias sobre la estimulación eléctrica por vía transcutánea para el tratamiento del dolor¹⁸.

Las investigaciones experimentales realizadas con estos peces, demostraron la naturaleza eléctrica de la conducción nerviosa en los tiempos de la Ilustración¹⁹ y permitieron en el siglo XX, un gran avance bioquímico al comprender las sinapsis colinérgicas, la acetilcolina como neurotransmisor en la unión neuromuscular, así como la secuenciación de los receptores acetilcolinérgicos, obteniendo una mayor comprensión de los efectos fisiológicos y bioquímicos que se producen en el organismo ante la aplicación de una corriente excitomotora. Este conocimiento ha permitido mejores aplicaciones de dicha corriente en la actualidad²⁰.

b) SIGLO XVIII

A partir del siglo XVIII, se realizaron numerosos descubrimientos que permitieron una comprensión más profunda del fenómeno eléctrico y cómo puede actuar la electricidad en nuestro organismo. Esto, sumado al avance en la Electrofisiología, produjo una enorme transformación y progresión en el campo de la Electroterapia.

Con el descubrimiento de la electricidad se desarrollaron generadores y transformadores de corriente eléctrica controlada, que se aplicaron en el siglo XVIII, y despertaron el interés por la Electroterapia como medio físico en el campo terapéutico, dando lugar al nacimiento de la Electroterapia¹⁶.

Autores como Christian Gottlieb Kratzenstein (1723-1795), Franz Mesmer (1734-1815), Jean Paul Marat (1743-1793), Pierre Bertholon (1742-1800), y Jean Jallabert (1712-1768), destacaron en esta época, atribuyendo a este último el descubrimiento de la propiedad de estimular los músculos a través de la electricidad²¹.

A pesar de la investigación realizada en este siglo sigue existiendo un gran desconocimiento sobre diversos conceptos de la aplicación de la Electroterapia.

c) SIGLOS XIX y XX

La ciencia progresa desde un enfoque empírico del siglo anterior, basado en la observación y en la experiencia como fundamento del conocimiento científico, a la razón como pilar esencial sobre el cual se apoyará la ciencia para comprender la naturaleza⁵.

Durante el siglo XIX, se produjeron importantes avances científicos en el campo de la electricidad que asentaron las bases para la aplicación de la Electroterapia²⁰.

Entre los autores destacados en esta época se encuentran Giovanni Aldini (1762-1834), Joseph Constantine (1764-1846), Robert Remak (1815-1865), Golding Bird (1814-1854) y Antoine César Becquerel (1788-1878)²⁰.

Michael Faraday (1791-1867) introdujo en 1840, una nueva herramienta terapéutica en el campo de la Electroterapia, las primeras corrientes variables a las que denominó farádicas¹⁵.

El neurólogo francés Duchenne de Boulogne (1806-1875) considerado el padre de la Electroterapia, adquirió un papel fundamental en el descubrimiento de las propiedades excitomotoras de la corriente eléctrica²².

Asimismo, los fisiólogos del siglo XIX, como Peter Johannes Müller (1801-1858), Carlo Matteucci (1811-1868), Hermann Ludwig Ferdinand Von Helmholtz (1821-1894), Emil du Bois-Reymond (1818-1896), Claude Bernard (1813-1878) y Wilhelm Heinrich Erb (1840-1921) llevaron a cabo investigaciones sobre la contracción muscular y la conducción nerviosa que fueron cruciales para la aplicación correcta de la Electroterapia, especialmente, en lo que respecta a la contracción muscular²⁰.

En términos generales en el siglo XIX, la aplicación terapéutica de la Electroterapia se centraba en la administración de corrientes continuas y farádicas. Asimismo, se

dedicaron importantes esfuerzos a la creación de dispositivos de Electroterapia de fácil transporte²³.

En las décadas de los 60 y 70, se produjo el resurgimiento de la aplicación de la Electroterapia, después de su declive debido al importante avance de la farmacología, siendo reconocida como una de las ramas importantes de la Fisioterapia⁶.

En el siglo XX, la electromedicina tuvo importantes avances en la aplicación de corrientes eléctricas con fines terapéuticos (corrientes galvánicas, sinusoidales y farádicas) y diagnósticos (electromiografía). Se desarrollaron nuevas tecnologías como la alta frecuencia, que permitió la producción de termoterapia profunda mediante la onda corta y la microonda⁶.

También se produjeron avances en la analgesia gracias al diseño de dispositivos más seguros, portátiles y eficaces, así como el uso de corrientes de media frecuencia, denominadas interferenciales (Hans Nemeč, 1950), y de la estimulación eléctrica transcutánea de los nervios (TENS), que son actualmente los modos más utilizados en la Electroterapia analgésica. Por otro lado, se desarrollaron los campos de aplicación de las corrientes analgésicas (Pierre Bernard y Helmut Träbert, (1920-1974)) y corrientes excitomotoras en la Electroterapia de baja frecuencia²⁴.

1.1.2.2 EVOLUCIÓN DE LA ELECTROTERAPIA APLICADA AL CAMPO DE LA POTENCIACIÓN MUSCULAR

d) EVOLUCIÓN DE LA COMPRESIÓN DEL FENÓMENO DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR

Durante el primer tercio del siglo XVII, la ciencia experimentó una evolución gracias a la observación y experimentación, desechando las teorías sobre el movimiento humano que se tenían hasta el momento. En el siglo XVIII, surgieron nuevas explicaciones sobre la contractibilidad muscular y la descripción del sistema muscular, como la “teoría de las fibras”⁶.

Destacan autores como Robert Whyt (1714-1766), Albrecht von Haller (1708-1777), Luigi Galvani (1737-1798) y Leopoldo Marco Antonio Caldani (1725-1813) cuyos descubrimientos permitieron avanzar en el conocimiento sobre la contracción muscular²⁰.

Robert Whyt describió el fenómeno del reflejo y Albrecht von Haller distinguió entre las partes del cuerpo que tienen capacidad de sentir y las que producen una respuesta motora, especificando que solo los nervios son sensibles y solo los músculos irritables o contráctiles. Además, describió la estructura muscular, compuesta por fibras musculares formadas por filamentos o fibrillas menores de pequeñas partículas terrosas que se aproximan entre sí, disminuyendo la longitud de la fibrilla²⁵.

Aparece la primera evidencia de la existencia de potenciales eléctricos en nervios y músculos a partir de los trabajos de Luigi Galvani, considerado el padre de la neurofisiología experimental al descubrir la excitabilidad muscular. Asimismo, destacan los trabajos experimentales de Leopoldo Marco Antonio Caldani sobre la función de la médula espinal y por introducir la electricidad en la fisiología de los nervios²⁶.

En el siglo XIX, destacaron varios investigadores en el campo de la fisiología muscular. Wilhelm Kühne (1837-1900) identificó una proteína en la fibra muscular que denominó miosina, mientras que Von Helmholtz (1821-1894) midió la transmisión del impulso nervioso a una velocidad de 27-30 m/s, lo que marcó el inicio de la neurofisiología moderna²⁰.

Por su parte, Carlo Matteucci (1811-1868) sentó las bases para investigaciones posteriores sobre el fenómeno de la contracción muscular y Peter Johannes Müller, a su vez, investigó sobre la excitabilidad del nervio y sobre las corrientes galvánicas, descubriendo que el nervio raquídeo está compuesto por fibras sensitivas y motoras.

Emil Du Bois-Reymond (1818-1898) estableció el principio del potencial de acción y la ley general de la excitación eléctrica, mientras que Wilhelm introdujo el concepto de umbral de excitación y Nikolai Wedensky (1852-1924) el concepto de labilidad

funcional y el efecto llamado inhibición de Wedensky. Este último fue importante en el estudio de la EMS, ya que determinó que frecuencias eran más eficaces para la potenciación muscular, así como la importancia de la duración de los pulsos y las pausas entre impulsos, coincidiendo con el periodo refractario de la fibra muscular¹⁶.

En el siglo XX, el avance tecnológico permitió desarrollar nuevas técnicas de microscopía electrónica que permitieron profundizar aún más a nivel bioquímico, en estos conceptos como, por ejemplo, describir la estructura de las miofibrillas (actina y miosina) dentro de las fibras musculares y las sinapsis acetilcolinérgicas que intervienen en la contracción muscular²⁰.

e) EVOLUCIÓN DE LA ELECTROTERAPIA APLICADA A LA POTENCIACIÓN MUSCULAR

El conocimiento desarrollado en fisiología y neuroanatomía durante el siglo XIX permitió una mayor comprensión del fenómeno de la contracción muscular y de la transmisión nerviosa. Como resultado, la aplicación terapéutica de la Electroterapia destinada a la búsqueda de la analgesia se enfocó en la potenciación muscular. La Medicina china antigua ya utilizaba las descargas de los peces eléctricos para estimular directamente a los músculos esqueléticos en distintas patologías¹⁶.

A partir de 1744, se inicia un intento por sistematizar la aplicación de la Electroterapia en cuanto a los parámetros de corriente eléctrica y a la correcta colocación de los electrodos. En 1749, Gianfrancesco Pivati (1689-1764) recomendó la EMS para las parálisis musculares.

Hay que destacar en el campo de la EMS, a Duchenne de Boulogne (1806-1895), reconocido como excelente investigador, aportando grandes conocimientos sobre este concepto, sirviendo de base a las aplicaciones e investigaciones posteriores en el campo de la potenciación muscular. Introdujo las técnicas de electrodiagnóstico utilizando la estimulación externa del nervio y del músculo a través de la piel, como un método de diagnóstico, además de una forma de terapia²².

Además, describió los efectos excitomotores (sensitivos y vasomotores) de las corrientes farádicas, así como la diferencia entre el uso de corrientes galvánicas y alternas para provocar una contracción muscular²².

Duchenne elaboró un mapa de puntos motores, describiendo la posición de esos puntos motores musculares y nerviosos para la aplicación de la EMS. Fue el primero en diferenciar entre estimulación indirecta “vía nervio” o estimulación directa “sobre el músculo”²².

Los trabajos de Duchenne son fundamentales en la aplicación de corrientes con efectos excitomotores. En particular, su obra “*Physiologie des Mouvements*”, ha sido reconocida como un texto fundamental en el campo de la EMS. Duchenne junto con Emil Du Bois-Reymond son considerados los creadores de las bases de la Electrofisiología y EMS moderna²⁷.

Asimismo, se debe hacer referencia a Eduardo Bertrán Rubio (1838-1909) que fue el primer "electroterapeuta" en España, término al que él mismo se refería, desempeñando una gran labor en el campo de la Electroterapia²⁸.

En 1872, publicó una de las obras españolas más importantes sobre Electroterapia, titulada “*Electroterapia, métodos y procedimientos de electrización*”²⁸. Obra que se divide en tres bloques: electricidad estática, galvanización y faradización. En el último bloque, Bertrán describió un mapa de puntos motores denominado Topomiografía y Toponeurografía, además de proporcionar información sobre la acción de la corriente en la fibra muscular²⁸.

También se debe mencionar por su labor en el campo de la Electroterapia a Robert Remark (1815 – 1865), gran investigador de los puntos motores descritos por Duchenne, demostrando que estos puntos estaban próximos a la piel y que eran la entrada de los nervios motores al músculo. Este descubrimiento permitió el uso de la Electroterapia en el tratamiento de enfermedades musculares y en la parálisis, así como aplicación a neuralgias y calambres.

Durante el siglo XIX y la primera mitad del siglo XX, la EMS se centró fundamentalmente en el tratamiento de atrofas por denervación. A finales del siglo XIX, a pesar de los grandes avances en el campo de la Electroterapia, sus aplicaciones seguían siendo inespecíficas, no sistematizadas. Sin embargo, el desarrollo de la Electrofisiología, la Tecnología y la Bioingeniería, permitieron grandes avances y una mayor comprensión de la EMS durante el siglo XX.

En este siglo XX, destacan los fisiólogos George Weiss (1859-1915) y Louis Lopicque (1866-1952), por su labor en la Electrofisiología y el Electrodiagnóstico, respectivamente²⁹.

George Weiss verificó que, para lograr una estimulación muscular, es necesario suministrar una cantidad de corriente eléctrica que alcance los valores umbrales de excitación, estableciendo una relación lineal entre la cantidad de carga eléctrica necesaria para alcanzar el umbral de excitación y la duración de aplicación de la corriente. La cantidad de carga eléctrica (Q) que proporciona una corriente eléctrica de intensidad (I), en un tiempo determinado (t), es el producto de la intensidad por el tiempo³⁰.

Por otro lado, Louis Lopicque definió la Reobase como “la mínima intensidad capaz de producir estimulación en el nervio o músculo con una duración de pulso de larga duración (1000 ms)” y a la Cronaxia como “la duración del pulso que corresponde a una intensidad doble que la reobase y el umbral de excitación”, convirtiéndose en las bases del Electrodiagnóstico²³.

Posteriormente se demostró que la Cronaxia es un parámetro importante influido por varios factores como el tamaño y el material del electrodo, y el modo de EMS³¹.

Con el progreso tecnológico y el diseño de nuevos aparatos electrónicos, a partir de 1941, se logró ampliar los conocimientos sobre la EMS. No obstante, las corrientes utilizadas para tal fin seguían siendo desagradables y peligrosas para los sujetos, lo que

limitó su aplicación como forma de potenciación muscular. Sin embargo, se utilizaron principalmente para la reeducación muscular de patologías con origen neurológico.

A finales de la década de los 70, comenzó a utilizarse para incrementar la fuerza muscular y mejorar la resistencia en personas sanas e incluso deportistas³².

Los trabajos realizados por Yakov Kots, en 1977, destacan en el campo de la EMS en atletas de élite en la antigua Unión Soviética, mediante un protocolo para mejorar la fuerza sin inducir fatiga muscular durante los entrenamientos. Kots ideó una nueva corriente llamada “corrientes rusas”, de 2500 Hz de frecuencia con modulación cuadrangular a 50 Hz³³.

Kots, afirmó que la contracción muscular evocada a través de EMS usando sus corrientes rusas podría generar más del 30% de la fuerza que la que se podría generar tras una contracción voluntaria máxima (CVM). Además, aseguró que un aumento de 10 cm en el salto vertical y un 10% de aumento en el diámetro de la sección transversal de las miofibrillas son posibles con la aplicación de estas corrientes, que no son dolorosas y no producen sensación desagradable durante la posible tetanización. Incluso un entrenamiento a corto plazo usando este tipo de corrientes podría producir ganancias en la fuerza muscular superiores al 40% en sujetos sanos y con efectos duraderos³⁴.

Sin embargo, otros autores que estudiaron los trabajos de Kots han cuestionado estas afirmaciones sobre las corrientes rusas debido a la falta de claridad y reproductibilidad de sus resultados.

Existen pocas evidencias de si se pudiera generar más del 30% de la fuerza con la EMS que, con una CVM, y aunque hay evidencias de que aumenta la fuerza muscular, hay poca evidencia de que la ganancia de fuerza sea mayor que con el ejercicio voluntario o con una combinación de ejercicio y estimulación eléctrica. Además, no se puede asegurar que no produzca ningún malestar en su aplicación, incluso durante la tetanización³⁵.

Selkowitz (1985) sostiene que no existen suficientes evidencias que demuestren mejoras significativas en la fuerza muscular utilizando corrientes rusas u otras formas de corrientes como los pulsos de baja frecuencia^{36,37}.

Sin embargo, otros estudios como los de Laughman et al., (1983)³⁸, Currier et al., (1983)³⁹, Selkowitz (1985)³⁶, Kubiak et al., (1987)⁴⁰, Soo et al., (1989)⁴¹ han confirmado que el entrenamiento a corto plazo (30 sesiones) con este tipo de corrientes puede producir una ganancia de fuerza a largo plazo⁴².

Kots teorizó que al no producir ningún tipo de disconfort en la aplicación de estas corrientes se podría trabajar con intensidades muy altas, lo que significaría que se reclutaría un número elevado de fibras tipo II (rápidas) para un mayor desarrollo de la fuerza muscular (Merton, 1954)⁴³. De esta forma, la EMS podría ser un sustituto para el clásico entrenamiento compuesto por programas de fortalecimiento muscular usados en protocolos de rehabilitación⁴².

Sinacore et al., (1990)⁴⁴ y Trimble et al., (1991)⁴⁵, respaldaron la teoría de Kots sobre la preferencial activación de las fibras rápidas tipo II durante la EMS. Además, Sinacore (1990) sugiere que la EMS podría ser una técnica viable en pacientes con alteraciones en este tipo de fibras, como algunas enfermedades crónicas y la población anciana⁴².

La única indicación clara y fuera de controversia sobre este tipo de corrientes rusas es que son útiles para el aumento de la fuerza muscular en sujetos sanos y, en particular en poblaciones atléticas.

Pette (1980) concluyó que la estimulación continua de un músculo a una frecuencia alta transforma un músculo tónico en fásico y que también cambia la composición bioquímica del músculo. Asimismo, si se estimula un músculo fásico a baja frecuencia, la composición de la miosina cambia y sus características se hacen como las de un músculo tónico⁴⁶. Pette propuso el siguiente protocolo para lograr estas modificaciones, que consiste en el trabajo continuado durante un minuto, aumentando la intensidad hasta

una contracción máxima en 10 s, manteniendo esa contracción máxima durante 20 s y reposar durante 30 s. Este ciclo se debe repetir de 10 a 15 veces⁴⁷.

En los años 80, Kramer (1987) obtuvo resultados eficaces con un tratamiento de 2 a 6 semanas⁴⁸ y Houston (1982), señaló que el parámetro más importante a considerar en la aplicación de las corrientes eléctricas es la frecuencia de estimulación⁴⁹.

Gracias a los avances en la tecnología y la comprensión de los efectos de las corrientes eléctricas sobre los mecanismos bioquímicos e intracelulares en el organismo, en las últimas décadas, debido a la sistematización y al pensamiento racional, se han podido realizar aplicaciones más eficaces, seguras y de mayor confort de Electroterapia en la potenciación muscular.

Respecto a las investigaciones recientes, sugieren premisas en ciertos parámetros para la estimulación muscular con el uso de la Electroterapia de baja frecuencia (0-100 Hz), como son, una onda rectangular que es la óptima, una duración de onda igual a la cronaxia de la estructura nerviosa que se quiere estimular, una compensación de la onda rectangular mediante una onda simétrica de polaridad opuesta y un impulso producido por un generador de corriente constante para que la forma del impulso se mantenga constante al atravesar los tejidos⁵⁰.

En cuanto a la utilidad de la electroneuroestimulación en la potenciación muscular, se concluye a partir de la literatura científica existente que la EENM aumenta la fuerza muscular en comparación con grupos que no realizan ejercicio, y que no hay diferencias significativas entre grupos sometidos a regímenes similares de EENM y a ejercicio voluntario. Además, la EENM combinada con el ejercicio voluntario no aporta un beneficio mayor al ejercicio físico solo y puede inducir contracciones del 80 - 100% de la máxima tensión voluntaria isométrica en músculos como el cuádriceps femoral y la ganancia de fuerza se relaciona con la carga de fase aplicada (intensidad y duración del estímulo)⁵¹.

La EENM produce adaptaciones fisiológicas en el músculo, dependiendo del protocolo utilizado. La EENM de alta intensidad y bajo número de repeticiones aumenta la fuerza muscular y posiblemente la hipertrofia, mientras que la EENM prolongada de baja intensidad y alto número de repeticiones aumenta la resistencia y las modificaciones bioquímicas en el músculo. Además, la EENM sola o combinada con ejercicio isométrico puede prevenir o reducir la atrofia muscular durante periodos de inmovilización articular o después de intervenciones quirúrgicas de rodilla³.

Existen diferentes protocolos para el fortalecimiento muscular con EENM, aunque el más común es el propuesto por el grupo de Delitto y cols., (1986)⁵² con algunas modificaciones.

Aunque la EENM no requiere un esfuerzo voluntario, en algunos protocolos se puede alternar las contracciones voluntarias con las inducidas eléctricamente, y en ocasiones instruir al paciente para que trabaje con la contracción inducida. Parece ser que las ganancias de fuerza con EENM empleando programas de entrenamiento inferiores a 5 o 6 semanas son similares al entrenamiento convencional pero no superiores⁵¹.

La EENM superpuesta a las contracciones voluntarias puede activar los nociceptores, lo que puede generar inhibición del reclutamiento de unidades motrices. Por lo tanto, es importante preparar adecuadamente a los sujetos antes de utilizar la técnica ya que este mecanismo de defensa se agrava con intensidades elevadas y en sujetos no familiarizados⁵¹.

En el siglo XXI, la EMS se ha consolidado como una herramienta importante en el ámbito del entrenamiento deportivo, la rehabilitación y la Medicina. En el entrenamiento deportivo, se utiliza para mejorar la fuerza y el rendimiento físico, así como para acelerar la recuperación muscular después de un esfuerzo intenso y para prevenir y tratar lesiones deportivas. En el ámbito de la rehabilitación, se ha utilizado para acelerar la recuperación muscular después de una lesión y para tratar diversas afecciones neuromusculares, como accidentes cerebrovasculares y lesiones medulares,

así como para reducir el dolor crónico en pacientes. Además, su potencial para mejorar la salud y el rendimiento físico y para contribuir a una mayor comprensión de la fisiología muscular, la convierte en un área de investigación y desarrollo continuo con un papel clave en la promoción de la salud y el bienestar².

f) ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS CHALECOS DE ELECTROESTIMULACIÓN

Los deportistas llevan aplicando la EMS de forma local desde la década de los 90³², pero con el transcurso de los años y gracias al desarrollo del conocimiento y de la Tecnología surgió una nueva forma de EMS capaz de aplicar corrientes eléctricas de forma simultánea a diferentes grupos musculares o regiones corporales, es decir, su aplicación global en el organismo.

Los primeros centros de entrenamiento personal mediante la EMS global aparecen en Alemania en 2007, fecha a partir de la cual, se incrementa exponencialmente su crecimiento a nivel europeo debido a la gran popularidad que adquirió esta innovadora modalidad de entrenamiento entre la población general y por las promesas de sus efectos, posibles en un breve espacio de tiempo y sin elevadas dosis de entrenamiento para conseguirlos⁵³.

En España, los primeros centros con este tipo de dispositivos denominados trajes o chalecos de electroestimulación de cuerpo completo (*Whole-body electromyostimulation*) (WB-EMS)⁵⁴ surgen en 2013 y a lo largo del 2014. Al igual que sucedió anteriormente en Alemania, estos centros de entrenamiento se expandieron rápidamente en nuestro territorio, alcanzando los 343 centros en 41 provincias españolas, siendo Madrid la comunidad autónoma con mayor número de centros seguida de Andalucía⁵⁴.

Se debe tener en cuenta que los dispositivos de EMS global son vendidos directamente por las casas comerciales a entrenadores, clínicas de estética o centros

deportivos por lo que no hay registro de estos centros al no ser específicos de esta tecnología⁵³.

Con esta novedosa tecnología se puede trabajar simultáneamente varias zonas corporales mediante la EMS al mismo tiempo que se realizan ejercicios físicos activos, aportando una serie de beneficios que los diversos centros, franquicias y casas comerciales tienen publicadas en sus propias páginas web⁵⁴. En 2015, De la Cámara elabora una lista de los beneficios de WB-EMS que promueven los centros de estimulación integral con los datos recogidos de 40 centros españoles en mayo de 2015 (FIGURA 1)⁵³.

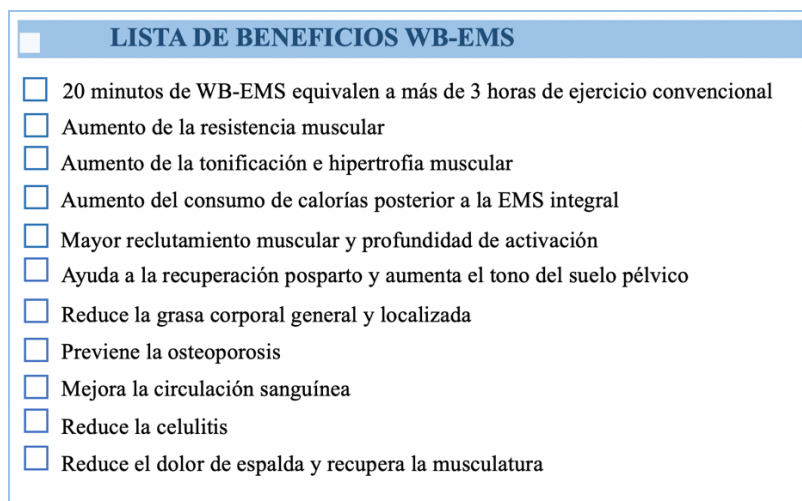
- 
- LISTA DE BENEFICIOS WB-EMS
- 20 minutos de WB-EMS equivalen a más de 3 horas de ejercicio convencional
 - Aumento de la resistencia muscular
 - Aumento de la tonificación e hipertrofia muscular
 - Aumento del consumo de calorías posterior a la EMS integral
 - Mayor reclutamiento muscular y profundidad de activación
 - Ayuda a la recuperación posparto y aumenta el tono del suelo pélvico
 - Reduce la grasa corporal general y localizada
 - Previene la osteoporosis
 - Mejora la circulación sanguínea
 - Reduce la celulitis
 - Reduce el dolor de espalda y recupera la musculatura

FIGURA 1. Lista de beneficios de WB-EMS.

Se puede entrever que con la publicidad de estos beneficios por parte de los centros especializados en WB-EMS y de las casas comerciales así como de la información publicada en la prensa dando a conocer a la población general este tipo de entrenamiento con EMS, se produjera ese rápido crecimiento en un breve período de tiempo ya que se garantizaban unos resultados rápidos y con menor esfuerzo que con el entrenamiento convencional; hecho que sedujo a usuarios sedentarios o a aquellos que no practican actividad física por no disponer de tiempo libre⁵³.

Beneficios que anuncian como “comprobados científicamente”⁵⁴ y que en realidad carecen, la mayoría, de evidencia ya que existe poca literatura científica sobre sus

efectos⁵³ o se tratan de estudios con poca validez externa para poder extrapolar sus resultados a una población general sana⁵⁴ ya que la mayoría de las investigaciones están dirigidas a individuos con determinadas patologías (sarcopenia, obesidad sarcopénica, mujeres menopáusicas, etc.)².

Las primeras referencias respecto a la publicación de artículos científicos sobre WB-EMS datan en el 2002, en Alemania, pero no fue hasta 2010 cuando se publicó el primer artículo sobre este tema en una revista indexada en ISI-JCR⁵⁵.

La WB-EMS atrajo a personas con baja afinidad a los programas de ejercicio convencional por diversas razones, como son las limitaciones de tiempo, las limitaciones físicas, el riesgo de lesiones y/o el poco entusiasmo por el ejercicio realizado en solitario, por su eficacia en el tiempo y por su bajo volumen de trabajo (1-2 sesiones/semanales de 20 min con baja intensidad voluntaria). Por tanto, la WB-EMS podría ser un entrenamiento alternativo para aquellas personas que no pueden o que no están motivadas para realizar ejercicio de forma convencional⁵⁶.

El gran auge de la EMS global adquirido durante esos años, en especial en el año 2015, se ralentizó en los años posteriores por la aparición de complicaciones en la salud de los usuarios de estos centros. Las posibles razones de la “no permanencia” en el tiempo de estos centros de entrenamiento pueden ser que los WB-EMS se comenzaron a utilizar a nivel comercial sin poseer evidencia científica de sus efectos tanto favorables como adversos, de sus beneficios y posibles riesgos para los usuarios, sin tener conocimiento de las contraindicaciones (CI) de esta tecnología ni la forma de aplicación más eficiente y segura; en definitiva, su uso sin guías de recomendaciones ni protocolos de seguridad⁵⁷.

No existía, por lo tanto, en sus inicios una normativa que regulará su uso y garantizará la seguridad de las personas que realizaban estos entrenamientos ni se exigía a los entrenadores que dirigían este tipo de entrenamientos, la posesión de una licencia que certificará su adecuada cualificación como instructores de WB-EMS⁵⁷.

Debido a todo ello, muchos centros cerraron sus puertas y los WB-EMS no se consolidaron como una forma de entrenamiento muscular⁵⁷.

1.1.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ECOGRAFÍA

Los ultrasonidos fueron descubiertos por Lazzaro Spallanzani (1729-1799) en 1794, mientras que el efecto piezoeléctrico de algunos cristales fue descubierto por Pierre Curie (1859-1906) y su hermano Jacques (1855-1941) en 1880⁵⁸. Ambos demostraron el efecto piezoeléctrico inverso, vibración del cristal al aplicarle un potencial eléctrico, permitiendo el desarrollo de los transductores que utilizamos en la actualidad, que contienen cristales piezoeléctricos⁵⁹.

Durante el siglo XIX se realizaron diversas investigaciones realizadas que permitieron el desarrollo del sónar (1914), como la determinación de la velocidad del sonido en el agua establecida por Jean-Daniel Colladon (1802-1893) en 1826, la publicación de la teoría del sonido por John William Strutt (1842-1919) en 1877, base de la ciencia de los ultrasonidos y la posibilidad de generar y detectar ultrasonidos gracias a Gabriel Lippmann (1845-1921) en 1881⁵⁹.

La unión de varias disciplinas como la Física, la Medicina, la Fisiología y la Ingeniería permitieron la evolución de esta tecnología a lo largo de las décadas⁵⁹.

Karl Theodore Dussik (1908-1968) y su hermano Friederich fueron los primeros médicos en utilizar los ultrasonidos en el diagnóstico fue en 1941^{58,59}.

El descubrimiento de la velocidad de transmisión media de los ultrasonidos en los tejidos blandos de los mamíferos (1540 m/s) por George Döring Ludwig (1922-1973) y Struthers permitió el desarrollo de los programas informáticos actuales de los ultrasonidos⁵⁸. Fueron los primeros investigadores que comunicaron el uso de la técnica pulso-eco en el tejido biológico⁵⁹.

Se ha de destacar a John Julian Wild (1914 - 2009) y Douglass Howry (1920 – 1969) como figuras importantes en la historia de la ecografía. J.J. Wild se centró en las aplicaciones clínicas de los ultrasonidos y los utilizó en modo A para diagnosticar lesiones durante la II Guerra Mundial. Sus aportaciones llevaron al desarrollo de la ecografía bidimensional o modo B y a la creación de los transductores transvaginales y transrectales⁵⁹.

Por otro lado, D. Howry fue pionero en el desarrollo de dispositivos de diagnóstico por ultrasónicos, siendo el precursor de los sistemas actuales. En 1949, fabricó el primer escáner de modo B y en 1951, junto con Joseph Holmes (1902-1982), construyeron el sistema de ultrasonidos por inmersión en tanque, obteniendo imágenes en dos dimensiones de las estructuras orgánicas y en 1960, con su equipo de investigación desarrolló el escáner de contacto directo⁵⁸.

El interés de Howry era obtener imágenes de gran calidad, eliminando las sombras y ecos extraños. Descubrió que los tejidos biológicos, como el hueso, altamente reflectante, producían sombras que oscurecían las imágenes de las estructuras más profundas⁵⁸.

En 1955, Ian Donald (1910-1987) junto con John McVicar (1927-2011) (ginecólogo) y Tom Brown (1933-2019) (ingeniero) desarrollaron el primer escáner compuesto de contacto. Sus investigaciones otorgaron a la ecografía un papel importante en el diagnóstico médico por imágenes en obstetricia y ginecología⁵⁹.

Inge Edler (1911-2001) y Carl Hellmuth Hertz (1920-1990) fueron los precursores principales en el campo de la ecocardiografía. Edler manifestó el beneficio del diagnóstico mediante ultrasonidos en la evaluación cardiaca en 1950. Hertz y sus colaboradores construyeron la primera máquina de imágenes cardíacas bidimensionales en tiempo real en 1967⁵⁹.

El primer artículo de ecografía musculoesquelética se publicó en el *American Journal of Physical Medicine*, en 1958 por K.T. Dussik: “*Measurements of articular tissue with ultrasound*”⁵⁸.

A pesar de que los ultrasonidos eran muy utilizados en esta época, poseían determinadas limitaciones debido a la ardua y lenta adquisición de las imágenes y de su mala resolución con el movimiento del paciente⁵⁹. Los avances tecnológicos de los ultrasonidos surgidos en las dos décadas siguientes popularizaron, a mediados de los años 70, la exploración por ultrasonidos, siendo su uso habitual en muchas especialidades médicas⁶⁰.

En 1976, los equipos pasaron de ser analógicos a digitales, dando lugar a imágenes estables, reproducibles y fácilmente legibles. Los ecógrafos, de máquinas estáticas, se convirtieron en dispositivos de exploración de la imagen en tiempo real, siendo el Vidoson (Siemens Medical Systems) el primer ecógrafo con estas características en el mercado⁵⁹.

La tecnología de los transductores experimentó una evolución significativa a finales de los años 80, pasando de los de baja frecuencia (2–5 MHz) utilizados en las exploraciones abdominales, a los de alta frecuencia (7–10 MHz) que ofrecían una mayor resolución y permitían la exploración de partes blandas y superficiales, como la mama y la tiroides⁶⁰.

En la última década, la ecografía musculoesquelética ha experimentado un gran potencial de diagnóstico gracias a los transductores de alta frecuencia y las imágenes en tiempo real que permiten obtener imágenes anatómicas de mayor calidad necesarias para la evaluación del sistema musculoesquelético⁶¹.

En los años 70 y 80, el diagnóstico mediante los ultrasonidos desempeñó un papel importante en enfermedades del tracto biliar, tiroides, mamas y páncreas⁵⁹, demostrando el gran potencial de los ultrasonidos como diagnóstico médico por imagen⁶⁰. Desde entonces, se han logrado grandes avances en la calidad de las imágenes gracias al modo

de escalas de grises y a la teoría del efecto Doppler propuesta por Christian Andreas Doppler (1803-1853) en 1841, que permitió detectar el flujo sanguíneo. En 1980 se pueden observar las imágenes y el efecto Doppler simultáneamente permitiendo la evaluación de pacientes con patología vascular (enfermedades cerebrovasculares, aneurismas aórticos abdominales, trombosis venosa profunda o enfermedades vasculares periféricas)⁵⁹.

En los años 90, debido a la baja resolución de las imágenes obtenidas por los ultrasonidos, era preferible el uso de la Resonancia Magnética frente a los ultrasonidos para la exploración musculoesquelética. Sin embargo, a partir del año 2000, con el desarrollo de la Tecnología, la calidad y la resolución de las imágenes obtenidas por ultrasonidos han mejorado significativamente, lo que ha hecho que se convierta en un método de exploración cada vez más utilizado⁵⁹.

Los continuos avances tecnológicos han permitido la visualización de las imágenes en un monitor a partir de la segunda mitad de los años 90, así como el almacenamiento de imágenes de alta resolución estáticas incluso en las últimas décadas de imágenes dinámicas.

Además, los equipos ultrasónicos se han vuelto cada vez más portátiles⁶², con el uso de tablets o incluso sondas que transmiten las imágenes a teléfonos móviles, aunque la calidad de las imágenes no es tan alta como en los ecógrafos grandes⁵⁸.

En la actualidad, se dispone de una amplia variedad de ecógrafos con mayores prestaciones y a precios más bajos que años atrás. La calidad de imagen y de sondas mejoradas, han incrementado sus posibilidades terapéuticas y de diagnóstico⁵⁸, lo que ha generalizado su uso en diversas especialidades médicas y en ámbitos extrahospitalarios, como clínicas médicas privadas y clínicas de fisioterapia⁶³.

MARCO TEÓRICO

RECUERDO
ANATOMOFISIOLÓGICO

1.2.1. LA MUSCULATURA ESQUELÉTICA

La musculatura esquelética constituye la masa muscular corporal y representa aproximadamente el 40% del peso del cuerpo. Está constituida por tejido muscular de tipo estriado, ya que se observan bajo el microscopio óptico, unas bandas proteicas claras y oscuras alternantes denominadas estriaciones⁴².

Los músculos esqueléticos son los encargados de producir la contracción muscular de manera voluntaria y gracias a que la mayoría se unen a los huesos del esqueleto mediante tendones, producen los movimientos corporales gracias al funcionamiento integrado de músculos esqueléticos, huesos y articulaciones. Otras funciones de los músculos esqueléticos son el mantenimiento de la postura, la estabilización de las posiciones corporales o la generación de calor para mantener la homeostasis de la temperatura corporal⁶⁴.

El músculo esquelético está formado por haces musculares recubiertos de tejido conjuntivo para su protección. Cada haz muscular está compuesto fascículos, conjunto de fibras musculares próximas, dispuestas en paralelo y rodeadas también de tejido conectivo.

Entre los fascículos se disponen fibras elásticas y una red capilar y neural. Las fibras musculares a su vez están formadas por sarcómeras, que son las unidades funcionales del músculo, ya que son las responsables del acortamiento y estiramiento de la fibra muscular (contracción – relajación)^{42,64}.

1.2.1.1. LAS FIBRAS MUSCULARES

El músculo esquelético está compuesto por un conjunto de fibras musculares esqueléticas que son células cilíndricas largas, con una membrana celular y citoplasma denominados sarcolema y sarcoplasma respectivamente. En su interior se localizan determinadas estructuras como son las miofibrillas, el retículo sarcoplásmico (cisternas

terminales, túbulos T) y el citosol con la presencia de gránulos de glucógeno y mitocondrias.

Cada fibra muscular contiene más de mil miofibrillas que son haces de proteínas contráctiles y elásticas que realizan el trabajo de contracción. Las miofibrillas están compuestas por varios tipos de proteínas: miosina (proteínas motoras), actina (microfilamento), tropomiosina y troponina (proteínas reguladoras) y la titina y nebulina (proteínas accesorias gigantes). Estas proteínas se organizan formando los filamentos gruesos (miosinas) y delgados (actina), con una disposición paralela y conectados mediante puentes cruzados de miosina.

Esta disposición de los filamentos gruesos y delgados origina un patrón repetitivo de bandas claras y oscuras alternantes que constituyen las unidades contráctiles denominadas sarcómeras.

a) CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS MUSCULARES

Las fibras musculares se pueden clasificar en función de sus características fisiológicas particulares, de su velocidad de contracción y de su resistencia a la fatiga en: fibras de contracción lenta o en fibras de contracción rápida⁶⁴.

Las fibras de contracción lenta son las fibras musculares resistentes a la fatiga denominadas rojas (tipo I) y las fibras de contracción rápida corresponden a las blancas que son altamente fatigables (tipo II)⁶⁴.

Existen clasificaciones más precisas definiendo tres categorías de fibras musculares: fibras de contracción lenta – ST o de tipo I, de fibras oxidativo-glucolíticas de contracción rápida – FOG o de tipo IIA (fibras intermedias) y fibras glucolíticas de contracción rápida – FG o de tipo IIX/IIB (IIX en seres humanos y IIB en animales)⁶⁵, en función de sus principales características (TABLA 1)^{42,66,67}.

TABLA 1. Clasificación de las fibras musculares en función de sus principales características.

FIBRAS TIPO I (LENTAS)	FIBRAS TIPO IIA (INTERMEDIAS)	FIBRAS TIPO IIX/IIB (RÁPIDAS)
Rojas (contienen hemoglobina)	Rojas, como las lentas	Blancas (no contienen hemoglobina)
Diámetro pequeño	Diámetro medio	Diámetro grande (el doble de grosor que las lentas)
Densidad capilar alta	Densidad capilar media	Densidad capilar baja
Capacidad de fuerza baja	Capacidad de fuerza media (más que las lentas)	Capacidad de fuerza alta (el doble que las lentas)
Resistencia a la fatiga alta	Resistencia a la fatiga media	Resistencia a la fatiga baja
Elasticidad baja	Elasticidad media	Elasticidad alta
Tiempo de contracción largo (100 ms)	Tiempo de contracción medio (30-40 ms)	Tiempo de contracción corto (5-15 ms)
Tiempo de respuesta bioeléctrica: 20 ms	Tiempo de respuesta bioeléctrica: 15 ms	Tiempo de respuesta bioeléctrica: 12 ms
Impulsos: 2-5 ms	Impulsos: 1-2 ms	Impulsos: < 1 ms
Umbral de polarización bajo	Umbral de polarización medio	Umbral de polarización alto
Tiempo de relajación corto	Tiempo de relajación medio	Tiempo de relajación largo
Velocidad de contracción lenta	Velocidad de contracción intermedia	Velocidad de contracción rápida
Bajo contenido en glucógeno	Intermedio contenido en glucógeno	Alto contenido en glucógeno
Alto contenido en mioglobina	Alto contenido en mioglobina	Alto contenido en mioglobina
Abundantes mitocondrias	Moderadas mitocondrias	Escasas mitocondrias
Actividad oxidante alta; aerobio	Actividad oxidante alta;	Actividad oxidante baja
Actividad glucolítica baja	Actividad glucolítica alta (se torna más oxidativo con el entrenamiento de resistencia)	Actividad glucolítica alta; más anaerobio que las intermedias
Predomina en la musculatura estática	Predomina en personas activas no deportistas	Predomina en la musculatura dinámica
En ejercicio mantenido con poco esfuerzo	En ejercicio moderado es la que más trabaja	En ejercicio de gran esfuerzo y con descanso
Más utilizado; postura	Posición de pie, deambulación	Menos utilizado; saltar, movimientos finos, rápidos

El músculo esquelético está constituido por la mezcla de diferentes tipos de fibras musculares, siendo su proporción diferente en función del músculo del que se trate e incluso existe una variabilidad intra e interindividual, ya que estos músculos presentan una cierta plasticidad pudiendo variar la proporción de cada tipo de fibras musculares en función de la actividad realizada (TABLA 2)³⁰.

TABLA 2. Porcentaje de tipo de fibras en función del hábito de esfuerzo.

TIPO DE FIBRAS	INDIVIDUOS NO DEPORTISTAS (%)	DEPORTISTAS DE FIBRA LENTA (%)	DEPORTISTAS DE FIBRA RÁPIDA (%)
Tipo I	40	60	40
Tipo IIa	50	40	20
Tipo IIx	10	10	40

b) INERVACIÓN DE LAS FIBRAS MUSCULARES

La realización de un movimiento voluntario comienza en el SNC, a nivel cerebral, enviando un estímulo nervioso a través de las vías nerviosas motoras a las motoneuronas que se encuentran en la médula espinal. Una motoneurona inerva, con sus diversos axones, a un gran número de fibras musculares ejerciendo el control sobre la contracción y relajación de esa musculatura para ejecutar un movimiento determinado; músculos implicados en movimientos menos precisos pero que requieren más fuerza estarán inervados por Unidades Motoras (UM) de mayor dimensión y viceversa, cuando los movimientos son más precisos, pero requieren menos cantidad de fuerza, las UM son de menor tamaño⁴².

La UM es la unidad básica de la contracción de un músculo esquelético, la cual está constituida por una motoneurona somática que ejerce el control y por un grupo de fibras musculares que trabajan juntas y que están inervadas por la misma neurona motora. Estas fibras musculares que, independientemente de la magnitud del estímulo, se contraen en su totalidad debido a la “ley del todo o nada”, es decir, ante un estímulo insuficiente no se obtiene ninguna respuesta, pero si el estímulo es igual o superior al umbral de excitación de ese tejido la respuesta obtenida es la misma independientemente de la intensidad de ese estímulo^{42,68}.

Se debe tener en cuenta que cada motoneurona inerva al mismo tipo de fibras musculares por lo que cada UM está constituida por un grupo homogéneo de fibras musculares que pertenecen al mismo tipo de fibra⁴².

Las UM pequeñas, motoneuronas de umbral de activación más bajo, están compuestas por fibras musculares de contracción lenta y las UM grandes que son motoneuronas de umbral de excitación más altos, de fibras musculares de contracción rápida. Por tanto, se puede hablar de UM de contracción rápida y UM de contracción lenta: UM fásicas y tónicas⁶⁷.

Las UM fásicas son de mayor tamaño, compuestas por las fibras musculares blancas inervadas por la neurona $A\alpha 1$ y de frecuencia tetánica alta 50-150 Hz, son las fibras dinámicas; en cambio las UM tónicas, que son las de menor tamaño, están compuestas por las fibras musculares rojas inervadas por las neuronas $A\alpha 2$ y con una frecuencia de tetanización baja 20-30 Hz, son consideradas fibras estáticas (TABLA 3)⁶⁷.

TABLA 3. Resumen de las características principales de las UM del sistema musculoesquelético.

UM TÓNICAS	UM FÁSICAS
Fibras musculares rojas	Fibras musculares blancas
Capilaridad óptima	Capilaridad no tan buena
Inervación de neuronas $\alpha 2$	Inervación de neuronas $\alpha 1$
Frecuencia tetánica de 20-30 Hz	Frecuencia tetánica de 50-150 Hz
Se fatigan lentamente	Se fatigan con rapidez
Son unidades estáticas o posturales	Son unidades dinámicas

El entrenamiento físico puede generar cambios en la composición de las fibras musculares ya que sus características metabólicas poseen capacidad de plasticidad que con entrenamientos específicos como por ejemplo el entrenamiento de resistencia, aumenta el número de capilares y mitocondrias del tejido muscular mejorando la capacidad aeróbica de las fibras incluso rápidas⁶⁵.

El número de fibras que inerva cada UM es variable y a su vez, cada músculo esquelético está compuesto por múltiples UM de diferentes tipos, lo que permite obtener contracciones musculares de diferente fuerza y duración dependiendo del tipo de UM que se encuentran activas o mediante el número de UM que se activan al mismo tiempo (FIGURA 2)^{65,67}.

Además, esta circunstancia, permite las graduaciones de los movimientos, en los músculos esqueléticos encargados de ejecutar movimientos finos. Las UM controlan pocas fibras musculares, de tal manera que si se activan estas UM solamente se contraen unas pocas fibras musculares generando una respuesta muscular más pequeña. En cambio, los músculos esqueléticos encargados de movimientos complejos estarán compuestos por UM que inervan una gran cantidad de fibras musculares dando lugar a grandes respuestas musculares. Por tanto, el tamaño de la UM es directamente proporcional al desarrollo de la fuerza que requiere ese músculo e inversamente proporcional a la precisión^{65,67}.

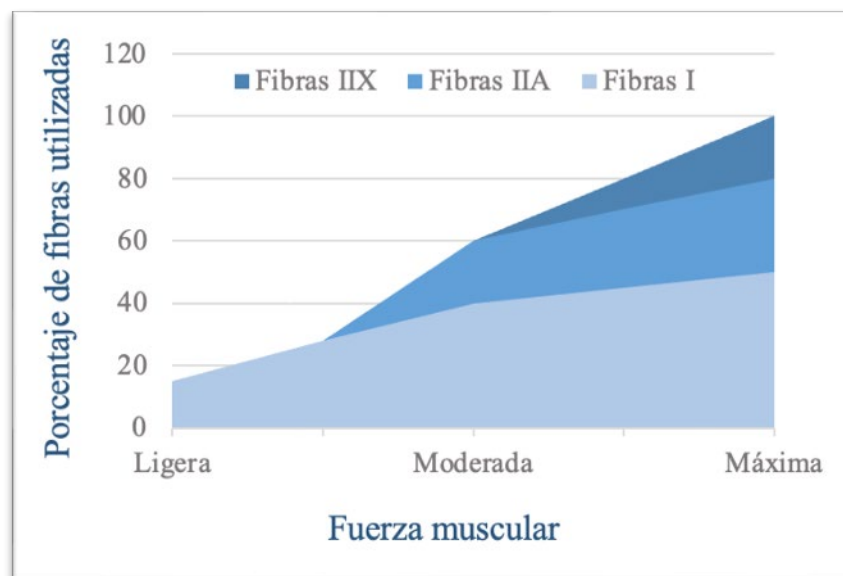


FIGURA 2. Reclutamiento de los diferentes tipos de fibras musculares según la intensidad de la fuerza de contracción muscular.

