







VNIVERSITATĪ VALÈNCIA

## Facultat de Fisioteràpia

**Avaluació de l'efectivitat d'un programa d'intervenció basat en marxa virtual i exercici terapèutic en la funció motora, el to i el dolor de persones amb lesió medul·lar incompleta.**

*Evaluation of the effectiveness of an intervention program based on virtual walking and therapeutic exercise on motor function, tone and pain in people with incomplete spinal cord injury.*

TESI DOCTORAL/DOCTORAL THESIS

Programa de Doctorat en Fisioteràpia

*Autora/Author:*

**Sara Mollà Casanova**

*Dirigida per/Supervised by:*

**Dra. Pilar Serra Añó**

**Dr. Luis Millán González Moreno**

València, febrer/February 2023



**Dra. Pilar Serra Añó**, Professora Titular del Departament de Fisioteràpia de la Facultat Fisioteràpia de la Universitat de València.

**Dr. Luis Millán González Moreno**, Professor Titular del Departament d'Educació Física i Esportiva de la Facultat Ciències de l'Activitat Física i l'Esport de la Universitat de València.

**FAN CONSTAR:**

Que el present treball, titulat:

**“Avaluació de l'efectivitat d'un programa d'intervenció basat en marxa virtual i exercici terapèutic en la funció motora, el to i el dolor de persones amb lesió medul·lar incompleta”**

ha sigut realitzat sota la seua direcció per Sara Mollà Casanova per a l'obtenció del títol de Doctora per la Universitat de València.

Havent conclòs, i reunint les condicions d'originalitat i rigor científic necessàries, autoritza la seua presentació perquè puga ser defensada davant del tribunal corresponent.

I per a que així conste, expedeixen el present document a València, 17 de febrer de 2023.

Signat Pilar Serra Añó

Signat Luis Millán González Moreno



## **AGRAÏMENTS**

Vull expressar el meu agraïment:

Als meus directors de tesi, la Dra. Pilar Serra Añó i el Dr. Luis Millán González Moreno, per la seua implicació des de l'inici. Ha sigut un plaer treballar al costat de dos investigadors excel·lents. Gràcies per deixar-me aprendre al vostre costat. Gràcies pel vostre suport incondicional i amiatat. Gràcies per fer-me més bonics els dies.

A la Universitat de València que mitjançant l'ajuda predoctoral Atracció de Talent (INV19-01-13-07) ha fet possible la meua dedicació a temps complet.

A totes les investigadores del grup de recerca UBIC: la Dra. Núria Sempere, la Dra. Elena Muñoz, la Dra. Marta Inglés i la Dra. Marta Aguilar. Gràcies per l'ajuda, suport i amiatat.

Als companys de l'*ENS de Lyon*, per la seua ajuda i per fer-me sentir com a casa.

A tots els voluntaris que han participat i apostat per aquest estudi des de l'inici. Gràcies per ensenyar-me a no perdre el somriure malgrat les adversitats.

A totes les associacions i centres dedicats a les persones amb lesió medul·lar que han col·laborat en aquest projecte, en especial a l'Hospital Universitari i Politècnic La Fe, la *Asociación de Lesionados Medulares y Grandes Discapacitados Físicos* (ASPAYM), a l'associació *Advanced Neuro-rehabilitation Therapies & Sport* (ANTS) de Lió i a l'hospital *Henry Gabrielle* de Lió. També als serveis de gestió i consergeria de la Facultat de Fisioteràpia, que m'han ajudat en la logística.

A mon tio, Toni Martínez Revert, pel temps invertit en revisar aquest text. Gràcies per posar el teu temps a plena disposició per ajudar-me.

A tota la meua família, en especial als meus pares i germà, per ensenyar-me els valors importants en la vida, pel seu suport incondicional, comprensió i estima. Sense ells, no haguera sigut possible.

Moltes gràcies, de tot cor.