La corriente eléctrica se puede aplicar en el punto motor del músculo o en el punto motor del nervio; en el primer caso se estimula únicamente a ese músculo diana y en el

caso del punto motor de un nervio, se estimula a un grupo muscular⁶⁷. El punto motor del músculo corresponde a la zona de mayor concentración de fibras nerviosas antes que se distribuyan por dicho músculo⁶⁸.

El nervio motor estimula a las fibras musculares a través de la placa motora, zona de tránsito del impulso eléctrico entre las fibras nerviosas motoras y el tejido muscular, localizada en la zona superficial del músculo, próxima a la piel. En la placa motora se lleva a cabo la transformación de ese impulso eléctrico en químico mediante la liberación del neurotransmisor “acetilcolina” en la unión sináptica. Los receptores de la membrana postsináptica de las fibras musculares se unen a las moléculas de acetilcolina activando una serie de reacciones en cadena en el interior del tejido muscular dando como resultado la contracción muscular⁴².

Este breve recuerdo anatomofisiológico de la información más relevante sobre las fibras musculares y su inervación se considera esencial para comprender los efectos de la EMS en la musculatura esquelética, ya que un conocimiento detallado de su anatomía y fisiología permite a los profesionales de la Fisioterapia aplicar la EMS de manera eficaz y segura, seleccionando los parámetros adecuados de estimulación y ajustándolos en función de las necesidades individuales de la persona y de esta manera, optimizar su efectividad, minimizando el riesgo de lesiones.

1.2.1.2. LA MUSCULATURA DE LA PARED ABDOMINAL

La musculatura abdominal, en su globalidad, tiene un papel fundamental en la estabilización de la pelvis y la columna lumbar⁶⁹. Diversas investigaciones sobre el dolor lumbar crónico han observado la presencia de ciertas alteraciones en el orden del reclutamiento fisiológico de dicha musculatura en dichas personas, en concreto, en la musculatura profunda (músculo transverso del abdomen)⁷⁰⁻⁷².

Desde el punto de vista anatómico, la fascia abdominal está directamente relacionada con la musculatura abdominal ya que constituye la aponeurosis de los músculos oblicuo interno (OI), oblicuo externo (OE), transverso del abdomen (TrA) y la vaina del

músculo recto anterior del abdomen (RA). La fascia y musculatura abdominal junto con la musculatura más superficial de la cintura escapular, músculos pectorales mayor y serrato anterior, conforman el sistema fascial abdominal⁶⁹.

Gracias a este sistema fascial abdominal, la cintura escapular se une al mecanismo abdominal a través de conexiones en la parte anterior y posterior del tórax. En la parte anterior de tórax mediante el músculo pectoral mayor al conecta directamente con la fascia abdominal y del músculo serrato anterior al conectar con el OE; en la parte posterior del tórax, la inserción de los músculos romboides mayor y menor en el borde interno de la escápula coincide anatómicamente con el origen del músculo serrato anterior conectando entre si sus fibras musculares. El músculo serrato anterior discurre lateralmente alrededor del tronco entrelazando sus fibras musculares con las del OE en la pared abdominal anterolateral correspondiente, así mismo, el OE de un lado se conecta con el OI del lado contrario gracias a la disposición paralela de sus fibras musculares hacia la línea media⁶⁹.

Se puede observar, según esta descripción anatómica, una conexión continua de la cintura escapular con la pared abdominal; hecho de gran importancia para tener en cuenta a la hora de realizar un abordaje terapéutico enfocado en la mejora de la musculatura abdominal.

En la pared anterior del abdomen se localiza la fascia abdominal y el músculo más superficial del conjunto muscular abdominal, el músculo RA. En las paredes anterolaterales se sitúan los músculos OE, OI y TrA, de superficial a profundo respectivamente⁶⁹. Además, se localiza la fascia transversa, capa de tejido conjuntivo que separa la capa inferior del TrA del peritoneo y dos tabiques intramusculares situados entre los fascículos del TrA y del OI⁷³.

En la pared posterior del tórax se encuentra la fascia toracolumbar (FTL) uniéndose, a ese nivel, en su capa media y posterior (rafe lateral) los músculos OE, OI y TrA⁶⁹.

La musculatura mencionada con anterioridad presenta diferentes peculiaridades estructurales entre sí, las cuales determinan su función. Cada uno de estos músculos tienen inserciones en varias estructuras anatómicas diferentes, poseen incluso variaciones morfológicas regionales dentro del propio músculo (orientación y longitud de sus fascículos) otorgándoles, posiblemente, funciones específicas⁷³. También existen variaciones en el grosor entre la musculatura abdominal y entre regiones⁷³, siendo más gruesos en la parte superior del abdomen que en la inferior⁷⁴; grosor muscular relacionado con la capacidad que posee el músculo de generar fuerza (área de la sección transversal del músculo)^{73,75}.

A continuación, se resumen las características principales de los músculos que constituyen la pared abdominal anterolateral, desde el situado en la capa más superficial al más profundo.

a) MÚSCULO RECTO ANTERIOR DEL ABDOMEN (RA)

Es el músculo abdominal más superficial localizado en la pared anterior del abdomen.

Discurre en dirección vertical desde la cresta y sínfisis púbica hasta la región inferior de la parrilla costal (cartílagos costales entre la 5^o-7^o costillas), insertándose mediante bandas intermusculares de tejido conjuntivo a ambos laterales del esternón, en su apófisis xifoides⁶⁹.

El RA está envuelto por varias capas de aponeurosis pertenecientes a los músculos oblicuos y TrA que convergen hacia la línea alba formando de esta manera la vaina del recto⁷⁵, presentando, en función de su ubicación supra o infraumbilical, diferencias estructurales⁶⁹.

En la región supraumbilical, la aponeurosis de los músculos abdominales anterolaterales discurre alrededor del músculo RA de diferente manera; la aponeurosis del OE pasa por delante del RA, en cambio la aponeurosis del TrA discurre por la cara

posterior del RA y la aponeurosis del OI se divide en dos capas en el borde del RA, pasando una de ellas por delante y la otra por detrás del mismo. De esta manera el RA queda recubierto en su totalidad por las aponeurosis de estos músculos (OE, OI y TrA)⁶⁹.

En cambio, en la zona infraumbilical, la aponeurosis de los tres músculos pasa por delante del RA para servir de soporte o de refuerzo del contenido abdominal en la parte anteroinferior de la pared abdominal, zona en la que se generan mayor cantidad de fuerzas por el aumento de la curvatura lumbar, por la lordosis lumbar⁶⁹.

b) MÚSCULO OBLICUO EXTERNO (OE)

Se localiza en la parte anterolateral de la pared abdominal siendo el OE, el músculo anterolateral más superficial⁶⁹.

Se inserta en las ocho costillas inferiores entrecruzando sus fibras musculares con las fibras del músculo serrato anterior; también fusiona sus fibras con la línea media y en la parte inferior, se inserta en la mitad anterior de la cresta iliaca. A nivel posterior tiene una pequeña inserción en la zona superior de la FTL en el rafe lateral por encima de la tercera vértebra lumbar⁶⁹, influyendo con su activación en los segmentos lumbares altos⁷⁶.

Sus fascículos tienen una orientación inferomedial, siendo los fascículos medios de mayor angulación que los superiores y mayor grosor muscular en la región superior que en la región media⁶⁹.

El OE podría tener una contribución importante en el movimiento del tronco ya que la longitud de sus fascículos son los más largos de la musculatura abdominal siendo, por tanto, más eficientes en la producción de par dinámicos para el movimiento^{69,73}.

c) OBLICUO INTERNO (OI)

El OI se inserta en varias estructuras como son en los dos tercios de la cresta iliaca, en los 3 o 4 últimos cartílagos costales, en la línea alba, en el tercio lateral del ligamento inguinal y en la cresta púbica. A nivel posterior, se inserta en la FTL en los segmentos lumbares bajos, en el rafe lateral por debajo de la tercera vértebra lumbar⁶⁹, influyendo en los segmentos lumbares bajos⁷⁶.

La orientación de sus fascículos varía en función de su localización en el vientre muscular; los fascículos superiores y medios tienen una orientación superomedial mientras que los fascículos inferiores son horizontales a la altura de la EIAS e inferomediales por debajo de la misma⁷³.

El OI posee mayor grosor muscular en la región superior que la inferior, constituyendo el músculo de mayor grosor de la pared anterolateral, seguido del OE y, por último, del TrA que es el de menor grosor⁷⁷. Debido a su mayor grosor muscular comparado con el resto de esa musculatura tiene la capacidad de generar mayor cantidad de fuerza.

Sus fascículos inferiores junto con los del TrA son los más cortos confiriéndoles mayor capacidad de sostener tensión isométrica^{73,78}.

d) TRANSVERSO DEL ABDOMEN (TrA)

El TrA es el músculo estabilizador clave de la columna lumbar ya que gracias a la disposición de sus fibras musculares ejerce un efecto “corsé” al traccionar posteriormente al complejo fascial abdominal, desplazando el contenido abdominal hacia la columna lumbar. Esta tracción posterior ejercida por el TrA además de las tracciones más anguladas ejercidas por la acción de los músculos OE y OI, junto con la contracción del diafragma y la musculatura del suelo pélvico, provocan un aumento de la presión intrabdominal, permitiendo de esta manera, la estabilización de la columna lumbar⁷⁹.

En la parte posterior se inserta en cada segmento lumbar, ejerciendo un control estabilizador sobre toda la zona lumbar, de forma axial para permitir el movimiento de las extremidades tanto superiores como inferiores y de forma anticipada al inicio de movimientos de alta velocidad. Además, ejerce tracción directa sobre las apófisis transversas lumbares al insertarse en la capa media de la FTL junto con el OI, estabilizando en el plano frontal y transversal a la columna lumbar además del axial⁶⁹.

Otros puntos anatómicos de inserción del TrA son en la cara interna de los 6 últimos cartílagos costales, lugar donde se conecta con el diafragma, en los dos tercios anteriores del labio interno de la cresta ilíaca y en el tercio lateral del ligamento inguinal. Además, sus fibras superiores y medias se insertan en la línea media, en cambio las fibras inferiores se insertan en la pelvis⁷³.

En la región superior, la orientación de sus fascículos es horizontal, dirigiéndose hacia la caja torácica, pasando a ser progresivamente inferomediales hacia la cresta iliaca y FTL en la región media e inferior^{73,80}.

Existe diferencia en su grosor muscular en función de la región correspondiente, siendo la de mayor grosor la región superior en comparación con la región media e inferior⁷³.

Una determinada hipótesis sobre el posible reclutamiento diferente de las distintas regiones del TrA, las confiera funciones diferenciadas de forma aislada como podría ser la estabilización de la caja torácica por la región superior, tensar la FTL por la región media^{73,80} y la compresión de las articulaciones sacroilíacas por la región inferior⁸¹, mientras que globalmente todas las regiones del TrA contribuirían al aumento de la presión intraabdominal^{73,80,81}.

En general, con el conocimiento anatómico que se poseía hace años sobre esta región corporal se barajaba la hipótesis de que la musculatura de la pared abdominal tenía funciones similares trabajando de forma conjunta en la estabilización de la columna lumbar y presurización de la cavidad abdominal. A medida que aparecen más estudios y

con el uso de la electromiografía (EMG) han surgido nuevas hipótesis en las cuales el reclutamiento de las fibras musculares puede diferir incluso en la misma estructura muscular confiriéndole diferentes funciones específicas y con una contribución en el movimiento corporal diferente.

En el movimiento del tronco, el músculo TrA activa su región superior en la rotación contralateral de tronco y las regiones media e inferior en la rotación homolateral. Los músculos OI y OE participan en la flexión y rotación de tronco gracias a la orientación de sus fascículos superiores⁷³.

En los movimientos rápido de hombro se activan en primer lugar la región media e inferior del TrA que la región superior⁸²; siendo mayor la activación tónica del TrA inferior en las repeticiones de un movimiento del brazo⁷⁸.

En cuanto al movimiento de la pierna, en concreto en la elevación de la pierna recta y la inclinación pélvica en bipedestación, hay una mayor activada del OI inferior que del medio⁶⁹.

El movimiento hacia dentro de la cavidad abdominal en decúbito supino se activa la región media e inferior del TrA, pero no de la región superior, ya que la activación de esta zona es independiente⁸³.

Según la diferente longitud de los fascículos de la musculatura abdominal, los más largos corresponden al músculo OE pudiendo ser de mayor importancia en el movimiento del tronco y los más cortos, los fascículos inferiores del TrA y OI podrían intervenir en el control de la movilidad articular⁷⁸.

En referencia a la estabilidad lumbopélvica destacan los fascículos del TrA por su orientación horizontal y las regiones media e inferior del OI en su disposición para llevar a cabo esta determinada función⁸¹.

A pesar del conocimiento actual que se dispone de dicha musculatura, se detectan discrepancias en ciertos aspectos anatómicos como son las inserciones, diferencias en el grosor muscular, variantes anatómicas, etc., obtenidos en los estudios realizados con disecciones de cadáveres^{69,73,80} y los realizados con ecografía a tiempo real^{69,84}; por todo ello, sigue siendo de gran necesidad continuar con el estudio de esta región corporal específica para solventar en la medida de lo posible dichas discrepancias o lagunas de conocimiento.

1.2.2. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS AL EJERCICIO

El sistema nervioso periférico se compone de dos ramas principales, el sistema nervioso somático (SNS) y el sistema nervioso autónomo (SNA). El SNS controla los músculos esqueléticos a través de vías somáticas excitatorias, mientras que el SNA regula el músculo cardíaco, el músculo liso y las glándulas mediante vías autónomas excitatorias o inhibitorias, que aumentan o disminuyen la actividad visceral, generalmente sin control consciente⁸⁵.

A su vez el SNA se divide en sistema nervioso simpático (SNS) y parasimpático (SNP), inervando ambos la mayoría de los órganos. Una inervación doble que permite que la inervación simpática estimule al órgano para que aumente su actividad ya que se encarga de las respuestas de tipo “lucha o huida” y que la parasimpática disminuye su actividad al inhibirlo, ya que refuerza las actividades de reposo o de digestión⁶⁵.

Entre las respuestas simpáticas se incluyen la dilatación de las pupilas, el aumento de la FC, la fuerza de la contracción del corazón y la PA, constricción de los vasos sanguíneos renales y digestivos y la dilatación de las vías respiratorias y de los vasos sanguíneos de los músculos esqueléticos activos, músculo cardíaco, hígado y tejido adiposo, etc. Por otro lado, las respuestas parasimpáticas incluyen la disminución de la FC, del diámetro pulmonar y pupilar, reducen las funciones corporales que permiten realizar ejercicio físico y activa la digestión y la absorción de comida⁶⁵.

Ambas divisiones cooperan con el sistema endocrino y el estado del sistema de estado conductual en el mantenimiento de la homeostasis corporal mediante el control de funciones importantes como la PA, la respiración, el control de la temperatura y el equilibrio hídrico⁸⁵.

Durante el ejercicio físico, el cuerpo experimenta una serie de cambios fisiológicos para satisfacer la demanda metabólica impuesta por el esfuerzo físico. Estos cambios incluyen un aumento en la frecuencia cardíaca (FC), la presión arterial (PA) y la temperatura corporal⁶⁵.

La FC, definida como el número de latidos por minuto, aumenta durante el ejercicio físico para proporcionar oxígeno y nutrientes a los músculos activos para su funcionamiento adecuado, lo que se traduce en un aumento del gasto cardíaco. El aumento en la FC es proporcional a la intensidad del ejercicio, es decir, cuanto más intenso sea el ejercicio, mayor será su aumento y puede variar en función del tipo, intensidad y duración del ejercicio⁶⁵.

Asimismo, durante el ejercicio se produce un aumento de la PA, que es la fuerza que ejerce la sangre contra las paredes de las arterias, debido al aumento del flujo sanguíneo a los músculos activos. Igualmente, este aumento es proporcional a la intensidad del ejercicio. Sin embargo, la PA puede no aumentar en la misma proporción que la FC debido a una respuesta vasodilatadora de las arterias periféricas⁶⁵.

Además, durante el ejercicio aumenta la temperatura corporal debido a la producción de calor como resultado del metabolismo celular y de la fricción muscular. El cuerpo dispone de mecanismos de regulación para disipar este calor, incluyendo la sudoración y la vasodilatación periférica, lo que permite la eliminación eficiente del calor a través de la piel⁶⁵.

Tras finalizar el ejercicio físico, la FC, la PA y la temperatura corporal vuelven gradualmente a los valores basales a medida que el cuerpo se recupera del esfuerzo

físico. La recuperación puede estar influenciada por factores como la duración e intensidad del ejercicio, así como por el estado físico del individuo⁶⁵.

La regulación de estos parámetros fisiológicos durante el ejercicio físico está mediada por SNA, y sus divisiones el SNS y el SNP. Ambos actúan sobre el corazón aumentando o disminuyendo la FC y sobre la presión arterial, aunque en esta última es regulada también por otros sistemas como por ejemplo el sistema renina-angiotensina-aldosterona entre otros⁸⁵.

Una mayor actividad del SNS conlleva al aumento de la FC por la liberación de las hormonas adrenalina y noradrenalina y un aumento de la PA mediante la vasoconstricción sanguínea y aumento de la resistencia vascular periférica mientras que disminuye su actividad después del ejercicio, estimulando el nervio vago del SNP, lo que disminuye la FC y la fuerza de la contracción del corazón, así como de la PA al producir la dilatación de los vasos sanguíneos⁶⁵.

En cambio, la temperatura corporal es regulada por el hipotálamo en el cerebro, que actúa como un termostato que detecta cambios en la temperatura corporal y activa los mecanismos de enfriamiento o calentamiento del cuerpo para mantener una temperatura estable. Cuando la temperatura corporal aumenta, el hipotálamo activa los mecanismos de enfriamiento, como la sudoración y la vasodilatación de los vasos sanguíneos periféricos para disipar el calor. Por el contrario, cuando la temperatura corporal disminuye, el hipotálamo activa los mecanismos de calentamiento, como la vasoconstricción y la producción de calor por los músculos esqueléticos y el tejido adiposo marrón⁶⁵.

El tipo de ejercicio físico influye de diferente manera en estos parámetros fisiológicos, el ejercicio dinámico provoca un aumento más pronunciado en la FC que el ejercicio estático y una recuperación más rápida después del ejercicio. En cuanto a la PA, el ejercicio dinámico puede producir un aumento de la PAS durante el ejercicio mientras que el ejercicio estático puede producir un aumento en la PAD. Aunque ambos tipos de ejercicio disminuyen la PA después del ejercicio, la magnitud de esta

disminución parece ser mayor después del ejercicio dinámico. En lo referente a la temperatura corporal, ambos ejercicios pueden aumentar la temperatura corporal, pero el ejercicio dinámico tiende a un mayor aumento debido a una mayor producción de calor muscular⁶⁵.

Las respuestas cardiovasculares y respiratorias durante el ejercicio (FIGURA 3), pueden estar reguladas por la integración de mecanismos neurales centrales y periféricos⁸⁵.

Entre los mecanismos neuronales centrales se encuentran el comando central y la activación de las unidades motoras que activan las áreas de control cardiovascular y respiratorio en la médula espinal. El comando central supone el control por anticipación sobre el SNA. Se origina en corteza y acompaña a las órdenes motoras voluntarias sobre el SMS a músculos esqueléticos. Ante el ejercicio, los impulsos procedentes de la corteza cerebral provocan el aumento de la actividad simpática al mismo tiempo que disminuye la parasimpática dando lugar a una mayor o menor respuesta cardiovascular inicial en función de la intensidad del estímulo⁸⁵.

Con el comando central anticipativo actúan las señales retroactivas procedentes de los mecano y metaborreceptores musculares, de los baro y quimiorreceptores aórticos y carotídeos y los receptores pulmonares, integrándose en el centro cardiovascular bulbar, modulando las eferencias simpáticas y parasimpáticas, que junto con la liberación de adrenalina y noradrenalina por la médula adrenal, modifican las funciones cardíacas y vascular (FIGURA 3)⁶⁵.

Por otro lado, cuando se produce la actividad muscular o el movimiento se producen los mecanismos neuronales periféricos o mecanismos reflejos debidos a los impulsos nerviosos generados en diversos receptores mecanorreceptores, metaborreceptores y barorreceptores, situados en articulaciones, músculos y vasos^{65,86}.

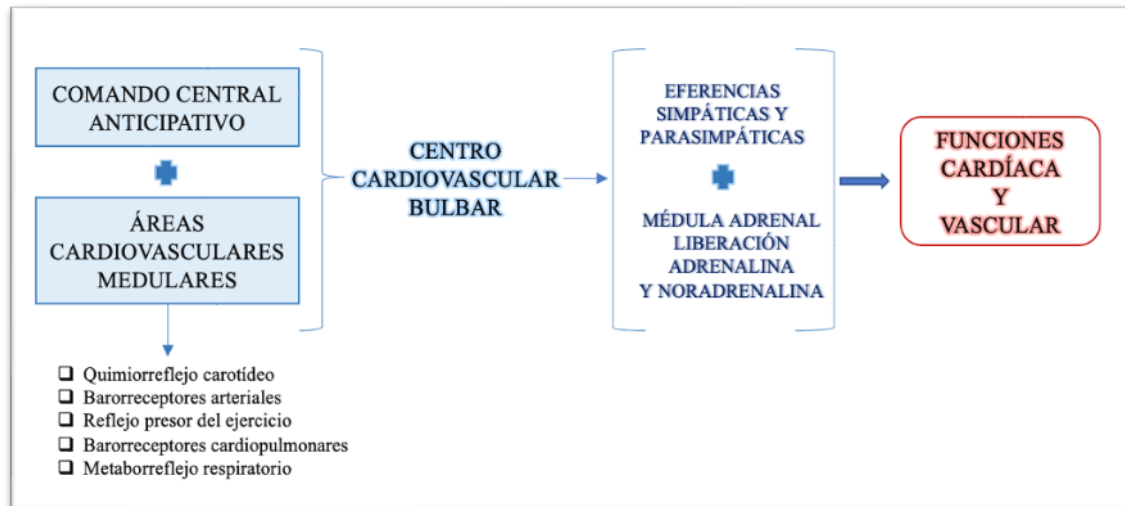


FIGURA 3. Respuestas autonómicas durante el ejercicio.

La estimulación de los receptores mecano y/o metaborreceptores en los músculos esqueléticos en contracción activa (grupos aferentes III y IV), activan el reflejo presor y el restablecimiento del barorreflejo durante el ejercicio⁸⁷.

El reflejo presor del ejercicio se produce por la estimulación de los metaborreceptores que responden principalmente a estímulos químicos (metabólicos) evocando el metaborreflejo por la estimulación de las fibras aferentes tipo IV situadas junto a los vasos sanguíneos musculares y por los mecanorreceptores localizados en las fibras musculares, activándose por estímulos mecánicos dando lugar al mecanorreflejo evocado por fibras aferentes tipo III. El reflejo presor será mayor cuando ambos tipos de receptores se encuentran activados⁶⁵.

Estos receptores envían señales al SNC que activan las áreas de control cardiovascular y respiratorio en la médula, lo que provoca un aumento en las actividad simpática y disminución de la parasimpática, aumentando la FC y la PA⁶⁵.

El reflejo presor es un mecanismo importante para asegurar que se mantenga una adecuada perfusión sanguínea en los músculos activos durante el ejercicio, ya que ayuda a aumentar el flujo sanguíneo a través de la vasoconstricción de los vasos sanguíneos no esenciales para el ejercicio, como los de la piel y los órganos internos. Asimismo, ayuda

a aumentar la contractibilidad del corazón, la liberación de adrenalina y noradrenalina, aumentando el gasto cardíaco y la movilización de glucosa y ácidos grasos para su uso como combustible por los músculos activos⁶⁵.

Otro mecanismo homeostático es el reflejo barorreflejo arterial con un papel regulador en la modulación de las respuestas cardiovasculares al ejercicio, en especial de la PA. Se activa durante el ejercicio por la estimulación de los barorreceptores arteriales debido al aumento de la PA que provoca su estiramiento enviando señales a través de las fibras aferentes al centro cardiovascular en el bulbo raquídeo. La activación de los barorreceptores inhibe la actividad simpática y disminuye la FC y la resistencia periférica total, lo que reduce la PA⁶⁵.

Durante un ejercicio físico intenso se produce la acumulación de productos metabólicos finales musculares activando el metaborreflejo muscular. Este mecanismo produce una retroalimentación continua del estado metabólico de los músculos en contracción a las áreas de control cardiovascular. Además, contribuye a aumentar la actividad barorrefleja que aumenta la actividad parasimpática, contrarrestando el aumento del flujo simpático, evitando un excesivo aumento de la FC⁶⁵.

Dentro de los mecanismos periféricos también se incluyen los mecanismos endocrinos o humorales y los hemodinámicos⁸⁵

MARCO TEÓRICO

ELECTROESTIMULACIÓN

1.3.1. CONCEPTO DE ELECTROESTIMULACIÓN

En sus inicios, la **Electroestimulación** (*electromyostimulation*, EMS) fue empleada por los fisioterapeutas con los objetivos de retrasar la atrofia en el músculo denervado y mantener o mejorar la fuerza muscular de los músculos inmovilizados debido a una intervención quirúrgica. Fue a partir de 1960, cuando se comenzó a utilizar como método de fortalecimiento de la musculatura sana, especialmente en atletas⁸⁸.

La EMS consiste en la aplicación de una corriente eléctrica con la finalidad de producir una contracción muscular visible a través de la estimulación eléctrica de las células nerviosas o musculares mediante una serie de estímulos intermitentes que provocan potenciales de acción en dichas células excitables^{66,89}.

Actualmente, existe una falta de homogeneidad en la nomenclatura utilizada a nivel conceptual en cuanto a la Electroterapia y en concreto a la EMS. Al respecto, la mayoría de los autores opinan que, si el nervio motor y el músculo diana están indemnes, lo adecuado es referirse a la **Estimulación Eléctrica Neuromuscular** (EENM), ya que una condición indispensable de la EENM para provocar contracciones musculares es que el nervio motor este intacto; en cambio, se denominaría **Estimulación Eléctrica Muscular** (EEM) cuando la corriente eléctrica se aplica sobre un músculo cuyo nervio motor está dañado².

El presente estudio tiene como objetivo la estimulación eléctrica de musculatura sana, en concreto de la musculatura abdominal, por lo que este apartado del marco teórico se centrará en el concepto de EENM.

Maffiuletti (2010) define la EENM como “la aplicación de una corriente eléctrica usando electrodos de superficie colocados sobre los músculos esqueléticos para producir una contracción muscular visible a través de la activación de las ramas nerviosas intramusculares y así devolver la normalidad o estabilizar a la zona que se va a tratar”⁶⁷.

Cuando se aplica la corriente eléctrica, se produce en primer lugar, la estimulación del nervio ya que su umbral de excitación es 20 mV menor que el umbral de las fibras musculares⁸⁹. Dicha estimulación nerviosa corresponde a la vía de estimulación indirecta de las fibras musculares siendo necesario un menor aporte de corriente que mediante la estimulación directa de las fibras musculares, ya que con un aumento del potencial de membrana de 15 mV se estimulan estas fibras nerviosas frente a los 35 mV necesarios para estimular la fibra muscular, resultando más ventajoso la estimulación de las fibras musculares a través de la vía indirecta (TABLA 4)⁴².

TABLA 4. Esquema de los tejidos neuromusculares eléctricamente excitables.

TEJIDOS EXCITABLES	FIBRAS NERVIOSAS MOTORAS	FIBRAS MUSCULARES
Estimulación muscular	Vía indirecta	Vía directa
Potencial de membrana (en reposo)	-70 mV	-90mV
Umbral de excitación	-55 mV	-55 mV
Diferencia de potencial de membrana	- 15 mV	- 35 mV
Localización del tejido	Zona superficial del músculo, placas neuromusculares más próximas a la piel	Más profundas respecto a la piel

1.3.2. CLASIFICACIÓN CORRIENTES EXCITOMOTORAS

Las corrientes eléctricas se pueden dividir en función de los efectos fisiológicos que producen en el organismo en corrientes con efecto excitomotor o con efecto analgésico. En el primer caso provocan contracciones musculares para tonificar o potenciar la musculatura y en el segundo caso, el objetivo es la disminución del dolor o analgesia⁹⁰.

Dentro de las Corrientes Excitomotoras básicas, según el estado de la musculatura diana⁹¹, se pueden clasificar en:

- Estimulación de la musculatura sana: corrientes tetanizantes de frecuencias mayores de 50 Hz y baja duración del impulso.

- Estimulación musculatura denervada con cronaxia muy alta: impulsos rectangulares aislados de larga duración.

- Estimulación musculatura parcialmente denervada: impulsos con pendiente variable.

1.3.3. PARÁMETROS PRINCIPALES DE EENM

Los parámetros de estimulación más importantes para tener en cuenta en un programa de EENM para su máxima eficacia, además del tipo de corriente o impulso eléctrico, serán la intensidad y la frecuencia por algunas de las razones expuestas a continuación.

○ INTENSIDAD

La intensidad de la corriente eléctrica es la cantidad de carga eléctrica que pasa a través de un conductor por unidad de tiempo (1 segundo) y se expresa en miliamperio (mA)⁶⁷.

Cada músculo está innervado por varias UM, de tal manera que en función del grado de fuerza requerida y de la duración de la contracción muscular se activará un tipo de UM, es decir, un tipo de fibras musculares específicas, regulando también el número de UM que se activarán en ese momento determinado. A mayor número de UM activadas simultáneamente (sumación espacial), mayor intensidad de la contracción muscular^{42,67,91}.

A mayor intensidad de la corriente eléctrica, más UM serán reclutadas, generando mayor fuerza muscular. Hay que tener en cuenta que una mayor intensidad de la corriente implica la estimulación de las fibras nerviosas nociceptivas, provocando que la estimulación eléctrica sea menos tolerable por la persona y que las fibras nerviosas pueden adaptarse a los estímulos continuos siendo necesario reajustar la intensidad de la corriente durante la sesión para evitar que el músculo pierda su capacidad contráctil².

○ FRECUENCIA

La frecuencia de emisión de la corriente eléctrica es el número de impulsos eléctricos que son enviados a la fibra motora por segundo, expresado en hercios (Hz). Corresponde a la sumación temporal de los impulsos nerviosos de sucesión rápida^{42,91}.

En función de la frecuencia seleccionada se estimularán un determinado tipo de fibras musculares: tipo I, IIa o IIx (VER LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS MUSCULARES). Pueden clasificarse en diversos rangos de frecuencia de estimulación muscular⁴²:

- Entre 20 y 50 Hz: se produce la estimulación preferente de las fibras lentas tipo I, con predominio del metabolismo oxidativo, mejorando la vascularización y la resistencia a la fatiga del músculo, pero, con poco incremento de la fuerza y del volumen muscular.

- Entre 50 y 90 Hz: se produce la estimulación de las fibras musculares intermedias tipo IIa, que poseen características de ambos tipos de fibras tipo I y IIx, con buenas capacidades de fuerza, limitada resistencia a la fatiga y con un metabolismo parcialmente aeróbico y anaeróbico.

- Entre 90 y 120 Hz: se produce la estimulación de las fibras rápidas tipo IIx, con un metabolismo anaeróbico preferente, de fácil fatigabilidad, gran capacidad de fuerza y rapidez. Aumento del volumen y fuerza muscular.

Es importante destacar que a medida que aumenta la frecuencia de estimulación, se incrementará la fatiga muscular producida, la fuerza generada por la corriente y el daño muscular generado⁹².

Otros parámetros para tener en cuenta son:

- **TIPO DE ONDA O FORMA DEL IMPULSO:** es la forma que tiene la onda eléctrica. Parece que un pulso rectangular es el óptimo para la estimulación de las fibras

nerviosas, ya que posee una cronaxia adecuada para evitar el fenómeno de ajuste del tejido muscular, siendo el más eficaz en la estimulación del tejido muscular con la finalidad de ganar fuerza muscular; además, de ser una estimulación más confortable para el individuo^{66,92}.

- **ANCHURA DE PULSOS:** es la duración de los pulsos, sumando la fases positiva y negativa, expresada en milisegundos (ms) o microsegundos (μs)⁶⁶. En general, las mayores contracciones musculares se logran con anchuras de impulso de 300-400 μs pero dependerá del músculo diana al que se aplica la corriente eléctrica⁹².

- **CICLO DE TRABAJO:** es el cociente del tiempo de actividad de la corriente respecto a la duración total de ciclo (tiempo de actividad + tiempo de inactividad), expresado en porcentaje (%). Es el tiempo que dura una cadencia o ciclo completo de una onda, con pausas o sin ellas, desde el momento en que se inicia hasta que comienza la siguiente⁶⁶.

El tiempo de contracción se refiere al período de tiempo en el que los impulsos eléctricos se aplican al músculo provocando su contracción. El tiempo de reposo se relaciona con la ausencia de estímulos eléctricos y corresponde al período de tiempo entre dos contracciones musculares, durante el cual el músculo se mantiene relajado. Ambos períodos de tiempo se expresan en segundos (s)⁹².

En la actualidad sigue existiendo discrepancias entre los diversos autores en los parámetros que se han de utilizar para lograr una estimulación muscular eficaz. En el caso de la musculatura sana, la forma de onda más utilizada es el impulso bifásico, rectangular y simétrico, con una anchura de pulso entre 100 y 400 μs y frecuencias de estimulación entre 35 y 100 Hz. Los tiempos de estimulación eléctrica varían entre 3 y 12 s y los tiempos de reposo pueden ser hasta 3, 5, 10 o incluso 20 veces el tiempo de trabajo. Se sugiere que la estimulación muscular con corrientes eléctricas es muy efectiva aplicada al mismo tiempo que la persona realiza la contracción voluntaria y con un trabajo contra resistencia⁹⁰.

1.3.4. EENM Y MOVIMIENTO VOLUNTARIO

Con la estimulación eléctrica se pretende imitar el proceso de activación muscular realizado voluntariamente por la persona, pero de forma artificial.

El músculo puede ser estimulado de dos maneras, de forma voluntaria o a través de una corriente eléctrica obteniendo como resultado, en ambos casos, la contracción muscular, pero con diferentes particularidades⁸⁹.

1.3.4.1. DIFERENCIAS ENTRE EL MOVIMIENTO VOLUNTARIO Y EENM

Para producir una contracción muscular, las fibras musculares son estimuladas por el nervio motor dando lugar a una respuesta contráctil en el músculo denominada sacudida.

La suma de múltiples sacudidas, denominada sumación temporal, da lugar a una contracción muscular cuya fuerza estará determinada por el número de fibras estimuladas, dando lugar a contracciones musculares graduadas⁶⁷ (VER INERVACIÓN DE LAS FIBRAS MUSCULARES).

Cuando la contracción muscular es producida por un movimiento voluntario, la orden de esa acción se inicia en el cerebro enviando impulsos nerviosos – estímulos endógenos – hacia la médula espinal y desde ahí, al nervio motor para estimular las fibras musculares correspondientes a través de la placa motora muscular. Se activan en este caso dos vías nerviosas, la eferente y la aferente^{42,66}.

En cambio, con la EENM la orden es enviada por el propio electroestimulador que envía estímulos exógenos a través de los electrodos de superficie, al nervio motor, activándose únicamente la vía nerviosa aferente^{42,66}.

El patrón de reclutamiento de las fibras musculares también difiere entre la contracción voluntaria y la contracción artificial (TABLA 5)².

TABLA 5. Reclutamiento de las UM durante la contracción voluntaria y con EENM.

	CONTRACCIÓN VOLUNTARIA	EENM
TEMPORAL	Asíncrono	Sincrónico
	Disperso	Superficial (cerca de los electrodos)
ESPACIAL	Rotación posible	Fijado espacialmente
	Casi completa (incluso al máximo)	En gran medida incompleta (incluso al máximo)
ORDENACIÓN	Sí	No
	Selectiva (de lenta a rápida)	No selectivo/aleatorio/desordenado (lento y rápido)
CONSECUENCIA	Parcialmente fatigable	Extremadamente fatigable

En la contracción muscular producida por el EENM, recluta las UM grandes porque son las que se encuentran más próximas a los electrodos independientemente de la intensidad de la corriente eléctrica^{2,89}

Por tanto, se reclutan en primer lugar las UM fásicas que son las que corresponden a las fibras musculares rápidas (tipo II). Son las de mayor tamaño y las que se encuentran localizadas más superficialmente siendo las más próximas a los electrodos de superficie colocados en la piel favoreciendo así su activación^{2,89}.

Posteriormente se reclutarán fibras tipo I únicamente a partir de una determinada intensidad. La EENM a niveles relativamente bajos de intensidad favorece la activación de las UM fásicas (rápidas) además de las lentas^{2,89}.

En cambio, en el movimiento voluntario, el patrón de reclutamiento sigue el “Principio del tamaño” (Henneman et al., 1965)², es decir, recluta las UM en función del tamaño, de menor a mayor, dependiendo de la intensidad del estímulo e independientemente del tipo de acción muscular (concéntrica, isométrica o excéntrica).

Por tanto, se reclutan en primer lugar las UM tónicas que corresponden a las fibras musculares lentas (tipo I) y son de menor tamaño, seguidas de las UM fásicas, pero solo

se activan estas últimas próximas a la máxima contracción muscular. Si se precisa un esfuerzo suplementario o si el movimiento es rápido (fuerza explosiva) se pueden activar antes que las tónicas⁶⁷.

La contracción voluntaria (CV) realiza un reclutamiento de las UM asincrónico, es decir, recluta primero unas UM, las de tamaño pequeño y posteriormente activa otras UM reemplazando a las primeras, realizando un reclutamiento por rotación. Esta manera de reclutamiento temporal permite que las fibras musculares se recuperen y se retrase la aparición de la fatiga muscular^{2,89}.

Sin embargo, con la EENM la excitación de las motoneuronas es sincrónico. Se activan las UM principalmente de tamaño grande, produciendo una activación continua de esas fibras musculares durante la estimulación eléctrica, favoreciendo una fatiga mayor y más rápida del músculo².

La EENM produce un reclutamiento espacial de las fibras musculares ya que recluta a las mismas fibras musculares superficiales en la totalidad de la duración de esa estimulación generando una fatiga más rápida que la CV al precisar de una elevada demanda energética².

A una misma intensidad y duración de la estimulación con EENM la fatiga muscular es superior a la provocada por la CV y más selectiva ya que implica a las UM grandes que son las que poseen los axones de mayor diámetro siendo más fácilmente excitables por la corriente eléctrica. Por ello, la EENM puede provocar mayor daño muscular que la CV⁸⁹ (VER RME).

1.3.5. INDICACIONES DE EENM

Se puede resumir que la EENM parece estar indicada para:

A. En el **campo de la rehabilitación** para restablecer las propiedades musculares perdidas a consecuencia de una lesión o cirugía⁸⁹, por varias razones:

- Retrasa la aparición de la atrofia muscular debida a estados prolongados de inmovilización de diferente etiología^{2,91,93}.
- Produce una disminución menos acusada de la fuerza muscular por la denervación o por la inmovilización incluso se obtienen ganancias de fuerza muscular más rápido si es aplicada en las etapas iniciales del tratamiento de fisioterapia posterior a la cirugía⁹³.
- Al limitar los procesos de atrofia y debilidad muscular propios de la inmovilización también hay un menor deterioro de las habilidades funcionales de la persona⁹¹.
- Pueden inducir alivio del dolor debido a que no solo estimulan las terminaciones nerviosas motoras que activan las fibras musculares, sino que también estimulan los receptores nociceptivos, es decir, las vías aferentes del dolor^{67,93}. Alivio del dolor aparentemente por la “teoría del control de la puerta” de Melzack y Wall (1965)⁹³.
- Uso como método de fortalecimiento muscular preoperatorio².

B. En el **campo deportivo** para mejorar la fuerza muscular y sus manifestaciones, fuerza máxima, fuerza explosiva y fuerza de resistencia⁶⁷. Mejora del rendimiento deportivo de alto nivel que requiere altos niveles de fuerza y potencia muscular mediante el trabajo de las UM fásicas².

En el caso de deportistas lesionados permite acortar el tiempo de recuperación y una vuelta a la competición más segura⁹³.

Existe cierta controversia en la literatura científica sobre ciertos efectos de la EENM en el organismo, en especial con la ganancia de fuerza. Esta controversia puede ser debida a la falta de homogeneidad de los parámetros de las corrientes utilizadas en los estudios científicos y su escasa reproducibilidad de resultados.

En diversos estudios realizados en personas con musculatura sana no se han obtenido mayores ganancias de fuerza muscular con EENM que con el entrenamiento convencional de alta intensidad, realizando ejercicios de máxima contracción muscular⁹³.

Si parece que se obtiene una ganancia de fuerza adicional con contracciones submáximas mediante EENM debido a que se produce la activación de mayor cantidad de fibras tipo II a intensidades submáximas que con el ejercicio físico a esa misma intensidad⁹¹.

Además, el entrenamiento convencional a alta intensidad no parece obtener mayores ganancias de fuerza en comparación con el entrenamiento con EENM de baja intensidad. Lo cual adquiere una gran importancia para mejorar la fuerza y la función muscular en poblaciones que por diversas circunstancias no pueden realizar ejercicio físico de alta intensidad o de alto volumen para producir determinadas adaptaciones musculares, no pudiéndose beneficiar de los efectos del entrenamiento convencional^{2,91} como por ejemplo, las personas de edad avanzada, pacientes neurológicos, con patologías cardiovasculares o respiratorias, sarcopenia, obesidad sarcopénica o mujeres menopáusicas².

También sería interesante su aplicación para fortalecer la musculatura que por sus características biomecánicas es más difícil obtener una contracción muscular máxima como puede ser el tríceps sural, los paravertebrales o la musculatura de la pared abdominal anterolateral, especialmente, la musculatura profunda (TrA)⁹¹.

Por tanto, cuando se trata de musculatura sana, la EENM constituye más bien un complemento al ejercicio físico convencional que un sustitutivo de este, pero en el caso de músculos lesionados sí que se han observado ciertos beneficios en comparación con el ejercicio voluntario como son la recuperación de la fuerza muscular perdida por una lesión musculoesquelética con dificultad o imposibilidad de realizar una contracción muscular máxima^{91,93}.

Se deberá tener presente que la ganancia de fuerza obtenida con la aplicación de EENM aislada, no es funcional (si no se utiliza disminuye rápidamente) por lo que se deberá combinar el uso de EENM con ejercicio voluntario⁶⁷.

1.3.6. PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN DE EENM

1.3.6.1. EENM LOCAL

La aplicación de EENM puede ser aplicada localmente, en una zona corporal específica, mediante aparatos de Electroterapia con uno o varios canales de salida de la corriente eléctrica, colocando los electrodos de superficie en contacto con la piel produciendo la estimulación únicamente de las células nerviosas o musculares de esa zona. A este procedimiento de aplicación se denomina EENM local⁵⁷.

En este caso, la corriente eléctrica circula de forma local entre los polos positivo y negativo que se encuentran situados en el mismo vientre muscular⁵⁴.

Si los electrodos de superficie se colocan en el punto motor del músculo diana, será necesaria una menor corriente eléctrica para provocar una contracción muscular visible⁹⁴.

1.3.6.2. EENM GLOBAL

La corriente eléctrica puede ser aplicada de forma global o integral mediante los dispositivos de Electroterapia WB-EMS, también conocidos como electrofitness, electroestimulación integral o biotrajés. Hoy en día no existe una definición formal de WB-EMS.

Kemmler et al., (2020) proponen la siguiente definición de WB-EMS: “la aplicación simultánea de estímulos eléctricos a través al menos de 6 canales de corriente o la participación de todos los grupos musculares principales, con un impulso de corriente eficaz para desencadenar las adaptaciones musculares”⁹⁵.

Los trajes o chalecos están conectados a diversos electrodos que simultáneamente estimulan entre 14-18 regiones corporales (muslos, brazos, nalgas, abdomen, pecho, zona espalda baja, dorsal ancho y 4 opciones libres) con un área total de estimulación de 2800 cm², permitiendo ajustar diferentes intensidades de estímulo para cada región^{54,96}.

Esta estimulación simultánea de las áreas corporales permite a los músculos agonistas y antagonistas activarse al mismo tiempo, pudiendo entrenar de forma más funcional al poder ejercitar cadenas musculares completas⁹⁷.

A diferencia de la aplicación local donde se colocan el polo negativo y positivo en el mismo vientre muscular circulando la corriente entre ellos de forma local, la aplicación global con este dispositivo se realiza a través de la colocación de los electrodos negativos en una de las mitades del cuerpo y los positivos en la otra mitad, por lo cual la corriente viaja de una parte del cuerpo hacia la otra atravesando los diferentes tejidos y órganos del cuerpo⁵⁴; hecho que se ha de tener en cuenta a la hora de utilizar estos chalecos con especial precaución en la zona torácica.

Su manejo se realiza a través de un software, pudiendo modificar los parámetros de estimulación y la intensidad de cada canal de forma analítica⁴. Los primeros trajes estaban conectados mediante cables a una consola, evolucionando a inalámbricos gracias a una batería que permite un número de horas de autonomía sin necesidad de conexión a la consola o a un dispositivo de EMS⁵³. El dispositivo empleado en este estudio pertenece a la primera empresa que desarrollo el concepto inalámbrico, lanzando al mercado un traje que permite realizar el protocolo EMS con el control de los parámetros a través de una Tablet por vía Wifi. Se trata de la empresa húngara de EMS (Budapest): Justfit⁹⁸.

Es un método de entrenamiento eficiente en cuanto a la relación tiempo-beneficio^{57,95,99} debido a su capacidad de estimular simultáneamente grandes áreas musculares y con diferentes intensidades de estímulo. Además, permite entrenar con cargas de trabajo submáximas con bajo esfuerzo voluntario^{57,95} y posee una alta tasa de aceptación incluso en individuos no entrenados⁹⁹.

Por tanto, la WB-EMS podría ser un método de entrenamiento alternativo de gran eficacia para las personas que disponen de poco tiempo para realizar ejercicio físico o que presentan incapacidad, dificultad o falta de motivación para realizar ejercicio de forma convencional⁹⁵.

Por ejemplo para personas con determinadas patologías o de edad media/avanzada que no pueden realizar ejercicios con la cantidad de esfuerzo adecuado para que se produzcan las adaptaciones necesarias¹⁰⁰ y no alcanzan la dosis de ejercicio recomendada para mejorar la salud, personas que no están motivadas para llevar a cabo entrenamientos intensos de resistencia⁵⁶ o en el caso de los deportistas, como entrenamiento complementario del ejercicio voluntario¹⁰¹ o protocolos de entrenamiento alternativos relacionados con la fuerza y la potencia que ahorren tiempo⁹⁵.

Determinadas características propias de esta tecnología innovadora como son su eficacia en cuanto al tiempo, la facilidad de manejo y aplicación, altamente individualizadas y realizadas con una adecuada supervisión^{56,102}, hacen que sea una alternativa óptima de entrenamiento para mantener o mejorar la salud y el bienestar físico⁵⁷.

Sin embargo, la aplicación global de EENM debido a su capacidad de estimular simultáneamente grandes áreas corporales y con diferentes intensidades de estímulo conlleva, además de las contraindicaciones (CI) propias de la EENM local, una serie de CI propias debido a afecciones de tipo sistémico como la Diabetes Milletus (VER CI WB-EMS) y el riesgo inherente de un sobreesfuerzo que podría conducir a una Rabdomiólisis por esfuerzo (RME) grave, al menos tras una aplicación inadecuada^{57,101}, como se ha expuesto en el apartado correspondiente a la RM por WB-EMS (VER RME POR WB-EMS).

a) NORMATIVA SOBRE EL USO DE WB-EMS

La aparición de complicaciones en la salud de los usuarios de WB-EMS derivó en la necesidad de regular su uso dando lugar a la publicación de varias normas para llevar a cabo una aplicación eficiente y con absoluta seguridad.

Se publicó en Alemania la norma de industria alemana DIN 33961-5, aprobada el 1 de marzo de 2019, con la finalidad de regular el uso de WB-EMS en instalaciones no médicas y comerciales. La norma DIN 33961 hace referencia a los gimnasios, requerimientos de equipamiento y funcionamiento de estos – parte 5: entrenamiento de EMS con especificaciones prácticas sobre la supervisión y aplicación de esta tecnología. Por primera vez aparecen escritas las CI tanto relativas como absolutas para la aplicación de WB-EMS con el fin de garantizar la seguridad de los usuarios de estos entrenamientos a nivel comercial⁵⁷ (VER CI WB-EMS; TABLA 8).

El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) en 2018, incluyó el WB-EMS en los Estatutos alemanes de Protección contra la Radiación (NisV), con entrada en vigor en enero de 2021, con el objetivo de regular el funcionamiento general, la documentación de las sesiones y la cualificación de los instructores que utilizan WB-EMS a nivel comercial con fines no médicos. No hace referencia a las CI y efectos adversos, ni a la supervisión y aplicación de la electroestimulación global⁵⁷.

En diciembre de 2015 se constituyó una mesa redonda de WB-EMS en Alemania por el consorcio nacional de científicos e instituciones u organizaciones educativas, publicando en abril de 2016, una guía para la seguridad y eficacia del entrenamiento con WB-EMS (TABLA 6)¹⁰².

▪ GUÍA PARA LA APLICACIÓN DE WB-EMS SEGURA Y EFECTIVA

Esta guía recoge aspectos sobre la eficacia y seguridad en la preparación, aplicación y seguimiento de las sesiones de entrenamiento con WB-EMS como son la necesidad de

una supervisión adecuada y constante de los usuarios por parte del instructor, el cual deberá poseer una licencia o certificado de que estar debidamente cualificado para impartir dichos entrenamientos y se deberá realizar el pertinente acondicionamiento de los principiantes, en las primeras sesiones de entrenamiento con WB-EMS. Son recomendaciones generales que deberán ir siendo modificados o ampliados a medida que aumente el conocimiento sobre la aplicación de estos dispositivos (TABLA 6)¹⁰².

TABLA 6. Guía para la aplicación de WB-EMS segura y efectiva.

GENERAL
<ol style="list-style-type: none">1. El Entrenamiento de WB-EMS seguro y efectivo debe ser aconsejado y acompañado por un entrenador de WB-EMS entrenado y licenciado o personal con formación científica familiarizado con este campo de aplicación.2. Antes de la primera sesión de entrenamiento de cada principiante, se debe hacer una anamnesis de posibles contraindicaciones basada en una lista de preguntas y se debe documentar por escrito, confirmada por la firma del cliente y archivada. Cuando se encuentren anomalías relevantes, se consultará a un médico y sólo se iniciará el entrenamiento si se ha dado la autorización.
PREPARACIÓN PARA EL ENTRENAMIENTO
<ol style="list-style-type: none">1. Como con cualquier tipo de entrenamiento intensivo, el entrenamiento de WB-EMS sólo debe realizarse en una buena condición física y libre de dolor. Esto incluye abstenerse de alcohol, drogas, estimulantes/relajantes musculares o estrés antes de la sesión de entrenamiento. El entrenamiento nunca debe ser realizado por alguien que sufra una enfermedad con fiebre.2. El entrenamiento de WB-EMS conduce a un estrés metabólico muy alto del organismo debido al gran volumen de masa muscular abordado. Este factor debe tenerse en cuenta mediante una ingesta suficiente de alimentos con el mayor contenido posible de carbohidratos. Si esto no es posible, entonces se debe comer al menos un bocadillo alto en carbohidratos, pero ligero ($\approx 250\text{kcal}$), idealmente unas 2 horas antes del entrenamiento.3. Para evitar un posible estrés renal (especialmente con problemas no diagnosticados) a través de un WB-EMS intensivo, se deben consumir líquidos adicionales antes/durante y después del entrenamiento (500ml cada uno).4. En general, se recomienda la consulta y la aclaración médica - idealmente en Medicina deportiva - en caso de cualquier malestar, restricciones físicas, infecciones u otras enfermedades internas, cardiológicas u ortopédicas.
ENTRENAMIENTO
<ol style="list-style-type: none">1. Independientemente del estado físico, la experiencia deportiva y los deseos del usuario a tal efecto, en ninguna circunstancia podrá realizarse el entrenamiento del WB-EMS hasta el

agotamiento durante la primera sesión de entrenamiento o el entrenamiento de prueba. En el pasado, esto ha dado lugar a efectos secundarios no deseados y a consecuencias negativas para la salud y debe evitarse a toda costa.

1. Después de un WB-EMS inicial moderado, el nivel de estimulación o corriente debe ser sucesivamente aumentado y adaptado a los objetivos individuales. El nivel más alto debe ser alcanzado sólo después de 8-10 semanas de entrenamiento sistemático como mínimo (percepción de esfuerzo subjetivo del usuario: duro-duro+). Por lo general, debe evitarse el entrenamiento hasta el agotamiento completo, especialmente en el sentido de un tétanos doloroso y continuo durante la fase de corriente.
2. Además, el entrenamiento inicial debe realizarse con un período de entrenamiento efectivo reducido. Lo aconsejable es una familiarización con los impulsos de 5min y una sesión de entrenamiento reducida con una intensidad de estímulo moderada (percepción de esfuerzo subjetivo del usuario: un poco dura) y una carga intermitente de 12min con una fase de impulso corta (~4s). Sólo entonces se debe aumentar cuidadosamente la duración del entrenamiento y nunca exceder los 20min.
3. Para asegurar un acondicionamiento suficiente y para minimizar o descartar posibles problemas de salud, la frecuencia de entrenamiento no debe exceder una unidad de entrenamiento por semana durante las primeras 8-10 semanas.
4. Incluso después de esta fase de acondicionamiento, debe mantenerse un intervalo de ≥ 4 días entre las unidades de entrenamiento para evitar la acumulación de productos de degradación muscular, permitir la regeneración y la adaptación y asegurar así un resultado de entrenamiento satisfactorio.

ASPECTOS DE SEGURIDAD DURANTE Y DESPUÉS DEL ENTRENAMIENTO

1. Durante la sesión de entrenamiento, el entrenador o el personal entrenado y cualificado debe concentrarse exclusivamente en los intereses del usuario o usuarios. Antes, durante y después del entrenamiento, el instructor verificará verbal y visualmente el estado del usuario a fin de descartar riesgos para la salud y garantizar un entrenamiento eficaz. El entrenamiento debe interrumpirse inmediatamente si hay alguna contraindicación.
2. Durante el entrenamiento, los controles de funcionamiento del equipo deben estar directamente al alcance del entrenador y del usuario en todo momento. El manejo/ajuste debe ser sencillo, rápido y preciso.
3. En realidad, generalmente aconsejamos no usar la tecnología en privado sin el apoyo de un entrenador/instructor cualificado y licenciado o del correspondiente personal científicamente instruido.

b) RECOMENDACIONES PARA UN USO EFICAZ Y SEGURO DE WB-EMS

Por todo lo anterior expuesto, de forma preventiva para la detección temprana de una posible RME por el uso de WB-EMS y ejercicio físico, y por tanto llevar a cabo una aplicación eficaz y segura de esta tecnología en los diferentes usuarios, se pueden concluir las siguientes recomendaciones:

En primer lugar, es esencial que el personal encargado de supervisar las sesiones con WB-EMS será altamente cualificado (Fisioterapeutas y graduados en Ciencias de la Actividad física y el Deporte) así como, sea especializado en esta tecnología con su correspondiente formación en la misma^{102,103}.

El personal responsable deberá informar a los usuarios principiantes de este dispositivo que preste especial atención en los días posteriores a la sesión, por si sufre alguno de los siguientes signos^{103,104}:

- La orina se oscurece, cambiando su color a marrón oscuro.
- Intenso dolor muscular de persistencia mayor a 72 horas.
- Enrojecimiento de la piel, hinchazón local, decoloración y rara vez contracturas en la zona afectada.

Se recomienda también indicar a sus usuarios la importancia de mantener una óptima hidratación antes, durante y después de la sesión con WB-EMS^{103,105,106}.

Realizar una adecuada planificación del ejercicio físico de forma progresiva en cuanto a la intensidad y el volumen de entrenamiento, evitando el aumento de ambos aspectos al mismo tiempo en la misma sesión en personas principiantes o poco entrenadas, lo que puede conllevar a un sobreesfuerzo. En las primeras sesiones de WB-EMS la carga inicial debería ser reducida e ir aumentando la intensidad de forma progresiva en las sesiones posteriores^{107,108}.

Por tanto, evitar el ejercicio exhaustivo en las primeras etapas de empleo de los dispositivos electrónicos de electroestimulación^{105,109}. Debe evitarse la aplicación inicial de WB-EMS hasta el agotamiento¹⁰².

Debería ser un entrenamiento individualizado adaptado al nivel de condición física del usuario y no entrenamientos grupales con el mismo entrenamiento para todos¹⁰³. El instructor debería supervisar al mismo tiempo como máximo a 2 usuarios, proporción instructor/usuarios 1:1 o 1:2 para realizar una adecuada supervisión que permita realizar la retroalimentación del esfuerzo percibido de cada área estimulada¹⁰², supervisión visual permanente con contacto visual y correcciones verbales, reaccionar a los primeros signos de efectos secundarios cardiorrespiratorios o metabólicos y con corte suministro eléctrico en caso de emergencia⁹⁵.

Tener presente que un alto nivel deportivo del individuo no previene la RM por el entrenamiento con WB-EMS; la falta de costumbre al ejercicio combinado con este dispositivo independientemente si los individuos están desentrenados, poco o altamente entrenados puede producir un elevado daño muscular¹⁰⁴. Son necesarias unas semanas de preacondicionamiento o familiarización, de forma gradual, a esta forma de entrenamiento que abarca una gran parte de la musculatura corporal para evitar la aparición de una posible RME¹¹⁰.

Con este tipo de recomendaciones, las sesiones de WB-EMS se llevarán a cabo con mayor seguridad para sus usuarios sin tener consecuencias negativas para su salud.

1.3.6.3. EENM AISLADA, COMBINADA O SUPERPUESTA AL MOVIMIENTO VOLUNTARIO

Ambas formas de aplicación local y global pueden utilizarse de forma aislada, es decir, sin movimiento voluntario, sin movimiento articular; o bien combinarse con el ejercicio físico.

En este último caso, puede aplicarse un método combinado, en el que se llevaba a cabo un trabajo muscular involuntario a través de la EENM y un trabajo muscular voluntario mediante un entrenamiento convencional pero no realizados al mismo tiempo; o bien, un método superpuesto, en el que la EENM se superpone al movimiento voluntario, realizándose a la vez, de forma simultánea la contracción muscular artificial y la voluntaria; pudiendo combinarse con ejercicios estáticos, de contracción isométrica o con ejercicios dinámicos. La aplicación simultánea de EENM con ejercicios dinámicos se denomina EENM dinámica.

c) USO COMBINADO DE EENM Y EJERCICIO VOLUNTARIO

El empleo de la Técnica Combinada (TC), EENM y CV simultáneas, produce una serie de efectos en poblaciones sanas o deportistas en función del tipo de entrenamiento físico utilizado⁸⁹.

A nivel de las adaptaciones musculares para la ganancia de fuerza muscular, se han obtenido mejores resultados con la TC que el uso de las dos técnicas por separado, con unos efectos más pronunciados en la sección transversal del músculo en comparación con la CV⁸⁹.

En los movimientos voluntarios las ganancias de fuerza están condicionadas por el tipo de contracción muscular que se realiza (isométrica o dinámica) y con un alto grado de especificidad del entrenamiento (posición articular, velocidad...)⁹³. En cambio, con la TC se producen mejoras de la fuerza muscular en todos los tipos de CV (isométrica, isocinética o excéntrica)⁸⁹.

La aplicación de EENM aislada no produce la activación de los músculos sinérgicos ni de la musculatura antagonista por lo que no se produce un beneficio en la coordinación neuromuscular⁹³. Sin embargo, con la TC si se produce la activación de esta musculatura al realizar simultáneamente movimientos complejos permitiendo ajustar el control motor⁸⁹.

La TC, a un nivel deportivo de élite, permite trabajar con un alto porcentaje de fibras musculares debido a que el reclutamiento espacial es supramáximo y al combinarse la EENM con el ejercicio permite la obtención de ganancias de fuerza en todos los ángulos, pudiendo trabajar con cadenas musculares completas con un nivel mayor de sollicitación propioceptiva⁴². De esta manera, se mejora la actividad neuromuscular del deportista sin interferir en su entrenamiento⁸⁹.

Diversos autores abogan por el uso de la TC; algunos opinan que se produce el reclutamiento de un mayor número de fibras musculares al sumarse la CV y la contracción evocada por la EENM que de forma aislada; ya que, en las primeras repeticiones del ejercicio físico, los potenciales de acción son de origen predominantemente voluntario generados por el cerebro, pero en las últimas repeticiones, un alto porcentaje, son generados por el electroestimulador. De esta manera, en el mantenimiento de la contracción muscular solamente influye la fatiga muscular y no la fatiga psíquica⁴².

Otros autores opinan que al combinarse con la EENM podrían producirse adaptaciones neurales al reclutar mayor número de UM grandes que son difíciles de activar durante la CV, mejorando su sincronización artificial⁸⁹.

d) PROTOCOLO DE ENTRENAMIENTO CON WB-EMS

Se realizan sesiones supervisadas de entrenamiento activo⁵⁶, es decir, el usuario acompaña la activación neuromuscular con diferentes actividades o ejercicios dirigidas por un instructor o entrenador⁵³.

Los parámetros de estimulación utilizados en la mayoría de los estudios disponibles en la literatura científica actual son:

La duración de las sesiones es de entre 16- 45 min⁵⁶, recomendando entre 20-25 min y se pueden realizar de 1 a 2 sesiones semanales, máximo 3 sesiones semanales en deportistas^{4,53}.

El volumen total de entrenamiento a la semana varía desde 20 min hasta 90 -120 min/semana y la duración total del entrenamiento entre 6 semanas y 12 meses^{4,56}.

Corriente de impulsos bipolares, rectangulares, con frecuencia de impulso de 80-85 Hz, denominada “Baja frecuencia”, y una amplitud de pulso de 350 μ s.

Corriente discontinua con 4 o 6 s de impulso durante el ejercicio/movimiento y 4 s de descanso entre ejercicios/movimientos^{4,56}.

La intensidad de trabajo se estima a través de la escala de Borg, esfuerzo percibido por el individuo (RPE), la mayoría situado en la escala “entre duro” y “muy duro” una vez finalizado el período de familiarización^{4,56}.

1.3.7. RIESGOS PARA LA SALUD POR USO INADECUADO DE EENM

Las corrientes eléctricas en la EENM pueden conllevar una serie de riesgos o efectos adversos, entre los que se incluyen la irritación de la piel incluso con algunos tipos de corrientes eléctricas, quemaduras cutáneas, debidos a una inadecuada colocación de los electrodos o de la intensidad de los impulsos eléctricos, un choque eléctrico o interferencias con dispositivos médicos implantados, por lo que hay que tener especial precaución en áreas sensibles o cercanas al corazón y con la utilización de electrodos de aspiración, que pueden provocar lesiones en la piel o hematomas¹¹¹.

Algunas personas pueden experimentar molestias o sensaciones incómodas durante la EENM como, por ejemplo, cosquilleo, hormigueo o contracciones musculares intensas pero estos efectos son temporales, desapareciendo después de la sesión de estimulación¹¹¹.

La utilización de parámetros de estimulación inadecuados puede dar lugar a lesiones musculares, a una reducción del flujo sanguíneo a través del músculo y a la fatiga muscular e incluso la aparición de la Rabdomiólisis (RM), considerando como un riesgo grave del uso inadecuado de la estimulación eléctrica¹¹¹.

La RM es “un síndrome caracterizado por la desintegración del músculo esquelético estriado y posterior salida de sus componentes intracelulares al sistema circulatorio por diversas causas, como el esfuerzo, los traumas, las infecciones, las temperaturas extremas, las drogas, las toxinas, las anomalías electrolíticas y endocrinas, y los trastornos congénitos, como las miopatías y los trastornos del tejido conectivo”¹¹².

La rápida destrucción del tejido muscular esquelético estriado provoca la salida del contenido intramuscular (mioglobina, electrolitos, purinas y enzimas como la creatina quinasa) a la circulación sistémica y al espacio extracelular, siendo ese contenido celular potencialmente tóxico para el organismo¹¹². Debido a la destrucción de este tejido, aumenta la concentración de mioglobina en sangre (mioglobinemia) y en la orina (mioglobinuria) siendo una de las causas de producir una posible insuficiencia renal aguda (IRA) a los 3 – 7 días posteriores, en especial en valores superiores a 16 000 IU/L, si no recibe un tratamiento adecuado en ese breve periodo de tiempo. Un inadecuado o nulo tratamiento de la IRA, producirá una insuficiencia renal crónica y en un pequeño porcentaje, la muerte del individuo (10 %)^{103,113}.

El excesivo aumento de la actividad de la creatina fosfoquinasa (CPK) sérica es característico de la RM pudiendo llegar a ser 10 veces superior al límite normal; esta elevación irá seguida de un rápido descenso de esta a valores prácticamente normales¹¹³.

La etiología de la RM es muy variada (ANEXO I), siendo la causa principal, la lesión muscular directa. Las causas más comunes en los adultos son el esfuerzo prolongado durante el ejercicio y el abuso de alcohol, clasificadas dentro de las causas no traumáticas y dentro de las causas traumáticas, los traumas. En las lesiones por aplastamiento, los accidentes de tráfico son los más frecuentes en las causas traumáticas directas¹¹³.

Como se ha comentado anteriormente, una de las posibles causas de producir RM es el ejercicio, por el exceso de actividad muscular, denominándose en ese caso, RME¹¹⁴.

1.3.7.1. RABDOMIÓLISIS POR ESFUERZO (RME)

La realización de un esfuerzo excesivo como pueden ser ejercicios de repetición de larga duración, ejercicios en condiciones ambientales de altas temperaturas, ejercicios intensos y repetitivos de fuerza o entrenamientos militares, pueden derivar en una RME, por lo cual es esencial conocer sus posibles causas y sintomatología para poder prevenir y/o disminuir su riesgo de aparición en la utilización de la EENM¹⁰³.

Las etapas iniciales de un programa de ejercicios en personas no entrenadas o en el caso de estar entrenadas, una sesión extenuante o prolongada sobre todo con alto contenido de ejercicios excéntricos, pueden conllevar a una RME. Por lo tanto, los factores para tener en cuenta a la hora de planificar un programa de ejercicios o de entrenamiento, serían la intensidad, el volumen y el tipo de ejercicio siendo de gran importancia llevar a cabo una progresión adecuada, a lo largo de las sesiones de entrenamiento, de estas variables para minimizar en lo posible el daño muscular¹⁰⁷.

Los síntomas de la RME posteriores a la realización de ejercicio varían entre las personas, siendo los más característicos: el dolor muscular, la debilidad muscular y la orina de color marrón oscuro^{103,105} orina se vuelve de ese color cuando la concentración de mioglobina sérica supera los 100 mg/dL¹⁰³. Si el individuo presenta alguno de estos síntomas (dolor muscular, hinchazón muscular y/o orina marrón oscura) deberá efectuarse la evaluación de una posible RME^{103,114}.

La presencia de dichos síntomas o incluso la ausencia de estos, no tienen una relación directa con la extensión del daño muscular producido, es decir, del alcance de las alteraciones estructurales de los componentes musculares o del tejido conectivo que rodea esas fibras musculares. La sintomatología clásica (triada) se observa únicamente en el < 10 % de los pacientes, y solo refieren síntomas inespecíficos, sin padecer dolor o debilidad muscular, hasta el 50 % de los pacientes^{113,115}.

Los criterios a seguir para diagnosticar una RME son de forma objetiva a través de la medición del nivel de creatina quinasa (CK) sérica o plasmática y de la mioglobina para

determinar su pronóstico, sobre todo en las causas no traumáticas (biomarcadores analizados en laboratorio)¹¹⁵, y de forma subjetiva, por la sintomatología que nos narra la persona ya que no siempre se da todos los síntomas o en igual medida; el ejercicio puede derivar en una RME y solo haber percibido, por ejemplo, el cambio de color de la orina.

Los marcadores del daño muscular según Nosaka (2011)¹¹⁰ relacionados con los síntomas correspondientes a ese daño muscular son: disminución de la función muscular debida a la debilidad muscular, dolor muscular percibido por la persona cuantificado a través de una escala del dolor, disminución del rango de movimiento por el aumento de la rigidez muscular y el aumento del volumen y perímetro muscular a consecuencia del hinchazón muscular. Dichos marcadores pueden ser utilizados por la persona cualificada que supervisa las sesiones de ejercicios con EMS para detectar posibles daños musculares por dicho entrenamiento.

El daño muscular producido por el ejercicio desencadena una serie de reacciones en cascada como es el aumento de la mioglobina en la sangre que conlleva el aumento correlacional de la CPK sérica dentro de las 2 a las 12 horas posteriores al ejercicio; como la tasa de eliminación de la CPK sérica es más lenta que la de la mioglobina, se utiliza como medida para diagnosticar una posible RME¹⁰⁷; la cual se clasifica en función de la elevación de la CPK por encima del valor normal, cuantificado en unidades internacionales por litro (IU/L), en leves, moderadas o graves (TABLA 7)¹⁰³.

TABLA 7. Clasificación de la gravedad de la RM por el nivel de los valores de la CPK en la sangre [Upper limit normal, UNL: límite normal superior].

CLASIFICACIÓN DE LA GRAVEDAD DE LA RM SEGÚN EL NIVEL DE CK SÉRICA		
Normal	1000 IU/L	5X UNL
Medio	2000 IU/L	< 10X UNL
Moderado	2000 – 10 000 IU/L	10 a 50X UNL
Severo	> 10 000 IU/L	> 50X UNL

e) RABDOMIÓLISIS POR EMS

La EMS puede generar daño muscular, ocasionando alteraciones a nivel histológico en las fibras musculares y en el tejido conectivo, con el aumento elevado de la actividad de la CPK sérica, lo que deriva en la disminución de la fuerza muscular y en la aparición de dolor muscular retardado (DOMS). Las características principales del DOMS después de realizar un ejercicio, es que alcanza su máximo nivel entre 1 – 3 días posteriores a la sesión y desaparece entre los 7 – 10 días siguientes y que la persona siente dolor al movimiento y/o a la palpación de la zona afectada¹¹⁰.

Aldayel (2010) demostró que la CK sérica se elevó por encima de 3000 IU/L a las 72 horas siguientes al ejercicio y que el punto máximo del dolor muscular se produjo a las 48 horas posteriores¹¹⁶.

En la literatura científica sobre la RME debida al uso de un estimulador muscular electrónico, el primer caso documentado (a través de una carta escrita por Guarascio en 2004) de RME fue en abril de 2002 al utilizar este dispositivo en las sesiones domiciliarias mientras realizaba una serie de ejercicios sin ningún tipo de supervisión.¹¹⁷.

Un caso más actual de RME por el uso de un dispositivo electrónico combinado con el ejercicio físico fue en 2015, dado a conocer a través de la publicación de una carta redactada por Guillén Astete CA et al., en la que exponía el caso de una mujer deportista con dolor muscular y aumento del volumen en las extremidades inferiores después de realizar una sesión de entrenamiento con un pantalón corto de EMS¹⁰⁵.

Se observan diferentes repercusiones en el daño muscular producido por la realización de ejercicio físico voluntario exclusivamente o por la combinación de ese ejercicio físico con la electroestimulación en función de la contracción muscular principal de dichos ejercicios físicos. Los ejercicios basados en contracciones isométricas realizados con EMS se asemejan a los ejercicios de contracción excéntrica voluntarios sin estimulación eléctrica en cuanto al daño muscular se refiere¹¹⁰; aspecto a

tener en cuenta en la planificación de las sesiones de ejercicio con EMS, en especial en las etapas iniciales.

Además, Nosaka (2011)¹¹⁰ observó que, en la segunda sesión, el daño muscular inducido por la EMS era menor que en la primera sesión debido al denominado “efecto de combate repetido”¹¹⁸, por la que concluyó que el precondicionamiento de la musculatura atenúa dicho daño muscular^{108,110}.

Se ha observado que, en la repetición de la sesión, la sensibilidad y el dolor muscular al igual que el aumento de la actividad de la CK sérica fue menor en esta segunda sesión, atenuándose los marcadores de daño muscular respecto a la primera sesión^{108,116}.

Ese cierto grado de daño muscular que se produce después de cada sesión de entrenamiento con EMS y que disminuye a medida que se van repitiendo las sesiones podría ser necesario para estimular ciertos cambios en la estructura muscular propios de la adaptación de ese tejido al ejercicio, por lo que no debe considerarse como un aspecto negativo de la EMS¹¹⁰.

Se tendrá presente esta cuestión, para que ese daño muscular sea el mínimo necesario y no produzca consecuencias negativas en la salud de las personas. Se deberá realizar por parte del personal especializado y debidamente cualificado, una adecuada planificación con la introducción gradual de las cargas de trabajo (relación intensidad/volumen) en las diferentes sesiones de entrenamiento¹⁰³.

f) RABDOMIÓLISIS POR WB-EMS

El daño muscular producido por el WB-EMS puede deberse a que este dispositivo es capaz de estimular una gran superficie de masa muscular (hasta 2800cm²)¹¹⁹ y por su combinación con la aplicación de una corriente de alta intensidad y del tipo de contracción muscular del ejercicio físico realizado simultáneamente (principalmente de carga excéntrica), provocando dolor muscular severo y posible RM¹¹³. Una elevada

intensidad del estímulo en las primeras sesiones con principiantes puede dar lugar a efectos secundarios graves, a una RM grave¹⁰⁷.

Se ha contemplado en la literatura científica existente sobre este tema, varios casos de RM por WB-EMS publicados en la última década en los que se observa la elevación de la CK sérica los días posteriores a la sesión^{104,106,108,120}.

El primer caso de RM severa derivado del uso de WB-EMS de la casa comercial MIHA-bodytec (Alemania), se produjo en enero de 2014. La posible causa fue la presencia de una miopatía metabólica subyacente de la persona que realizó la sesión de entrenamiento con esta tecnología. Gracias a la publicación de esta información se concluyó que el uso del sistema MIHA-bodytec está contraindicado en individuos con miopatías previas¹⁰⁶.

En agosto de 2015, acudió un hombre al hospital de Kaplan (Israel) con fuertes dolores musculares posteriores a la realización de una sesión con WB-EMS, diagnosticándole de RM. A raíz de este suceso, en diciembre de 2015, una cadena de televisión pública israelí emitió un documental sobre los peligros potenciales del WB-EMS al poder producir complicaciones severas para la salud de sus usuarios derivadas de una escasa o nula seguridad en su utilización. Gracias a la difusión de este documental por una canal de información, como es la televisión, gran parte de la población israelí fue conocedora de los posibles riesgos secundarios al uso de estos dispositivos y de su sintomatología, como resultante de esta difusión, aquellas personas que tras realizar una sesión de ejercicio físico con WB-EMS tuvieron signos y/o síntomas compatibles con una posible RM pidieron consejo médico, lo cual derivó en el diagnóstico de dos nuevos casos¹²⁰.

Además de proporcionar este conocimiento a la población, puso en alerta a las autoridades correspondientes, como el Ministerio de Salud de Israel en este caso, que el 11 de enero de 2016 advirtió de la necesidad del uso de esta tecnología con total seguridad para el usuario y desaconsejó su utilización en gimnasios y sin supervisión médica¹²⁰.

Teschler (2016) determinó que después de la aplicación de WB-EMS en una sesión inicial de intensidad elevada, la CK sérica aumenta alcanzando el pico máximo a los 3 – 4 días posteriores, pero tras 10 semanas de entrenamiento de una sesión semanal de 20 min, disminuyeron los incrementos de la CK sérica, debido a la repetición del ejercicio. Concluye que es esencial evitar que la primera sesión con esta tecnología sea de una intensidad elevada y que es necesario sesiones iniciales de familiarización a la EENM¹⁰⁸.

Sin embargo, en su estudio, no hubo cambios en el color de la orina de los sujetos a pesar de la elevación de la mioglobina y de presentar RME, ni alteraciones renales que desencadenará en una IRA, posiblemente porque al producirse por el ejercicio exhaustivo, la circulación sanguínea se mantuvo intacta permitiendo que la mioglobina no obstruyera mecánicamente a nivel renal. Tampoco se produjeron alteraciones significativas en el balance electrolítico. Dicho estudio se realizó con sujetos sanos, pero deberemos tener especial precaución en sujetos con algún problema de salud o con baja condición física porque podrían tener consecuencias negativas para su salud, a nivel cardiaco y renal¹⁰⁸.

Se puede decir que la RME tiene más riesgo de producirse en individuos desentrenados o poco acostumbrados a la realización de una sesión de ejercicio intenso o prolongado con WB-EMS, pero también se han recogido casos de este trastorno en deportistas profesionales, es decir, deportistas acostumbrados a las sobrecargas de trabajo.

En octubre de 2014, Kästner et al., publicaron dos casos de RM por WB-EMS de dos futbolistas profesionales jóvenes que después de una sola sesión de entrenamiento con la WB-EMS aumento enormemente la actividad de la CK en su sangre, sin necesariamente presentar fuertes dolores musculares posteriores al ejercicio en uno de los casos¹⁰⁴.

1.3.8. CONTRAINDICACIONES DE EENM

1.3.8.1. CONTRAINDICACIONES DE EENM

Dentro de las CI de la EENM se incluyen las CI generales del uso de Electroterapia⁶⁸ y las CI específicas del sistema musculoesquelético⁶⁷.

A. CONTRAINDICACIONES GENERALES DE LA ELECTROTERAPIA

- Marcapasos o dispositivos electrónicos implantados.
- Osteosíntesis y endoprótesis metálicas.
- Anestesia o hipoestesia de la piel a tratar.
- Neoplasias o tumores.
- Embarazo o metrorragias, en aplicaciones abdominales.
- Trombosis y tromboflebitis.
- Procesos inflamatorios agudos o infecciones locales y generales. Tuberculosis pulmonar.
- Ulceraciones o injerto cutáneo en la zona del electrodo.
- La zona precordial, la de seno carotideo en la parte lateral del cuello y la región temporal deben ser evitadas o tratadas con especial precaución.
- Disfunción mental, falta de control mental o enfermedades neurológicas (epilepsia).

B. CONTRAINDICACIONES ESPECÍFICAS DEL SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO

- Lesiones musculares, tendomiosis, tendinosis.
- Desórdenes articulares agudos con calor y afectación funcional (artritis, bursitis).
- Tejidos no consolidados (fracturas, roturas musculares y ligamentosas).
- Ciertas formas de espasticidad y de miopatías.

1.3.8.2. CONTRAINDICACIONES DE WB-EMS

Las CI publicadas en la norma alemana DIN 33961-5 (TABLA 8)⁵⁷ son específicas para el uso de WB-EMS a nivel no médico con el objetivo de garantizar la seguridad de sus usuarios, en especial las CI absolutas, ya que se considera que en el entorno comercial los grupos son muy heterogéneos, con una alta relación instructor/usuario, no adecuada anamnesis, asesoramiento ni supervisión y sin obligatoriedad de realizar una instrucción ni licencia por parte del personal responsable.

Están basadas en las CI propias de la aplicación de la EMS local (TENS, EENM...) pero además se ha tenido en cuenta la aplicación global del WB-EMS por lo que se han añadido condiciones sistémicas como por ejemplo la Diabetes Milletus⁵⁷.

Ciertas CI absolutas (Diabetes Milletus, etc.) en un entorno clínico con una adecuada anamnesis y supervisión, una proporción instructor/usuarios baja, con conocimientos adecuados sobre WB-EMS por parte de los instructores y una rápida atención médica en caso de emergencia, serían cuestionables ya que al poder seleccionar las zonas de electroestimulación e intensidad de estímulo analíticamente, permite desconectar localmente los electrodos que comprometan algunas de las zonas contraindicadas⁵⁷.

TABLA 8. Contraindicaciones relativas y absolutas para WB-EMS.

RELATIVAS	ABSOLUTAS
<ul style="list-style-type: none">◆ Dolor de espalda agudo sin diagnóstico◆ Neuralgia aguda, hernias de disco◆ Implantes de más de 6 meses◆ Enfermedades de los órganos internos, en particular enfermedades renales◆ Enfermedades cardiovasculares◆ Cetosis del movimiento◆ Mayor retención de líquidos, edemas◆ Lesiones cutáneas abiertas, heridas, eczema, quemaduras◆ Medicamentos correspondientes a las condiciones mencionadas anteriormente	<ul style="list-style-type: none">◆ Enfermedades agudas, infecciones bacterianas, procesos inflamatorios◆ Operaciones realizadas recientemente en áreas de estimulación◆ Arteriosclerosis, trastornos de la circulación arterial◆ Stents y bypass activos de menos de 6 meses◆ Hipertensión no tratada◆ Diabetes mellitus◆ Embarazo◆ Implantes eléctricos, marcapasos cardíacos◆ Arritmia cardíaca◆ Tumor y cáncer◆ Trastornos de la hemorragia, tendencia a la hemorragia (hemofilia)◆ Enfermedades neuronales, trastornos neuronales, epilepsia◆ Pared abdominal y hernia inguinal◆ Influencia aguda del alcohol, las drogas y los intoxicantes

MARCO TEÓRICO

ECOGRAFÍA
MUSCULOESQUELÉTICA

1.4.1. CONCEPTO DE ECOGRAFÍA MUSCULOESQUELÉTICA

La ecografía, también denominada ecosonografía o ultrasonografía, es una técnica de diagnóstico que utiliza ondas acústicas de alta frecuencia – ultrasonidos – para la obtención de imágenes bidimensionales o tridimensionales, gracias al efecto piezoeléctrico de los cristales de su transductor⁵⁸.

Se puede definir literalmente el ecógrafo como una máquina dedicada a la escritura de los ecos ya que proviene de la palabra griega (ἠκhῶ) (-gra-pho) cuyo significado es, respectivamente, eco- y -escritura⁵⁸.

Gracias a los avances tecnológicos de las últimas décadas, hoy en día existen equipos de ultrasonidos más portátiles, con mayores prestaciones y con una calidad de imagen cada vez mejor. En la actualidad, por las características anteriormente mencionadas junto con su inocuidad y con la obtención de la información de forma inmediata, hacen de la ecografía, una prueba complementaria de elección para el diagnóstico y tratamiento de patologías del sistema musculoesquelético⁵⁸.

La ecografía musculoesquelética evalúa las estructuras musculoesqueléticas, es decir, músculos, ligamentos, bursas, tendones, nervios periféricos, articulaciones y cuerpos extraños; la mayoría de estas estructuras son lineales u ovaladas y están localizadas superficialmente por lo que el transductor de elección⁶³, en la mayoría de los estudios, será el lineal^{121,122} y con unas frecuencias entre 3 y 18 MHz⁵⁸.

Incluso con el ecógrafo, muchas de las imágenes de alta resolución de los tejidos blandos superficiales son mejores que las obtenidas con otras pruebas complementarias como la tomografía computarizada (TC) o la Resonancia magnéticas (RM)⁶³.

Por todo lo referido, la ecografía musculoesquelética es una técnica de diagnóstico por imagen cada vez más utilizada en el ámbito médico y en Fisioterapia en el contexto clínico e investigador. Sus ventajas incluyen la capacidad de proporcionar imágenes en tiempo real, su facilidad de uso y su relativa accesibilidad económica en comparación

con otras técnicas de imagen como la resonancia magnética. Sin embargo, también presenta algunos inconvenientes, como la necesidad de un equipo especializado y de profesionales altamente capacitados y las limitaciones en la visualización de ciertas áreas anatómicas.

A continuación, se detallarán con mayor profundidad las ventajas e inconvenientes de la ecografía musculoesquelética.

1.4.2. VENTAJAS DE LOS ULTRASONIDOS

- Inocuidad⁵⁸, no emisión de radiaciones ionizantes^{60,61}.
- Técnica no invasiva^{60,61}.
- Disponibilidad inmediata, obtención de la información al instante⁵⁸ y menor tiempo empleado en las exploraciones comparado con la RM^{60,61}.
- Tecnología de menor coste^{60,61} incluso para el paciente¹²¹.
- Portabilidad⁶¹; los equipos portátiles permiten realizar exploraciones “in situ” en el mundo deportivo^{60,61}.
- No se conocen contraindicaciones por tanto sería una opción para los pacientes con marcapasos en vez de RM^{60,63}. La postura de exploración es de mayor comodidad para el paciente que la adoptada en otras pruebas complementarias y no produce claustrofobia^{60,63}.
- Afectación mínima de los artefactos metálicos en la imagen⁶¹ siendo una alternativa a la RM para pacientes con implantes metálicos^{60,61}.
- Las sondas actuales emiten frecuencias de 7 a 17 MHz⁶⁰ obteniendo imágenes de alta resolución de los tejidos blandos⁶¹ y de estructuras superficiales en comparación con la RM convencional⁶⁰.
- Identificación de determinadas estructuras que la RM no distingue/reconoce bien (calcio intratendinoso o en el cartílago articular)⁶⁰.
- Obtención de imágenes en tiempo real^{60,63}.
- Facilita los estudios dinámicos de las estructuras anatómicas para el diagnóstico de roturas tendinosas y subluxación o luxación de nervios, músculos o tendones⁶⁰.

- Permite explorar rápidamente y comparar con el lado contralateral e interactuar con el paciente durante la obtención de imágenes⁶¹.
- Permite realizar procedimientos ecoguiados: inyecciones, drenaje de hematomas, quistes o gangliones, infiltraciones en bursas o articulaciones^{60,61}...

1.4.3. INCONVENIENTES DE LOS ULTRASONIDOS

- La calidad de los equipos de ultrasonidos es variable y depende del coste económico y de su portabilidad⁶¹. Los equipos portátiles tienen menor calidad de imágenes que los equipos grandes⁵⁸.
- A nivel técnico presentan una limitada penetración en los tejidos y un campo de visión reducido^{61,63}.
- Limitado su uso en pacientes con obesidad ya que la grasa subcutánea atenúa las ondas sonoras^{61,63}.
- No es adecuada para valorar estructuras óseas o intrarticulares (labrum, médula ósea, cartílago o ligamentos intraarticulares)^{61,63}.
- La ecografía sirve para la exploración localizada de ligamentos, músculos, tendones... pero si se precisa de una valoración global de una articulación o del hueso la prueba de imagen idónea es la RM⁶⁰.
- Una evaluación extensa de tobillo, rodilla o cadera requiere un tiempo de exploración elevado^{61,63}.
- La calidad de las imágenes obtenidas y la fiabilidad del estudio dependen del examinador y de su experiencia^{60,61}.
- El explorador debe tener un conocimiento detallado de la anatomía, del aspecto normal y anormal de las diferentes estructuras y de los artefactos ultrasónicos para la correcta realización e interpretación de las imágenes^{60,61}.
- Las adecuadas habilidades de exploración del examinador requieren de una curva de aprendizaje extensa^{60,61}.

1.4.4. FUNDAMENTOS DE LA ECOGRAFÍA MUSCULOESQUELÉTICA

El transductor o sonda es una de las piezas fundamentales del ecógrafo para obtener imágenes de calidad. En el interior de su cabezal, se encuentran cristales piezoeléctricos que son estimulados mediante impulsos eléctricos generados por el equipo central⁵⁸. Al estimular los cristales, se transforma la energía eléctrica en energía mecánica en forma de ondas sonoras sinusoidales que penetran en el interior del organismo a diferentes frecuencias, según las propiedades y grosor de los cristales piezoeléctricos y de los impulsos eléctricos que recibe^{58,61}.

La frecuencia y amplitud de las ondas sonoras resultantes dependerán de la frecuencia y la amplitud de la corriente eléctrica generada para estimular los cristales del transductor⁶¹. Estas sondas acústicas son sonidos inaudibles para el oído humano ya que son de frecuencias superiores a 20 000 Hz y atraviesan estructuras anatómicas de diferente impedancia acústica (órganos, tejidos o fluidos) siendo reflejadas hacia el transductor en mayor o menor medida en función de la resistencia que ofrece esas estructuras al paso del sonido⁵⁸.

Las ondas reflejadas, denominadas ecos, son detectadas por el transductor que actúa como receptor transformando la energía mecánica recibida en energía eléctrica para su procesamiento y transformación, gracias a la unidad de procesamiento central (CPU), en una imagen bidimensional en una escala de grises en el monitor del equipo^{58,61}.

Para obtener imágenes ecográficas de calidad, es necesario colocar el transductor en contacto directo con la piel utilizando geles de ultrasonidos como medios de transmisión de las ondas de sonido hacia el interior del cuerpo⁵⁸.

En la actualidad disponemos de transductores o sondas de baja, media o alta frecuencia en función del rango de frecuencias de trabajo y de diferentes formas de cabezal: lineal, convexa, microconvexa, endocavitarias, sectoriales y 3D (TABLA 9)⁵⁸.

TABLA 9. Tipos de sondas en función de la exploración y su rango de frecuencias.

TIPO DE SONDA	EXPLORACIÓN	RANGO DE FRECUENCIAS
Lineal	Partes Blandas	5 – 20 MHz
Sectorial	Cardíaca y abdominal	3,5 – 5 MHz
Convex	Abdominal general y obstetricia	3,5 – 5 MHz
Intracavitarias	Transrectal o transvaginal	5 – 7,5 MHz

El explorador de ecografía musculoesquelética debe poseer un conocimiento detallado tanto de la anatomía musculoesquelética como de los patrones ecográficos característicos de los tejidos debido a su diferente comportamiento al ser atravesados por las ondas de sonidos para poder identificar y distinguir esas estructuras en las imágenes obtenidas⁶¹.

Asimismo, debe estar familiarizado con los posibles artefactos que puedan aparecer en las imágenes y que no corresponden a una estructura real como son la sombra acústica, la anisotropía o la refracción, para evitar interpretaciones erróneas⁵⁸. Por ejemplo, el refuerzo acústico posterior se produce cuando atraviesa tejidos como los líquidos o la sangre, con baja atenuación del sonido (atraviesa sin dificultad) provocando que las estructuras que están situados detrás se vean más brillantes en la imagen (falso aumento de la ecogenicidad); en cambio el metal, el hueso y el calcio producen una sombra acústica posterior al reflejar todas las ondas sonoras (fenómeno de reflexión muy marcado) dando lugar a una imagen oscura (zona libre de ecos) de las estructuras situadas detrás de ellos^{61,123}.

La posición del explorador y del paciente debe ser lo más cómoda posible. Es primordial que el explorador disponga de unas excelentes habilidades para manejar el transductor y obtener unas óptimas imágenes de forma constante sin perder el contacto de la sonda con el gel y la piel^{60,61}. Para tener una base estable para el control del transductor, realizará un agarre firme con los tres primeros dedos, contactando con la piel el 1º y 3º a ambos lados del transductor^{60,61} realizando 4 movimientos básicos de forma sutil y lenta: inclinación o basculación, deslizamiento, rotación y talonamiento o balanceo^{61,123}.

La ecotextura de una estructura, que se refiere al patrón interno de los ecos dependerá del corte ecográfico que se emplee: longitudinal o transversal. En el corte longitudinal (sagital o anteroposterior), se colocará la sonda de forma longitudinal a la estructura a valorar de manera que los bordes de la sonda estén dirigidos hacia la cabeza y hacia los pies del paciente. En el corte transversal, los bordes corresponderán al lado derecho e izquierdo del paciente⁶². En ambos cortes, las estructuras más superficiales y cercanas al transductor se visualizan en la parte superior de la pantalla y las estructuras profundas, es decir, más distales en la parte inferior¹²³.

Los tejidos se describen según su capacidad de reflejar los ultrasonidos, lo que se denomina ecogenicidad¹²⁴. La ecogenicidad se refiere a la intensidad de los grises del tejido en comparación con las estructuras adyacentes (modo B). Los tejidos pueden ser hiperecoicos (más ecogénicos, imágenes más brillantes o blancas), isoecoicos (con la misma ecogenicidad que los adyacentes, brillo similar), hipoecoicos (menos ecogénicos que las adyacentes, imágenes más oscuras) o anecoicos (sin ecos, imagen negra) (FIGURA 4)¹²⁴⁻¹²⁶.

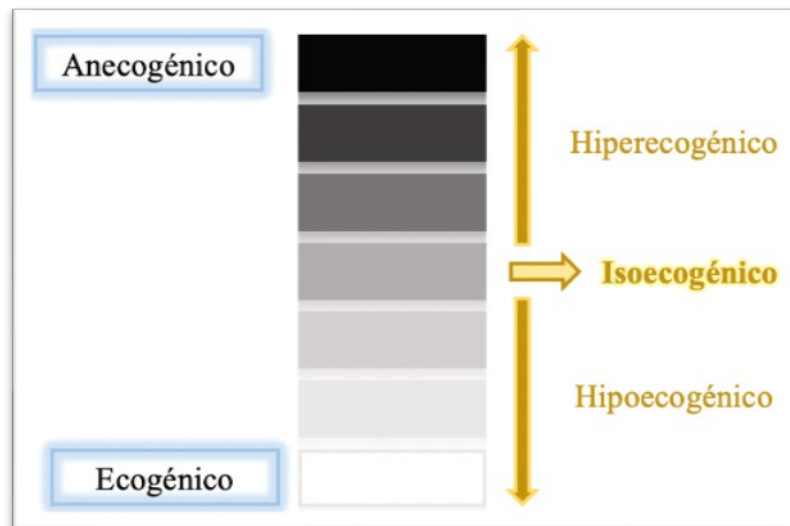


FIGURA 4. Ecogenicidad: escala de grises. El punto intermedio corresponde a isoecogénico y los extremos a ecogénico, hacia blanco (hiperecogénico) y anecogénico, hacia negro (hipoecogénico).

Además, la distribución de sus interfases acústicas en el tejido también puede afectar su ecotextura. Los tejidos pueden ser de ecogenicidad homogénea, con un patrón de

ecos más o menos uniforme (como la dermis) o heterogénea, con un patrón de ecos de diferentes intensidades (como los músculos)¹²⁵.

La imagen ecográfica varía en función de la anatomía de la estructura diana. En el caso del músculo, su ecotextura normal se caracteriza por un fondo de bandas hipoeoicas correspondientes a las fibras musculares, que son ricas en agua, y líneas hiperecoicas que representan los tabiques conectivos fibroadiposos del perimisio que separan las fibras musculares⁶⁰. El tejido hiperecoico dentro del músculo corresponde a grasa¹²². Los tendones intramusculares y las aponeurosis aparecen como bandas hiperecoicas que se visualizan mejor en cortes transversales⁶⁰.

En el corte transversal, el músculo muestra un patrón de ecos característico denominado "en cielo estrellado", con un fondo hipoeoico y una distribución desordenada de pequeñas líneas y puntos hiperecoicos de tamaños variables. En el corte longitudinal, el patrón de ecos se llama "de plumas", con líneas hiperecoicas en disposición paralela hacia la aponeurosis⁵⁸.

Además, los músculos presentan el artefacto de anisotropía, que depende de la colocación de la sonda en relación con la estructura a estudio, especialmente en los cortes transversales^{60,61}. Cuando el haz ultrasónico es oblicuo a la estructura muscular, se observará una imagen más oscura, mientras que, si la sonda se coloca perpendicularmente, la imagen será más brillante⁵⁸.

La proporción de los fascículos musculares (componente hipoeoico) y el tejido conectivo (componente hiperecoico) varía según el tipo de músculo y el estilo de vida del paciente. Si realiza actividad física o deportiva, tendrá menos tejido graso en el interior del músculo en comparación con un paciente sedentario⁶⁰.

La imagen ecográfica del músculo también puede variar según si está en reposo o en contracción. En este último estado, el volumen muscular aumenta aparentemente debido al acortamiento de las fibras musculares, lo que produce un engrosamiento y una apariencia más hipoeoica en general⁶⁰. La contracción y el ejercicio también aumentan

la hipoecogenicidad del músculo debido a los haces de las fibras musculares y al aporte sanguíneo suministrado durante el ejercicio¹²².

En cuanto a los modos de registro de los ecos para su representación gráfica en pantalla, existen diferentes opciones. El modo A (Amplitud) registra la amplitud de los ecos en función de la profundidad, lo que permite obtener información sobre la distancia y la ubicación de las estructuras en el cuerpo. El modo M (Movimiento) registra los cambios en el movimiento de las estructuras en tiempo real, lo que resulta útil para evaluar la función cardíaca y el movimiento fetal. El modo Doppler utiliza el efecto Doppler para detectar el flujo sanguíneo, y puede presentarse en diferentes formatos, como el Doppler color^{62,123}. Finalmente, el modo 3D (tridimensional) proporciona una imagen volumétrica de las estructuras en el cuerpo⁶².

Para la realización de la presente investigación, se seleccionó el modo B (Brillo) (VER MATERIAL Y MÉTODOS), ya que genera una imagen bidimensional en escala de grises en la pantalla del monitor. Los ecos reflejados se registran como puntos luminosos de brillo variable, en función de la intensidad de los ecos y las interfaces que se estén explorando^{62,123}.

Las sondas utilizadas suelen incluir un marcador o señal luminosa en uno de sus laterales, que se relaciona con una marca en la pantalla. De esta manera, se facilita la comprensión de las imágenes con diferentes cortes ecográficos y se pueden obtener referencias anatómicas adecuadas. La marca de la pantalla puede situarse en el extremo superior izquierdo o derecho, dependiendo de las preferencias del usuario^{62,123}.

Para obtener imágenes óptimas de la estructura diana de este estudio, se han utilizado varios parámetros ecográficos. En primer lugar, la frecuencia del transductor se ajusta según la profundidad de la estructura que se va a explorar. Los transductores de baja frecuencia permiten la visualización de estructuras más profundas, pero con una menor precisión y calidad de imagen. Los transductores de alta frecuencia, por otro lado, tienen una mayor resolución de imagen, pero una menor capacidad de penetración⁵⁸. Para explorar las estructuras musculoesqueléticas sobre todo superficiales, se utilizan

los transductores lineales de alta frecuencia (7-12 MHz), mientras que para las estructuras más profundas se emplean los transductores curvilíneos de baja frecuencia (5 MHz)^{60,122}.

Otro parámetro es la ganancia, que permite amplificar las señales eléctricas reflejadas en los tejidos y recogidos por el transductor y aumenta el brillo de las imágenes en el monitor y la profundidad que se ajusta según la posición de la estructura de estudio, con una menor profundidad, la imagen será más amplia al aumentar el zoom y viceversa a mayor profundidad. También se utiliza la posición del foco para que la máquina destine la mayoría de los recursos a la estructura objeto y así obtener la mejor imagen posible de esa zona⁵⁸.

Los controles de la máquina para la obtención y medición de las imágenes ecográficas incluyen la pausa (*freeze*) para congelar la imagen y hacer mediciones, la opción de guardar (*save*) para almacenar las imágenes o videos en el dispositivo de almacenamiento del equipo, el sistema de *cine-loop* o *cine-review* para revisar las imágenes anteriores almacenadas en la memoria de imágenes, y la herramienta de medición (*measurement caliper*) que se utiliza para hacer mediciones generalmente con la imagen congelada. Las mediciones se realizan mediante la colocación de dos marcadores en forma de cruz (*calipers*) para medir áreas, perímetros de superficie, volúmenes y distancias entre dos puntos. Se pueden hacer múltiples mediciones dentro de una misma imagen y se pueden comparar con la parte contralateral si es necesario^{62,123}.

1.4.5. APLICACIONES CLÍNICAS DE LOS ULTRASONIDOS

La finalidad de la ecografía musculoesquelética es la obtención de imágenes de las estructuras musculoesqueléticas para diagnosticar patologías o para guiar de forma precisa las agujas de los procedimientos intervencionistas en tiempo real⁶¹.

Diagnosticar cambios patológicos y tratamiento de los tejidos blandos como patologías deportivas¹²², evaluación de nervios, tendones, ligamentos y músculos

(atrofia, inflamación, infecciones, avulsiones, hernias o tumores musculares)¹²⁴, acumulaciones de líquido y masas en tejidos blandos⁶³, derrames articulares y sinovitis, presencia o ausencia de flujo sanguíneo en el tejido (técnica Doppler)¹²⁴, identificación de vasos sanguíneos durante los procesos de intervención, etc⁶¹.

En traumatología deportiva, permite la clasificación de las lesiones de los tejidos blandos con el fin de orientar el tiempo de reposo necesario y el tiempo de vuelta al entrenamiento y a la competición en pacientes que realizan actividad física o deportiva¹²².

1.4.5.1. TÉCNICA REHABILITATIVE ULTRASOUND IMAGING

La ecografía se ha utilizado desde la década de 1980 por los fisioterapeutas en la rehabilitación musculoesquelética. En el simposio de San Antonio, Texas, en mayo de 2006, se elaboraron unas directrices de buenas prácticas para el uso de la técnica *Rehabilitative Ultrasound Imaging* en los músculos abdominales, pélvicos y paraespinales y se acordó el uso del término RUSI^{127,128}. Definiéndose como “un procedimiento utilizado por los fisioterapeutas para evaluar la morfología y la función de los músculos y de los tejidos blandos relacionados durante el ejercicio y las tareas físicas”¹²⁹.

Esta técnica se ha convertido en una herramienta esencial en la rehabilitación musculoesquelética, ya que proporciona una valiosa información adicional sobre el estado de los músculos y su capacidad para contraerse durante tareas voluntarias y automáticas, así como sobre la coordinación de la actividad muscular en dichas tareas. Además de la imagen diagnóstica (lesiones o enfermedades en los tejidos ligamentosos, tendinosos y musculares), la ecografía tiene las siguientes aplicaciones en rehabilitación: evaluación de la estructura – morfología, de su comportamiento y como mecanismo de bioalimentación¹²⁸. El modo B es el más utilizado en la aplicación de RUSI en rehabilitación.

Es una técnica de biofeedback utilizada en intervenciones terapéuticas para proporcionar retroalimentación al paciente y al fisioterapeuta con el fin de mejorar la eficacia del ejercicio¹²⁷.

RUSI es una herramienta válida para medir el tamaño de los músculos del tronco y la activación muscular en contracciones submáximas, aunque su capacidad de medición de la actividad muscular depende del músculo que se mide, la tarea realizada y la intensidad de la contracción¹³⁰. Esta técnica tiene una buena fiabilidad intra e interclase ($ICC > 0,90$)¹³¹, y con un buen entrenamiento en la técnica, los evaluadores con menos experiencia pueden evaluar los músculos del tronco de forma fiable (ICC 0,86 a 0,94)¹²⁹. Se obtuvo que el error estándar de medición disminuyó un 50% cuando se utilizó el promedio de 3 medidas en comparación con una sola medida^{84,130}.

RUSI es eficaz para evaluar la morfología y el comportamiento o función de los músculos de la pared anterolateral abdominal, incluido el TrA, que es un músculo de gran importancia en el tratamiento con ejercicios y el control motor del dolor lumbar y pélvico. versatilidad a la hora de evaluar los músculos en muchas posturas y durante tareas funcionales (cuadrupedia, sentado, de pie, caminando)¹³². La técnica también se utiliza para proporcionar información adicional sobre el estado de reposo de los músculos, la capacidad del paciente de contraer los músculos durante tareas voluntarias y automáticas, y la coordinación de la actividad muscular en dichas tareas¹³³.

En la evaluación y entrenamiento ecográfico de los músculos abdominales, es necesario tener una buena comprensión de la anatomía para generar e interpretar las imágenes ecográficas óptimas. Se deben considerar factores como la forma, el tamaño, la profundidad, el origen e inserción del músculo y la orientación de las fibras. Independientemente de la ubicación de la imagen, el transductor de ultrasonidos se orienta transversalmente. Además, la medición del grosor de los músculos abdominales laterales depende de la ubicación donde se realiza la medición a lo largo del músculo y el punto del ciclo respiratorio. la respiración puede afectar la medición, ya que el grosor de TrA y OI puede aumentar durante la espiración, ya que son músculos respiratorios accesorios. Los músculos son más gruesos durante la espiración que en la inspiración,

se ha propuesto realizar la medición al final de la espiración relajada cuando los músculos respiratorios se relajan^{70,84,134}.

La prueba TEPE se puede utilizar para evaluar la activación automática de los músculos abdominales laterales, lo que permite detectar una actividad disminuida o no tónica de la musculatura. Esto puede indicar una deficiencia en el control motor o en la capacidad del músculo y/o fascia del TrA, incluyendo ausencia, retraso observable o pérdida prematura, es decir, una relajación antes de bajar la extremidad, así como una posible hiperactividad, que es una respuesta excesiva con incapacidad para relajarse completamente después de la tarea⁷⁰.

Para concluir, la RUSI tiene un papel importante en la aplicación de intervenciones terapéuticas para mejorar la función neuromuscular, proporcionando información en tiempo real tanto al paciente como al fisioterapeuta para mejorar los resultados clínicos. Esta técnica permite ver una contracción muscular y su impacto en las estructuras adyacentes, así como, explicar y analizar la contracción muscular. Además, RUSI en investigación, ayuda a fundamentar la práctica clínica. Siendo esencial estandarizar los procedimientos de imagen y medición, incluyendo la definición del lugar de medición, de los límites del músculo, repeticiones de las mediciones, la posición del paciente, la ubicación del transductor, la orientación y presión y los puntos de referencia óseos o fasciales para las mediciones en los diferentes momentos¹²⁸.

CAPÍTULO II

ESTUDIO EXPERIMENTAL

2.1. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tiene como objetivo principal analizar los efectos inmediatos de una única sesión de EMS dinámica sobre la musculatura abdominal y su influencia en determinados parámetros fisiológicos como la FC. Asimismo, evaluar las posibles diferencias entre su aplicación local (EMS) o global (WB-EMS) en individuos sanos.

La EMS consiste en la aplicación de corrientes eléctricas con la finalidad de producir una contracción muscular visible⁸⁹. Es una técnica ampliamente empleada en el campo de la rehabilitación y del entrenamiento deportivo por su utilidad para prevenir la atrofia muscular, mejorar la fuerza muscular, reducir el dolor o mejorar la función muscular en diferentes patologías^{2,3}

Este aumento de la fuerza muscular puede lograrse mediante EMS o mediante el ejercicio físico, pero según la evidencia, se obtienen mejores resultados cuando ambos se realizan conjuntamente que por separado⁸⁹. La combinación de la EMS de forma simultánea al ejercicio físico se denomina EMS dinámica y puede aplicarse de forma local o global¹³⁵.

La EMS local se aplica en una zona específica del cuerpo, estimulando solamente las células nerviosas o musculares de esa zona. La corriente eléctrica circula localmente entre los polos positivo y negativo que se colocan en el mismo vientre muscular⁵⁴. Se necesita menos corriente para provocar una contracción muscular visible si los electrodos de superficie se sitúan en el punto motor del músculo diana⁹⁴.

La EMS también puede aplicarse de forma global mediante WB-EMS. Estos dispositivos permiten estimular al mismo tiempo, una gran superficie muscular (2800 cm²)¹¹⁹, siendo el entrenamiento más funcional, ya que estimula tanto a los músculos agonistas como a los antagonistas⁹⁷. En este caso, los electrodos negativos se colocan en una mitad del cuerpo y los positivos en la otra mitad, por lo que la corriente eléctrica circula entre ellos atravesando los diferentes tejidos y órganos del cuerpo⁵⁴. Además,

estos dispositivos permiten el ajuste de las diferentes intensidades del estímulo para cada región corporal (brazos, trapecio, pectoral, abdomen, dorsal, lumbar, cuádriceps, femoral y gemelos)⁹⁷ siendo un entrenamiento más eficiente en cuanto a la relación tiempo-beneficio^{57,95,99}.

Ambas aplicaciones son bien aceptadas incluso por las personas no entrenadas, pero no están exentas de CI, sobre todo cuando su aplicación es global ya que, a mayores de las CI propias de la EMS, se añaden las afecciones sistémicas (diabetes mellitus, etc.) y los riesgos severos para la salud debidos a su uso inadecuado como, por ejemplo, la RME^{57,101}. Por todo ello, en el diseño de la intervención con EMS dinámica de este estudio se han seguido las recomendaciones de la guía WB-EMS para su uso adecuado y seguro¹⁰².

Actualmente se sabe que con el entrenamiento físico con WB-EMS/EMS se obtienen resultados similares en términos de ganancia de fuerza muscular que con el entrenamiento convencional, pero con una menor intensidad de entrenamiento⁹⁵. Por esta razón, se puede considerar a este método una alternativa⁵⁶ para aquellas poblaciones que por diversas circunstancias no pueden realizar ejercicio físico de alta intensidad (edad avanzada, patologías cardiovasculares o respiratorias, sarcopenia, obesidad sarcopénica, mujeres menopáusicas, etc.)² o para fortalecer aquellos músculos que por sus características biomecánicas son más difíciles de conseguir una contracción muscular máxima, como son los músculos de la pared abdominal anterolateral y especialmente de la musculatura profunda (TrA)⁹¹.

La musculatura de la pared abdominal (TrA, OI, OE y RA) desempeña un papel fundamental en la estabilización de la pelvis y de la columna lumbar. Debido a sus peculiaridades anatómicas y a su complejidad funcional⁷³, es necesario seguir investigando para solventar ciertas lagunas de conocimiento sobre esta región corporal con el uso de técnicas modernas, como la ecografía en tiempo real⁸⁴.

La técnica RUSI es una técnica no invasiva, objetiva y válida para evaluar los cambios musculares estructurales y su comportamiento¹³³. Posee una alta fiabilidad en

la medición de los músculos del tronco^{130,131} y se ha utilizado en varias investigaciones sobre los efectos de la EMS en la musculatura abdominal^{133,136-139}.

Uno de los beneficios de la aplicación de EMS en la pared abdominal, además de mejorar la fuerza muscular, es la estimulación preferente de la musculatura estabilizadora central sobre la musculatura superficial¹³⁷. De hecho, los participantes que padecían lumbalgia presentaban una pérdida de control automático de la musculatura profunda, mostrando reducciones del grosor ecográfico y de la actividad muscular electromiográfica del TrA durante tareas isométricas de las piernas en comparación con los participantes sanos⁷⁰. Sin embargo, estos beneficios no están tan claros en las poblaciones sanas^{51,140}.

Según Coghlan et al.,¹³⁷, una única sesión de EMS puede promover preferentemente la estimulación de la contracción del músculo abdominal estabilizador profundo, aumentando el grosor del músculo mediante RUSI, y se reivindicó como una posible intervención terapéutica, aunque los efectos inmediatos de WB-EMS sobre la musculatura abdominal siguen siendo desconocidos.

Existen varios estudios sobre la aplicación crónica de la WB-EMS dinámica, especialmente en la musculatura de las extremidades y sobre sus efectos en determinados parámetros fisiológicos^{97,126,135,141-145}, pero en el caso de la aplicación de EMS local en la mayoría de las investigaciones no se combina con el ejercicio físico¹⁴⁶.

Asimismo, son escasos los estudios que analizan la evolución de los cambios morfológicos y fisiológicos a lo largo de un periodo de entrenamiento, y teniendo en cuenta, la posible variabilidad en los efectos de la EMS dinámica en función del tipo de musculatura que se estimule¹⁴⁷.

Igualmente, se ha identificado una carencia de estudios que evalúen los efectos inmediatos de una única sesión de EMS dinámica en una población sana, especialmente en la musculatura abdominal mediante una evaluación objetiva mediante RUSI y de sus efectos en los parámetros fisiológicos.

Por lo tanto, es necesaria más investigación sobre los efectos de la EMS dinámica⁴ y sus diferencias entre la aplicación local y global. Existen ciertas limitaciones en el uso de EMS como es la falta de consenso sobre los parámetros eléctricos óptimos en función de los efectos que se pretenden conseguir, las diferencias en esos efectos en función de los diferentes músculos o patologías, así como en los diferentes tipos de poblaciones, siendo vital mejorar la comprensión de sus mecanismos de acción para optimizar su uso terapéutico.

En conclusión, con el presente estudio se pretende ampliar el conocimiento científico sobre la aplicación de la EMS dinámica. Se espera que los resultados de este estudio contribuyan a una mejor comprensión de los efectos de la EMS en la musculatura abdominal y su potencial aplicación terapéutica en el futuro.

2.2. HIPÓTESIS

- **Hipótesis alternativa 1:** la aplicación de la electroestimulación dinámica de cuerpo entero produce modificaciones en el espesor de la musculatura abdominal y en la distancia entre rectos abdominales, evaluados ecográficamente, en personas jóvenes y sanas.

- **Hipótesis nula 1:** la aplicación de la electroestimulación dinámica de cuerpo entero no produce modificaciones en el espesor de la musculatura abdominal y en la distancia entre rectos abdominales, evaluados ecográficamente, en personas jóvenes y sanas.

- **Hipótesis alternativa 2:** la aplicación de la electroestimulación dinámica mediante chalecos de cuerpo entero produce modificaciones en el espesor de la musculatura abdominal y distancia entre rectos abdominales diferentes a las de la electroestimulación dinámica local, valorados ecográficamente, en personas jóvenes y sanas.

- **Hipótesis nula 2:** la aplicación de la electroestimulación dinámica mediante chalecos de cuerpo entero no produce modificaciones en el espesor de la musculatura abdominal y distancia entre rectos abdominales diferentes a las de la electroestimulación dinámica local, valorados ecográficamente, en personas jóvenes y sanas.

2.3. OBJETIVOS

- **Objetivo general:** identificar los efectos agudos que produce la electroestimulación dinámica (global y local) en el espesor de la musculatura abdominal, evaluado mediante ecografía, en personas jóvenes y sanas.

- **Objetivo principal:** identificar los efectos agudos que produce la electroestimulación dinámica en el espesor de la musculatura del transverso del abdomen, evaluado mediante ecografía, en personas jóvenes y sanas.

- **Objetivos secundarios:**

· Identificar los cambios inmediatos producidos en el grosor de los músculos oblicuo externo y oblicuo interno debidos a la aplicación de electroestimulación dinámica en personas jóvenes y sanas, evaluados mediante ecografía.

· Identificar los cambios inmediatos producidos en el grosor de los músculos Rectos Abdominales debidos a la aplicación de electroestimulación dinámica en personas jóvenes y sanas, evaluados mediante ecografía.

· Identificar los cambios inmediatos producidos en la distancia entre rectos abdominales, evaluados mediante ecografía, debidos a la aplicación de electroestimulación dinámica en personas jóvenes y sanas.

-
- Comparar los efectos sobre el espesor muscular entre la aplicación del ejercicio dinámico con el chaleco de electroestimulación de cuerpo entero (WB-EMS) y la aplicación del ejercicio dinámico con electroestimulación local (EMS).
 - Identificar si existen cambios en el espesor de la musculatura abdominal en función del lado dominante o no dominante de la persona.
 - Analizar si el grosor del pliegue abdominal se asocia con la respuesta muscular a la electroestimulación.
 - Observar los efectos de la electroestimulación dinámica en los parámetros fisiológicos: frecuencia cardíaca, tensión arterial y temperatura corporal.

CAPÍTULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO DEL ENSAYO EXPERIMENTAL

Se realizó un ensayo clínico aleatorizado de grupos paralelos múltiple, diseñado siguiendo los criterios “*the Consolidated Standards of Reporting Trials Statement 2010*” (CONSORT 2010)^{148,149}, triple ciego (participante, evaluador y estadístico) y controlado con un sham o falso tratamiento.

El ensayo clínico constó de tres grupos de estudio, dos grupos experimentales y un grupo control:

- **Grupo Experimental 1: grupo WB-EMS**, cuya intervención consistió en la realización de una sesión de ejercicios dinámicos con la aplicación de EMS integral mediante WB-EMS.

- **Grupo Experimental 2: grupo EMS**, realizó idéntica intervención, pero con la aplicación de EMS local en la zona abdominal.

-

- **Grupo Control:** grupo sham o de falso tratamiento, realizó el mismo protocolo de ejercicios dinámicos con WB-EMS apagado, sin estimulación eléctrica muscular.

El proyecto de investigación se dividió en dos fases:

- **FASE I: ESTUDIO PILOTO**

Inicialmente se llevó a cabo un estudio piloto en los meses de octubre y noviembre de 2020, con un total de 15 participantes ($n = 15$) con el objetivo de analizar la muestra necesaria para poder realizar la investigación principal. La edad media de la muestra fue de $19,13 \pm 0,99$ de desviación estándar (DE), siendo el rango de edad de los participantes entre 18 (mínimo) y 21 (máximo) años.

Se calculó estadísticamente el tamaño muestral necesario para que la muestra fuese representativa otorgando de validez externa al estudio definitivo y poder ser extrapolable sus resultados a la población.

▪ **FASE II: ESTUDIO DEFINITIVO**

Una vez calculado el número de personas necesarias, se procedió a realizar la segunda fase correspondiente al estudio definitivo entre los meses de mayo de 2021 y junio de 2022, siendo en este caso, la muestra total de 120 personas jóvenes sanas ($n = 120$), cuya edad media fue de $21,47 \pm 3,534$ DE, siendo el rango de edad entre 17 (mínimo) y 35 (máximo) años. Los participantes fueron asignados aleatoriamente y divididos de forma equitativa entre los tres grupos de estudio ($n = 40$).

3.2. CONSIDERACIONES ÉTICAS

El presente estudio cuenta con la aprobación ética por parte del Comité de Ética de la Universidad de León (ULE); (código: ETICA-ULE-009-2020) (ANEXO II); cumpliendo con los principios básicos del artículo 4 del Reglamento del Comité de Ética de la ULE (modelo y procedimiento adecuado del consentimiento informado, garantía de confidencialidad de los datos personales de los sujetos e idoneidad y acreditación de los participantes de los protocolos) y con la Declaración de Helsinki de 1975 (rev.2018)¹⁵⁰. Respeto la Ley Española de Protección de datos (Ley Orgánica 3/2018) y la Ley 14/2007, de investigación biomédica en Seres Humanos. Así como, se encuentra registrado prospectiva y públicamente en *Clinical Trials.gov* con el identificador ID: NCT05117203 (ANEXO III).

Se siguió el procedimiento estándar de consentimiento informado (ANEXO IV), el cual fue firmado por todos los individuos que aceptaron participar en este estudio. Los datos de los participantes fueron custodiados bajo llave en el despacho del investigador principal, Campus de Ponferrada de la ULE (despacho 7, aula 406, 4ª planta, Edificio C).

3.3. MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Personas jóvenes y sanas pertenecientes al alumnado de los Grados de Fisioterapia, Enfermería y Podología de la Facultad de Ciencias de la Salud del Campus de Ponferrada, ULE.

3.3.2. TAMAÑO MUESTRAL

Se realizó el estudio piloto con personas jóvenes sanas ($n = 15$) que cumplieron los criterios de elegibilidad previamente establecidos para esta investigación.

El cálculo del tamaño de la muestra se llevó a cabo mediante el programa informático *G*Power* 3.1.9.2. utilizando la familia de pruebas F para efectos fijos, omnibus, análisis de varianza (ANOVA) de una vía.

Sobre la base de un estudio piloto previo ($n=15$) dividido en tres grupos con cinco participantes por grupo, utilizando la media de la diferencia (post - pre) del cambio de grosor durante la activación muscular (activación - reposo) del músculo TrA para el grupo 1 (0,028 cm), el grupo 2 (-0,006 cm) y el grupo 3 (0,018 cm), así como una DE dentro de cada grupo (0,048), se utilizó un tamaño del efecto f de 0,294 para el cálculo del tamaño de la muestra junto con una probabilidad de error α de 0,05, una potencia (1 - probabilidad de error β) y un número de tres grupos, obteniendo un tamaño de muestra total necesario de 117 participantes, divididos en 39 sujetos por grupo, para conseguir una potencia real de 0,809.

3.3.3. MÉTODO DE RECLUTAMIENTO DE LA MUESTRA

Se realizó un muestreo probabilístico (aleatorizado). Se obtuvo una muestra de conveniencia (reclutamiento por campaña publicitaria por parte de los investigadores en los diferentes cursos de los Grados pertenecientes a Ciencias de la Salud), cuya

participación del alumnado fue voluntaria, debiendo cumplir los criterios de inclusión fijados previamente en la fase del diseño metodológico y no presentar ningún criterio de exclusión.

3.3.4. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y DE EXCLUSIÓN DEL ESTUDIO

- Los **criterios de inclusión** utilizados para seleccionar los participantes del estudio fueron:
 - a) Sujetos sanos de ambos sexos^{3,151}.
 - b) Rango de edad entre 18 y 35 años^{3,151}.
 - c) Buen historial médico, exámenes médicos normales, sin alteraciones cardíacas previas o dolor en el pecho en el último año^{3,151}.
 - d) No cirugías en el año anterior¹⁵¹.

- Los **criterios de exclusión** fueron los siguientes:
 - a) Índice de masa corporal (IMC) superior a 30 kg/m².
 - b) Nivel de actividad deportiva profesional o de élite.
 - c) Hiperventilación/hipercapnia y una puntuación igual o superior a 23 puntos en el cuestionario de Nijmegen¹⁵².
 - d) Mujeres durante su periodo menstrual.
 - e) Toma habitual de medicamentos⁵⁷.
 - f) Cirugías abdominales (cicatrices o queloides)⁵⁷.
 - g) Lesión muscular antigua o reciente a nivel abdominal⁵⁷.
 - h) Presencia de dolor lumbar crónico, de cadera o muslo.
 - i) Enfermedades congénitas con alteraciones musculoesqueléticas a nivel de espalda y extremidades inferiores, escoliosis, protusión o hernia discal^{57,101}.
 - j) Presentar alguna contraindicación respecto del WB-EMS^{57,101,102}. embarazo; infecciones virales o bacterianas; trastornos circulatorios arteriales, arteriosclerosis avanzada; Diabetes tipo I; Hemofilia, cardenales, hemorragia; déficit

cognitivo; Fibromialgia; operaciones recientes en zonas de estimulación; hernias en la pared abdominal o inguinales; enfermedades agudas, enfermedades inflamatorias, etc.

3.3.5. PROCESO DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA

El proceso de selección de participantes en el estudio piloto fue el siguiente: se presentaron voluntariamente 22 personas, a las cuales se les realizó la anamnesis y cuestionario de Nijmegen, para comprobar que cumplían con los requisitos necesarios para incluirlos en el estudio y de las 19 personas, se seleccionaron aleatoriamente a 15, dividiéndolas equitativamente y de forma aleatoria en los tres grupos de estudio (FIGURA 18; VER RESULTADOS).

El proceso de selección de participantes en el estudio definitivo fue el siguiente: se presentaron 133 personas voluntarias de las cuales, se excluyeron a siete por presentar algún criterio de exclusión de este estudio, y se seleccionaron aleatoriamente a 120 participantes dividiéndolas equitativamente en los tres grupos de estudio (FIGURA 19, VER RESULTADOS).

3.4. VARIABLES DE ESTUDIO

3.4.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

Por un lado, el grupo de personas sanas que realizaron la sesión de ejercicio físico combinado con WB-EMS y el grupo con EMS local. Por otro lado, el grupo control compuesto por personas sanas que realizaron la misma sesión de ejercicios dinámicos con el WB-EMS, pero sin estimulación eléctrica (chaleco apagado).

3.4.2. VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables fueron medidas con el sistema ecográfico RUSI en los tres grupos, para el estudio de la activación de la musculatura abdominal a través del cambio de espesor muscular (contracción – reposo) postintervención en comparación con su valor previo a la intervención.

A. Espesor muscular abdominal (TrA, OI, OE, RA): definido como la distancia entre los bordes internos de los límites de cada músculo tanto en reposo como durante la contracción muscular¹⁵³. (FIGURAS 5 y 6). Siendo la variable principal el cambio del espesor de la musculatura del TrA.

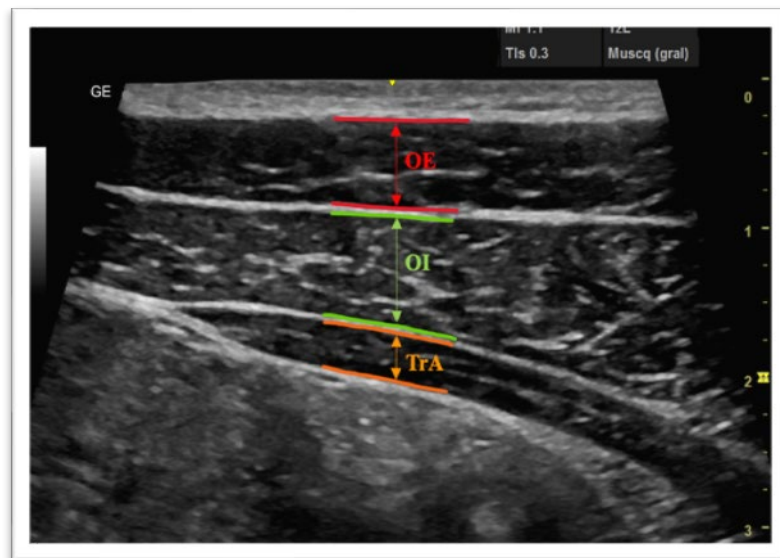


FIGURA 5. Imagen ecográfica de la musculatura de la pared abdominal anterolateral. Medidas tomadas entre los bordes internos de cada vientre muscular: músculo oblicuo externo (OE), el más superficial (representado con las líneas rojas), músculo oblicuo interno (OI) (representado con las líneas verdes) y músculo transversal del abdomen (TrA), el más profundo (representado con líneas naranjas).

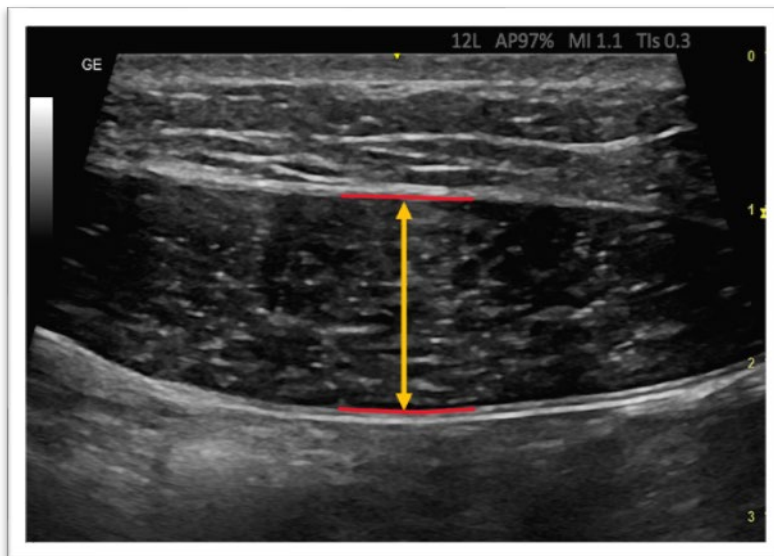


FIGURA 6. Imagen ecográfica del recto abdominal (RA) derecho. Las medidas son tomadas entre los bordes internos (representados con las líneas rojas) de la zona más ancha del vientre muscular (flecha amarilla).

B. Distancia entre rectos abdominales (DER): definida como la distancia entre los bordes internos de los límites mediales de ambos vientres musculares del RA, en reposo y durante la contracción muscular^{153,154} (FIGURA 7).

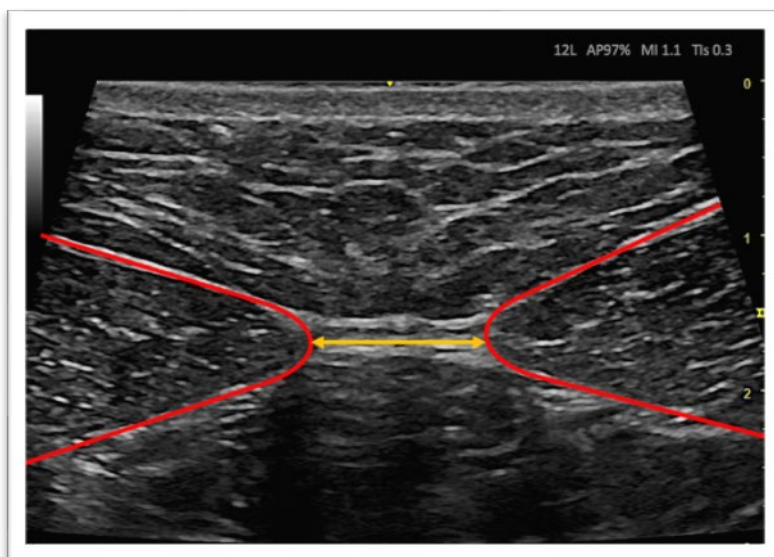


FIGURA 7. Imagen ecográfica de la distancia entre rectos (DER). Recto abdominal derecho e izquierdo (zonas entre las líneas rojas) y fascia intermedia correspondiente a la DER (representada mediante la línea amarilla).

Las medidas de resultado del espesor del TrA, OI, OE y RA, además de la DER, evaluados tanto en reposo y como durante la contracción muscular mediante la prueba de elevación de la pierna extendida (TEPE), para calcular sus cambios de grosor (diferencia de grosor TEPE-reposo) al inicio y al final de la intervención.

También se registraron medidas de resultado de los parámetros fisiológicos: FC, PAS, PAD y la temperatura corporal al inicio y al finalizar las intervenciones.

3.4.3. VARIABLES INTERVINIENTES

Fueron recogidos los siguientes datos descriptivos de los participantes.

- a) Edad: en años; variable cuantitativa continua.
- b) Sexo: valor masculino/femenino; variable cuantitativa dicotómica.
- c) Peso (kg) y altura (m) corporal.
- d) IMC: variable cuantitativa continua medida en Kg/m², según el método de Quetelet¹⁵⁵.
- e) Distrés respiratorio medido a través del Cuestionario de Nijmegen (versión española)¹⁵².
- f) Nivel de actividad física, variable discreta medida a través del Cuestionario Internacional de Actividad Física, versión corta validada al español (IPAQ)¹⁵⁶, cuyos tres posibles valores son: Bajo (I)/Moderado (II)/Alto (III)¹⁵⁷.
- g) Escala de Borg CR-10^{158,159}: para determinar el índice o rango de Esfuerzo Percibido (RPE) cuyos valores van desde el cero, sin esfuerzo, hasta el 10 que corresponde con el máximo esfuerzo. Método subjetivo para determinar la intensidad de la corriente eléctrica.

3.5. INSTRUMENTOS

3.5.1. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA INTERVENCIÓN

- **Chaleco de electroestimulación de cuerpo entero (WB-EMS):** marca *Justfit*⁹⁸, inalámbrico (sensores inalámbricos mediante tecnología Bluetooth o WIFI permitiendo una amplia gama de actividades y una mayor comodidad para la persona)^{55,99,102,160}, controlado a través de Tablet. Se dispuso de cuatro trajes de diferentes tamaños (XS, S, M y L). Los electrodos que estimulaban los brazos y gemelos eran circulares ajustándose mediante velcro, el resto de electrodos se situaban en el chaleco para el tronco y en un cinturón para los glúteos y los muslos (FIGURA 8A).

- **Aparato de Electroterapia de estimulación muscular (EMS):** *Physiomed-Expert* (*Physiomed Elektromedizin AG, Schnaittach, Alemania*). Equipo para terapia de estimulación tipo IIa; que cumple los requerimientos de la directiva Consejo Europeo concernientes a los aparatos médicos (93/42/EEC), y posee la etiqueta CE. Dispositivo con dos salidas de corriente, pudiendo aplicar todo el rango de corrientes estimulantes desde la baja a la media frecuencia; datos de salida de estimulación de 75 mA (máximo) a 500 ohmios y 230 voltios de pico máximo de tensión. Electrodos autoadhesivos de Enraf Nonius; cuadrados tamaño 100 x 50 mm (FIGURA 8B).

- **Colchoneta.**

- **Fitball o pelota de Pilates.**



FIGURA 8. Dispositivos de Electroterapia empleados en este estudio. A) Chaleco de electroestimulación de cuerpo entero (WB-EMS); B) Aparato de Electroterapia de estimulación muscular (EMS).

3.5.2. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

• **Ecógrafo:** la valoración del espesor de la musculatura abdominal se realizó a través de la ecografía. Las imágenes ecográficas generadas en modo Brillo (modo – B), fueron tomadas con el dispositivo ultrasónico *Versana Active™* de *General Electric (GE Healthcare, Madrid, España)* empleando un transductor de matriz lineal (12L - RS) de ancho de banda de 5 – 13 MHz¹⁶¹ (FIGURA 9).



FIGURA 9. Ecógrafo utilizado en la evaluación ecográfica de este estudio.

Se utilizó un preajuste trapezoidal para ampliar el área de exploración. Las mediciones de las imágenes ecográficas fueron realizadas con el propio software del ecógrafo permitiendo ampliar la imagen y utilizar directamente sus calibradores obteniendo una mayor precisión en las medidas.

- **Frecuencia cardíaca y tensión arterial:** tensiómetro *Visomat comfort 20/40* con manguito universal (23 – 43 cm) de *Uebe Medical GmbH* (Alemania); precisión clínicamente validada por la Sociedad Europea de Hipertensión.

- **Temperatura corporal:** termómetro digital infrarrojo *HyWell*, modelo SZJHIT003. Se trata de un termómetro de medición de la temperatura en la frente, sin contacto, con rango de medida entre 35.0 °C y 42 °C, distancia efectiva de medición entre 3 – 5 cm y resolución de 0.1 °C.

- **Báscula:** Beurer GS11 (Suiza), capacidad de carga de 150 Kg y precisión de 100 g.

- **Pliegue abdominal, tallímetro y goniómetro universal.**

- **Cuestionarios:**

- a) Cuestionario de Nijmegen¹⁵²: medición del distrés respiratorio mediante 16 ítems, con valores graduados del 0 al 4 cada uno. Posee una especificidad de 0,91 y una sensibilidad de 0,95 para detectar la presencia de hiperventilación/hipercapnia, la cual puede alterar la función del TrA; si el resultado final de la suma de todos los ítems es igual o superior a 23 puntos permite el diagnóstico del síndrome de hiperventilación crónico (ANEXO V)

- b) Cuestionario Internacional de Actividad Física (autoinforme) (IPAQ)¹⁵⁶: permite la obtención de información sobre la actividad física relacionada con la salud del participante, cuya fiabilidad es adecuada/alta (desde 0.66 a 0.88)¹⁶². Se utilizó la versión corta validada al español (IPAQ- SF). Cuestionario utilizado con adultos jóvenes y de mediana (15-69 años), el cual, consta de 4 ítems genéricos proporcionando resultados separados para tres tipos de actividad: de intensidad vigorosa, de intensidad

moderada y andar. El resultado final se obtiene de la suma de la duración (en min) y de la frecuencia (en días) de estas tres actividades, categorizando la actividad física de la persona en tres niveles: baja (I), moderada (II) y alta (III). Además, registra el “tiempo sentado” que es el tiempo dedicado a realizar una actividad sedentaria¹⁵⁷ (ANEXO VI).

3.6. MÉTODOS DE MEDIDA DE LAS VARIABLES

- **Sistema ecográfico RUSI:**

Para la evaluación bilateral del grosor de la musculatura de la pared abdominal (RA, OI, OE y TrA), se emplearon medios objetivables y validados como la técnica RUSI.

Se trata de una técnica válida y objetiva en la evaluación del grosor de la musculatura abdominal, tanto en reposo como durante la activación muscular (grosor contracción – grosor reposo)^{153,163,164}.

El grado de fiabilidad de RUSI oscila entre “bueno y excelente” cuando se mide el espesor muscular, y entre “pobre y bueno” para las medidas del cambio de grosor con respecto al valor de reposo¹⁶¹. El coeficiente de correlación intraclase (CCI) oscila entre 0,62 y 0,99 para la medida del espesor muscular y entre 0,48 y 0,78 para la comparación del cambio de espesor muscular respecto al valor basal de reposo¹⁶⁵.

Para la evaluación del grosor muscular durante la actividad muscular, se utilizó la prueba TEPE para activar la musculatura abdominal. El uso de TEPE durante la evaluación RUSI demostró una buena fiabilidad para el cambio de grosor de los músculos de la pared abdominal, como el TrA (CCI desde 0.65 a 0.69) y OI (desde 0.65 a 0.79)¹⁶⁶.

Las medidas ecográficas para determinar la DER mediante RUSI, también son fiables y validadas^{154,167-169}. Las mediciones del test-retest de la DER demostraron una fiabilidad de buena a muy buena (CCI entre 0,74 y 0,90 en el punto de referencia

localizado a 2 cm supraumbilical), siendo un método fiable para medir la DER tanto en reposo como en contracción de la musculatura abdominal¹⁵⁴.

Las posibles limitaciones del uso de RUSI son¹⁶¹:

- a) El impacto de las estructuras adyacentes (fascia y órganos como la vejiga) en el espesor de la musculatura.
- b) La identificación incorrecta de los puntos de referencia.
- c) La posición del paciente/transductor.
- d) Variación en el desempeño de las tareas de activación muscular.
- e) La presencia de una fuerza en el músculo, como resultado de la contracción de un músculo adyacente.
- f) El entrenamiento del operador: técnica e interpretación correctas.

3.7. PROCEDIMIENTO GENERAL

3.7.1. PARTICIPANTES (INFORMACIÓN Y PREPARACIÓN)

A. Selección de los participantes

Se les facilitó una hoja informativa sobre la investigación junto con el consentimiento informado y se les explicó el objetivo del estudio y su procedimiento. Si aceptaban participar voluntariamente en el proyecto, se les solicitaba firmar el consentimiento informado (ANEXO IV). Así mismo, se les explicó que, si deseaban interrumpir su participación, podían firmar la revocación del mismo en cualquier momento del transcurso de la investigación. Se les informó de la confidencialidad y privacidad de sus datos.

En un primer contacto con el participante, el investigador encargado de la intervención realizó una anamnesis (ANEXO VII) para verificar si presentaba alguna CI específica para el uso del dispositivo de electroestimulación WB-EMS¹⁰² (VER CI WB-EMS), excluyendo de esta manera, cualquier riesgo asociado con el entrenamiento con estos dispositivos; además de, si cumplían con los criterios de inclusión y la ausencia de

criterios de exclusión. Para ello, cumplimentaron previamente el cuestionario Nijmegen (ANEXO V) ya que una puntuación igual o superior a 23 puntos en dicho cuestionario era motivo de exclusión del estudio.

Posteriormente, se realizó un registro inicial de los datos demográficos y medidas antropométricas de cada participante: edad, talla, peso, IMC, lado dominante y nivel de actividad física (ANEXO VII). Para este último dato, se les pasó el cuestionario validado IPAQ, en su versión corta validada al español (ANEXO VI). Si el IMC era superior a 30Kg/m² o el nivel de actividad deportiva era profesional o de élite fue motivo de exclusión del participante.

Una vez seleccionada la muestra siguiendo los criterios de inclusión y exclusión, se les explicó la ejecución correcta de los ejercicios dinámicos y la plantilla de la escala Borg para la intensidad del esfuerzo de la sesión de EMS. Además, se les proporcionó una serie de recomendaciones sobre el WB-EMS para realizar la intervención de forma adecuada y saludable junto con las medidas anti-COVID-19 necesarias por las circunstancias sanitarias de ese momento.

Recomendaciones para la sesión de WB-EMS:

- a) Toma de líquidos antes y después de la sesión¹⁰².
- b) No tomar medicamentos 24 horas previas¹⁰².
- c) Evitar actividad física severa en las últimas 24 horas¹⁰².
- d) Ayuno de dos horas, no acudir con el estómago vacío a la sesión¹⁰².
- e) Abstenerse de alcohol, drogas, estimulantes y relajantes 24 horas previas¹⁰².
- f) Ducharse antes y después (medida de prevención COVID-19).
- g) Ropa para realizar la sesión: mallas y camiseta de manga preferiblemente de $\frac{3}{4}$ y 100% algodón.

B. Asignación de los participantes

Se dividió aleatoriamente a la población participante en tres grupos, GE₁ con WB-EMS, GE₂ con EMS local y grupo control con WB-EMS apagado (cegamiento).

El investigador responsable de realizar la intervención asignó aleatoriamente a cada participante mediante el uso de sobres opacos y cerrados que determinaban el grupo de estudio¹⁷⁰ y mediante un software informático, generó un código numérico a cada participante para utilizar en las hojas de valoración ecográfica y en la recogida de datos para sus análisis estadísticos (ANEXO VII), manteniendo de esta manera, el ocultamiento de la información referente al grupo de intervención al que pertenecía ese voluntario sano.

C. Enmascamiento

Triple ciego (paciente, evaluador y estadístico). A cada participante se les asignó un código numérico generado con un software informático por parte de uno de los investigadores (el encargado de llevar a cabo la intervención), de tal manera que en el registro ecográfico solo aparecía como datos de la persona dicho código para permitir el cegamiento del investigador responsable de las mediciones ecográficas sobre a qué grupo pertenecía cada participante del estudio.

Así mismo, un tercer investigador realizó los análisis estadísticos con cegamiento de los grupos de intervención al recibir los datos codificados. Los participantes que recibieron un tratamiento simulado, es decir, sin estimulación eléctrica, fueron cegados respecto a su pertenencia al grupo control.

3.7.2. LUGAR

Las intervenciones se realizaron en el mismo horario (tardes de 16 a 20 horas) y en el mismo lugar, en el seminario de Fisioterapia, planta 4º planta, edificio C, Facultad de Ciencias de la Salud, Campus de Ponferrada (Avenida de Astorga s/n, 24401, Ponferrada, León, España), ULE. Las condiciones ambientales de la sala fueron entre 22-24 °C de temperatura ambiental y entre 40 – 60 % de humedad relativa del aire.

Se dispuso de aulas contiguas comunicadas para permitir realizar la evaluación ecográfica aislada de la intervención con EMS, asegurando el cegamiento del

investigador encargado de las mediciones del grosor muscular. Por otro lado, al usar varias salas permitió el cumplimiento de las medidas anti-COVID-19 preestablecidas para preservar la salud de los participantes.

3.7.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN COVID-19

a) En el aula contigua se realizaron las valoraciones ecográficas, con las adecuadas medidas de desinfección de los materiales y de la camilla entre los participantes, así como el uso de mascarilla FFP2 por parte de todos los sujetos. El aula se mantuvo ventilada.

b) En el seminario se realizó la anamnesis, cuestionario IPAQ y la toma de las medidas antropométricas además de la sesión de entrenamiento, zona ventilada y los investigadores con mascarilla FFP2 y sobre ella una mascarilla higiénica. Los participantes que realizaban el ejercicio físico podían quitarse la mascarilla para tal fin, manteniendo una distancia mínima de tres metros con el resto de personal investigador.

c) La otra aula se utilizó como vestuario para cambiarse la ropa húmeda con las pertinentes medidas de desinfección.

d) Los trajes de electroestimulación y material utilizado fueron desinfectados entre los participantes. Los electrodos utilizados localmente fueron de un solo uso, desechándose al finalizar la sesión de intervención.

3.7.4. PROTOCOLOS

3.7.4.3. PROTOCOLO DE LA EVALUACIÓN ECOGRÁFICA

Para la evaluación de la musculatura de la pared abdominal (RA, OI, OE y TrA), se emplearon medios objetivables y validados como la técnica RUSI. Técnica utilizada, bilateralmente, para evaluar el grosor de dicha musculatura y la DER, tanto en reposo como durante la contracción muscular (TEPE).

El protocolo RUSI fue llevado a cabo por el mismo investigador responsable de la evaluación ecográfica realizando las capturas de las imágenes ecográficas y las mediciones RUSI. El cual, tenía experiencia en la evaluación ecográfica de la musculatura abdominal y realizó una formación previa sobre el protocolo RUSI a pesar de que la experiencia previa del ecografista no influye en tales mediciones¹⁷¹.

a) Posición del examinador: en el lado izquierdo del participante.

b) Posición del participante: decúbito supino sobre una camilla, con una posición neutra de las extremidades superiores (brazos a lo largo del cuerpo apoyados en la camilla) e inferiores (piernas estiradas y pies separados 20 cm)^{166,172}.

c) Posición del transductor: colocación de la sonda lineal para la toma de imágenes ecográficas en modo B, de forma transversal a la pared abdominal del participante^{153,173}. Marca del transductor a la derecha del sujeto. El examinador sostuvo la sonda sin ejercer ninguna presión manual sobre la piel para evitar la influencia de fuerzas externas en las mediciones de espesor muscular; única presión aplicada fue la del peso de la sonda, manteniendo una presión similar en todas las evaluaciones RUSI realizadas. Se aplicó gel entre el transductor y la piel. La sonda se mantuvo en el mismo lugar durante las diferentes tomas de imágenes de cada punto de referencia.

d) Puntos de referencia: los puntos de referencia utilizados en el protocolo fueron los expuestos a continuación (FIGURA 10):

A. En la mitad del recorrido entre EIAS y la última costilla, en la línea medioaxilar, para conseguir la imagen de los músculos OI, OE, TrA. Bilateral¹⁵³.

B. En la mitad del recorrido del músculo RA de forma transversal, a nivel del ombligo, para adquirir la imagen del RA. Bilateral¹⁵³. El punto de referencia para la medición del grosor del RA fue la distancia media de la anchura de cada músculo RA.

C. En la mitad del abdomen, distancia a 2 cm supraumbilical para medir la DER; marcada previamente con rotulador dérmico^{154,163,171,174,175}.

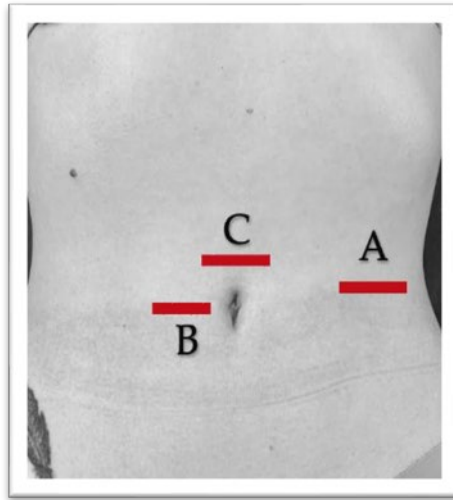


FIGURA 10. Puntos de referencia para la captura de las imágenes abdominales RUSI.

e) Imágenes y medidas RUSI

En cada punto de referencia se llevó a cabo la captura de tres imágenes ecográficas consecutivas para una mayor precisión, garantizando un nivel de fiabilidad adecuado. Imágenes tomadas tanto en reposo como durante la contracción muscular (TEPE), todas ellas al final de la espiración relajada (no forzada) para controlar la influencia de la respiración ya que se producen variaciones en su grosor en función de la fase respiratoria (más delgados al final de la inspiración)¹⁶⁴. Entre la toma de cada imagen se hicieron descansos de 30 s para evitar el agotamiento de la musculatura y minimizar la influencia de la fatiga¹³⁶.

Con anterioridad, se explicó a cada participante el procedimiento y se practicó la maniobra (en reposo y en contracción), ya que uno de los errores más comunes en su ejecución, es la retención de la respiración¹⁷⁶, la cual fue controlada de forma visual, por parte del investigador que tomó las imágenes ecográficas.

3.7.4.2. PROTOCOLO DE CAPTURA Y MEDICIÓN DE LAS IMÁGENES ECOGRÁFICAS

a) CAPTURA DE IMÁGENES ECOGRÁFICAS

Se tomaron las imágenes ecográficas pre y post sesión de ejercicio físico combinado con EMS:

1. En reposo: en la posición de partida, al final espiración relajada. Se realizaron tres mediciones en cada miembro inferior con intervalos de 30 s de descanso entre cada una. El total de imágenes fueron de 30 (15 pre y 15 post-sesión).

2. Durante la contracción muscular: se utilizó la TEPE para provocar la contracción muscular abdominal. Las imágenes fueron congeladas al final espiración relajada. Se realizaron tres mediciones en cada extremidad inferior, con intervalos de 30 s de descanso. El total de imágenes ecográficas fueron de 30 (15 pre y 15 post-sesión).

La fiabilidad de esta prueba para el estudio de la variación del espesor muscular abdominal tiene un CCI entre 0,81-0,91 para el TrA y entre 0,65-0,79 para el OI; presentando una buena fiabilidad intraclase para el estudio del TrA, del OE y OI¹⁶⁶.

La TEPE consistió en que el participante elevará la pierna de la camilla, desde la posición partida, de forma activa manteniendo la rodilla estirada y con flexión de cadera de 30° (medida con goniómetro universal)¹⁶⁶ del lado de la medición o elevación de la pierna con extensión de rodilla a 15 cm de distancia de la camilla (se utilizó una marca visual de dicha medida) (FIGURA 11). Se utilizó un delimitador transversal para indicar al participante el rango de elevación del miembro inferior correspondiente a 30° de flexión de cadera, siendo ajustado con cada uno de ellos.

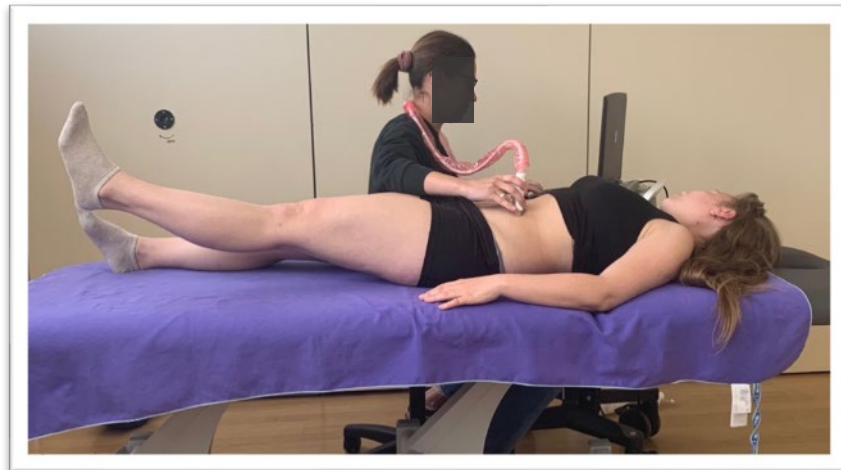


FIGURA 11. Evaluación ecográfica del RA derecho durante la contracción muscular: prueba de elevación de la pierna en extensión (TEPE).

El investigador encargado de la evaluación ecográfica, en las instrucciones iniciales, levantó la extremidad inferior hasta la posición correcta para indicarle al participante cuál era la posición que se le solicitaba para realizar el TEPE¹³⁶. Además, para coordinar el TEPE con la evaluación RUSI se les indicaba en cada medición que extremidad inferior debían levantar y las siguientes órdenes de ejecución¹³⁶:

“Prepárese para elevar”
“Eleve”
“Mantenga durante 10 segundos de elevación”
“Prepárese para bajar”
“Baje” para la vuelta a la posición inicial

Medidas tomadas en reposo y durante la contracción muscular¹³⁶:

a) **DER:** tres mediciones en reposo y tres en contracción, con intervalos de 30 s (elevar una pierna, cualquiera, es indiferente). Se mantuvo la sonda en el mismo punto en todas las capturas de imágenes. El total de imágenes congeladas: seis.

b) **RA:** tres mediciones al final de la espiración relajada con intervalos de 30 s en reposo y tres en contracción muscular en el lado derecho, sin mover la sonda del punto

de referencia. Mismas medidas en el lado izquierdo. El total de imágenes congeladas: 12 (reposo: 3 derecho-3 izquierdo y contracción: 3 elevando pierna derecha y 3 elevando pierna izquierda).

c) **OE-OI-TrA:** tres mediciones al final de la espiración relajada con intervalos de 30 s en reposo y tres en contracción muscular en el lado derecho, sin mover la sonda del punto de referencia. Mismas medidas en el lado izquierdo. El total de imágenes congeladas: 12 (reposo: 3 derecho-3 izquierdo y contracción: 3 elevando pierna derecha y 3 elevando pierna izquierda).

El número total de imágenes congeladas y almacenadas en el propio dispositivo fueron de 60 para cada participante: 30 imágenes pre-sesión y 30 imágenes post-sesión de ejercicio.

Para disminuir posibles sesgos de medición, el orden de las mediciones (lado dominante/lado no dominante y músculo de la pared abdominal) fue determinado previamente de forma aleatoria; y con el pertinente registro en la hoja de valoración ecográfica (ANEXO VIII) (lado del cuerpo por el que se comenzó y el orden de mediciones) por el evaluador encargado de la ecografía mediante un sistema de azar.

b) MEDICIONES DE LAS IMÁGENES ECOGRÁFICAS

Con las imágenes ecográficas almacenadas se pasó a realizar las mediciones en el propio dispositivo de ultrasonido mediante su software de medición en pantalla, sin necesidad de estar presente la persona¹³².

Para la realización de tales medidas se midió desde el borde interno de la fascia inferior hacia el borde interno de la fascia superior de cada músculo para hallar el grosor muscular del RA (FIGURA 12) y del OE, OI y TrA¹⁵³ (FIGURA 13) tanto en reposo como durante la actividad muscular.

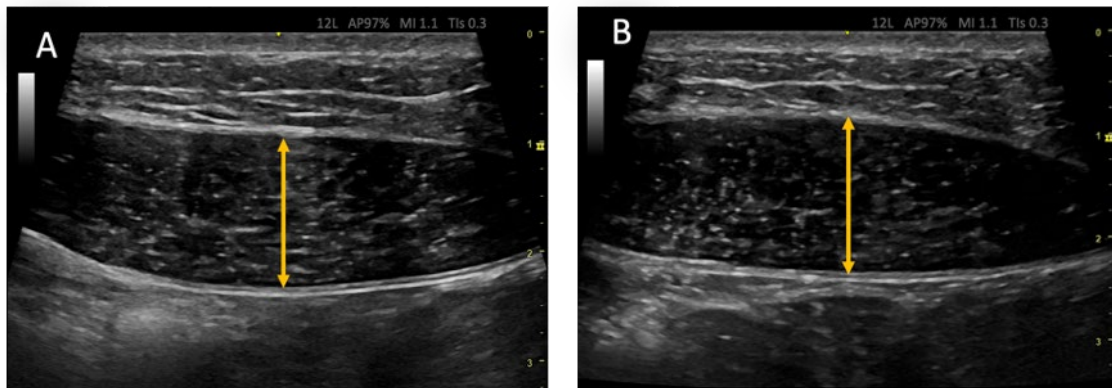


FIGURA 12. Imágenes ecográficas del recto abdominal (RA). A) en reposo y B) durante la actividad muscular. Las mediciones se realizan entre los bordes internos de la zona más ancha del vientre muscular. Es apreciable un aumento del espesor muscular durante la contracción (B).

En la imagen ecográfica obtenida se trazó una línea horizontal a 2 cm lateral a la inserción del TrA en el tejido conectivo del RA como referencia para las mediciones del TrA, OI y OE en reposo y durante la contracción muscular^{70,177}.

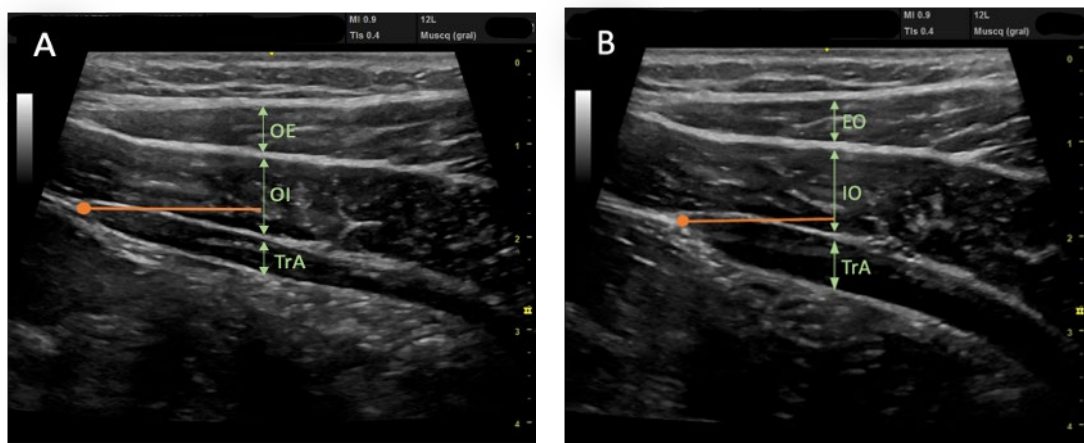


FIGURA 13. Imágenes ecográficas de a musculatura abdominal lateral en las que se distinguen las 3 capas musculares de superior a inferior: oblicuo externo (OE), oblicuo interno (OI) y el más profundo, transverso del Abdomen (TrA); separados entre sí por tejido conjuntivo intermuscular (líneas hiperecóicas). A) Imagen en reposo; B) Imagen durante la actividad muscular donde se aprecia un cambio en el espesor muscular. Medidas tomadas siempre en el mismo punto, a 2 cm (marca naranja) de la inserción del TrA en el RA.

Para la DER se midió entre los bordes internos de los límites mediales de los dos RA¹⁵³ (FIGURA 14).

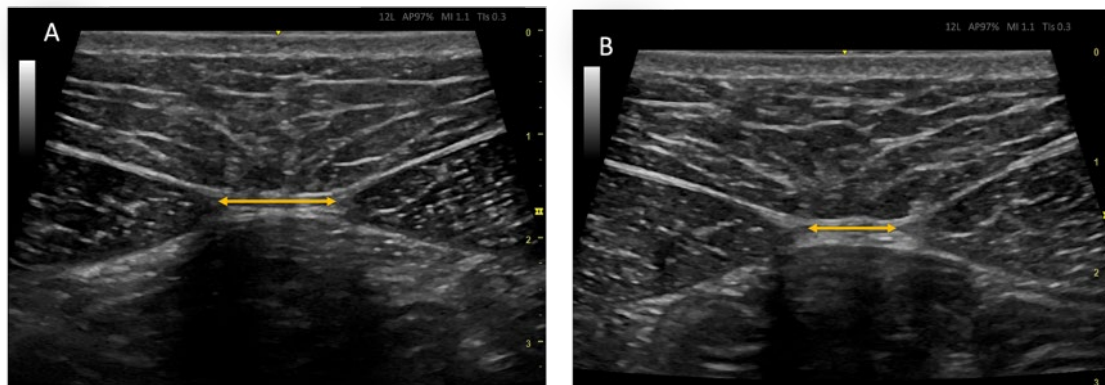


FIGURA 14. Imágenes ultrasónicas de la distancia entre rectos abdominales (DER). A) Imagen ecográfica de la DER en reposo. B) Imagen ecográfica de la DER durante la actividad muscular.

De las tres mediciones realizadas en cada punto de referencia, se halló la media para aumentar la fiabilidad de la técnica RUSI^{131,153}, utilizando ese dato en el análisis posterior de la diferencia de activación muscular postintervención en función del cambio (diferencia) de grosor muscular post-sesión (media del grosor en contracción muscular (TEPE) – media del grosor muscular en reposo) y pre-sesión (media del grosor en contracción muscular (TEPE) – media del grosor muscular en reposo)¹⁵³.

3.7.4.3. PROCEDIMIENTO DE LA INTERVENCIÓN

La intervención llevada a cabo para responder a los objetivos de este estudio fue de una única sesión de 20 min de duración, de ejercicios dinámicos dirigidos a estimular la contracción de la musculatura abdominal combinados con EMS local o global.

Las intervenciones fueron realizadas por el mismo investigador encargado de las mismas, el cual, recibió formación previa del uso de EMS/WB-EMS^{161,178} y supervisó en todo momento la correcta ejecución de los ejercicios físicos y la adecuada aplicación de los parámetros eléctricos, garantizando la seguridad de los participantes^{102,179}.

Además, se tuvo en cuenta la guía de recomendaciones para el uso adecuado y seguro de WB-EMS¹⁷⁸, aplicando un protocolo de intervención con parámetros eléctricos seguros para el participante basado en la evidencia científica⁵⁶ (VER EENM GLOBAL O WB-EMS).

Las corrientes de EMS aplicadas fueron de tipo rectangular bipolar simétrica y los parámetros de la estimulación eléctrica seleccionados fueron: frecuencia a 85 Hz, anchura de pulso de 350 μ s y con un ciclo de trabajo 50 % (4 s de estimulación eléctrica y 4 s de reposo) (TABLA 10)^{119,135,179-184}.

Se trata de un protocolo más generalizable a la población al no manifestar sensaciones molestas con su aplicación con un ciclo de trabajo corto¹⁸⁴. La mayoría de las investigaciones sobre WB-EMS utilizan estos parámetros con unos tiempos de estimulación que varían entre 4 s y 6 s, permitiendo la comparación de sus resultados.

En el grupo WB-EMS, la corriente eléctrica estimulante fue aplicada con un dispositivo de estimulación global WB-EMS y en el grupo EMS, a través de la aplicación de electrodos adhesivos locales en la musculatura abdominal mediante un programa personalizado con los parámetros de la estimulación muscular grabados previamente e idénticos a los utilizados con WB-EMS.

La intervención del grupo control fue un falso tratamiento o sham, es decir, realizaron la misma sesión de ejercicios dinámicos con el WB-EMS y con el ajuste individual de la intensidad de la corriente eléctrica en cada grupo muscular para que percibieran la estimulación eléctrica (cegamiento del participante), bajando a cero la intensidad de la estimulación eléctrica al inicio de los ejercicios dinámicos de la sesión (traje apagado)^{151,185}.

a) PROTOCOLO DE WB-EMS/EMS

Los parámetros utilizados^{119,135,179-184} en cada grupo de estudio fueron los siguientes:

TABLA 10. Parámetros eléctricos utilizados en la sesión de EMS dinámica.

Sesión: 20 min	WB-EMS/EMS – CONTROL*
<p>Calentamiento (<i>Warm up</i>) 5 min</p>	<p>Corriente rectangular bipolar 20 Hz de frecuencia 350 µs de anchura de pulso No periodos de estimulación/reposo</p>
<p>Parte principal (<i>Main part</i>) 12 min</p>	<p>Corriente rectangular bipolar 85 Hz de frecuencia 350 µs de anchura de pulso 4 s de tiempo de trabajo 4 s de tiempo de reposo</p>
<p>Vuelta a la calma (<i>Cool down</i>) 3 min</p>	<p>Corriente rectangular bipolar 5 Hz de frecuencia 150 µs de anchura de pulso 1 s de tiempo de trabajo 1 s de tiempo de reposo</p>

* En el grupo control para asegurar su cegamiento en la intervención, se les aplicó los mismos pasos que en el grupo WB-EMS en lo referente a establecer previamente la intensidad de la corriente. Al inicio de la parte del calentamiento se mantuvo la estimulación eléctrica para que los participantes sentirían la corriente en algún momento de la intervención y se les indicó que notarían la corriente eléctrica en menor intensidad al iniciar los ejercicios físicos, momento en el que se procedió a bajar la frecuencia al valor 1 (valor mínimo de este dispositivo) y la intensidad de la corriente del WB-EMS al valor 0, no dando lugar a sospechas de que realizaron la sesión de ejercicios dinámicos con el WB-EMS apagado al notar la corriente eléctrica con anterioridad.

La estimulación muscular a través de dispositivos que permiten su combinación con ejercicios físicos como es el caso del WB-EMS, dificulta la cuantificación de la intensidad de la corriente eléctrica al sumarse a la intensidad del ejercicio físico realizado. Por tanto, para alcanzar la intensidad adecuada de la aplicación dinámica de WB-EMS/EMS, establecida para este estudio, se utilizó la valoración del esfuerzo percibido de cada participante⁹⁶.

Se utilizó una planilla de esta escala para explicar el nivel de esfuerzo que debía percibir en la sesión y así determinar la intensidad con cada participante. (FIGURA 15)¹⁵⁹. El uso de la Escala de Borg modificada se justifica por la imposibilidad de cuantificar la intensidad de la contracción (MCV) al realizar la EMS de forma dinámica¹⁵⁹.

A través de la Percepción Subjetiva de la persona mediante la Escala Borg CR-10: RPE^{158,159}, se determinó una intensidad de 4/5 RPE sobre 10 en la parte principal de la sesión, es decir, un nivel de esfuerzo entre algo fuerte y fuerte, sin sobrepasar el nivel 6 para evitar todo riesgo posible de RM o de efectos negativos para la salud del participante al no haber realizado un período de adaptación previo a la corriente eléctrica¹⁸⁰ (VER RME POR EENM Y WB-EMS), no siendo aconsejable intensidades de esfuerzo máximo en una sesión de EMS aislada¹⁰¹.

ESCALA BORG CR-10	
0	NADA EN ABSOLUTO
0,05	EXTREMADAMENTE SUAVE
1	MUY SUAVE
2	SUAVE
3	MODERADO
4	ALGO FUERTE
5	FUERTE
6	
7	MUY FUERTE
8	
9	
10	EXTREMADAMENTE FUERTE
*	MÁXIMO ABSOLUTO

FIGURA 15. Escala de Borg modificada CR-10.

Al producirse una acomodación del cuerpo a la corriente eléctrica durante la sesión de EMS, da lugar a una mayor tolerancia de la persona a la intensidad¹⁸⁶. Por ello, dependiendo del nivel de tolerancia de cada participante, el investigador fue aumentando la intensidad cada 3 min en función de las sensaciones del participante para mantener el nivel de esfuerzo solicitado a lo largo de la parte principal de la sesión.

En la fase del calentamiento, la intensidad se estableció entre 2/3 RPE (de suave a moderado) y en la fase de enfriamiento o vuelta a la calma fue de 2/1 RPE (suave a muy suave).

La intensidad de los ejercicios dinámicos en el grupo control con WB-EMS apagado se ajustó de la misma manera, mediante la RPE y los mismos parámetros utilizados en los grupos con EMS dinámica.

La colocación de los electrodos:

a) Grupo EMS: electrodos colocados en puntos motores del TrA y en la pared lateral abdominal (OE e OI).

Se mapeó la superficie muscular del TrA con el lápiz-electrodo de estimulación para identificar el área de la piel que mejor respuesta tuviera a la estimulación eléctrica⁹⁴, de esta manera, se minimiza la intensidad de la corriente que es necesaria para provocar la contracción muscular y la sensación de incomodidad. Se hizo una señal con lápiz demográfico en la piel para su posterior adherencia del electrodo.

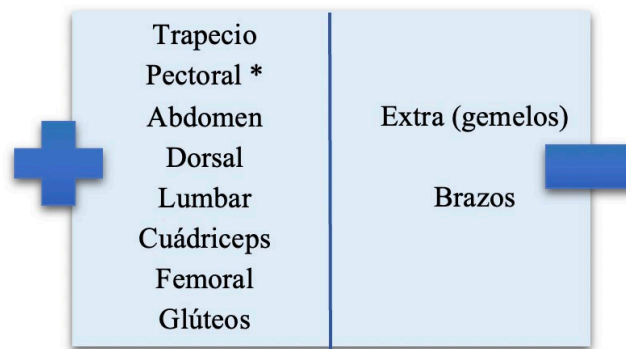
Se utilizaron electrodos de tamaño 100 x 50 mm ya que cuanto más grande es el electrodo que se puede aplicar en un área determinada es más soportable la corriente eléctrica para la persona pudiendo alcanzar mayores intensidades de esta. Antes de su colocación, se comprobó que la piel del participante no presentará ninguna alteración que contraindicará o desaconsejará su uso.

b) Grupo WB-EMS y grupo control: electrodos situados en el WB-EMS.

A través de los electrodos colocados en el WB-EMS se estimularon nueve grupos musculares (TABLA 11).

En este estudio se dispuso, por razones de seguridad, no aplicar corriente eléctrica en la zona del pecho. Por tanto, se modificó la posición de los electrodos de la zona pectoral con la finalidad de activar la musculatura de la pared abdominal lateral, colocándolos uno en cada lado, para estimular la musculatura del OE y OI, a mayores de los electrodos colocados la pared anterior del abdomen que estimulaban los RA y el TrA.

*TABLA 11. Grupos musculares estimulados con WB-EMS inalámbrico. *Electrodos colocados en la musculatura de la pared lateral abdominal (OI y OE).*



La intensidad de la corriente eléctrica del traje fue controlada por el investigador encargado de la intervención a través de una Tablet mediante Bluetooth pudiendo ajustar la intensidad de cada región corporal de forma específica. Se seleccionó una intensidad de 100% en la musculatura objeto de este estudio, la pared anterolateral del abdomen.

Para asegurar la transmisión de la corriente eléctrica del WB-EMS al tejido muscular, se solicitó a los participantes que acudieran a la sesión experimental con ropa ajustada 100% de algodón.

La ropa fue humedecida previamente a la colocación del WB-EMS con agua en las zonas de contacto con los electrodos, debiéndose mantener mojada durante el transcurso de la sesión para percibir adecuadamente la estimulación eléctrica. Para ello, el investigador que dirigió dichas intervenciones mojaba la ropa del participante si lo consideraba necesario en el transcurso de la sesión. Esta acción se realizó con los GE₁ y el GC que realizaban la sesión de ejercicios con WB-EMS. Asimismo, se humedecían los electrodos para garantizar su conductividad¹⁸⁰.

Así mismo, los WB-EMS además de ser desinfectados previamente entre participantes debido a las medidas anti-COVID, se empapaban de agua los electrodos para asegurar la transmisión de la corriente eléctrica como recomiendan sus fabricantes.

b) PROTOCOLO DE LOS EJERCICIOS FÍSICOS

Se elaboró una sesión de ejercicios físicos de 20 min de duración por parte de un equipo de expertos en entrenamiento deportivo; la cual, se dividió en tres partes (calentamiento, parte principal y vuelta a la calma) con diferentes ejercicios específicos que respondieran al objetivo de cada una de esas secciones.

La parte principal constaba de nueve ejercicios dinámicos, convencionales, empleados en programas de entrenamiento de estabilización central y en diversos estudios de WB-EMS^{151,179,181}, en este caso, con algunas modificaciones por las características del traje ya que el “cerebro” (centralita) se coloca en la parte posterior del chaleco no permitiendo la realización de ejercicios en decúbito supino.

Parte 1. Calentamiento o *warm up*: 5 min de ejercicios físicos (FIGURA 16) destinados a preparar el organismo para realizar la parte principal de la sesión, movilizandograndes grupos musculares y articulaciones¹⁸⁷.



FIGURA 16. Secuencia de los ejercicios físicos realizados en la parte del calentamiento de la sesión de EMS dinámica.

Parte 2. Parte principal o *Main part*: 12 min de ejercicios dinámicos (TABLA 12) destinados a estimular la contracción de la musculatura abdominal (TrA, OI, OE y RA)^{151,179,181}. La ejecución de cada ejercicio fue sincronizada con el ciclo EMS (4 s encendido, 4 s apagado)¹⁸⁶ (VER ANEXO IX).

TABLA 12. Secuencia de los ejercicios físicos realizados en la parte principal de la sesión de EMS dinámica.

1º/ 1 serie x 8 repeticiones	•Sentadillas dinámicas (dynamic squats)
2º/ 2 series x 8 repeticiones	•Zancadas laterales dinámicas, izquierda y derecha (dynamic side lunge left and right)
3º/ 2 series x 8 repeticiones	•Flexión lateral de tronco (lateral trunk flexion)
4º/ 2 series x 8 repeticiones	•Zancada estática hacia delante, derecha e izquierda (static forward lunge right and left)
5º/ 1 serie x 8 repeticiones	•Basculación en fitball (fitball titing)
6º/ 1 serie x 8 repeticiones	•Plancha en fitball (fitball front plank)
7º/ 2 series x 8 repeticiones	•Crunch diagonal, izquierda y derecha (dynamic crunches diagonal left and right)
8º/ 1 serie x 8 repeticiones	•Plancha lateral derecha (side plank right)
9º/ 1 serie x 8 repeticiones	•Plancha lateral izquierda (side plank left)

Parte 3. Vuelta a la calma o *Cool down*: ejercicios de estiramientos con la finalidad de restituir a los valores basales, la musculatura implicada en la parte principal de la sesión tanto a nivel metabólico como neuromuscular¹⁸⁸. Durante 3 min se realizaron diversos estiramientos suaves generales: cuádriceps, isquiotibiales, glúteos, musculatura abdominal, etc.

c) PROTOCOLO DE LA INTERVENCIÓN

En una primera sesión, se llevó a cabo el registro de los datos de los participantes y explicación del procedimiento de la intervención de EMS dinámica por parte del investigador encargado de la intervención (VER MATERIAL Y MÉTODOS; PARTICIPANTES).

En un segundo contacto con el participante se llevó a cabo la intervención con EMS dinámica, de acuerdo con la FIGURA 17.

En primer lugar, el investigador encargado de la evaluación ecográfica, en la sala contigua, capturó las imágenes RUSI de la musculatura abdominal tanto en reposo como en contracción muscular (TEPE) del participante.

Seguidamente, se realizaron las mediciones del pliegue abdominal bilateral y de los parámetros fisiológicos: FC, PAS, PAD y temperatura corporal, tras 10 min de reposo en posición de sedestación, realizadas por el investigador encargado de la intervención y siempre tomadas en el lado derecho del participante^{141,143}.

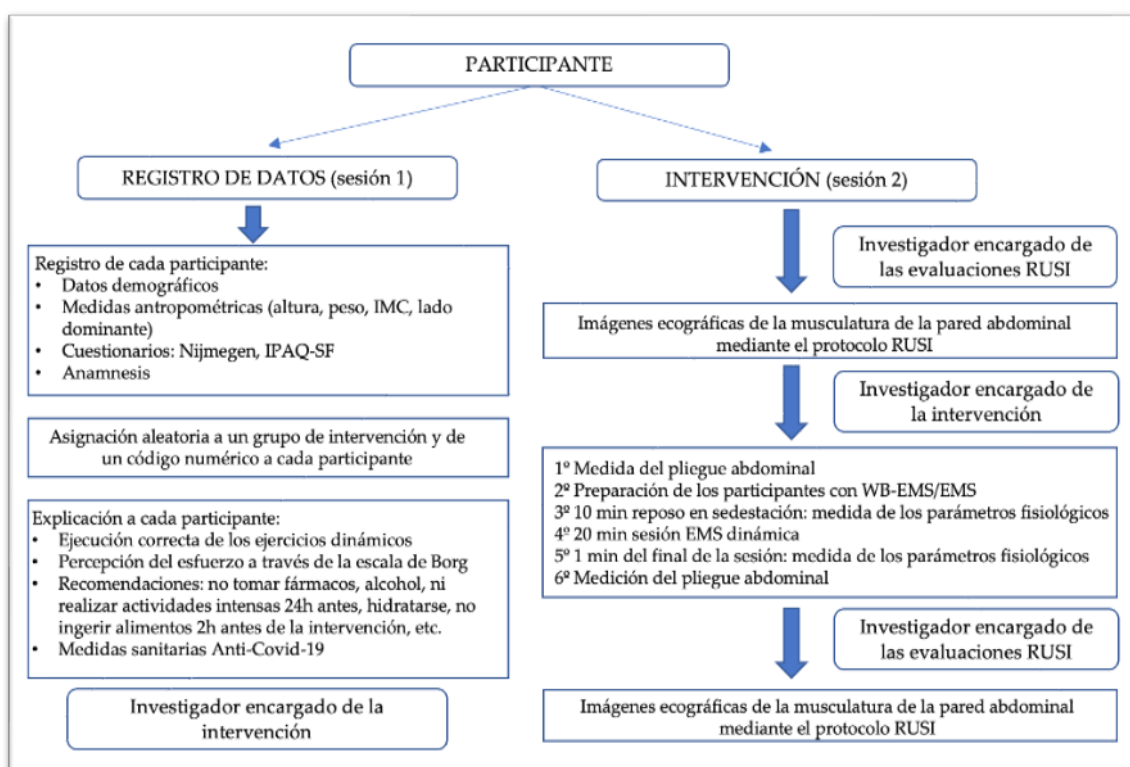


FIGURA 17. Diagrama del procedimiento de la intervención llevada a cabo en este estudio.

Se llevó a cabo la intervención correspondiente en función del grupo de estudio al que cada participante había sido asignado de forma aleatoria en el primer día de contacto: WB-EMS, EMS o control. La intervención consistió en una única sesión de EMS dinámica con los parámetros eléctricos^{179,181,184} y los ejercicios dinámicos^{151,179,181} expuestos en la TABLA 13.

TABLA 13. Protocolo de la sesión de EMS dinámica.

Sesión: 20 min	PROTOCOLO DE PARÁMETROS	PROTOCOLO DE EJERCICIOS
	ELÉCTRICOS	DINÁMICOS
Calentamiento <i>(Warm up)</i> 5 min	Corriente rectangular bipolar 20 Hz – 350 μ s No periodos de estimulación/descanso	2 min caminar 30 rodillas pecho 1 min caminar 30 rodillas glúteo 1 min caminar
INTENSIDAD: 2 / 3 RPE		
Parte principal <i>(Main part)</i> 12 min	Corriente rectangular bipolar 85 Hz – 350 μ s 4 s estimulación / 4 s descanso	1 x 8 = sentadillas 2 x 8 = zancadas laterales 2 x 8 = flexión lateral tronco 2 x 8 = zancada hacia delante 1 x 8 = basculación en fitball 1 x 8 = plancha en fitball 2 x 8 = crunch diagonal 2 x 8 = plancha lateral
INTENSIDAD: 4 / 5 / 6 RPE		
Vuelta a la calma <i>(Cool down)</i> 3 min	Corriente rectangular bipolar 5 Hz – 150 μ s 1 s estimulación / 1 s descanso	Estiramientos: isquiotibiales, cuádriceps, glúteos, etc.
INTENSIDAD: 2 / 1 RPE		

Una vez finalizada la sesión de EMS dinámica, el investigador responsable de la misma evaluó los parámetros fisiológicos: FC, PAD, PAS y temperatura corporal 1 min después de finalizar el ejercicio en posición de reposo, en sedestación, y posteriormente se realizó la medición bilateral del pliegue abdominal^{141,143}.

Posteriormente, en la sala contigua, se realizó la evaluación de la musculatura de la pared abdominal mediante el protocolo RUSI por el investigador responsable de la captura de las imágenes ecográficas.

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los análisis estadísticos se realizaron con la versión 22.0 del programa informático *Social Sciences Statistical Package* (SPSS).

La distribución normal se evaluó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los datos categóricos se describieron mediante la frecuencia (n) y el porcentaje (%), y su comparación se realizó mediante la prueba de chi-cuadrado.

Los datos cuantitativos ajustados a la distribución normal se describieron mediante la media \pm DE y se completaron con el rango (mínimo-máximo), y su comparación entre grupos se realizó mediante un ANOVA de una vía.

Los datos cuantitativos ajustados por distribución no normal se describieron mediante mediana \pm rango intercuartílico (RI) y se completaron con rango (mínimo-máximo). La comparación entre grupos se realizó mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

El tamaño del efecto para las pruebas F se determinó mediante el coeficiente Eta cuadrado parcial (η^2), interpretando $\eta^2 = 0,01$ como un tamaño del efecto pequeño, $\eta^2 = 0,06$ como un tamaño del efecto medio, y $\eta^2 = 0,14$ como un tamaño del efecto grande¹⁸⁹⁻¹⁹¹.

Se realizaron comparaciones post-hoc utilizando la corrección de Bonferroni y valores p ajustados, así como sus tamaños del efecto, que se calcularon mediante la d de Cohen y se categorizaron como tamaños del efecto muy pequeños si $d < 0,20$, tamaños del efecto pequeños si $d = 0,20-0,49$, tamaños del efecto medianos si $d = 0,50-0,79$, y tamaños del efecto grandes si $d > 0,8$ ¹⁹². Los valores $p < 0,05$ se interpretaron como estadísticamente significativos con respecto a un intervalo de confianza (IC) del 95%.

Con el fin de detallar las comparaciones intra e intergrupos, se realizó un ANOVA de dos vías, incluyendo tres grupos y dos momentos de medición, considerando las mediciones repetidas a lo largo del tiempo (antes y después de las intervenciones) como

un factor intrasujeto, así como los grupos (EMS, WB-EMS y control) como un factor entre grupos, y se completó con gráficos lineales con el fin de detallar las comparaciones para todas las mediciones de resultados, respectivamente¹⁹³. Además, la significación de estas pruebas se consideró mediante la corrección de Greenhouse-Geisser cuando las pruebas de Mauchly rechazaron la esfericidad¹⁹⁴. De hecho, se aplicaron las correcciones de Bonferroni para determinar las comparaciones post-hoc. Una vez más, los tamaños del efecto para las pruebas F se calcularon mediante los coeficientes Eta cuadrado parcial (η^2), como se ha descrito anteriormente¹⁸⁹⁻¹⁹¹.

Por último, se realizaron análisis de regresión multivariante para predecir las diferencias de medición de resultados (post-pre) después de la intervención sobre la base de los datos de referencia para comprobar si las diferencias de referencia o características podrían influir en los resultados de nuestro estudio.

Los modelos de regresión lineal se realizaron mediante el método de selección por pasos, y se calculó el coeficiente R^2 para determinar la calidad del ajuste¹⁹⁵. Los datos basales se seleccionaron como variables independientes, incluyendo grupo (EMS = 1; WB-EMS = 2; y control = 3), sexo (masculino = 1; femenino = 2), dominancia (derecha = 1; izquierda = 2), edad (años), IPAQ (METs/min/semana), tiempo sentado (min), nivel IPAQ (sedentario = 1; moderado = 2; y vigoroso = 3), puntuación Nijmegen (puntos), peso (kg), altura (m), IMC (kg/m^2) y pliegue abdominal (mm).

Se seleccionaron como variables dependientes las diferencias en las mediciones de los resultados (post-pre) tras la intervención. Se consideraron valores de probabilidades F preestablecidos de $P_{in} = 0,05$ a $P_{out} = 0,10$.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. DIAGRAMA DE FLUJO

En la fase del reclutamiento de la muestra del estudio piloto, se presentaron voluntariamente 22 personas ($n = 22$), de los cuales tres participantes fueron excluidos, uno de ellos por razones de seguridad por padecer fibrosis quística pulmonar, otro por una lesión en el ligamento lateral interno de la rodilla en los días que se estaba llevando a cabo este proceso de selección y el tercer participante por tener un IMC superior a 30 Kg/m². De las 19 personas, 15 fueron seleccionadas y asignadas aleatoriamente ($n = 15$), a los grupos de estudio, EMS ($n = 5$), WB-EMS ($n = 5$) y control ($n = 5$). (FIGURA 18)¹⁹⁵.

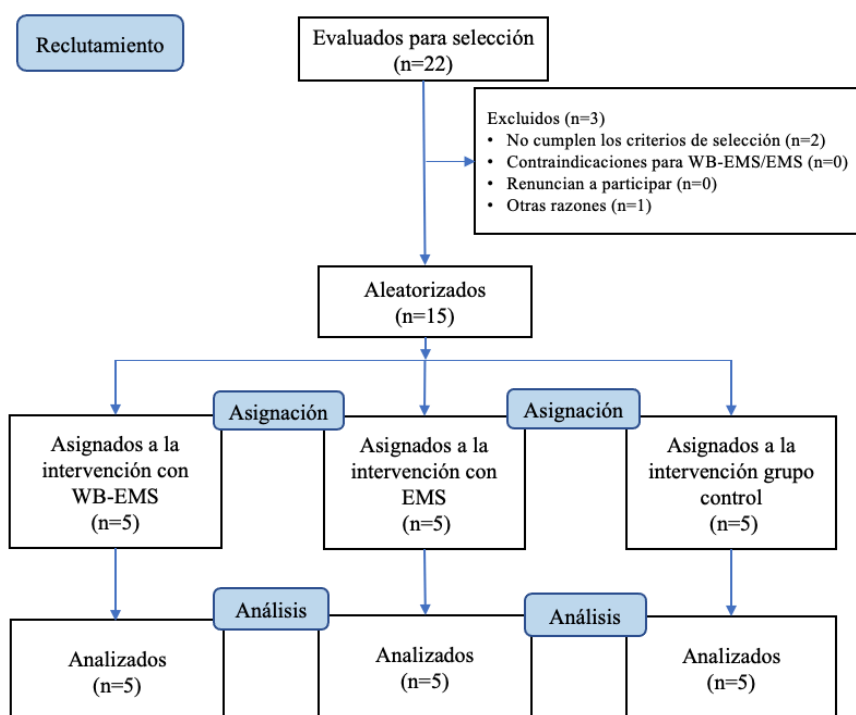


FIGURA 18. CONSORT 2010 Diagrama de flujo que incluye todas las fases del ensayo clínico aleatorizado del estudio piloto.

En la fase del reclutamiento de la muestra de la fase definitiva, de la totalidad de los participantes evaluados para su admisibilidad/selección en este estudio ($n = 133$) en función de los criterios de elegibilidad preestablecidos (VER MATERIAL Y MÉTODOS), siete participantes fueron excluidos por los siguientes motivos: cirugía abdominal en el último año ($n = 1$); lesión muscular reciente ($n = 1$); puntuación > 23

puntos en el cuestionario de Nijmegen ($n = 3$); IMC $> 30 \text{ kg/m}^2$ ($n = 1$) y actividad deportiva profesional ($n = 1$) (FIGURA 19)¹⁹⁵.

Los participantes seleccionados para participar en esta investigación ($n = 120$) fueron asignados aleatoriamente a los grupos de EMS ($n = 40$), WB-EMS ($n = 40$) y control ($n = 40$) completando todas las fases de esta.

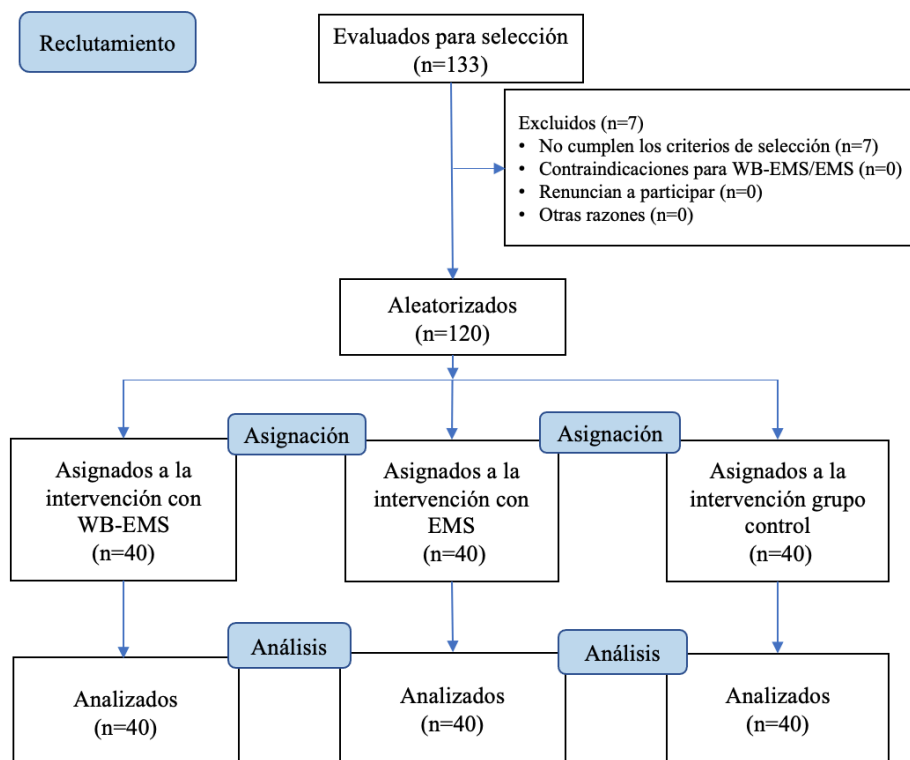


FIGURA 19. CONSORT 2010 Diagrama de flujo que incluye todas las fases del ensayo clínico aleatorizado.

4.2. MEDIDAS BASALES

Las comparaciones de los datos descriptivos no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los grupos EMS, WB-EMS y control para la puntuación IPAQ, la puntuación de Nijmegen, la altura, el IMC, el sexo, la dominancia y el nivel IPAQ (TABLA 14).

Sin embargo, hubo diferencias estadísticamente significativas para la distribución de la edad ($p = 0,033$), el tiempo sentado ($p < 0,001$), el pliegue abdominal ($p < 0,001$) y la dominancia ($p < 0,001$).

De acuerdo con la corrección de Bonferroni, las comparaciones post-hoc mostraron una mayor edad para el grupo de WB-EMS con respecto al grupo de control ($p = 0,035$), un mayor tiempo sentado para el grupo de EMS con respecto a los grupos de WB-EMS ($p < 0,001$) y de control ($p = 0,001$), así como mayores pliegues abdominales para el grupo de EMS con respecto a los grupos de WB-EMS ($p = 0,017$) y de control ($p < 0,001$).

Además, los grupos EMS mostraron una mayor presencia de dominancia izquierda con respecto a los grupos WB-EMS y control. El resto de las comparaciones post-hoc no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$).

Las comparaciones para las mediciones de los resultados basales no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$) entre los grupos EMS, WB-EMS y control para la FC, PAS, PAD y temperatura, así como bilateralmente para el grosor muscular de TrA, RA, OI y OE y los cambios de la DER tras las intervenciones (TABLA 15).

TABLA 14. Comparaciones de datos descriptivos entre los grupos de EMS, WB-EMS y control.

Datos iniciales	EMS (n = 40)	WB-EMS (n = 40)	Control (n = 40)	Valor -p
Edad (años)	21,00 ± 2,00 (18–30)	21,00 ± 6,00 (18–35)	20,00 ± 2,75 (17–28)	0,033 †
IPAQ (METs/min/semana)	3022 ± 2064 (889–11,000)	2679 ± 3101 (66–7944)	1879 ± 4650 (33–14,493)	0,253 †
Tiempo sentado (minutos)	480 ± 225 (180–720)	300 ± 285 (0–600)	360 ± 172 (0–720)	<0,001 †
Nijmegen (puntuación)	12,42 ± 6,08 (0–22)	9,85 ± 5,59 (0–22)	12,67 ± 5,23 (3–22)	0,050 *
Peso (Kg)	69,96 ± 15,18 (45–106)	66,36 ± 12,18 (39,90–97,50)	64,30 ± 11,33 (44,40–108,60)	0,148 *
Altura (m)	1,71 ± 0,17 (1,52–2,00)	1,66 ± 0,12 (1,50–1,87)	1,64 ± 0,11 (1,50–1,83)	0,166 †
IMC (Kg / m ²)	19,54 ± 5,23 (14,15–29,94)	19,86 ± 4,71 (13,30–26,35)	18,97 ± 2,74 (14,14–29,67)	0,358 †
Pliegue abdominal (mm)	15,00 ± 6,75 (4–30)	12,00 ± 16,09 (0–35)	10,17 ± 11,58 (0–41,67)	0,017 †
Sexo (masculino/femenino)	20 (50%) / 20 (50%)	17 (42,55%) / 23 (57,5%)	13 (32,5%) / 27 (67,5%)	0,281 ‡
Dominancia (derecha/izquierda)	21 (52,5%) / 19 (47,5%)	37 (92,5%) / 3 (7,5%)	36 (90%) / 4 (10%)	<0,001 ‡
Nivel IPAQ (nivel I/II/III)	0 (52,5%) / 20 (47,5%) / 20 (47,5%)	6 (52,5%) / 13 (47,5%) / 21 (47,5%)	4 (52,5%) / 19 (47,5%) / 17 (47,5%)	0,103 ‡

Abreviaturas: IMC, índice de masa corporal; EMS, estimulación eléctrica muscular; IPAQ, Cuestionario de Actividad Física (nivel I-ligero, nivel II-moderado y nivel III-vigoroso); METs/min/semana, equivalentes metabólicos por minuto y por semana; WB-EMS, estimulación eléctrica muscular de cuerpo entero. * Se utilizaron la media ± desviación estándar (DE) y el intervalo (mínimo-máximo) y se compararon mediante el análisis de varianza unidireccional (ANOVA). † Se utilizaron la mediana ± el rango intercuartílico y el rango (mínimo-máximo) y se compararon mediante la prueba de Kruskal-Wallis. ‡ Se utilizaron la frecuencia (n) y el porcentaje (%) y se compararon mediante la prueba de Chi-cuadrado. Los valores $p < 0,05$ fueron estadísticamente significativos (negrita) con respecto a un intervalo de confianza (IC) del 95%.

TABLA 15. Comparaciones de las mediciones de los resultados previos a la intervención entre los grupos EMS, WB-EMS y control.

Medidas basales de resultado	EMS (n = 40)	WB-EMS (n = 40)	Control (n = 40)	Valor-p
FC (lpm)	76,00 ± 18,25 (51–118)	71,00 ± 18,25 (51–100)	79,00 ± 16,25 (54–116)	0,249 †
PAS (mmHg)	12,30 ± 1,60 (10,30–14,60)	12,40 ± 1,88 (10,50–14,25)	12,30 ± 1,75 (9,10–14,50)	0,236 †
PAD (mmHg)	7,15 ± 1,00 (5,20–8,60)	7,35 ± 1,07 (6,00–9,90)	7,10 ± 1,20 (6,00–9,40)	0,351 †
Temperatura (°C)	36,65 ± 0,30 (36,40–36,90)	36,60 ± 0,40 (35,70–36,90)	36,60 ± 0,18 (34,60–36,80)	0,050 †
DER cambio (cm)	0,09 ± 0,23 (–0,20–0,61)	0,08 ± 0,11 (–0,19–1,03)	0,09 ± 0,09 (–0,12–0,38)	0,715 †
TrA derecho cambio grosor (cm)	0,05 ± 0,13 (–0,06–0,29)	0,04 ± 0,04 (–0,07–0,17)	0,02 ± 0,07 (–0,09–0,36)	0,108 †
TrA izquierdo cambio grosor (cm)	0,04 ± 0,10 (–0,07–0,31)	0,02 ± 0,09 (–0,09–0,23)	0,04 ± 0,08 (–0,10–0,42)	0,191 †
OI derecho cambio grosor (cm)	0,05 ± 0,16 (–0,14–0,37)	0,06 ± 0,13 (–0,20–0,28)	0,02 ± 0,09 (–0,14–0,37)	0,270 †
OI izquierdo cambio grosor (cm)	0,03 ± 0,11 (–0,16–0,30)	0,03 ± 0,10 (–0,17–0,27)	0,04 ± 0,12 (–0,13–0,43)	0,594 †
OE derecho cambio grosor (cm)	–0,03 ± 0,10 (–0,25–0,08)	–0,03 ± 0,10 (–0,25–0,21)	–0,01 ± 0,09 (–0,22–0,14)	0,294 †
OE izquierdo cambio grosor (cm)	–0,03 ± 0,11 (–0,26–0,14)	–0,02 ± 0,09 (–0,19–0,13)	–0,01 ± 0,08 (–0,15–0,12)	0,069 †
RA derecho cambio grosor (cm)	0,03 ± 0,10 (–0,10–0,25)	0,03 ± 0,06 (–0,05–0,32)	0,03 ± 0,06 (–0,09–0,20)	0,977 †
RA izquierdo cambio grosor (cm)	0,03 ± 0,09 (–0,08–0,20)	0,04 ± 0,07 (–0,06–0,30)	0,05 ± 0,07 (–0,25–0,34)	0,672 †

Abreviaturas: lpm, latidos por minuto; PAD, presión arterial diastólica; EMS, estimulación eléctrica muscular; OE, oblicuo externo; FC, frecuencia cardiaca; OI, oblicuo interno; DER, distancia entre rectos abdominales; RA, recto anterior; PAS, presión arterial sistólica; TrA, transverso abdominal; WB-EMS, estimulación eléctrica muscular de cuerpo entero; °C, grados centígrados. † Se utilizaron la mediana ± rango intercuartílico y el rango (mínimo-máximo) y se compararon mediante la prueba de Kruskal-Wallis. Los valores $p < 0,05$ fueron estadísticamente significativos (negrita) con respecto a un intervalo de confianza (IC) del 95%.

4.3. DIFERENCIAS EN LAS MEDICIONES DE RESULTADOS TRAS LAS INTERVENCIONES

A pesar de que las comparaciones de las mediciones de los resultados tras las intervenciones no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los grupos de EMS, WB-EMS y control para la PAS, la PAD y la temperatura, así como bilateralmente para el grosor de los músculos TrA, RA, OI y OE y los cambios en la DER después de las intervenciones (TABLA 16), hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos con un gran tamaño del efecto global para las diferencias de FC después de las intervenciones ($p < 0,001$; $F_{(2,117)} = 30,874$; $\eta^2 = 0,345$).

Según la corrección de Bonferroni, las comparaciones post-hoc mostraron un aumento de la FC con un gran tamaño del efecto para los grupos WB-EMS (diferencia media = 25,05 lpm; $p < 0,001$; $d = 1,53$) y control (diferencia media = 19,92 lpm; $p < 0,001$; $d = 1,22$) con respecto al grupo EMS (FIGURA 20).

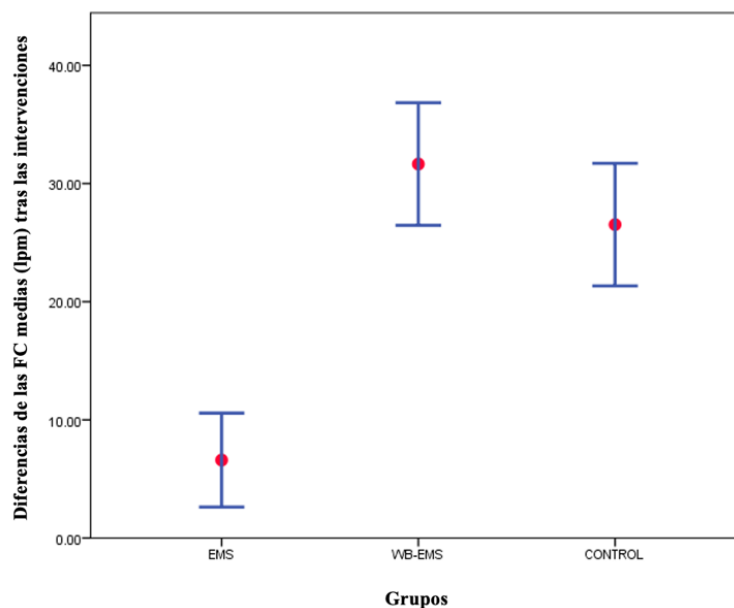


FIGURA 20. Gráficos de barras que muestran las diferencias de las medias de FC tras las intervenciones completadas con la DE entre los grupos EMS, WB-EMS y control. Abreviaturas: lpm, pulsaciones por minuto; EMS, estimulación eléctrica muscular; DE, desviaciones estándar; WB-EMS, estimulación eléctrica muscular de cuerpo entero.

Resultados

TABLA 16. Comparaciones de las diferencias en la medición de los resultados entre los grupos EMS, WB-EMS y control después de las intervenciones.

Medidas de resultado	EMS (n = 40)			WB-EMS (n = 40)			Control (n = 40)			Valor - p
	Pre	Post	Diferencia	Pre	Post	Diferencia	Pre	Post	Diferencia	
FC (lpm)	78,40 ± 15,49 (51-118)	85,00 ± 22,28 (53-137)	6,60 ± 12,42 (-22-31)	73,47 ± 13,16 (51-100)	105,12 ± 18,12 (59-137)	31,65 ± 16,22 (1-71)	74,10 ± 15,68 (54-116)	100,62 ± 20,81 (59-137)	26,52 ± 16,22 (-4-75)	<0.001 *
PAS (mmHg)	12,30 ± 1,60 (10,30-14,60)	11,95 ± 2,13 (9,90-14,90)	0,00 ± 0,88 (-3,20-2,90)	12,40 ± 1,88 (10,50-14,25)	12,10 ± 1,30 (9,70-14,70)	-0,30 ± 1,67 (-3,70-2,00)	12,30 ± 1,75 (9,10-14,50)	11,70 ± 1,45 (9,70-14,10)	-0,20 ± 1,30 (-3,40-5,00)	0.665 †
PAD (mmHg)	7,27 ± 0,73 (5,20-8,60)	7,12 ± 0,88 (5,40-9,50)	-0,15 ± 0,94 (-1,90-2,40)	7,53 ± 7,85 (6,00-9,90)	7,60 ± 0,90 (5,50-9,70)	0,06 ± 0,84 (-1,50-2,00)	8,66 ± 9,00 (6,00-9,40)	8,52 ± 8,72 (5,10-9,20)	-0,13 ± 0,78 (-2,00-2,30)	0.439 *
Temperatura (°C)	36,65 ± 0,30 (36,40-36,90)	36,55 ± 0,30 (36,80-37,20)	-0,10 ± 0,40 (-1,60-0,70)	36,60 ± 0,40 (35,70-36,90)	36,50 ± 0,38 (35,00-37,90)	-0,10 ± 0,48 (-1,30-1,10)	36,60 ± 0,18 (34,60-36,80)	36,50 ± 0,48 (34,60-36,90)	-0,10 ± 0,50 (-2,00-2,00)	0.755 †
DER (cm)	0,09 ± 0,23 (-0,20-0,61)	0,03 ± 0,23 (-0,35-0,45)	-0,07 ± 0,18 (-0,58-0,22)	0,08 ± 0,11 (-0,19-1,03)	-0,01 ± 0,15 (-0,22-0,33)	-0,07 ± 0,18 (-1,09-0,18)	0,09 ± 0,09 (-0,12-0,38)	0,03 ± 0,08 (-0,09-0,15)	-0,09 ± 0,18 (-0,46-0,22)	0.597 †
TrA derecho grosor (cm)	0,05 ± 0,13 (-0,06-0,29)	0,04 ± 0,11 (-0,06-0,28)	0,00 ± 0,07 (-0,19-0,14)	0,04 ± 0,04 (-0,07-0,17)	0,03 ± 0,08 (-0,09-0,15)	0,00 ± 0,08 (-0,14-0,15)	0,02 ± 0,07 (-0,09-0,36)	0,01 ± 0,07 (-0,05-0,27)	0,00 ± 0,07 (-0,14-0,26)	0.952 †
TrA izquierdo grosor (cm)	0,04 ± 0,10 (-0,07-0,31)	0,04 ± 0,08 (-0,03-0,19)	0,00 ± 0,08 (-0,19-0,17)	0,02 ± 0,09 (-0,09-0,23)	0,02 ± 0,06 (-0,08-0,16)	0,01 ± 0,08 (-0,15-0,21)	0,04 ± 0,08 (-0,10-0,42)	0,03 ± 0,08 (-0,09-0,49)	-0,01 ± 0,10 (-0,35-0,18)	0.644 †
OI derecho grosor (cm)	0,05 ± 0,16 (-0,14-0,37)	0,05 ± 0,10 (-0,12-0,39)	0,00 ± 0,11 (-0,37-0,29)	0,06 ± 0,13 (-0,20-0,28)	0,05 ± 0,13 (-0,04-0,41)	0,01 ± 0,09 (-0,29-0,18)	0,02 ± 0,09 (-0,14-0,37)	0,04 ± 0,10 (-0,15-0,44)	0,01 ± 0,13 (-0,26-0,26)	0.819 †
OI izquierdo grosor (cm)	0,03 ± 0,11 (-0,16-0,30)	0,03 ± 0,12 (-0,13-0,20)	0,01 ± 0,11 (-0,43-0,20)	0,03 ± 0,10 (-0,17-0,27)	0,03 ± 0,15 (-0,15-0,35)	0,02 ± 0,13 (-0,27-0,23)	0,04 ± 0,12 (-0,13-0,43)	0,06 ± 0,08 (-0,10-0,34)	0,02 ± 0,10 (-0,29-0,27)	0.780 †
OE derecho grosor (cm)	-0,03 ± 0,10 (-0,25-0,08)	-0,01 ± 0,10 (-0,18-0,16)	0,01 ± 0,10 (-0,12-0,26)	-0,03 ± 0,10 (-0,25-0,21)	-0,02 ± 0,11 (-0,21-0,10)	0,00 ± 0,12 (-0,40-0,28)	-0,01 ± 0,09 (-0,22-0,14)	-0,01 ± 0,07 (-0,16-0,13)	0,01 ± 0,08 (-0,14-0,21)	0.816 †
OE izquierdo grosor (cm)	-0,04 ± 0,08 (-0,26-0,14)	-0,03 ± 0,07 (-0,20-0,12)	0,01 ± 0,07 (-0,24-0,20)	-0,01 ± 0,07 (-0,19-0,13)	0,00 ± 0,08 (-0,18-0,18)	0,01 ± 0,09 (-0,20-0,24)	-0,01 ± 0,06 (-0,15-0,12)	0,00 ± 0,07 (-0,16-0,20)	0,01 ± 0,07 (-0,17-0,19)	0.792 *
RA derecho grosor (cm)	0,03 ± 0,10 (-0,10-0,25)	0,02 ± 0,10 (-0,06-0,13)	-0,01 ± 0,08 (-0,17-0,12)	0,03 ± 0,06 (-0,05-0,32)	0,03 ± 0,07 (-0,08-0,21)	0,00 ± 0,06 (-0,15-0,10)	0,03 ± 0,06 (-0,09-0,20)	0,05 ± 0,06 (-0,06-0,16)	0,01 ± 0,05 (-0,08-0,23)	0.264 †
RA izquierdo grosor (cm)	0,03 ± 0,09 (-0,08-0,20)	0,03 ± 0,10 (-0,12-0,12)	-0,01 ± 0,06 (-0,19-0,14)	0,04 ± 0,07 (-0,06-0,30)	0,04 ± 0,09 (-0,04-0,22)	0,00 ± 0,07 (-0,15-0,15)	0,05 ± 0,07 (-0,25-0,34)	0,05 ± 0,06 (-0,07-0,13)	-0,01 ± 0,08 (-0,26-0,32)	0.381 †

Abreviaturas: lpm, latidos por minuto; PAD, presión arterial diastólica; EMS, estimulación eléctrica muscular; OE, oblicuo externo; FC, frecuencia cardíaca; OI, oblicuo interno; DER, distancia entre rectos abdominales; RA, recto anterior; PAS, presión arterial sistólica; TrA, transversal abdominal; WB-EMS, estimulación eléctrica muscular de cuerpo entero; °C, grados centígrados. * Se utilizaron la media ± desviación estándar y el rango (mínimo-máximo) y se compararon mediante el análisis de varianza de una vía (ANOVA). † Se utilizaron mediana ± rango intercuartílico y el rango (mínimo-máximo) y se compararon mediante la prueba de Kruskal-Wallis. Los valores $p < 0,05$ fueron estadísticamente significativos (negrita) con respecto a un intervalo de confianza (IC) del 95%.

4.4. ANOVA DE DOS VÍAS DE MEDIDAS REPETIDAS PARA COMPARACIONES INTRAGRUPRO E INTERGRUPRO

Los hallazgos descritos fueron confirmados por el ANOVA de dos vías para medidas repetidas a fin de detallar las comparaciones intra e intergrupales. En primer lugar, la FC mostró diferencias significativas para el tiempo ($p < 0,001$; $F = 246,546$; $\eta^2 = 0,678$) y la interacción tiempo*grupo ($p < 0,001$; $F = 30,874$; $\eta^2 = 0,345$).

Las comparaciones post-hoc mostraron diferencias intragrupo estadísticamente significativas ($p < 0,01$) para un aumento de la FC en todos los grupos después de las intervenciones y diferencias estadísticamente significativas intergrupo con un gran tamaño del efecto ($p < 0,001$; $d = 1,22-1,53$) para un aumento de la FC tanto en el grupo WB-EMS como en el grupo control con respecto al grupo EMS (FIGURA 21).

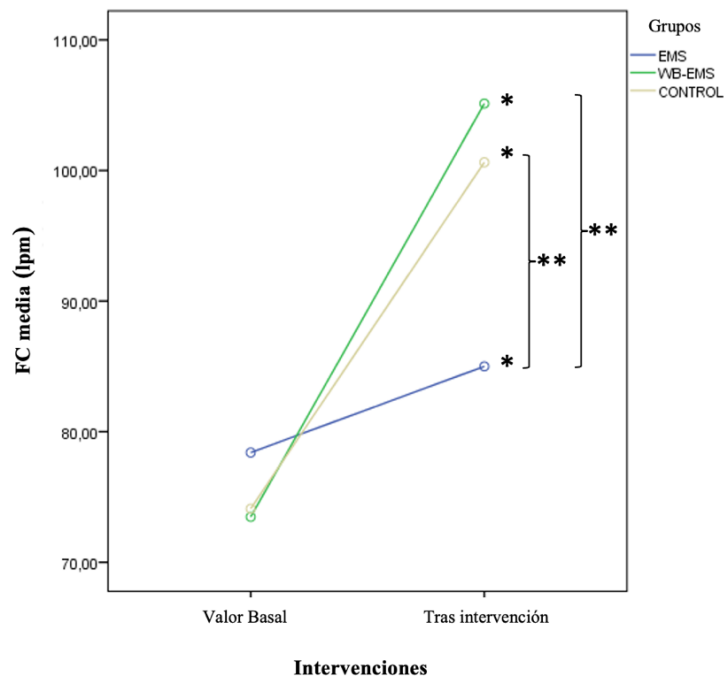


FIGURA 21. Gráficos lineales que muestran las FC medias, antes y después de las intervenciones, así como las comparaciones intra e intergrupo entre los grupos EMS, WB-EMS y control. Abreviaturas: lpm, pulsaciones por minuto; EMS, estimulación eléctrica muscular; WB-EMS, estimulación eléctrica muscular de cuerpo entero. * Las comparaciones intragrupos mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). ** Las comparaciones intergrupos mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Por otra parte, el ANOVA para mediciones repetidas de la PAS no mostró diferencias estadísticamente significativas para el tiempo ($p = 0,246$; $F = 1,362$; $\eta p^2 = 0,012$) ni para la interacción tiempo \times grupo ($p = 0,312$; $F = 1,177$; $\eta p^2 = 0,020$).

Igualmente, la PAD no presentó diferencias estadísticamente significativas para el tiempo ($p = 0,342$; $F = 0,911$; $\eta p^2 = 0,008$) ni para la interacción tiempo \times grupo ($p = 0,439$; $F = 0,829$; $\eta p^2 = 0,014$).

A continuación, un ANOVA para medidas repetidas de temperatura mostró diferencias significativas para el tiempo ($p = 0,002$; $F = 9,667$; $\eta p^2 = 0,076$), pero no para la interacción tiempo \times grupo ($p = 0,668$; $F = 0,406$; $\eta p^2 = 0,007$).

Las comparaciones intragrupo mediante las correcciones de Bonferroni mostraron una reducción significativa de la temperatura tras las intervenciones EMS ($p = 0,028$; $d = 0,21$) y control ($p = 0,038$; $d = 0,42$), pero no tras las intervenciones WB-EMS ($p = 0,290$; $d = 0,21$) (FIGURA 22).

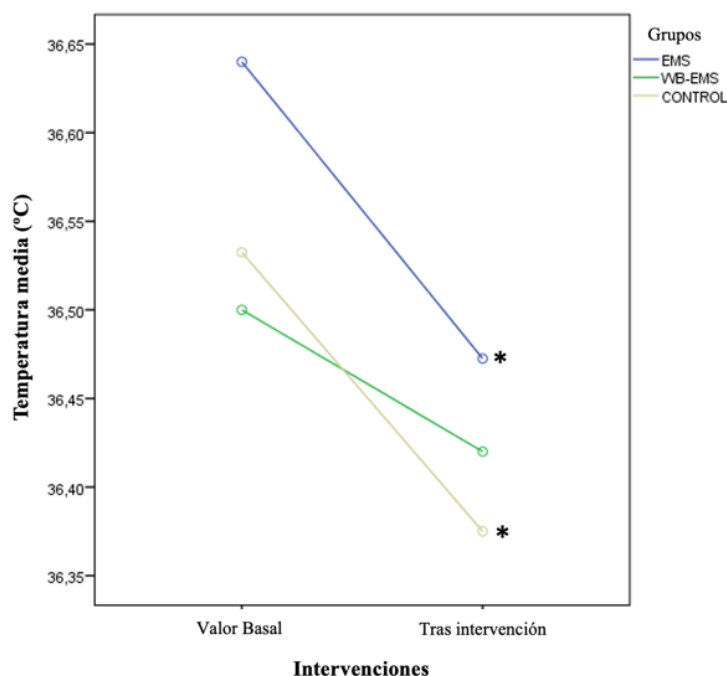


FIGURA 22. Gráficos lineales que muestran la temperatura media, antes y después de las intervenciones, así como las comparaciones intragrupos entre los grupos EMS, WB-EMS y control. Abreviaturas: EMS, estimulación eléctrica muscular; WB-EMS, estimulación eléctrica muscular de cuerpo entero. * Las comparaciones intragrupos mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Además, los cambios en la DER presentaron diferencias estadísticamente significativas para el tiempo ($p < 0,001$; $F = 32,877$; $\eta^2 = 0,219$), aunque no para la interacción tiempo*grupo ($p = 0,651$; $F = 0,430$; $\eta^2 = 0,007$).

De hecho, las comparaciones intragrupo, utilizando la corrección de Bonferroni, mostraron una reducción significativa del cambio de la DER después de todas las intervenciones, tanto del grupo de EMS ($p = 0,012$; $d = 0,37$; $d = 0,37$), del grupo de WB-EMS ($p < 0,001$; $d = 0,63$), y del grupo control ($p < 0,001$; $d = 0,97$) (FIGURA 23).

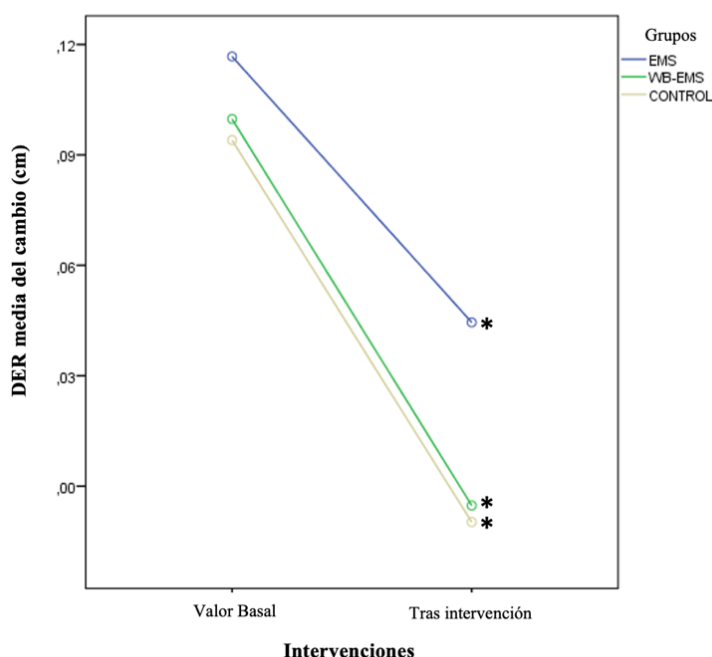


FIGURA 23. Gráficos lineales que muestran el cambio medio de la DER, antes y después de las intervenciones, así como comparaciones intragrupos entre los grupos EMS, WB-EMS y control. Abreviaturas: cm, centímetros; EMS, estimulación eléctrica muscular; DER, distancia entre rectos abdominales; WB-EMS, estimulación muscular eléctrica de cuerpo entero. * Las comparaciones intragrupos mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

En cuanto al resto de las mediciones RUSI, no hubo diferencias estadísticamente significativas para el tiempo teniendo en cuenta los cambios de grosor muscular del TrA derecho ($p = 0,942$; $F = 0,005$; $\eta^2 = 0,000$) e izquierdo ($p = 0,466$; $F = 0,536$; $\eta^2 = 0,005$). En el OI derecho ($p = 0,618$; $F = 0,250$; $\eta^2 = 0,002$) e izquierdo ($p = 0,566$; $F = 0,331$; $\eta^2 = 0,003$). Del OE derecho ($p = 0,363$; $F = 0,835$; $\eta^2 = 0,007$) e izquierdo (p

= 0,081; $F = 3,093$; $\eta p^2 = 0,026$). Así como, el RA derecho ($p = 0,975$; $F = 0,001$; $\eta p^2 = 0,000$) e izquierdo ($p = 0,971$; $F = 0,001$; $\eta p^2 = 0,000$).

Del mismo modo, no hubo diferencias estadísticamente significativas para la interacción tiempo \times grupo con respecto a los cambios de grosor muscular en el TrA lado derecho ($p = 0,891$; $F = 0,115$; $\eta p^2 = 0,002$) e izquierdo ($p = 0,415$; $F = 0,885$; $\eta p^2 = 0,015$). En el OI derecho ($p = 0,769$; $F = 0,263$; $\eta p^2 = 0,004$) e izquierdo ($p = 0,769$; $F = 0,263$; $\eta p^2 = 0,004$). En el OE derecho ($p = 0,671$; $F = 0,400$; $\eta p^2 = 0,007$) e izquierdo ($p = 0,792$; $F = 0,234$; $\eta p^2 = 0,004$), así como, en el RA derecho ($p = 0,190$; $F = 1,683$; $\eta p^2 = 0,028$) e izquierdo ($p = 0,322$; $F = 1,145$; $\eta p^2 = 0,019$).

4.5. MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIANTE

Los análisis de regresión multivariante no mostraron ningún modelo de regresión válido para predecir las diferencias en las mediciones de los resultados tras las intervenciones para la FC, la PAS y la PAD, así como para la DER y los cambios de grosor muscular del TrA izquierdo y de los músculos OI y OE, bilateralmente.

No obstante, un modelo de regresión lineal ($p = 0,014$; $F_{(1,118)} = 6,275$; $R^2 = 0,050$; $\beta = +0,003$) mostró que una mayor diferencia en el cambio en el grosor muscular del TrA derecho tras la intervención se predijo con una mayor puntuación en la prueba de Nijmegen.

Además, un modelo de regresión lineal mostró que una menor diferencia en el cambio en el grosor muscular del RA derecho tras la intervención ($p = 0,008$; $F_{(1,118)} = 7,238$; $R^2 = 0,058$; $\beta = -0,150$) se predecía por una menor estatura de los participantes. Igualmente, otro modelo de regresión lineal ($R^2 = 0,123$) determinó que una menor diferencia de cambio en el grosor muscular del RA izquierdo tras la intervención se predecía por una menor estatura ($p = 0,005$; $F_{(1,118)} = 8,330$; $R^2 = 0,066$; $\beta = -0,271$) y las puntuaciones menores de Nijmegen ($p = 0,007$; $F_{(1,118)} = 9,606$; $R^2 = 0,057$; $\beta = -0,003$).

Por último, un modelo de regresión lineal ($p = 0,002$; $F_{(1,118)} = 6,275$; $R^2 = 0,075$; $\beta = +0,262$) mostró que el sexo femenino predecía una mayor diferencia de temperatura. Así pues, se mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en las medidas basales (TABLA 14), como la edad, el tiempo sentado, el pliegue abdominal y la dominancia, las cuales, no influyeron ni predijeron las diferencias en la medición de los resultados

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. EFECTOS INMEDIATOS DE LA EMS DINÁMICA SOBRE EL ESPESOR DE LA MUSCULATURA ABDOMINAL

El objetivo principal de esta investigación fue identificar los efectos agudos de una única sesión de ejercicios dinámicos con WB-EMS o EMS local, en el espesor de la musculatura del TrA, en personas jóvenes y sanas. Los resultados sugieren que una sesión aislada de EMS dinámica no provoca cambios inmediatos significativos a nivel morfológico en el espesor de dicha musculatura en comparación con el grupo control (protocolo de ejercicio con WB-EMS apagado).

Como objetivos secundarios, identificar los efectos inmediatos producidos por una sesión de EMS dinámica en el espesor del resto de la musculatura de la pared abdominal: OI, OE y RA, así como, en la DER. No se observaron modificaciones agudas significativas en su morfología debidos a esta intervención, ni se hallaron diferencias significativas en los efectos agudos producidos en la musculatura de la pared abdominal entre la aplicación de EMS local y la aplicación de WB-EMS.

Por tanto, se determina la ausencia de cambios significativos en el espesor de la musculatura abdominal tanto profunda (TrA, OI) como superficial (RA, OE) y en la DER, debidos a la aplicación de una única sesión de EMS dinámica. Además, se concluye que la aplicación de EMS dinámica global y local produjeron efectos agudos similares en la musculatura abdominal.

En función de los resultados obtenidos, se aceptan las siguientes hipótesis planteadas en este estudio:

- Hipótesis nula 1: la aplicación de EMS dinámica de cuerpo entero no produce modificaciones en el espesor de la musculatura abdominal y en la DER, evaluados ecográficamente, en personas jóvenes y sanas.

- Hipótesis nula 2: la aplicación de EMS dinámica mediante WB-EMS no produce modificaciones en el espesor de la musculatura abdominal y DER diferentes a la EMS dinámica local, valorados ecográficamente, en personas jóvenes y sanas.

Según la literatura consultada, se considera este estudio el primero que investiga los efectos inmediatos de una sesión de ejercicios dinámicos con WB-EMS y EMS local sobre la musculatura abdominal en jóvenes sanos, valorados ecográficamente.

Para evidenciar dichos cambios, se evaluó el espesor de la musculatura abdominal mediante la técnica RUSI. Se trata de una técnica ecográfica objetiva y válida para evaluar los cambios musculares a nivel estructural y su comportamiento¹³³, con una alta fiabilidad en la medición de los músculos del tronco^{130,131} (VER MATERIAL Y MÉTODOS).

Esta técnica se ha utilizado en diversas investigaciones para analizar el comportamiento de la musculatura abdominal en personas con dolor lumbar¹³⁶⁻¹³⁸, en la diástasis de los RA^{163,196} o para analizar la activación en tiempo real de la musculatura abdominal que se produce durante una determinada maniobra¹⁹⁷, postura o ejercicio^{133,198}, o con la aplicación de EMS local^{137,139,199}, estableciendo una relación de la activación muscular con el cociente del espesor de la musculatura en relajación/espesor de contracción.

En la presente investigación, al aplicar el WB-EMS/EMS simultáneamente a la realización de un protocolo de ejercicios físicos, no fue posible observar los cambios en el espesor muscular en tiempo real, por la dificultad de colocar la sonda ecográfica en movimiento y especialmente con WB-EMS, no pudiendo analizar el índice de activación de la musculatura abdominal para poder comparar con los resultados de investigaciones anteriores.

Por ello, para determinar si la combinación simultánea de WB-EMS/EMS con ejercicio físico tiene efectos inmediatos sobre la activación de la musculatura

abdominal, se evaluó la diferencia en el espesor muscular durante la contracción muscular (TEPE) y el espesor muscular en reposo (post – pre-intervención).

Los resultados obtenidos indican que la adición de la corriente eléctrica al ejercicio físico no provocó cambios inmediatos significativos en la activación de la musculatura abdominal en la prueba TEPE (espesor contracción – reposo) postintervención, lo que sugiere que una única sesión de EMS dinámica fue es insuficiente para mejorar dicha activación.

Por tanto, sería necesaria una estimulación repetida de la pared abdominal con EMS para obtener mejoras en dicha activación¹³⁸. Este hecho fue respaldado por Coghlan et al.,¹³⁷ (2008), quienes observaron que la estimulación bilateral de la pared abdominal con EMS durante 6 semanas mejoró significativamente la activación tónica de TrA (estabilizador muscular profundo) y el cambio de espesor porcentual en OI, en respuesta a TEPE, demostrando que la aplicación de EMS local estimula preferentemente la musculatura profunda sobre la musculatura superficial, y que ese reclutamiento de la musculatura estabilizadora central es más eficaz cuando existe una coactivación del TrA y OI.

Los efectos inmediatos en el espesor de la musculatura de la aplicación de EMS dinámica (global y local) y con el ejercicio físico solo (sin estimulación eléctrica) fueron similares a pesar de que la aplicación de EMS puede provocar un mayor estrés metabólico muscular (consumo de O₂, niveles de lactato y hormonas, DOMS)^{51,144} en comparación con la contracción muscular voluntaria, al provocar un mayor reclutamiento de fibras musculares de forma sincrónica², lo que conlleva un mayor gasto energético agudo durante el ejercicio en comparación con el ejercicio solo¹⁸⁶ y un mayor nivel de fatiga muscular, sobre todo, con la aplicación global con WB-EMS ya que estimula simultáneamente varias zonas corporales siendo mayor la superficie corporal estimulada que con la aplicación de EMS local.

El efecto agudo del aumento del espesor muscular observado en otros estudios²⁰⁰⁻²⁰³ puede ser debido a un incremento en la síntesis de proteínas musculares que da lugar a

un “hinchazón muscular”²⁰⁰, o por una respuesta inflamatoria aguda inducida por el ejercicio, inmediatamente posterior a la primera sesión de entrenamiento^{201–203} y especialmente, con el uso de corrientes de EMS, considerando a esta respuesta inflamatoria aguda, un marcador indirecto de daño muscular.

De acuerdo con Hirono, 2022²⁰⁴, existe una relación positiva entre el aumento significativo del espesor muscular después de la primera sesión y la hipertrofia muscular, es decir, en un entrenamiento de fuerza a mayor inflamación, se obtendrá mayor hipertrofia. Asociándose el acúmulo de metabolitos tras un periodo de entrenamiento con una mayor adaptación hipertrófica del musculo esquelético²⁰⁰.

La inflamación celular aguda inducida por el ejercicio depende de diversos factores como la intensidad, volumen y tipo de ejercicio, así como del nivel de fatiga²⁰⁵. En algunos estudios se ha observado un aumento del grosor del bíceps braquial en individuos sanos inmediatamente después de la primera sesión de entrenamiento de resistencia a alta intensidad, con un ejercicio extenuante²⁰¹ o con entrenamiento de fuerza a alta intensidad²⁰², lo cual se asocia con la aparición de edema. Asimismo, en función del tipo de ejercicios con adición de EMS siendo mayor el grosor inmediatamente después de la primera sesión como marcador indirecto del daño muscular con ejercicios excéntricos en comparación con ejercicios isométricos que induce poco o ningún daño siendo más susceptibles las fibras tipo II²⁰³, obteniéndose mayor inflamación aguda muscular con el ejercicio anaeróbico y con grandes volúmenes de entrenamiento²⁰⁴.

Las respuestas musculares morfológicas son específicas del tipo de entrenamiento realizado²⁰⁶. El tipo de ejercicios físicos que componía la sesión de entrenamiento puede haber influido en variaciones morfológicas de esa musculatura ya que entrenamientos basados en resistencia o en fuerza de alta intensidad o de alto volumen conllevan a mayores respuestas agudas en el grosor muscular y mayores cambios de la morfología muscular sobre todo por alto volumen²⁰⁷ no siendo nuestro protocolo de estas características.

Para evitar el sesgo de un aumento de dicho grosor debido a una respuesta inflamatoria aguda inducida por el ejercicio, en especial, con el uso de corrientes de electroestimulación, algunos estudios realizan las mediciones del espesor muscular tras 24 horas de finalizar la sesión. En este caso, se realizaron inmediatamente al finalizar la sesión de EMS dinámica pudiendo deducir que el uso de EMS o WB-EMS con los parámetros seleccionados en este estudio fueron seguros para el participante y no provocaron un aumento agudo del grosor muscular visible.

No obstante, para afirmar este hecho es necesario realizar un análisis de las respuestas metabólicas, ya que, por ejemplo, las respuestas fisiológicas agudas al ejercicio de sentadilla con EMS no fueron mayores a nivel hormonal, pero sí a nivel metabólico (CPK) en comparación con el ejercicio solo¹⁴⁴.

La respuesta muscular aguda visible con ecografía ha sido similar en las tres intervenciones, lo que sugiere que el protocolo de ejercicios dinámicos^{203,207} y los parámetros eléctricos de este estudio son seguros al igual que en anteriores estudios que usaron los mismos parámetros en diferentes tipos de poblaciones⁵⁴, no registrando reacciones adversas²⁰⁸.

La muestra de este estudio fueron voluntarios sanos, no obteniéndose diferencias en los efectos agudos por la adición de WB-EMS/EMS al protocolo de ejercicio físico, al igual que en otros estudios con poblaciones sanas que no hallaron un beneficio extra del entrenamiento físico con EMS^{3,140,142,145,209}, a excepción de Alon, en 1987²¹⁰, con una población joven, que observó mejores resultados con la combinación de ejercicio y EMS, concluyendo que la musculatura abdominal puede encontrarse debilitada o atrofiada en adultos sanos por desuso obteniéndose más beneficio con su combinación que con el ejercicio solo.

En cambio, en poblaciones con determinadas patologías (lumbalgias o diástasis de RA) se obtuvieron mejores resultados en la respuesta muscular abdominal en términos de mejora de su reclutamiento y de ganancia de masa y fuerza muscular con la combinación de EMS y ejercicio físico^{51,138,196}.

En función de lo expuesto anteriormente, la adición de WB-EMS/EMS no aporta mayores beneficios al ejercicio físico en personas sanas, pero si en aquellos casos que por diversas circunstancias no puedan realizar entrenamientos de intensidades y volúmenes elevados para producir las adaptaciones musculares necesarias.

Según los resultados obtenidos en este estudio, una única sesión de WB-EMS/EMS dinámica no generó un estímulo suficiente para producir una respuesta muscular visible, a través de la ecografía, en la musculatura abdominal ni superficial ni profunda (TrA, OI, OE y RA) ni DER, en comparación con el ejercicio convencional. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en investigaciones previas¹⁴².

En relación con la adición de EMS local en la musculatura abdominal, puede que esta intervención no haya producido una activación adicional de fibras musculares a las estimuladas por el ejercicio solo o porque el reclutamiento espacial de las fibras musculares sea bastante superficial con EMS¹⁴⁴.

En el grupo de EMS local, los electrodos se colocaron en el punto motor del TrA, en el punto óptimo de estimulación de la musculatura profunda¹⁹⁹, en contraposición de la musculatura superficial¹³⁷, lo que podría aumentar el grosor de los músculos estabilizadores profundos en ausencia de cambios marcados en el grosor de la musculatura superficial¹³⁹. A pesar de ello, en el grupo de EMS local no se obtuvieron diferencias, con una única sesión, en el espesor del TrA respecto a los otros dos grupos.

Al no aplicarse EMS en la musculatura de los RA, es posible que su reclutamiento fuera incompleto y, por lo tanto, los resultados no difieran significativamente de los obtenidos con la intervención de ejercicio sin electroestimulación.

El parámetro principal que determina la efectividad del entrenamiento es la intensidad de este, la cual debe superar el 50 % de la CVM para producir adaptaciones/mejoras fisiológicas²¹¹.

El nivel de MVC está influenciado por la intensidad del impulso (mA), la frecuencia de estimulación (Hz) y el ancho de pulso (μ s) de la corriente eléctrica²¹¹.

Es necesaria una intensidad de estimulación eléctrica igual o mayor al 50 % CVM para activar las respuestas musculares necesarias para producir las adaptaciones de fuerza; por tanto, la intensidad del impulso de la corriente de electroestimulación debe ser igual o mayor de 50 mA.

En el caso de utilizar WB-EMS no es posible cuantificar la intensidad de la corriente, pero el empleo de una frecuencia de estimulación igual o superior a 60 Hz, con una anchura de pulso entre 200 y 400 μ s y tiempos cortos de trabajo entre 3 s y 10 s son suficientes para lograr una alta CVM^{179,211}.

Por tanto, los parámetros utilizados en este estudio (corriente eléctrica rectangular bipolar, 85 Hz de frecuencia de estimulación, 350 μ s de anchura de pulso y un ciclo de trabajo de 50 %, 4 s de tiempo de trabajo y 4 s de reposo) son suficientes para producir una alta CVM^{179,211} activándose las respuestas musculares necesarias que conllevan a las adaptaciones de fuerza²¹¹.

En cuanto a la frecuencia de impulso de la corriente eléctrica, las frecuencias de estimulación hasta 50 Hz activan principalmente las fibras musculares tipo I, más lentas, y las frecuencias entre 50 y 120 Hz activan las de tipo II que son las más rápidas. Sin embargo, actualmente no hay consenso al respecto, ya que no existe una activación selectiva de las fibras musculares si no que se reclutan principalmente fibras rápidas independientemente de la frecuencia de estimulación²¹².

Si se tiene en cuenta que, la composición de la musculatura abdominal difiere según el músculo, predominando las fibras tipo I en la musculatura profunda y de tipo II en la musculatura más superficial, lo que otorga funciones diferentes a cada uno de ellos. Esto podría dar lugar a diferentes respuestas entre los músculos abdominales ante la misma frecuencia de estimulación, e incluso un mismo músculo podría tener distintas respuestas dependiendo de la frecuencia de estimulación administrada²¹³.

En la musculatura superficial, concretamente en los RA, el porcentaje de fibras rápidas parece ser mayor, por lo que deberían ser más susceptibles a la estimulación eléctrica con una frecuencia de 85 Hz²¹⁴ como la utilizada en este estudio, pero no se obtuvieron cambios significativos ni en el grosor de esta musculatura ni en la DER en el grupo WB-EMS en comparación con el grupo control.

En el estudio realizado por Cho et al., (2016)¹³⁹ identificó en personas sanas mediante ecografía a tiempo real, que la aplicación de estímulos eléctricos con frecuencias de 50 Hz (pulso bifásico, 12 min, 200 μ s de anchura de pulso, 8 s tiempo de contracción y 10 s de tiempo de reposo con 1 s de rampa de subida y de bajada) produjo un mayor cambio en el grosor muscular de la musculatura abdominal profunda en comparación con su grosor en reposo, en comparación con frecuencias de 20 y 80 Hz. Sin embargo, no se combinó la aplicación de EMS con ejercicio físico como en la presente investigación.

Además, teniendo en cuenta que el uso de WB-EMS se considera una actividad vigorosa²¹⁵ al aumentar la demanda metabólica y la fatiga muscular, la parte principal de la sesión con EMS dinámica fue de 15 min con una frecuencia de estimulación de 85 Hz pudiendo dar lugar a una mayor fatiga muscular por los mayores costes metabólicos que supone una mayor frecuencia de estimulación¹³⁹ que si se hubiese empleado una frecuencia de 50 Hz.

Hay que añadir que, además de las razones expuestas anteriormente, la aplicación de EMS dinámica dificulta la cuantificación de la intensidad del entrenamiento ya que la intensidad del impulso eléctrico está influenciada por factores individuales, como son la estructura de los tejidos estimulados y la percepción del dolor de esa persona.

Aunque se ha aplicado una corriente de onda rectangular bifásica simétrica que es la percibida como la corriente más cómoda⁴⁸, la posición de los electrodos puede influir en la percepción de malestar/dolor²¹⁶, por lo cual, el WB-EMS al no estimular los puntos motores de forma específica puede producir una estimulación directa simultánea de fascículos nerviosos somatosensoriales aferentes como pueden ser irradiación,

hormigueo, electricidad y dolor percibido²¹⁶ pudiendo ser menor la intensidad soportada por la persona, siendo insuficiente para producir respuestas musculares adaptativas que difieran de las otras intervenciones realizadas.

Además, la intensidad alcanzada con WB-EMS al no haber realizado una readaptación previa puede no haber permitido alcanzar la intensidad necesaria para obtener una respuesta muscular mayor que con el ejercicio solo y producirse una mayor tolerancia al dolor por la corriente por una adaptación neuronal permitiendo que la intensidad de la corriente sea cada vez mayor y produciendo un mayor reclutamiento de la masa muscular²¹⁷.

Son escasos los estudios que analizan la evolución temporal de los cambios en el grosor muscular. La mayoría evalúan el grosor muscular previamente y al finalizar un programa de entrenamiento, existiendo escasa información que especifique cuál es la sesión en la que se hace evidente ese aumento del espesor muscular.

Estudios anteriores que analizan la evolución temporal de los cambios musculares a nivel morfológico en un período de entrenamiento^{147,218}, determinan que en las primeras sesiones se producen respuestas musculares a nivel molecular, estimulándose los procesos de síntesis de proteínas miofibrilares²¹⁸ no siendo, por tanto, apreciables con el instrumento de medida utilizado en este estudio, la ecografía. Estas respuestas musculares sumadas en el tiempo dan lugar a los cambios morfológicos a nivel muscular (hipertrofia)²¹⁸, siendo necesarias, al menos, 4 semanas de varias sesiones agudas de ejercicio de fuerza con EMS²¹⁸ haciéndose evidente el aumento del espesor muscular dentro de las 6 primeras semanas^{138,219}. La EMS a largo plazo produce hipertrofia muscular, siendo necesarias 8 semanas de entrenamiento de fuerza o resistencia^{142,196,220} produciéndose las adaptaciones en la masa y en la arquitectura muscular entre la 4ª y 8ª semana¹⁴⁷.

La EMS en la musculatura abdominal dio lugar a hipertrofia del RA con 8 semanas de aplicación²²⁰, a un aumento del grosor muscular del TrA y OI tras 6 semanas de

entrenamiento en personas con dolor lumbar¹³⁸ y a una disminución de la DER posparto tras 8 semanas de aplicación¹⁹⁶.

La mayoría de los estudios analizan las adaptaciones neuromusculares producidas en la musculatura de las extremidades siendo en menor medida los que estudian la musculatura abdominal pudiendo existir diferencias en las respuestas musculares en función del tipo de musculatura que se trate.

Ogasawara et al., (2012)²²¹ identificó mediante ecografía, un aumento significativo en el espesor de la musculatura pectoral mayor después de la 1ª semana de entrenamiento de press de banca de alta intensidad (3 sesiones semanales durante 24 semanas) en relación al tríceps que se observó la adaptación hipertrófica en la 5ª semana y el comportamiento de ambos ante el entrenamiento también fue diferente ya que el pectoral aumentó gradualmente a lo largo del período de entrenamiento mientras que el tríceps solamente en las primeras fases, concluyendo que puede ser porque la musculatura pectoral sea más sensible a la activación del metabolismo de las proteínas musculares inducidas por el ejercicio de fuerza intenso que la del brazo.

Las adaptaciones neuromusculares al entrenamiento con EMS observadas por Godin et al., (2005) fueron en la musculatura monoarticular¹⁴⁷. En cambio, en la musculatura biarticular no se apreciaron pudiendo ser necesarias más sesiones para producir cambios en la masa y arquitectura de esta musculatura en particular¹⁴⁷.

Una sesión aislada de electroestimulación dinámica no generó un suficiente estímulo para producir cambios visibles en el grosor de la musculatura abdominal ni superficial ni profunda, no se produjo una respuesta muscular visible a través de la ecografía; por lo que nos indica la necesidad de varias sesiones de entrenamiento que conlleven a una serie de adaptaciones musculares, entre ellas, el aumento del grosor muscular dando lugar a la hipertrofia muscular.

Por tanto, son necesarias un número de sesiones de entrenamiento cuyos efectos sumados en el tiempo, conlleven a una serie de adaptaciones musculares, entre ellas, el aumento del espesor muscular que dará lugar a la hipertrofia muscular.

No se han observado diferencias en el espesor de la musculatura abdominal en individuos sanos en relación con el lado dominante o no dominante ni en la respuesta muscular a la EMS según el espesor del pliegue abdominal. Estudios previos realizados en sanos han reportado la ausencia de diferencias en el espesor de la musculatura abdominal de ambos lados, tanto en reposo como durante la contracción muscular^{84,139}.

Además, Cho et al., (2016)¹³⁹ observaron patrones de contracción similares en la musculatura abdominal derecha e izquierda, mientras que Springer et al., (2006)⁸⁴ no hallaron diferencias en el espesor de TrA en reposo ni durante ADIM (maniobra de retracción abdominal) en ambos lados asociados a la dominancia de la mano, pero observaron disimetría cuando hay dolor lumbar, observando asimetrías en la musculatura abdominal con la existencia de patología.

Se puede concluir que una única sesión de ejercicio físico con electroestimulación ya sea global (WB-EMS) o local (EMS), no produjo cambios inmediatos en el espesor de la musculatura abdominal. Es necesario realizar más sesiones para que estos cambios se hagan visibles, ya que en las primeras sesiones de entrenamiento se producen los cambios a nivel molecular, como la estimulación de la síntesis proteica, no siendo apreciables con el instrumento de medida utilizado en este estudio, la ecografía. Aunque se producen respuestas hormonales y metabólicas inducidas por el ejercicio, la adición de la EMS no ha provocado una respuesta muscular aguda superior a la obtenida con el ejercicio solo. Si la respuesta muscular aguda se considera como un indicador del daño muscular, el protocolo utilizado en este estudio indica que es seguro para el participante. Se trata de parámetros eléctricos considerados seguros según la literatura científica en diversas poblaciones⁵⁴. En los estudios realizados con WB-EMS no se han registrado reacciones adversas con esos parámetros²⁰⁸.

5.2. EFECTOS EN LOS PARÁMETROS FISIOLÓGICOS: FRECUENCIA CARDIACA, TENSIÓN ARTERIAL Y TEMPERATURA CORPORAL

En relación con los parámetros fisiológicos evaluados, no se observaron cambios significativos en la PAS, PAD y temperatura corporal después de las tres intervenciones, en comparación con sus valores previos a la sesión. Tanto la EMS dinámica como el protocolo de ejercicios dinámicos sin corriente eléctrica no produjeron efectos inmediatos significativos en estos parámetros fisiológicos. En contraste, se observó un comportamiento diferente en la FC post sesión con la aplicación de EMS local respecto a los otros grupos.

La FC medida al finalizar la intervención fue mayor en los tres grupos en comparación con la FC basal, pero su aumento con EMS local fue significativamente menor que con la aplicación de WB-EMS (+ 25 pulsaciones/minuto respecto EMS) o con el ejercicio solo (+ 19 pulsaciones/minuto respecto EMS).

Son escasos los estudios que evalúan las modificaciones agudas de la FC debidas a la aplicación de EMS/WB-EMS dinámica en una sola sesión. La mayoría estudian los efectos en los parámetros fisiológicos producidos por un entrenamiento periodizado de EMS, evaluando las respuestas cardiorrespiratorias, metabólicas y/o autonómicas únicamente al inicio y al finalizar del período de entrenamiento. Además, las variables de estudio de esas respuestas fisiológicas son más específicas que las medidas en este estudio como, por ejemplo, la variabilidad de la FC (VFC) aportando más información sobre la función autonómica del corazón y la captación de O₂. Por todo ello, se dificulta la comparación con los resultados de la presente investigación.

La estimulación eléctrica puede modular la actividad del SNA tanto simpática como parasimpática. Stein (2011)²²² Estudios con una única sesión de ejercicio dinámico con WB-EMS, observaron que el aumento de la FC inmediatamente después de la sesión era mayor en ambos grupos (obesos y sanos) que con el ejercicio dinámico solo, pero las diferencias no fueron significativas, al igual que los resultados obtenidos en este estudio

(muestra con población joven y con similares parámetros de electroestimulación). Concluyeron que WB-EMS no alteró la modulación autonómica cardíaca ni aumento la captación de O₂ respecto al ejercicio en la población obesa ni en la población sana¹⁴¹.

Asimismo, con la aplicación aguda de WB-EMS en individuos sanos, pero sin combinar con el ejercicio, no se obtuvieron cambios significativos en la FC ni en la PA, no alterándose la modulación autonómica cardíaca, aunque si se produjo un aumento del lactato y disminución de la glucosa en sangre¹²⁶. Al igual que la aplicación local de EMS en la musculatura de las piernas y glúteos que provocó un ligero aumento de la FC y VFC, pero no fue significativo respecto a su valor previo^{146,223}.

En pacientes críticos, una sesión aguda de EMS de 45 min de duración tuvo un efecto sistémico en la circulación, con un ligero aumento significativo de la FC y de la PAS al finalizar la sesión²²⁴, pero con una duración de 30 min no se produjeron modificaciones en esos parámetros²²⁵.

Si consideramos los efectos en estos parámetros fisiológicos obtenidos por la realización de varias sesiones, se observó que un entrenamiento dinámico durante 10 semanas (20 sesiones) con EMS en glúteos y muslos o WB-EMS con los parámetros de este estudio pero con electrodo activo en el pecho, no provocaron cambios en la PA, pero si en la FC de reposo que aumento en el grupo de personas sanas con WB-EMS y de forma significativa en personas con insuficiencia cardíaca crónica (ICC) tanto con WB-EMS como con EMS, pudiendo considerarse este aumento un efecto negativo cardiovascular²²⁶.

En cuanto a los resultados obtenidos en una población obesa pos-cirugía bariátrica, tras 6 semanas de entrenamiento de ejercicio físico con WB-EMS, fueron similares en cuanto al aumento de la FC inmediatamente posterior a la intervención, siendo mayor con WB-EMS que, con el ejercicio solo, pero de forma crónica se obtuvo un efecto positivo sobre la PAS y la FC media que disminuyeron en ambos grupos¹⁴³.

Según la literatura científica, el entrenamiento con WB-EMS dinámico durante 6 semanas con un protocolo recomendado para hombres sanos de características similares a nuestra muestra y mismos parámetros eléctricos, pero con una mayor intensidad de trabajo (80 % 1-RM), no afecta negativamente a la PAS, PAD, VO₂ ni a la FC siendo un método bien tolerado por los participantes y seguro en cuanto a los factores cardiopulmonares¹⁵¹.

En el protocolo de las intervenciones del presente estudio, al no realizar una sesión de preadaptación a la intensidad de la corriente eléctrica, se empleó una menor intensidad de ejecución (60 % 1-RM) para evitar riesgos graves en la salud de los participantes como, por ejemplo, una RME, especialmente por el uso de la corriente eléctrica. Además, no se aplicaron los electrodos en la zona del pecho por posibles sensaciones de malestar y opresión en esta zona¹⁵¹.

Los resultados obtenidos en los parámetros cardíacos analizados sugieren que es un procedimiento seguro, coincidiendo con el estudio de Jee et al., (2018)¹⁵¹, en cuanto a los factores cardiopulmonares en personas sanas con características similares a la muestra de este estudio e idénticos parámetros de electroestimulación.

Durante el ejercicio, la FC aumenta como consecuencia de un aumento en la actividad simpática y una disminución en la actividad parasimpática. Al finalizar el ejercicio, la actividad simpática disminuye y la actividad parasimpática aumenta, lo que conlleva a una reducción de la FC para volver a su valor basal¹⁴⁶.

Estas respuestas fisiológicas al ejercicio varían en función del tipo y de la intensidad del mismo, por tanto, el aumento de la FC y la PA durante el ejercicio dependerán de la intensidad de este⁸⁶.

La FC postintervención fue mayor con WB-EMS que, en el uso de la EMS local y el ejercicio solo, lo que sugiere que el ejercicio realizado con WB-EMS fue más intenso para el participante. Esto es debido a que se activan más fibras musculares de forma simultánea dando lugar a una contracción más fuerte y rápida que el ejercicio solo,

además el WB-EMS es un dispositivo que permite la estimulación eléctrica de una mayor superficie corporal que la EMS local, estimulando simultáneamente varios grupos musculares, generando un mayor estrés metabólico muscular y gasto de energía. Provoca mayores respuestas metabólicas con un mayor acúmulo de metabolitos musculares como el lactato^{227,228} que pueden activar el metaborreflejo muscular y en última instancia, aumentar el gasto cardíaco y la frecuencia cardíaca. Además de provocar un mayor nivel de fatiga muscular y un mayor esfuerzo percibido por parte del participante que la aplicación local o el ejercicio solo²²⁹.

Sin embargo, el aumento de la FC con WB-EMS dinámico no resultó significativamente mayor que el obtenido con el ejercicio dinámico solo. Hecho que pudiera deberse a la falta de al menos una sesión previa de adaptación al dispositivo por parte de los participantes pudiendo no llegar a alcanzar el rango de intensidad preestablecido en función de su percepción de esfuerzo (4/5 RPE). También es posible que se ajustará correctamente la intensidad en cada intervención (EMS y ejercicio), lo que significa que la adición de la corriente eléctrica no resultó en un aumento adicional de la intensidad del ejercicio.

Las razones por la que EMS reduce la FC respecto al control pueden tener distintas explicaciones.

Es posible que la aplicación local de EMS en la zona abdominal haya mejorado la modulación parasimpática de la FC, ya sea mediante un aumento de la actividad parasimpática o bien por una disminución de la actividad simpática.

La EMS local puede tener un efecto modulador sobre el SNA, disminuyendo los impulsos simpáticos eferentes, reduciendo por tanto la actividad simpática, a través de producir un efecto leve sobre los reflejos vasculares o bien por la estimulación de los barorreceptores arteriales produciendo una inhibición de la actividad simpática⁸⁷.

Por otra parte, puede aumentar el tono del parasimpático debido a un funcionamiento diferente del metaborreflejo muscular debido a la estimulación con la corriente

eléctrica, aumentado la actividad barorrefleja contrarrestando el aumento del flujo simpático, provocando un menor aumento de la FC²³⁰, aunque en este caso no haya habido cambios en la presión arterial como respuesta a la activación del metaborreflejo.

Cabe la posibilidad de que los participantes con la colocación de los electrodos en la musculatura de la zona abdominal tuvieran una menor percepción del esfuerzo realizado provocando un menor aumento de la FC posterior.

La musculatura abdominal cruza varias articulaciones otorgando movimiento y estabilización al tronco además de dar apoyo a órganos internos y a los patrones de la respiración²¹³. Por tanto, la colocación local de los electrodos en la musculatura abdominal puede haber influido en una menor percepción del esfuerzo realizado por parte de los participantes debido a modificaciones en los patrones respiratorios por la estimulación directa de esta musculatura que soporta la función respiratoria, dando lugar a efectos cardiovasculares diferentes a los de las otras intervenciones (WB-EMS y control) a la misma intensidad de trabajo.

Hallazgos de estudios como el de Delius et al., en 1972, en el cual observaron que la hiperventilación estimula barorreceptores arteriales que producen la inhibición de la actividad simpática dando lugar a vasodilatación con disminución de la PA y enlentecimiento de la FC en contraposición con el trabajo muscular que produce vasoconstricción con aumento de la actividad simpática, aumentado la FC²³¹.

Además, la colocación de los electrodos en la EMS local es más precisa, permitiendo la estimulación del punto motor de la musculatura abdominal profunda, maximizando el reclutamiento espacial de la unidades motoras siendo la corriente eléctrica más cómoda de tolerar por la persona⁹⁴; mientras que la estimulación global con WB-EMS es inespecífica y puede producir una estimulación directa simultánea de fascículos nerviosos aferentes somatosensoriales que influyen en la percepción del dolor y del esfuerzo^{94,216} lo que puede conllevar a una mayor percepción del esfuerzo por los participantes y un aumento de la FC con WB-EMS en comparación con el EMS local.

Se puede concluir que una única sesión de EMS dinámica produjo cambios inmediatos en la FC inmediatamente posterior a la intervención en personas sanas. Aunque en los tres grupos se produjo un aumento de la FC al finalizar la intervención, su incremento fue significativamente menor con la aplicación local de EMS en comparación con WB-EMS o con el ejercicio solo.

El uso de WB-EMS produjo un mayor aumento de la FC posterior debido a la estimulación eléctrica de una mayor superficie corporal, lo que provoca una mayor respuesta metabólica y fatiga a nivel muscular además de un mayor esfuerzo percibido por el participante respecto con la aplicación local o con el ejercicio solo.

En cambio, el uso de EMS dinámica en la zona abdominal podría haber potenciado la modulación parasimpática de la FC, ya sea aumentando su actividad o disminuyendo la actividad simpática debido a un efecto leve sobre los reflejos vasculares, por una estimulación de los barorreceptores arteriales que la inhiban, por una menor percepción del esfuerzo por la estimulación directa de la musculatura abdominal modificando los patrones respiratorios o por un funcionamiento diferente del metaborreflejo muscular que aumente la actividad parasimpática provocando un menor aumento de la FC.

La EMS dinámica en la zona abdominal podría modular la actividad simpática y parasimpática, dando lugar a efectos cardiovasculares diferentes a los de las otras intervenciones con la misma intensidad de trabajo.

No obstante, se requieren estudios adicionales que valoren de forma más exhaustiva parámetros cardiorrespiratorios y bioquímicos, como la captación de O₂, el lactato y la acumulación de CPK, a fin de proporcionar información más precisa y poder ofrecer explicaciones más plausibles al respecto.

Respecto a las limitaciones de este estudio, es necesario reconocer entre ellas, la aplicación de una única sesión de EMS dinámica, suficiente para determinar los efectos inmediatos, no pudiendo usar esos datos para sugerir la eficacia del tratamiento con la EMS dinámica, aunque sería interesante conocer sus efectos debidos a una intervención

de varias sesiones, incluso los cambios graduales en estos parámetros, evaluados tras cada sesión llevada a cabo.

No haber realizado una sesión previa de adaptación a la corriente eléctrica pudiendo ajustar mejor la intensidad de estimulación siendo más elevada para producir posibles cambios en la musculatura, algunos autores determinan un mínimo de 3 sesiones de adaptación¹⁸⁰. Además, la intensidad de la intervención usando RPE no es objetiva, su uso fue debido a la dificultad de no cuantificar la intensidad de la contracción muscular por la aplicación de WB-EMS.

Se podría haber considerado el uso de electromiografía para medir la activación muscular para dar mayor fiabilidad al estudio a mayores de las evaluaciones de los cambios en el grosor muscular realizadas con RUSI, la cual presenta una fiabilidad adecuada, permitiendo una evaluación no invasiva y más económica. Hay que tener en cuenta que el espesor muscular del OE no corresponde con la actividad muscular²³².

En cuanto al diseño del estudio se podría haber considerado un diseño de grupos cruzados a la hora de investigar el efecto agudo de la intervención con EMS dinámica y la inclusión de otros grupos de estudio como un grupo de WB-EMS pero si la realización de ejercicio físico, aunque los tres grupos de intervención realizaron un protocolo de ejercicio idéntico para determinar sus efectos sobre la musculatura abdominal y los parámetros fisiológicos frente al ejercicio físico y/o un grupo WB-EMS/EMS sin estimulación abdominal para observar el comportamiento de la FC después del ejercicio.

Como puntos fuertes, poseer una alta calidad metodológica del estudio debido a la aleatorización de los participantes y triple cegamiento (evaluador, estadístico y participante) además de un adecuado y completo análisis estadístico, la obtención de una elevada muestra representativa, con un número elevado de evaluaciones ecográficas y la comparación de las posibles diferencias entre la aplicación de EMS local y global en la musculatura abdominal.

Se requieren más investigaciones para determinar los parámetros de estimulación óptimos, incluyendo el tamaño y ubicación de los electrodos, la frecuencia de la estimulación, la amplitud e intensidad del impulso, el ciclo de trabajo y el porcentaje de CVM del ejercicio físico, para lograr un reclutamiento efectivo de los músculos estabilizadores centrales y establecer un protocolo de aplicación de lugar a una respuesta más consistente en la musculatura abdominal, ya que existe una variabilidad individual en su comportamiento¹³⁷. Además, el elevado coste de la tecnología, la ausencia de regímenes terapéuticos estandarizados y la inconsistencia en la nomenclatura de la corriente de electroestimulación deben de ser considerados.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

La aplicación de una única sesión de electroestimulación dinámica no produce cambios agudos inmediatos en el espesor de la musculatura de la pared anterolateral abdominal ni en la distancia entre rectos abdominales, en personas jóvenes y sanas, evaluando estos cambios inmediatos mediante ecografía; lo que parece indicar que el protocolo empleado en este estudio no produce efectos inflamatorios agudos en estas estructuras.

La aplicación de una única sesión de electroestimulación dinámica global, con el chaleco de electroestimulación de cuerpo entero y la aplicación local de la corriente eléctrica en la musculatura abdominal obtuvieron similares efectos inmediatos sobre el espesor de la musculatura abdominal, por tanto, no hubo diferencias en función de su forma de aplicación.

Con la aplicación de una única sesión de electroestimulación dinámica global o local, no se obtuvieron diferencias sobre los efectos inmediatos en el espesor de la musculatura abdominal en individuos sanos en relación con el lado dominante o no dominante ni en la respuesta muscular a la corriente eléctrica según el espesor del pliegue abdominal.

Una única sesión de electroestimulación muscular local o global no produce cambios pre-postintervención estadísticamente significativos en las variables fisiológicas de temperatura corporal y presión arterial.

Se hallaron diferencias significativas entre los grupos analizados en cuanto a la frecuencia cardíaca después de las intervenciones. El grupo EMS mostró un menor aumento de la frecuencia cardíaca posterior en comparación con los grupos WB-EMS y control.

Estos hallazgos tienen importantes aplicaciones clínicas, ya que la electroestimulación muscular local, con los mismos efectos sobre la musculatura abdominal que la global y con menos contraindicaciones, hace más aconsejable su uso, especialmente en poblaciones con trastornos cardiorrespiratorios.

Son necesarias más investigaciones en este campo, siendo interesante ampliar el número de sesiones de electroestimulación dinámica para conocer los efectos crónicos sobre la musculatura abdominal y sobre los parámetros fisiológicos.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. World Confederation for Physical Therapy. Descripción de la Fisioterapia. Declaración de política. [Internet]. WCPT. 2019 [cited 2023 Apr 20]. Available from: www.world.physio.
2. Maffiuletti NA. Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol*. 2010;110(2):223–34.
3. Porcari JP, McLean KP, Foster C, Kernozek T, Crenshaw B, Swenson C. Effects of electrical muscle stimulation on body composition, muscle strength, and physical appearance. *J Strength Cond Res*. 2002;16(2):165–72.
4. Pano-Rodríguez A, Beltran-Garrido JV, Hernández-González V, Reverter-Masia J. Effects of whole-body electromyostimulation on health and performance: a systematic review. *BMC Complement Altern Med*. 2019;19(1):87.
5. Raposo Vidal I, Fernández Cervantes R, Martínez Rodríguez A, Sáez Gómez JM, Chouza Insua M, Barcia Seoane M. La Fisioterapia en España durante los siglos XIX y XX hasta la integración en escuelas universitarias de Fisioterapia. *Fisioterapia*. 2001;23(4):206–17.
6. Gallego T. Bases teóricas y fundamentos de la Fisioterapia. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2007.
7. Gilbert A, Carnot P. Electroterapia. Biblioteca de Terapéutica. 2ª ed. Barcelona: Salvat; 1921.
8. Nogier T. Fisioterapia: Electroterapia. Vol.IV Bib. Barcelona: Salvat; 1925.
9. Ferri A, Antón M, Avendaño J. Fisioterapia: un concepto dinámico. *Fisioterapia*. 1997;19(4):248–53.
10. Ley General de Sanidad: Biblioteca de textos legales. Madrid: Tecnos; 1988.
11. Asociación Española de Fisioterapeutas. Reglamento Nacional de la Asociación Española de Fisioterapeutas. Madrid: AEF; 1991.
12. Guccione A. Physical therapy diagnosis and the relationship between impairments and functions. *Phys Ther*. 1991;71:499–503.
13. World Confederation for Physical Therapy. Description of physical therapy. Declarations of principle and position statements approved at the 14th general meeting of the world confederation for physical therapy, London. [Internet]. WCPT. 1999 [cited 2023 Apr 20]. Available from: www.wcpt.org.
14. Real Decreto 1001/2002 de 27 de septiembre. Estatutos Generales del Consejo

-
- General de Colegios de Fisioterapeutas. BOE. 2002.
15. Wyszynska E, Wisniewska S, Krawczyk A, Mroz J, Korzeniewska E, Kinga W. Electrotherapy – therapy possibilities across the ages and today. In: 2019 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE). IEEE; 2019. p. 263–6.
 16. Maya Martín J, Rebollo-Roldán J, Iglesias Alonso A. Electroterapia. Datos para una historia. *Cuest Fisioter Rev Univ Inf e Investig en Fisioter.* 1998;8(8):1–14.
 17. Neumann E, Blanton R. The early history of electrodermal research. *Psychophysiology.* 1970;6(4):453–75.
 18. Kellaway P. The part played by electric fish in the early history of Bioelectricity and Electrotherapy. *Bull Hist Med.* 1946;20(2):112–37.
 19. Piccolino M. The taming of the electric ray: from a wonderful and dreadful “art” to “animal electricity” and “electric battery”. *Brain, Mind and Medicine: Essays in Eighteenth-Century Neuroscience;* 2007. 125–143 p.
 20. Andrzej K, Elzbieta W, Sylwia W, Jozef M, Ewa K, Piotr M, et al. Electrical stimulation therapy history and contemporary applications. In: 2018 Applications of Electromagnetics in Modern Techniques and Medicine (PTZE). IEEE; 2018. p. 141–5.
 21. Nollet J. Expériences de l’électricité appliquée à des paralytiques. *Mém Acad Sci.* 1749;11–28.
 22. López Rodríguez AF, Seco Calvo JA, Rodríguez Pérez V. Duchenne de Boulogne: el camino de la ciencia al arte. *Asclepio.* 2022;74(2):607.
 23. Dolhem R. Histoire de l’électrostimulation en Médecine et en Rééducation. *Ann Réadaptation Médecine Phys.* 2008;51(6):427–31.
 24. Sjolund BH, Eriksson MB. Endorphins and analgesia produced by peripheral conditioning stimulation. *Adv Pain Res Ther.* 1979;3:587–92.
 25. Frixione E. De motu Propio: una historia de la Fisiología del movimiento. Siglo XXI; 2000.
 26. Laín Entralgo P. Historia universal de la Medicina. In *Historia universal de la Medicina;* 1973.
 27. Duchenne GB. Physiologie des mouvements démontrée à l’aide de l’experimentation électrique et de l’observation clinique: et applicable à l’étude

- des paralysies et des déformations. Baillière; 1867.
28. Bertrán Rubio E. Electroterapia. Métodos y procedimientos de electrización. Barcelona: Establ. Tip. de Jaime Jepús; 1872.
 29. Lopicque L. Recherches quantitatives sur l'excitation électrique des nerfs traitée comme une polarisation. *J Physiol Pathol générale*. 1907;9:620–35.
 30. Pombo Fernández M, Rodríguez Barnada J, Brunet Pámies X, Requena Sánchez B. La electroestimulación. Entrenamiento y periodización. Aplicación práctica al fútbol y 45 deportes. Barcelona: Editorial Paidotribo; 2004.
 31. Irnich W. The chronaxie time and its practical importance. *Pacing Clin Electrophysiol*. 1980;3(3):292–301.
 32. Pastor JM, Cayuelas C. Electroestimulación neuromuscular. En Martínez Morillo y cols. *Manual de Medicina*, editor. Madrid: Harcourt; 1988.
 33. Kots YM. Canadian-soviet exchange symposium on electrostimulation of skeletal muscles. Concordia University. 1977.
 34. Delitto A. Russian electrical stimulation: putting this perspective into perspective. *Phys Ther*. 2002;82(10):1017–8.
 35. Ward AR, Shkuratova N. Russian electrical stimulation: the early experiments. *Phys Ther*. 2002;82(10):1019–30.
 36. Selkowitz DM. Improvement in isometric strength of the quadriceps femoris muscle after training with electrical stimulation. *Phys Ther*. 1985;65(2):186–96.
 37. Selkowitz DM. High frequency electrical stimulation in muscle strengthening. *Am J Sports Med*. 1989;17(1):103–11.
 38. Laughman RK, Youdas JW, Garrett TR, Chao EYS. Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation. *Phys Ther*. 1983;63(4):494–9.
 39. Currier DP, Mann R. Muscular strength development by electrical stimulation in healthy individuals. *Phys Ther*. 1983;63(6):915–21.
 40. Kubiak RJ, Whitman KM, Johnston RM. Changes in quadriceps femoris muscle strength using isometric exercise versus electrical stimulation. *J Orthop Sport Phys Ther*. 1987;8(11):537–41.
 41. Soo CL, Currier DP, Threlkeld AJ. Augmenting voluntary torque of healthy muscle by optimization of electrical stimulation. *Phys Ther*. 1988;68(3):333–7.

-
42. Boschetti G, Boschetti E. ¿Qué es la electroestimulación? Teoría y práctica y metodología del entrenamiento. 2ª ed. Barcelona: Editorial Paidotribo; 2004.
 43. Merton PA. Voluntary strength and fatigue. *J Physiol*. 1954;123(3):553–64.
 44. Sinacore DR, Delitto A, King DS, Rose SJ. Type II fiber activation with electrical stimulation: a preliminary report. *Phys Ther*. 1990;70(7):416–22.
 45. Trimble MH, Enoka RM. Mechanisms underlying the training effects associated with neuromuscular electrical stimulation. *Phys Ther*. 1991;71(4):273–80.
 46. Pette D, Wimmer M, Nemeth P. Do enzyme activities vary along muscle fibres? *Histochemistry*. 1980;67(3):225–31.
 47. Heilig, A., & Pette D. Changes induced in the enzyme activity pattern by electrical stimulation of fast-twitch muscle. *Plast muscle*. 1980;409–20.
 48. Kramer J, Lindsay D, Magee D, Mendryk S, Wall T. Comparison of voluntary and electrical stimulation contraction torques. *J Orthop Sport Phys Ther*. 1984;5(6):324–31.
 49. Houston ME, Farrance BW, Wight RI. Metabolic effects of two frequencies of short-term surface electrical stimulation on human muscle. *Can J Physiol Pharmacol*. 1982;60(5):727–31.
 50. Bélanger A. Evidence-based guide to therapeutic physical agents. Lippincott Williams & Wilkins; 2002.
 51. Paillard T, Noe F, Passelergue P, Dupui P. Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sport Med*. 2005;35(11):951–66.
 52. Delitto A, Rose SJ. Comparative comfort of three waveforms used in electrically eliciting quadriceps femoris muscle contractions. *Phys Ther*. 1986;66(11):1704–7.
 53. De La Cámara A. El sector del fitness en España; análisis del gimnasio low-cost y los centros de electroestimulación integral. *Sport TK-Revista Euroam Ciencias del Deport*. 2015;4(2):47–54.
 54. Herrero AJ, Martín J, Benito PJ, Gonzalo-Martínez I, Chulvi-Medrano I, García-López D. Posicionamiento de la National Strength and Conditioning Association-Spain. Entrenamiento con electroestimulación de cuerpo completo. *Rev Andaluza Med del Deport*. 2015;8(4):155–62.
 55. Kemmler W, Schliffka R, Mayhew JL, von Stengel S. Effects of whole-body electromyostimulation on resting metabolic rate, body composition, and

- maximum strength in postmenopausal women: the training and electrostimulation trial. *J Strength Cond Res.* 2010;24(7):1880–7.
56. Kemmler W, Weissenfels A, Willert S, Shojaa M, von Stengel S, Filipovic A, et al. Efficacy and safety of low frequency whole-body electromyostimulation (WB-EMS) to improve health-related outcomes in non-athletic adults. A systematic review. *Front Physiol.* 2018;9.
57. Kemmler W, Weissenfels A, Willert S, Fröhlich M, Ludwig O, Berger J, et al. Recommended contraindications for the use of non-medical WB-electromyostimulation. *Dtsch Z Sportmed.* 2019;70(11):278–82.
58. Iriarte Posse I, Pedret Carballido C, Balius Matas R et al. *Ecografía Musculoesquelética: exploración anatómica y patología.* Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2020.
59. Newman PG, Rozycki GS. The history of ultrasound. *Surg Clin North Am.* 1998;78(2):179–95.
60. Bueno Horcajadas Á, Del Cura Rodríguez J. *Ecografía Musculoesquelética Esencial.* SEUS, editor. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2011.
61. Smith J, Finnoff JT. Diagnostic and interventional musculoskeletal ultrasound: part 1. Fundamentals. *PM&R.* 2009;1(1):64–75.
62. SEMG Sociedad Española de Médicos Generales y de Familia. *ABC de la ecografía abdominal, teoría y práctica.* Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010.
63. Forney MC, Delzell PB. Musculoskeletal ultrasonography basics. *Cleve Clin J Med.* 2018;85(4):283–300.
64. Perdomo Hernández G, Cózar Castellano I. *Fisiología humana. Aprendizaje basado en pruebas objetivas.* 2ª ed. España: Universidad de Burgos; 2017.
65. López Chicharro J, Fernández Vaquero A. *Fisiología del ejercicio.* 4ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2022.
66. Rodríguez Martín JM. *Electroterapia en Fisioterapia.* 3ª. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2014.
67. Albornoz Cabello M. *Electroterapia práctica. Avances en investigación clínica.* Barcelona: Elsevier España; 2016.
68. Plaja J. *Guía práctica de Electroterapia.* Parets de Vallés: Carin-Electromedicarin;

-
- 1999.
69. Vleeming A. Movimiento, estabilidad y dolor lumbopélvico. Integridad de la investigación con el tratamiento. 2ª ed. Barcelona: Elsevier España; 2008.
 70. Ferreira PH, Ferreira ML, Hodges PW. Changes in recruitment of the abdominal muscles in people with low back pain. *Spine*. 2004;29(22):2560–6.
 71. Hodges PW, Richardson C. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain: a motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine*. 1996;21(22):2640–50.
 72. Hodges PW, Richardson C. Delayed postural contraction of transversus abdominis in low back pain associated with movement of the lower limb. *Clin Spine Surg*. 1998;11(1):46–56.
 73. Urquhart DM, Barker PJ, Hodges PW, Story IH, Briggs CA. Regional morphology of the transversus abdominis and obliquus internus and externus abdominis muscles. *Clin Biomech*. 2005;20(3):233–41.
 74. Strohl KP, Mead J, Banzett RB, Loring SH, Kosch PC. Regional differences in abdominal muscle activity during various maneuvers in humans. *J Appl Physiol*. 1981;51(6):1471–6.
 75. Kendall FP. Kendall's músculos pruebas funcionales postura y dolor. 5ª ed. Madrid: Editorial Marbán; 2007.
 76. Barker PJ, Briggs CA, Bogeski G. Tensile transmission across the lumbar fasciae in unembalmed cadavers. *Spine*. 2004;29(2):129–38.
 77. Rankin G, Stokes M, Newham DJ. Abdominal muscle size and symmetry in normal subjects. *Muscle Nerve*. 2006;34(3):320–6.
 78. Hodges P, Cresswell A, Thorstensson A. Preparatory trunk motion accompanies rapid upper limb movement. *Exp Brain Res*. 1999;124(1):69–79.
 79. Hodges PW. Is there a role for transversus abdominis in lumbo-pelvic stability? *Man Ther*. 1999;4(2):74–86.
 80. Askar OM. Surgical anatomy of the aponeurotic expansions of the anterior abdominal wall. *Ann R Coll Surg Engl*. 1977;59(4):313–21.
 81. Richardson CA, Snijders CJ, Hides JA, Damen L, Pas MS, Storm J. The relation between the transversus abdominis muscles, sacroiliac joint mechanics, and low back pain. *Spine*. 2002;27(4):399–405.

82. Urquhart DM, Hodges PW, Story IH. Postural activity of the abdominal muscles varies between regions of these muscles and between body positions. *Gait Posture*. 2005;22(4):295–301.
83. Urquhart DM, Hodges PW, Allen TJ, Story IH. Abdominal muscle recruitment during a range of voluntary exercises. *Man Ther*. 2005;10(2):144–53.
84. Springer BA, Mielcarek BJ, Nesfield TK, Teyhen DS. Relationships among lateral abdominal muscles, gender, body mass index, and hand dominance. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2006;36(5):289–97.
85. Silverthorn. *Fisiología humana. Un enfoque integrado*. 8ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2019.
86. Fisher JP, Seifert T, Hartwich D, Young CN, Secher NH, Fadel PJ. Autonomic control of heart rate by metabolically sensitive skeletal muscle afferents in humans. *J Physiol*. 2010;588(7):1117–27.
87. De Macedo AC, Schein AS, Callegaro CC, Alves VM, Zamneli PM, Sbruzzi G, et al. Hemodynamic responses to neuromuscular electrical stimulation and to metaboreflex activation. *J Sports Med Phys Fitness*. 2022;62(2).
88. Porcari JP, Miller J, Cornwell K, Foster C, Gibson M, McLean K, et al. The effects of neuromuscular electrical stimulation training on abdominal strength, endurance, and selected anthropometric measures. *J Sport Sci Med*. 2005;4(1):66–75.
89. Paillard T. Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *Sport Med*. 2008;38(2):161–77.
90. Seco Calvo JA. *Procedimientos generales en Fisioterapia*. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2021.
91. Sánchez I, Ferrero A, Aguilar J, Climent J, Conejero J. *Manual SERMEF de Rehabilitación y Medicina Física*. Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina, editor. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2006.
92. Herrero AJ, de Vicuña OAG, Rábago JCM, López JG. Parámetros de entrenamiento con electroestimulación y efectos crónicos sobre la función muscular (I). *Arch Med del Deport Rev la Fed Española Med del Deport y la Confed Iberoam Med del Deport*. 2006;23(116):455–62.
93. Hainaut K, Duchateau J. Neuromuscular electrical stimulation and voluntary

-
- exercise. *Sport Med.* 1992;14(2):100–13.
94. Gobbo M, Maffiuletti NA, Orizio C, Minetto MA. Muscle motor point identification is essential for optimizing neuromuscular electrical stimulation use. *J Neuroeng Rehabil.* 2014;11(1):17.
 95. Kemmler W, Kleinöder H, Fröhlich M. Editorial: Whole-body electromyostimulation: a training technology to improve health and performance in humans? *Front Physiol.* 2020;11.
 96. Kemmler W, von Stengel S. Application of electrical modalities on muscle stimulation. In: *Non-Pharmacological Management of Osteoporosis.* Cham: Springer International Publishing; 2017. p. 145–66.
 97. Filipovic A, Kleinöder H, Dörmann U, Mester J. Electromyostimulation—A systematic review of the effects of different electromyostimulation methods on selected strength parameters in trained and elite athletes. *J Strength Cond Res.* 2012;26(9):2600–14.
 98. Justfit [Internet]. [cited 2023 Apr 20]. Available from: <https://justfitart.com/>
 99. Kemmler W, von Stengel S. Whole-body electromyostimulation as a means to impact muscle mass and abdominal body fat in lean, sedentary, older female adults: subanalysis of the TEST-III trial. *Clin Interv Aging.* 2013;8:1353.
 100. Kemmler W, Bebenek M, Engelke K, von Stengel S. Impact of whole-body electromyostimulation on body composition in elderly women at risk for sarcopenia: the training and electrostimulation trial (TEST-III). *Age.* 2014;36(1):395–406.
 101. Stöllberger C, Finsterer J. Side effects of and contraindications for whole-body electro-myo-stimulation: a viewpoint. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2019;5(1):e000619.
 102. Kemmler W, Froehlich M, von Stengel S, Kleinöder H. Whole-Body electromyostimulation – The need for common sense! rationale and guideline for a safe and effective training. *Dtsch Z Sportmed.* 2016;2016(09):218–21.
 103. Ramos DA, Dorgo S. Rhabdomyolysis. *Strength Cond J.* 2014;36(6):56–61.
 104. Kästner A, Braun M, Meyer T. Two cases of rhabdomyolysis after training with electromyostimulation by 2 young male professional soccer players. *Clin J Sport Med.* 2015;25(6):e71–3.

105. Guillén Astete CA, Zegarra Mondragón S, Medina Quiñones C. Rbdomiólisis secundaria a la realización de actividad física y electroestimulación simultánea: reporte de un caso. *Reumatol Clínica*. 2015;11(4):262–3.
106. Finsterer J, Stöllberger C. Severe rhabdomyolysis after MIHA-bodytec® electrostimulation with previous mild hyper-CK-emia and noncompaction. *Int J Cardiol*. 2015;180:100–2.
107. Teschler M, Mooren FC. (Whole-Body) Electromyostimulation, muscle damage, and immune system: A mini review. *Front Physiol*. 2019;10:1461.
108. Teschler M, Weissenfels A, Fröhlich M, Kohl M, Bebenek M, von Stengel S, et al. (Very) high creatine kinase (CK) levels after Whole-Body Electromyostimulation. Are there implications for health? *Int J Clin Exp Med*. 2016;9(11):22841–50.
109. Lin H, Chie W, Lien H. Epidemiological analysis of factors influencing an episode of exertional rhabdomyolysis in high school students. *Am J Sports Med*. 2006;34(3):481–6.
110. Nosaka K, Aldayel A, Jubeau M, Chen TC. Muscle damage induced by electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111(10):2427–37.
111. Watson T. *Electroterapia. Práctica basada en la evidencia*. 12^a ed. Barcelona: Elsevier España; 2009.
112. Keltz E, Khan FY, Mann G. Rhabdomyolysis. The role of diagnostic and prognostic factors. *Muscles Ligaments Tendons J*. 2013;3(4):303–12.
113. Zutt R, van der Kooi AJ, Linthorst GE, Wanders RJA, de Visser M. Rhabdomyolysis: review of the literature. *Neuromuscul Disord*. 2014;24(8):651–9.
114. Hong JY, Oh JH, Shin J ho. Rhabdomyolysis caused by knee push-ups with whole body electromyostimulation. *Br J Hosp Med*. 2016;77(9):542–3.
115. Cervellin G, Comelli I, Benatti M, Sanchis-Gomar F, Bassi A, Lippi G. Non-traumatic rhabdomyolysis: background, laboratory features, and acute clinical management. *Clin Biochem*. 2017;50(12):656–62.
116. Aldayel A, Jubeau M, McGuigan MR, Nosaka K. Less indication of muscle damage in the second than initial electrical muscle stimulation bout consisting of isometric contractions of the knee extensors. *Eur J Appl Physiol*.

-
- 2010;108(4):709–17.
117. Guarascio P. Electronic muscular stimulators: a novel unsuspected cause of rhabdomyolysis. *Br J Sports Med.* 2004;38(4):505–505.
 118. Nosaka K, Clarkson PM. Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(9):1263–9.
 119. Kemmler W, Weissenfels A, Teschler M, Willert S, Bebenek M, Shojaa M, et al. Whole-body electromyostimulation and protein supplementation favorably affect sarcopenic obesity in community-dwelling older men at risk: the randomized controlled FranSO study. *Clin Interv Aging.* 2017;12:1503–13.
 120. Malnick SDH, Band Y, Alin P, Maffioletti NA. It's time to regulate the use of whole body electrical stimulation. *BMJ.* 2016;352.
 121. Hashimoto BE, Kramer DJ, Wiitala L. Applications of musculoskeletal sonography. *J Clin Ultrasound.* 1999;27(6):293–318.
 122. Peetrons P. Ultrasound of muscles. *Eur Radiol.* 2002;12(1):35–43.
 123. García de Casasola Sánchez G, Torres Macho J. *Ecografía Cardiovascular.* Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2017.
 124. Smith J, Finnoff JT. Diagnostic and interventional musculoskeletal ultrasound: part 2. Clinical applications. *PM&R.* 2009;1(2):162–77.
 125. Alfagerre Roldán F, Roustán Gullón G. *Ecografía en dermatología y dermoestética.* Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2017.
 126. Hoshiai M, Ochiai K, Tamura Y, Tsurumi T, Terashima M, Tamiya H, et al. Effects of whole-body neuromuscular electrical stimulation device on hemodynamics, arrhythmia, and sublingual microcirculation. *Heart Vessels.* 2021;36(6):844–52.
 127. Teyhen D. Rehabilitative Ultrasound Imaging Symposium, May 8-10, 2006, San Antonio, Texas. *J Orthop Sport Phys Ther.* 2006;36(8):A-1-A-17.
 128. Whittaker JL, Teyhen DS, Elliott JM, Cook K, Langevin HM, Dahl HH, et al. Rehabilitative Ultrasound Imaging: understanding the Technology and its applications. *J Orthop Sport Phys Ther.* 2007;37(8):434–49.
 129. Teyhen D, Koppenhaver S. Rehabilitative ultrasound imaging. *J Physiother.* 2011;57(3):196.
 130. Koppenhaver SL, Hebert JJ, Fritz JM, Parent EC, Teyhen DS, Magel JS.

- Reliability of Rehabilitative Ultrasound Imaging of the transversus abdominis and lumbar multifidus muscles. *Arch Phys Med Rehabil.* 2009;90(1):87–94.
131. Hebert JJ, Koppenhaver SL, Parent EC, Fritz JM. A systematic review of the reliability of Rehabilitative Ultrasound Imaging for the quantitative assessment of the abdominal and lumbar trunk muscles. *Spine.* 2009;34(23):E848–56.
132. Bunce SM, Hough AD, Moore AP. Measurement of abdominal muscle thickness using M-mode ultrasound imaging during functional activities. *Man Ther.* 2004;9(1):41–4.
133. Teyhen DS, Gill NW, Whittaker JL, Henry SM, Hides JA, Hodges P. Rehabilitative Ultrasound Imaging of the abdominal muscles. *J Orthop Sport Phys Ther.* 2007;37(8):450–66.
134. Teyhen DS, Miltenberger CE, Deiters HM, Del Toro YM, Pulliam JN, Childs JD, et al. The use of ultrasound imaging of the abdominal drawing-in maneuver in subjects with low back pain. *J Orthop Sport Phys Ther.* 2005;35(6):346–55.
135. Kemmler W, Grimm A, Bebenek M, Kohl M, von Stengel S. Effects of combined whole-body electromyostimulation and protein supplementation on local and overall muscle/fat distribution in older men with sarcopenic obesity: the randomized controlled Franconia Sarcopenic Obesity (FranSO) study. *Calcif Tissue Int.* 2018;103(3):266–77.
136. Teyhen DS, Williamson JN, Carlson NH, Suttles ST, O’Laughlin SJ, Whittaker JL, et al. Ultrasound characteristics of the deep abdominal muscles during the Active Straight Leg Raise Test. *Arch Phys Med Rehabil.* 2009;90(5):761–7.
137. Coghlan S, Crowe L, McCarthyPersson U, Minogue C, Caulfield B. Electrical muscle stimulation for deep stabilizing muscles in abdominal wall. In: 2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE; 2008. p. 2756–9.
138. Coghlan S, Crowe L, McCarthyPersson U, Minogue C, Caulfield B. Neuromuscular electrical stimulation training results in enhanced activation of spinal stabilizing muscles during spinal loading and improvements in pain ratings. In: 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE; 2011. p. 7622–5.
139. Cho HK, Jung GS, Kim EH, Cho YW, Kim SW, Ahn SH. The effects of

-
- neuromuscular electrical stimulation at different frequencies on the activations of deep abdominal stabilizing muscles. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2016;29(1):183–9.
140. Amaro-Gahete FJ, De-la-O A, Jurado-Fasoli L, Dote-Montero M, Gutiérrez Á, Ruiz JR, et al. Changes in physical fitness after 12 weeks of structured concurrent exercise training, high intensity interval training, or Whole-body electromyostimulation training in sedentary middle-aged adults: a randomized controlled trial. *Front Physiol.* 2019;10.
141. Cassemiliano G, Ricci PA, Jürgensen SP, Domingos BC, Borghi-Silva A. Acute whole-body electromyostimulation associated with dynamic exercises did not alter cardiac autonomic modulation and oxygen uptake in obese and eutrophic men. *Mot Rev Educ Física.* 2022;28.
142. Evangelista AL, Teixeira CVLS, Barros BM, de Azevedo JB, Paunksnis MRR, de Souza CR, et al. Does whole-body electrical muscle stimulation combined with strength training promote morphofunctional alterations? *Clinics.* 2019;74:e1334.
143. Ricci PA, Di Thommazo-Luporini L, Jürgensen SP, André LD, Haddad GF, Arena R, et al. Effects of whole-body electromyostimulation associated with dynamic exercise on functional capacity and heart rate variability after bariatric surgery: a randomized, double-Blind, and sham-controlled trial. *Obes Surg.* 2020;30(10):3862–71.
144. Wirtz N, Wahl P, Kleinöder H, Wechsler K, Achtzehn S, Mester J. Acute metabolic, hormonal, and psychological responses to strength training with superimposed EMS at the beginning and the end of a 6 week training period. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2015;15(4):325–32.
145. Wirtz N, Filipovic A, Gehlert S, de Marées M, Schiffer T, Bloch W, et al. Seven weeks of jump training with superimposed whole-body electromyostimulation does not affect the physiological and cellular parameters of endurance performance in amateur soccer players. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(3):1123.
146. Kang JH, Hyong IH. The influence of neuromuscular electrical stimulation on the heart rate variability in healthy subjects. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(5):633–5.

147. Gondin J, Guette M, Ballay Y, Martin A. Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Med Sci Sport Exerc.* 2005;37(8):1291–9.
148. Schulz KF, Altman DG, Moher D. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *Int J Surg.* 2011;9(8):672–7.
149. Juszczak E, Altman DG, Hopewell S, Schulz K. Reporting of multi-arm parallel-group randomized trials. *JAMA.* 2019;321(16):1610.
150. Holt GR. Declaration of Helsinki—The world’s document of conscience and responsibility. *South Med J.* 2014;107(7):407–407.
151. Jee YS. The efficacy and safety of whole-body electromyostimulation in applying to human body: based from graded exercise test. *J Exerc Rehabil.* 2018;14(1):49–57.
152. Martínez-Moragón E, Perpiñá M, Belloch A, De Diego A. Prevalencia del síndrome de hiperventilación en pacientes tratados por asma en una consulta de neumología. *Arch Bronconeumol.* 2005;41(5):267–71.
153. Whittaker JL, Warner MB, Stokes M. Comparison of the sonographic features of the abdominal wall muscles and connective tissues in individuals with and without lumbopelvic Pain. *J Orthop Sport Phys Ther.* 2013;43(1):11–9.
154. Mota P, Pascoal AG, Sancho F, Bø K. Test-retest and Intrarater reliability of 2-dimensional ultrasound measurements of distance between rectus abdominis in women. *J Orthop Sport Phys Ther.* 2012;42(11):940–6.
155. Eknoyan G. Adolphe Quetelet (1796 1874) the average man and indices of obesity. *Nephrol Dial Transplant.* 2007;23(1):47–51.
156. Delgado M, Tercedor P, Soto V. Traducción de las guías para el procesamiento de datos y análisis del Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ). Versiones corta y larga. Universidad de Granada Junta de Andalucía; 2005.
157. Ruiz-Casado A, Alejo L, Santos-Lozano A, Soria A, Ortega M, Pagola I, et al. Validity of the Physical Activity Questionnaires IPAQ-SF and GPAQ for cancer survivors: insights from a spanish cohort. *Int J Sports Med.* 2016;37(12):979–85.
158. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sport Exerc.* 1982;14(5):377–81.

-
159. Borg E, Kaijser L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scand J Med Sci Sport*. 2006;16(1):57–69.
 160. Von Stengel S, Bebenek M, Engelke K, Kemmler W. Whole-body electromyostimulation to fight osteopenia in elderly females: The randomized controlled training and electrostimulation trial (TEST-III). *J Osteoporos*. 2015;2015:1–7.
 161. Ferreira PH, Ferreira ML, Nascimento DP, Pinto RZ, Franco MR, Hodges PW. Discriminative and reliability analyses of ultrasound measurement of abdominal muscles recruitment. *Man Ther*. 2011;16(5):463–9.
 162. Lee PH, Macfarlane DJ, Lam T, Stewart SM. Validity of the international physical activity questionnaire short form (IPAQ-SF): a systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2011;8(1):115.
 163. Mota P, Pascoal AG, Carita AI, Bø K. The immediate effects on inter-rectus distance of abdominal crunch and drawing-in exercises during pregnancy and the postpartum period. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2015;45(10):781–8.
 164. Critchley DJ, Coutts FJ. Abdominal muscle function in chronic low back pain patients. *Physiotherapy*. 2002;88(6):322–32.
 165. Costa LOP, Maher CG, Latimer J, Smeets RJEM. Reproducibility of Rehabilitative Ultrasound Imaging for the measurement of abdominal muscle activity: a systematic review. *Phys Ther*. 2009;89(8):756–69.
 166. Linek P, Saulicz E, Wolny T, Myśliwiec A. Intra-rater reliability of B-Mode ultrasound imaging of the abdominal muscles in healthy adolescents during the Active Straight Leg Raise Test. *PM&R*. 2015;7(1):53–9.
 167. Mota P, Pascoal AG, Sancho F, Carita AI, Bø K. Reliability of the inter-rectus distance measured by palpation. Comparison of palpation and ultrasound measurements. *Man Ther*. 2013;18(4):294–8.
 168. Mendes D de A, Nahas FX, Veiga DF, Mendes FV, Figueiras RG, Gomes HC, et al. Ultrasonography for measuring rectus abdominis muscles diastasis. *Acta Cir Bras*. 2007;22(3):182–6.
 169. Beer GM, Schuster A, Seifert B, Manestar M, Mihic-Probst D, Weber SA. The normal width of the linea alba in nulliparous women. *Clin Anat*. 2009;22(6):706–11.

170. Schulz KF, DA G. Generation of allocation sequences in randomised trials: chance, not choice. *Lancet*. 2002;359(9305):515–9.
171. Iwan T, Garton B, Ellis R. The reliability of measuring the inter-recti distance using high-resolution and low-resolution ultrasound imaging comparing a novice to an experienced sonographer. *New Zeal J Physiother*. 2014;42(3).
172. Teyhen DS, Rieger JL, Westrick RB, Miller AC, Molloy JM, Childs JD. Changes in deep abdominal muscle thickness during common trunk-strengthening exercises using ultrasound imaging. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2008;38(10):596–605.
173. Park J, Kim K, Kim N, Choi I, Lee S, Tak S, et al. A comparison of cervical flexion, pain, and clinical depression in frequency of smartphone use. *Int J Bio-Science Bio-Technology*. 2015;7(3):183–90.
174. Pascoal AG, Dionisio S, Cordeiro F, Mota P. Inter-rectus distance in postpartum women can be reduced by isometric contraction of the abdominal muscles: a preliminary case–control study. *Physiotherapy*. 2014;100(4):344–8.
175. Sancho MF, Pascoal AG, Mota P, Bø K. Abdominal exercises affect inter-rectus distance in postpartum women: a two-dimensional ultrasound study. *Physiotherapy*. 2015;101(3):286–91.
176. Kiesel KB, Uhl TL, Underwood FB, Rodd DW, Nitz AJ. Measurement of lumbar multifidus muscle contraction with rehabilitative ultrasound imaging. *Man Ther*. 2007;12(2):161–6.
177. Puentedura EJ, Landers MR, Hurt K, Meissner M, Mills J, Young D. Immediate effects of lumbar spine manipulation on the resting and contraction thickness of transversus abdominis in asymptomatic individuals. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2011;41(1):13–21.
178. Kemmler W, Teschler M, Weissenfels A, Bebenek M, von Stengel S, Kohl M, et al. Whole-body electromyostimulation to fight sarcopenic obesity in community-dwelling older women at risk. Results of the randomized controlled FORMOsA-sarcopenic obesity study. *Osteoporos Int*. 2016;27(11):3261–70.
179. Ludwig O, Berger J, Becker S, Kemmler W, Fröhlich M. The Impact of Whole-body electromyostimulation on body posture and trunk muscle strength in untrained persons. *Front Physiol*. 2019;10:1020.

-
180. Berger J, Becker S, Backfisch M, Eifler C, Kemmler W, Fröhlich M. Adjustment effects of maximum intensity tolerance during Whole-body electromyostimulation training. *Front Physiol.* 2019;10:920.
 181. Berger J, Ludwig O, Becker S, Backfisch M, Kemmler W, Fröhlich M. Effects of an impulse frequency dependent 10-week Whole-body electromyostimulation training program on specific sport performance parameters. *J Sports Sci Med.* 2020;19(2):271–81.
 182. Teschler M, Wassermann A, Weissenfels A, Fröhlich M, Kohl M, Bebenek M, et al. Short time effect of a single session of intense whole-body electromyostimulation on energy expenditure. A contribution to fat reduction? *Appl Physiol Nutr Metab.* 2018;43(5):528–30.
 183. Wittmann K, Sieber C, von Stengel S, Kohl M, Freiberger E, Jakob F, et al. Impact of whole body electromyostimulation on cardiometabolic risk factors in older women with sarcopenic obesity: the randomized controlled FORMOsA-sarcopenic obesity study. *Clin Interv Aging.* 2016;11:1697–706.
 184. D’Ottavio S, Briotti G, Rosazza C, Partipilo F, Silvestri A, Calabrese C, et al. Effects of two modalities of whole-body electrostimulation programs and resistance circuit training on strength and power. *Int J Sports Med.* 2019;40(13):831–41.
 185. Delgado André L, Basso-Vanelli RP, Di Thommazo-Luporini L, Angélica Ricci P, Cabiddu R, Pilon Jürgensen S, et al. Functional and systemic effects of whole body electrical stimulation post bariatric surgery: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2018;19(1):597.
 186. Kemmler W, Stengel S Von, Schwarz J, Mayhew JL. Effect of whole-body electromyostimulation on energy expenditure during exercise. *J Strength Cond Res.* 2012;26(1):240–5.
 187. McGowan CJ, Pyne DB, Thompson KG, Rattray B. Warm-Up strategies for sport and exercise: mechanisms and applications. *Sport Med.* 2015;45(11):1523–46.
 188. Van Hooren B, Peake JM. Do we need a cool-down after exercise? a narrative review of the psychophysiological effects and the effects on performance, injuries and the long-term adaptive response. *Sport Med.* 2018;48(7):1575–95.

189. Cohen J. Eta-Squared and Partial Eta-Squared in fixed factor ANOVA Designs. *Educ Psychol Meas.* 1973;33(1):107–12.
190. Levine TR, Hullett CR. Eta squared, partial Eta squared, and misreporting of effect size in communication research. *Hum Commun Res.* 2002;28(4):612–25.
191. Mordkoff JT. A simple method for removing bias from a popular measure of standardized effect size: adjusted partial Eta squared. *Adv Methods Pract Psychol Sci.* 2019;2(3):228–32.
192. Kelley K, Preacher KJ. On effect size. *Psychol Methods.* 2012;17(2):137–52.
193. Blanca Mena M, Alarcón Postigo R, Arnau Gras J, Bono Cabré R, Bendayan R. Non-normal data: Is ANOVA still a valid option?. *Psicothema.* 2017;29(4):552–7.
194. Haverkamp N, Beauducel A. Violation of the sphericity assumption and its effect on type-I error rates in repeated measures ANOVA and Multi-Level Linear Models (MLM). *Front Psychol.* 2017;8.
195. Austin PC, Steyerberg EW. The number of subjects per variable required in linear regression analyses. *J Clin Epidemiol.* 2015;68(6):627–36.
196. Kamel DM, Yousif AM. Neuromuscular electrical stimulation and strength recovery of postnatal diastasis recti abdominis muscles. *Ann Rehabil Med.* 2017;41(3):465.
197. Vasseljen O, Fladmark AM. Abdominal muscle contraction thickness and function after specific and general exercises: A randomized controlled trial in chronic low back pain patients. *Man Ther.* 2010;15(5):482–9.
198. Bunce SM, Moore AP, Hough AD. M-mode ultrasound: a reliable measure of transversus abdominis thickness? *Clin Biomech.* 2002;17(4):315–7.
199. Baek SO, Cho HK, Jung GS, Son SM, Cho YW, Ahn SH. Verification of an optimized stimulation point on the abdominal wall for transcutaneous neuromuscular electrical stimulation for activation of deep lumbar stabilizing muscles. *Spine J.* 2014;14(9):2178–83.
200. Yasuda T, Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T. Effects of blood flow restricted low-intensity concentric or eccentric training on muscle size and strength. Garatachea N, editor. *PLoS One.* 2012;7(12):e52843.
201. Flores DF, Gentil P, Brown LE, Pinto RS, Carregaro RL, Bottaro M. Dissociated

-
- time course of recovery between genders after resistance exercise. *J Strength Cond Res.* 2011;25(11):3039–44.
202. Neves EB, Moreira TR, Lemos R, Vilaça-Alves J, Rosa C, Reis VM. Using skin temperature and muscle thickness to assess muscle response to strength training. *Rev Bras Med do Esporte.* 2015;21(5):350–4.
203. Nosaka K, Newton M, Sacco P. Responses of human elbow flexor muscles to electrically stimulated forced lengthening exercise. *Acta Physiol Scand.* 2002;174(2):137–45.
204. Hirono T, Ikezoe T, Taniguchi M, Tanaka H, Saeki J, Yagi M, et al. Relationship between muscle swelling and hypertrophy induced by resistance training. *J Strength Cond Res.* 2022;36(2):359–64.
205. Smith E, Sepulveda A, Martinez V, Samaniego A, Marchetti PN, Marchetti PH. Exercise variability did not affect muscle thickness and peak force for elbow flexors after a resistance training session in recreationally-trained subjects. *Int J Exerc Sci.* 2021;14(3):1294–304.
206. de Freitas MC, Gerosa-Neto J, Zanchi NE, Lira FS, Rossi FE. Role of metabolic stress for enhancing muscle adaptations: practical applications. *World J Methodol.* 2017;7(2):46.
207. Bartolomei S, Nigro F, Malagoli Lanzoni I, Mangia AL, Cortesi M, Ciacci S, et al. Acute effects of a high volume vs. high intensity bench press protocol on electromechanical delay and muscle morphology in recreationally trained women. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(9):4874.
208. Willert S, Weissenfels A, Kohl M, von Stengel S, Fröhlich M, Kleinöder H, et al. Effects of whole-body electromyostimulation on the energy-restriction-induced reduction of muscle mass during intended weight loss. *Front Physiol.* 2019;10:1012.
209. Dörmann U, Wirtz N, Micke F, Morat M, Kleinöder H, Donath L. The effects of superimposed whole-body electromyostimulation during short-term strength training on physical fitness in physically active females: a randomized controlled trial. *Front Physiol.* 2019;10:728.
210. Alon G, McCombe SA, Koutsantonis S, Stumphauzer LJ, Burgwin KC, Parent MM, et al. Comparison of the effects of electrical stimulation and exercise on

- abdominal musculature. *J Orthop Sport Phys Ther.* 1987;8(12):567–73.
211. Filipovic A, Kleinöder H, Dörmann U, Mester J. Electromyostimulation—A systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength Parameters. *J Strength Cond Res.* 2011;25(11):3218–38.
212. Gregory CM, Bickel CS. Recruitment patterns in human skeletal muscle during electrical stimulation. *Phys Ther.* 2005;85(4):358–64.
213. Carrier DP, Mann R. Muscular strength development by Electrical Stimulation in healthy individuals. *Phys Ther.* 1983;63(6):915–21.
214. Johnson MA, Polgar J, Weightman D, Appleton D. Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles. *J Neurol Sci.* 1973;18(1):111–29.
215. Boccia G, Fornasiero A, Savoldelli A, Bortolan L, Rainoldi A, Schena F, et al. Oxygen consumption and muscle fatigue induced by whole-body electromyostimulation compared to equal-duration body weight circuit training. *Sport Sci Health.* 2017;13(1):121–30.
216. Gobbo M, Gaffurini P, Bissoletti L, Esposito F, Orizio C. Transcutaneous neuromuscular electrical stimulation: influence of electrode positioning and stimulus amplitude settings on muscle response. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(10):2451–9.
217. Hortobágyi T, Maffiuletti NA. Neural adaptations to electrical stimulation strength training. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(10):2439–49.
218. Bickel CS, Slade JM, Haddad F, Adams GR, Dudley GA. Acute molecular responses of skeletal muscle to resistance exercise in able-bodied and spinal cord-injured subjects. *J Appl Physiol.* 2003;94(6):2255–62.
219. Phillips SM, Tipton KD, Aarsland A, Wolf SE, Wolfe RR. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol Metab.* 1997;273(1):E99–107.
220. Hwang UJ, Kwon OY, Jung SH, Kim HA, Gwak GT. Effect of neuromuscular electrical stimulation training for abdominal muscles on change of muscle size, strength, endurance and lumbopelvic stability. *J Sports Med Phys Fitness.* 2020;60(2).
221. Ogasawara R, Thiebaud RS, Loenneke JP, Loftin M, Abe T. Time course for arm

-
- and chest muscle thickness changes following bench press training. *Interv Med Appl Sci.* 2012;4(4):217–20.
222. Stein C, Dal Lago P, Ferreira JB, Casali KR, Plentz RDM. Transcutaneous electrical nerve stimulation at different frequencies on heart rate variability in healthy subjects. *Auton Neurosci.* 2011;165(2):205–8.
223. Kutsuna T, Sugawara H, Kurita H, Kusaka S, Takahashi T. The influence of low-intensity resistance training combined with neuromuscular electrical stimulation on autonomic activity in healthy adults: A randomized controlled cross-over trial. *Hong Kong Physiother J.* 2021;41(01):15–23.
224. Gerovasili V, Tripodaki E, Karatzanos E, Pitsolis T, Markaki V, Zervakis D, et al. Short-term systemic effect of electrical muscle stimulation in critically ill patients. *Chest.* 2009;136(5):1249–56.
225. Meesen RLJ, Dendale P, Cuypers K, Berger J, Hermans A, Thijs H, et al. Neuromuscular electrical stimulation as a possible means to prevent muscle tissue wasting in artificially ventilated and sedated patients in the intensive care unit: A pilot study. *Neuromodulation Technol Neural Interface.* 2010;13(4):315–21.
226. Van Buuren F, Mellwig KP, Prinz C, Körber B, Fründ A, Fritzsche D, et al. Electrical myostimulation improves left ventricular function and peak oxygen consumption in patients with chronic heart failure: results from the exEMS study comparing different stimulation strategies. *Clin Res Cardiol.* 2013;102(7):523–34.
227. Filipovic A, Grau M, Kleinöder H, Zimmer P, Hollmann W, Bloch W. Effects of a whole-body electrostimulation program on strength, sprinting, jumping, and kicking capacity in elite soccer players. *J Sports Sci Med.* 2016;15(4):639–48.
228. Fritzsche D, Freund A, Schenk S, Mellwig KP, Kleinöder H, Gummert J, et al. Elektromyostimulation (EMS) bei kardiologischen Patienten. *Herz.* 2010;35(1):34–40.
229. Watanabe K, Yoshida T, Ishikawa T, Kawade S, Moritani T. Effect of the combination of Whole-body neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise on metabolic responses in human. *Front Physiol.* 2019;10:291.
230. Crisafulli A, Piras F, Filippi M, Piredda C, Chiappori P, Melis F, et al. Role of

- heart rate and stroke volume during muscle metaboreflex-induced cardiac output increase: differences between activation during and after exercise. *J Physiol Sci.* 2011;61(5):385.
231. Delius W, Hagbarth KE, Hongell A, Wallin BG. Manoeuvres Affecting Sympathetic Outflow in Human Muscle Nerves. *Acta Physiol Scand.* 1972;84(1):82–94.
232. Hodges PW, Pengel LHM, Herbert RD, Gandevia SC. Measurement of muscle contraction with ultrasound imaging. *Muscle Nerve.* 2003;27(6):682–92.

ANEXOS

ANEXO I. Clasificación de las posibles causas de la Rabdomiólisis¹¹².

ADQUIRIDAS	
NO TRAUMÁTICAS	
Causas no relacionadas con el esfuerzo	Causas de esfuerzo
<ul style="list-style-type: none"> • Abuso de alcohol/drogas (etanol, metanol, cocaína, cafeína...) • Medicamentos (antipsicóticos, antihistamínicos, salicilatos...) • Agentes tóxicos (monóxido de carbono, mordedura de serpiente...) • Anestésicos y agentes bloqueantes neuromusculares • Infecciones virales • Trastornos electrolíticos • Trastornos endocrinos • Miopatías inflamatorias idiopáticas • Temperaturas extremas • Isquemia muscular • Síndrome neuroléptico maligno 	<ul style="list-style-type: none"> • Esfuerzo físico extremo • Anemia falciforme (crisis) • Estado epiléptico • Síndrome hiperquinético • Distonía grave • Estado asmático
TRAUMÁTICAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones múltiples • Lesiones por aplastamiento (bombardeos, terremotos, accidentes de minas...) • Lesión eléctrica de alto voltaje • Quemaduras extensas de tercer grado • Cirugía vascular/ortopédica • Inmovilidad prolongada 	
GENÉTICAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Glicólisis terminal/Glicogenolisis (miofosforilasa, lactato deshidrogenasa, fosfofructoquinasa, fosforilasa b quinasa, fosfoglicerato mutasa...) • Metabolismo de los lípidos (Carnitina palmitoiltransferasa (CPT II), carnitina, acil-CoA deshidrogenasa de cadena corta/media/muy larga (SCAD, MCAD, V LCAD...) • Ciclo de Krebs (Aconitasa, deficiencia de lipoamida deshidrogenasa) • Ciclo de los nucleótidos de purina (Adenilosuccinato sintetasa, adenilosuccinato liasa, deficiencia de adenosina trifosfatasa) • Cadena respiratoria mitocondrial (Mutaciones del punto de ARNt mitocondrial, deficiencia de complejo I, succinato deshidrogenasa (complejo II), complejo III, coenzima Q10, deficiencia de citocromo-c-oxidasa) • Miopatías 	

ANEXO II. Informe del Comité de ética del estudio experimental.



universidad
del león

Vicerrectorado de Investigación
Comité de Ética

Dña. Sonia Martínez Martínez, como Secretaria del Comité de Ética de la Universidad de León.

CERTIFICA:

Que la solicitud ETICA-ULE-009-2020, titulada “Ensayo clínico de los efectos de la Electroestimulación mediante chalecos de cuerpo completo sobre la musculatura abdominal en población sana: valoración mediante ecografía.” presentada por la Dra. Ana Felicitas López Rodríguez ha recibido una **Evaluación favorable** por parte del Comité de Ética de la Universidad de León.

Para emitir el informe los miembros de este Comité han verificado que la solicitud cumple con los requisitos recogidos en el artículo 4 del Reglamento del Comité de Ética de la Universidad de León y que son, según sea el caso:

- Comprobar la adecuación tanto del modelo como del procedimiento utilizado para obtener el consentimiento informado de la persona que participa o de la que se obtiene el material biológico.
- Velar por la garantía de la confidencialidad de los datos personales de los sujetos que participan en el procedimiento.
- Supervisar la idoneidad y acreditación de todos los participantes en los protocolos.

Y para que conste a los efectos oportunos firmo el presente certificado en León a 24 de marzo de 2020.

Fdo.: Dra. Sonia Martínez Martínez
Secretaria del Comité de Ética
Universidad de León

MARTINEZ
MARTINEZ
SONIA -
09808437H

Firmado digitalmente por
MARTINEZ
MARTINEZ SONIA -
09808437H
Fecha: 2020.03.24
16:17:48 +01'00'

ANEXO III. Informe del registro del estudio experimental en ClinicalTrials.gov.

ClinicalTrials.gov PRS
Protocol Registration and Results System

ClinicalTrials.gov Protocol Registration and Results System (PRS) Receipt
Release Date: October 13, 2022

ClinicalTrials.gov ID: NCT05117203

Study Identification

Unique Protocol ID: ETICA-ULE-009-2020
Brief Title: Dynamic Electrostimulation on the Abdominal Muscles in Healthy Individuals
Official Title: Immediate Effects of Dynamic Electrostimulation on the Abdominal Muscles in Healthy Individuals, Assessed by Ultrasound: an Experimental Study
Secondary IDs:

Study Status

Record Verification: October 2022
Overall Status: Completed
Study Start: November 11, 2021 [Actual]
Primary Completion: May 10, 2022 [Actual]
Study Completion: June 15, 2022 [Actual]

Sponsor/Collaborators

Sponsor: Universidad de León
Responsible Party: Principal Investigator
Investigator: Lorena Álvarez del Barrio [lalvarezdelbarrio]
Official Title: Principal Investigator
Affiliation: Universidad de León
Collaborators:

Oversight

U.S. FDA-regulated Drug: No
U.S. FDA-regulated Device: No
U.S. FDA IND/IDE: No
Human Subjects Review: Board Status: Approved
Approval Number: ETICA-ULE-009-2020
Board Name: ETHICS COMMITTEE
Board Affiliation: UNIVERSIDAD DE LEÓN (SPAIN)
Phone: (+34)987291637
Email: vice.investigacion@unileon.es
Address:
Rectorado, Avda de la Facultad, 25.

24071, León.
Spain

Data Monitoring:

Study Description

Brief Summary: To determine the immediate effects on the abdominal musculature, assessed by ultrasound (RUSI), due to the application of electrostimulation using whole body electrostimulation together with physical exercise in healthy people and to compare with the application of local EMS in the abdominal area and the same physical exercise session. The same intervention is carried out for the control group as the WB-EMS group but simulated.

Detailed Description: Evaluation of the immediate changes in the thickness of the abdominal muscles (Transversus abdominis, Internal and External Oblique and Rectus abdominis) and in the Interrectus distance after the physical exercise session together with whole body electrostimulation or local electrostimulation assessed by ultrasound (RUSI) in healthy people.

Conditions

Conditions: Healthy

Keywords: Whole body electrostimulation
healthy
abdominal muscles
ultrasound
RUSI
WB-EMS

Study Design

Study Type: Interventional

Primary Purpose: Other

Study Phase: N/A

Interventional Study Model: Parallel Assignment

Number of Arms: 3

Masking: Triple (Participant, Investigator, Outcomes Assessor)

Allocation: Randomized

Enrollment: 120 [Actual]

Arms and Interventions

Arms	Assigned Interventions
Experimental: WB-EMS group	Device: WB-EMS (Whole body electrostimulation) Application of physical exercise and electrical stimulation on the abdominal muscles through the WB-EMS during 20 minutes training session with specific exercise (CORE)
Experimental: EMS group	Device: EMS Application of physical exercise and electrical stimulation on the abdominal muscles through the

Arms	Assigned Interventions
	EMS during 20 minutes training session with specific exercise (CORE)
Sham Comparator: Control group	Device: WB-EMS off Application of physical exercise without electrical stimulation on the abdominal muscles through the WB-EMS off during a 20 minutes training session with specific exercise (CORE). Other Names: <ul style="list-style-type: none"> • Control group

Outcome Measures

Primary Outcome Measure:

1. Measurement of muscle thickness of the abdominal muscles by ultrasound through the technique "Rehabilitative Ultrasound Imaging" (RUSI).
 Measure muscle thickness before and after exercise with electrostimulation
 [Time Frame: One day]
2. Measurement of the Distance between Rectus abdominis using ultrasound (RUSI)
 Measure the distance between Rectus abdominis before and after exercise with electrostimulation
 [Time Frame: One day]

Secondary Outcome Measure:

3. International physical activity questionnaire (IPAQ)
 Classification according to low, moderate or high physical activity level
 [Time Frame: One day]
4. Nijmegen questionnaire
 A level of respiratory distress equal to or higher than 23 points is an exclusion criterion for exclusion from the study
 [Time Frame: One day]
5. Body height
 Body height in meters
 [Time Frame: One day]
6. Body weight
 Body weight in kilograms
 [Time Frame: One day]
7. Body mass index
 Calculation of body mass index in Kg/m² according to Queletet method
 [Time Frame: One day]
8. Heart frequency
 Measurement of the heart rate (beats per minute)
 [Time Frame: One day]
9. Blood pressure
 Measurement of systolic and diastolic blood pressure using a sphygmomanometer
 [Time Frame: One day]
10. body temperature
 Measurement of body temperature in Celsius with a digital thermometer

[Time Frame: one day]

Eligibility

Minimum Age: 18 Years

Maximum Age: 35 Years

Sex: All

Gender Based: No

Accepts Healthy Volunteers: Yes

Criteria: Inclusion Criteria:

- Healthy participants
- Good medical history without injury or chest pain in the past year
- No surgeries in the previous year.

Exclusion Criteria:

- Upper body mass index 30 Kg/m²
- Level of professional or elite sports activity
- Hyperventilation / hypercapnia and score above 23 points on the Nijmegen questionnaire
- Present any contraindication regarding the WB-EMS/EMS
- Viral or bacterial infections
- Arterial circulatory disorders, advanced arteriosclerosis
- Women during their menstrual period
- Type I diabetes, hemophilia, bruises, bleeding, cognitive deficit, fibromyalgia, congenital diseases with muscle-skeletal alterations at the level of the back and lower extremities, scoliosis, protrusion or disc herniation, medication consumption, abdominal surgeries (scars or keloids), abdominal muscle injury.
- Presence of chronic low back, hip or thigh pain

Contacts/Locations

Central Contact Person: Lorena Álvarez
Telephone: (+34)987442000 Ext. 2053
Email: lalvb@unileon.es

Central Contact Backup:

Study Officials:

Locations: **Spain**
Universidad de León
Ponferrada, León, Spain, 24401
Contact: Ana Felicitas López (+34)987442000 Ext. 2069
ana.lopez.rodriguez@unileon.es
Sub-Investigator: César Calvo

IPDSharing

Plan to Share IPD:

ANEXO IV. Hoja de información y consentimiento informado del participante.

HOJA DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO INFORMADO

NOMBRE DEL ESTUDIO: Efectos de la electroestimulación mediante chalecos de cuerpo entero sobre la musculatura abdominal en sujetos sanos: valoración mediante ecografía.

INVESTIGADOR PRINCIPAL: Dra. Ana Felicitas López Rodríguez. Profesora Titular, Área de Fisioterapia, Departamento de Enfermería y Fisioterapia, Universidad de León.

ASOCIADO 1: D^o César Calvo Lobo, Profesor Ayudante Doctor, Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología, Universidad Complutense de Madrid.

ASOCIADO 2: Lorena Álvarez del Barrio, Profesor Ayudante de Fisioterapia y alumna del programa de doctorado Salud y Motricidad Humana, Universidad de León.

DESCRIPCIÓN: Le pedimos su participación voluntaria en un estudio diseñado para determinar el efecto que produce el chaleco de electroestimulación sobre la musculatura abdominal en población sana valorada mediante ecografía.

PROCEDIMIENTOS: Si decide participar el equipo investigador acudirá a la Universidad de León donde tendrá que contestar a algunas preguntas para cumplimentar la información con su historia clínica, el cuestionario validado IPAQ (cuestionario internacional de actividad física), el cuestionario de Nijmegen versión española y la toma de datos demográficos iniciales. El equipo investigador le someterá a una primera valoración ecográfica de la musculatura abdominal. La valoración y recogida de datos se llevará a cabo en un mismo día. Se realizarán varias sesiones de electroestimulación con el chaleco de electroestimulación y se realizará una valoración ecográfica postratamiento. Los procedimientos no son molestos o dolorosos, no le causará ninguna lesión.

RIESGOS: Es posible que experimente algunas molestias musculares en los días posteriores a las sesiones de entrenamiento debido a la realización de ejercicio físico dependiendo del nivel de actividad física de cada sujeto. La serie de ejercicios planteados para este estudio no tiene como objetivo el entrenamiento de resistencia ni el esfuerzo hasta el agotamiento reduciendo significativamente los riesgos de

rabdomiólisis descrito en la literatura científica para ese tipo de entrenamientos de alta intensidad, siendo en nuestro estudio nulo dicho riesgo al no utilizar altas intensidades de entrenamiento por no ser uno de nuestros objetivos, la muestra ha sido seleccionada con unos exhaustivos criterios de exclusión que minimizan incluso anulan dichos riesgos y además los investigadores participantes en dicho estudio, han recibido la pertinente formación en dicha tecnología. No se prevén otros riesgos a mayores de los citados anteriormente.

BENEFICIOS Y TRATAMIENTOS ALTERNATIVOS: Si decide participar en este estudio estará ayudando a que los profesionales que lo llevan a cabo, adquieran mayores conocimientos acerca de la respuesta de la musculatura del abdomen a la electroestimulación mediante el chaleco de electroestimulación. Si decide no participar en el estudio puede continuar su programa de cuidados sanitarios habituales. No podemos garantizarle que vaya a obtener algún beneficio con este estudio.

COMPENSACIÓN: Su participación es voluntaria y no será remunerada. **COSTE:** Si decide participar, es completamente voluntaria y no tendrá que pagar nada por los procedimientos relacionados con este estudio de investigación.

SEGURO: Los investigadores participantes en el proyecto poseen un seguro de responsabilidad civil propio del Colegio de Fisioterapeutas de Castilla y León al estar colegiados.

CONFIDENCIALIDAD: todo lo que averigüemos sobre usted en este estudio será confidencial. Los datos de su caso relacionados con este estudio y sus resultados pueden ser publicados en una revista profesional o cedidos a las autoridades sanitarias, pero su nombre nunca será publicado. Toda la información referente a usted y a su participación en el estudio será confidencial. Los datos correspondientes a esta investigación se depositarán en formato de tesis en la sección de doctorado de la Universidad de León, siempre respetando la confidencialidad y privacidad de los mismos.

CONSIDERACIONES ÉTICAS Y LEGALES: Existe aprobación previa por el Comité Ético de Intervención Clínica (CEIC) respetando los principios básicos y la declaración de Helsinki. Este estudio respeta la Ley Orgánica de Protección de Datos 15/1999 y la Ley 14/2007, de investigación biomédica en Seres Humanos.

VOLUNTARIEDAD: La decisión de formar parte de este estudio es totalmente voluntaria. Usted es libre de decidir no participar en el estudio o si lo desea, puede

interrumpir su participación en cualquier momento. Si elige no participar o interrumpir su participación, sus futuros cuidados sanitarios no se verán afectados por ello. Si surge algún hallazgo significativo que tenga lugar en el transcurso de esta investigación y que pueda relacionarse con su voluntad de continuar participando, usted recibirá información. Su participación en el estudio puede interrumpirse sin su consentimiento si, a juicio de los investigadores, la interrupción es lo mejor para usted, o si no sigue correctamente las instrucciones referentes a su participación en el estudio, o si el proyecto es retirado por su promotor.

PREGUNTAS: Si tiene alguna pregunta ahora, hágala con total libertad. Si durante el estudio le surge alguna pregunta, requiere información sobre sus datos o tiene algún problema que pueda estar relacionado con este estudio llame a D^a Ana Felicitas López al número de teléfono: 98744 (ext. 2069).

Si lo desea, le proporcionaremos una copia firmada de este documento para que la conserve.

SU FIRMA INDICA QUE HA DECIDIDO PARTICIPAR VOLUNTARIAMENTE EN ESTE ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN Y QUE HA LEÍDO Y COMPRENDIDO LA INFORMACIÓN ANTERIOR Y LA QUE LE HA SIDO EXPLICADA POR EL INVESTIGADOR PRINCIPAL D^a ANA FELICITAS LÓPEZ RODRÍGUEZ.

Firma del sujeto

Fecha

Firma del investigador principal

Fecha

ANEXO V. Versión española del cuestionario Nijmegen.

Versión española del cuestionario Nijmegen

A continuación encontrará unas frases que describen una serie de sensaciones que podemos notar las personas. Lea cada frase atentamente y señale con un círculo la puntuación de 0 a 4 que mejor describa la frecuencia con que usted experimenta dichas sensaciones.					
	Nunca	Rara vez	Algunas veces	Casi siempre	Siempre
1. Dolor en el pecho	0	1	2	3	4
2. Sentirse tenso, en tensión	0	1	2	3	4
3. Visión borrosa	0	1	2	3	4
4. Vértigo	0	1	2	3	4
5. Confusión o sentir que las cosas que le rodean son irreales	0	1	2	3	4
6. Respiraciones profundas pero muy rápidas	0	1	2	3	4
7. Respiración entrecortada	0	1	2	3	4
8. Opresión en el pecho	0	1	2	3	4
9. Hinchazón o malestar en el estómago	0	1	2	3	4
10. Hormigueo en dedos y manos	0	1	2	3	4
11. Dificultad para respirar profundamente	0	1	2	3	4
12. Rigidez o calambres en dedos y manos	0	1	2	3	4
13. Tensión o tirantez alrededor de la boca	0	1	2	3	4
14. Manos o pies fríos	0	1	2	3	4
15. Palpitaciones	0	1	2	3	4
16. Ansiedad	0	1	2	3	4

ANEXO VI. Cuestionario internacional de actividad física. Versión corta, en español.

España, Enero 2007.

CUESTIONARIO INTERNACIONAL DE ACTIVIDAD FISICA

Estamos interesados en averiguar acerca de los tipos de actividad física que hace la gente en su vida cotidiana. Las preguntas se referirán al tiempo que usted destinó a estar físicamente activo en los **últimos 7 días**. Por favor responda a cada pregunta aún si no se considera una persona activa. Por favor, piense acerca de las actividades que realiza en su trabajo, en las tareas domésticas o en el jardín, en sus desplazamientos, en el tiempo libre, el ejercicio o el deporte.

Piense en todas las actividades **intensas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Las actividades físicas **intensas** se refieren a aquellas que implican un esfuerzo físico intenso y que lo hacen respirar mucho más intensamente que lo normal. Piense *solo* en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos **10 minutos** seguidos.

1. Durante los **últimos 7 días**, ¿en cuantos realizó actividades físicas **intensas** tales como levantar cargas pesadas, cavar, hacer ejercicios aeróbicos o pedalear en bicicleta de forma intensa?

_____ **días por semana**

Ninguna actividad física intensa ➡ **Vaya a la pregunta 3**

2. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física **intensa** en uno de esos días?

_____ **horas por día**

_____ **minutos por día**

No sabe/No está seguro

Piense en todas las actividades **moderadas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Las actividades **moderadas** son aquellas que requieren un esfuerzo físico moderado que lo hace respirar algo más intensamente que lo normal. Piense *solo* en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos **10 minutos** seguidos.

3. Durante los **últimos 7 días**, ¿en cuántos días hizo actividades físicas **moderadas** como transportar pesos livianos, pedalear en bicicleta a velocidad normal o jugar dobles a tenis? **No** incluya caminar.

_____ **días por semana**

Ninguna actividad física moderada ➡ **Vaya a la pregunta 5**

4. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física **moderada** en uno de esos días?

SHORT LAST 7 DAYS SELF-ADMINISTERED version of the IPAQ.

Jorge García Pérez

Área de Investigación en Telemedicina y Sociedad de la Información -Instituto de Salud Carlos III-

_____ **horas por día**

_____ **minutos por día**

No sabe/No está seguro

Piense en el tiempo que usted dedicó a **caminar** en los **últimos 7 días**. Esto incluye caminar en el trabajo o en la casa, para trasladarse de un lugar a otro, o cualquier otra caminata que usted podría hacer solamente para la recreación, el deporte, el ejercicio o el ocio.

5. Durante los **últimos 7 días**, ¿En cuántos **camino** por lo menos **10 minutos** seguidos?

_____ **días por semana**

Ninguna caminata **➡ Vaya a la pregunta 7**

6. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a caminar en uno de esos días?

_____ **horas por día**

_____ **minutos por día**

No sabe/No está seguro

La última pregunta es acerca del tiempo que pasó usted **sentado** durante los días laborables de los **últimos 7 días**. Esto incluye el tiempo dedicado al trabajo, en la casa, en una clase, y durante el tiempo libre. Puede incluir el tiempo que pasó sentado ante un escritorio, visitando amigos, leyendo, viajando en automóvil o autobús, sentado o recostado mirando la televisión.

7. Durante los **últimos 7 días** ¿cuánto tiempo pasó **sentado** durante un **día hábil**?

_____ **horas por día**

_____ **minutos por día**

No sabe/No está seguro

ANEXO VII. Hoja de registro de los datos del participantes y anamnesis.

DATOS

NOMBRE:

CÓDIGO:

APELLIDOS:

EMAIL:

MÓVIL:

EDAD:

LADO DOMINANTE:

TALLA (M):

IMC:

PESO (Kg):

IPAQ:

NIEJMEN:

PLIEGUE ABDOMINAL:

	PRE	POST
FRECUENCIA CARDIACA (FC)		
TENSION ART. SIST. (TAS)		
TENSION ART. DIAST. (TAD)		
TEMPERATURA (T°)		

ANAMNESIS

	SI	NO	OBSERVACIONES
Dispositivos electrónicos implantados			
Endoprótesis, material metálico interno			
Enfermedades cardíacas			
Embarazo			
Epilepsia			
Insuficiencia/disfunción renal			
Enfermedad cerebrovascular			
Trauma cerebral severo			
Enfermedad pulmonar severo			
Hipertensión no controlada			
Cáncer			
Enfermedades psiquiátricas			
Trombosis			
Deterioro órganos principales			
Enfermedades neurológicas severas			
Cirugía oncológica últimos 3 meses			
Trastornos dermatológicos extensos			
Hernia inguinal y abdominal			
Consumo de alcohol			
Ingesta drogas anabólicas			
Cirugías en el último año			
Infecciones virales o bacterianas			
Trastornos circulatorios arteriales			
Arteriosclerosis avanzada			
Diabetes tipo I			
Hemofilia, cardenales, hemorragia			
Déficit cognitivo			
Fibromialgia			
Cirugías abdominales			
Lesión muscular abdominal			
Enfermedades congénitas con alteraciones musculoesqueléticas a nivel de la espalda y extremidades inferiores, escoliosis, protusión o hernia discal			
Tratamiento farmacológico			
Período menstrual en estos días			

ANEXO VIII. Hoja de reclutamiento de los datos de la evaluación ecográfica.

HOJA DE RECLUTAMIENTO DE DATOS

CÓDIGO

--	--	--	--

EDAD (AÑOS):

SEXO:

IMC (Kg/m²):

NIJMEGEN:

IPAQ:

LADO DOMINANTE:

ORDEN MEDICIONES:

	MEDIDA PRE	REPOSO		ACTIVIDAD MUSCULAR	
		DCH	IZQ	DCH	IZQ
	DER				
	RA				
	OI+OE+TrA				

	MEDIDA POST	REPOSO		ACTIVIDAD MUSCULAR	
		DCH	IZQ	DCH	IZQ
	DER				
	RA				
	OI+OE+TrA				

MEDICIÓN ECOGRÁFICA PRE	ESPESOR MUSCULAR				DISTANCIA ENTRE RECTOS	
	R		C		R	C
Reposo (R) / Contracción (C)	D	I	D	I		
TrA						
OI						
OE						
RA						

MEDICIÓN ECOGRÁFICA POST	ESPEJOR MUSCULAR				DISTANCIA ENTRE RECTOS	
	R		C		R	C
Reposo (R) / Contracción (C)	D	I	D	I		
Derecho (D) / Izquierdo (I) / Media (M)						
TrA						
OI						
OE						
RA						

ANEXO IX. Secuencia de los ejercicios dinámicos de la parte principal de la sesión de EMS dinámica.



SENTADILLAS⁴¹ _ *Dynamic Squats*

4" en flexión (fase de impulso)
4" en extensión (fase no impulso)
1 minuto de ejecución del ejercicio: 8 repeticiones



ZANCADAS LATERALES DINÁMICAS IZQUIERDA Y DERECHA^{40,41}
_ *Dynamic side lunge left and right*

4" en flexión lateral pierna derecha (fase de impulso)
4" vuelta a la posición (fase no impulso)
4" en flexión lateral pierna izquierda (fase de impulso)
4" vuelta a la posición (fase no impulso)
2 minutos de ejecución del ejercicio: 8 repeticiones alternando derecha e izquierda



FLEXIÓN LATERAL DE TRONCO _ *Lateral trunk flexion*

4" en flexión lateral (fase de impulso)
4" vuelta a la posición (fase no impulso)
1 minuto de ejecución del ejercicio: 8 repeticiones alternando derecha e izquierda



ZANCADA ESTÁTICA HACIA DELANTE, DERECHA E IZQUIERDA^{40,47}
- *Static forward lunge right and left*

4" en flexión (fase de impulso)
4" vuelta a la posición (fase no impulso)
2 minutos de ejecución: 8 repeticiones alternando derecha e izquierda



BASCULACIÓN EN FITBALL _Fitball tilting

4" en basculación (fase de impulso)
4" vuelta a la posición (fase no impulso)
1 minuto de ejecución: 8 repeticiones



PLANCHA EN FITBALL _ Fitball front plank

4" en posición de plancha (fase de impulso)
4" de descanso (fase no impulso)
1 minuto de ejecución: 8 repeticiones



CRUNCH DIAGONAL IZQUIERDA Y DERECHA^{40,41} _Dynamic crunches diagonal left and right

4" en flexión de tronco y pierna contraria (fase de impulso)
4" vuelta a la posición (fase no impulso)
2 minutos de ejecución: 8 repeticiones alternado lados



PLANCHA LATERAL DERECHA⁴⁷ _Side plank right

4" en elevación (fase de impulso)
4 "en reposo (fase no impulso)
1 minuto de ejecución: 8 repeticiones



PLANCHA LATERAL IZQUIERDA⁴⁷ _Side plank left

4" en elevación (fase de impulso)
4" en reposo (fase no impulso)
1 minuto de ejecución: 8 repeticiones