# ÍNDEX



# **ÍNDEX GENERAL**

<b>RESUM/ABSTRACT</b> .....	<b>17</b>
RESUM .....	19
ABSTRACT .....	23
<b>1. INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>27</b>
1.1. LA LESIÓ MEDULAR (LM) .....	29
1.2. TIPOLOGIA DE LA LM .....	29
1.2.1. Afectació motora .....	29
1.2.2. Afectació sensitiva .....	30
1.2.3. Afectació del to muscular .....	30
1.3. CLASSIFICACIÓ DE LA LM .....	30
1.3.1. Atenent al nivell de lesió .....	30
1.3.2. Atenent a la integritat de les funcions per davall del nivell de lesió .....	30
1.3.3. Atenent a la gradació de l'American Spinal Injury Association (ASIA) .....	31
1.4. EPIDEMIOLOGIA .....	32
1.5. NEUROPLASTICITAT I LM .....	33
1.6. NEURONES MIRALL I TERÀPIES MIRALL VIRTUALS .....	35
1.7. HIPÒTESIS I OBJECTIUS .....	49
<b>2. MATERIAL I MÈTODES</b> .....	<b>51</b>
2.1. DISSENY DE L'ESTUDI .....	53
2.2. PROCEDIMENT GENERAL .....	53
2.3. MOSTRA .....	56
2.4. VALORACIONS DELS PARTICIPANTS .....	57
2.4.1. Recollida inicial de dades demogràfiques i clíniques .....	57
2.4.2. Procediments d'avaluació .....	58
2.4.3. Protocols d'Intervenció .....	68
2.4.4. Anàlisi de les dades .....	74
<b>3. RESULTATS</b> .....	<b>75</b>
3.1. PARTICIPANTS .....	77
3.2. FUNCIONALITAT .....	79
3.2.1. Marxa .....	79
3.2.2. Equilibri .....	81
3.2.3. Avaluació de les tasques funcionals girar-se, seure's i aixecar-se .....	83
3.3. FORÇA I ACTIVACIÓ MUSCULAR .....	84
3.4. TO MUSCULAR, TENSIÓ I RIGIDESA .....	86
3.5. DOLOR .....	89
<b>4. DISCUSSIÓ</b> .....	<b>91</b>
4.1. FUNCIÓ MOTORA .....	94
4.1.1. Marxa .....	94
4.1.2. Equilibri .....	98
4.1.3. Avaluació de les tasques funcionals girar-se, seure's i aixecar-se .....	100
4.2. FORÇA I ACTIVACIÓ MUSCULAR .....	103
4.3. TO MUSCULAR .....	105
4.4. DOLOR .....	107
<b>5. CONCLUSIONS</b> .....	<b>111</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>117</b>
<b>7. ANNEXOS</b> .....	<b>145</b>
ANNEX I .....	147
ANNEX II .....	149

ANNEX III.....	152
ANNEX IV .....	153
ANNEX V.....	154
ANNEX VI .....	160
ANNEX VII.....	161

## **ÍNDIX DE FIGURES**

Figura 1. Germinació axonal .....	34
Figura 2. Diagrama de flux PRISMA.....	40
Figura 3. Disseny experimental de la investigació (assaig clínic aleatoritzat).....	53
Figura 4. Protocol per al sistema FallSkip.....	59
Figura 5. Exemple de registre de la força isomètrica màxima d'isquiotibials del voluntari 34.....	62
Figura 6. Exemple del senyal resultant del registre del tibial anterior a l'exercici de dorsiflexió del turmell (A) i filtrat amb el sistema EMG Analyzer (B) .....	64
Figura 7. Muntatge de la instrumentalització del participant durant la MV.....	69
Figura 8. Diagrama de flux del participants al llarg de l'estudi .....	77
Figura 9. Resultats de la quantitat d'ajudes necessàries per a la marxa en els grups, mesurades amb WISCI .....	80
Figura 10. Percentatge de millora als desplaçaments miglateral (ML) i anteroposterior (AP), i a l'àrea, durant la prova d'equilibri mesurat amb el dispositiu FallSkip.....	82
Figura 11. Resultats per a la tensió muscular mesurada amb el Myoton .....	88
Figura 12. Resultats de la intensitat del dolor i la interferència que produeix aquest sobre l'ànim i les activitats de la vida diària. ....	89

## **ÍNDIX DE TAULES**

Taula 1. Puntuació dels articles inclosos segons l'escala PEDro.....	42
Taula 2. Resum dels estudis inclosos a la revisió.....	43
Taula 3. Protocol d'avaluació per a la força isomètrica màxima i l'activació muscular.	61
Taula 4. Protocol de Valoració amb el Myoton.....	66
Taula 5. Resum de les variables analitzades.....	67
Taula 6. Programa d'exercicis.....	70
Taula 7. Dades demogràfiques i clíniques dels participants.....	78
Taula 8. Resultats de la velocitat de la marxa en els grups, mesurada amb el 10MWT	80
Taula 9. Variables referents a la marxa mesurades amb el sensor inercial FallSkip.....	81
Taula 10. Resultat d'equilibri estàtic mesurat amb el sensor inercial FallSkip .....	83
Taula 11. Resultats de la valoració de girar, seure i aixecar-se mesurats amb el FallSkip .....	84
Taula 12. Resultats de la força màxima (N) registrada durant la contracció isomètrica voluntària màxima .....	85
Taula 13. Resultats de l'activació muscular, mesurada amb EMG .....	86
Taula 14 . Resultats per a la rigidesa muscular mesurada amb el Myoton.....	87

## **LLISTA D'ABREVIATURES I SIGLES**

10MWT: *10 Meters Walking Test*

AIS: *ASIA Impairment Scale*

ASIA: *American Spinal Injury Association*

AVREBIQ: *Adapted Virtual Reality Embodiment and Bodily Illusion Questionnaire.*

BBS: *Berg Balance Scale*

BPDS: *Basic Pain Data Set*

BPI: *Brief Pain Inventory*

CDG: *centre de gravetat*

CDP: *centre de pressions*

CST: *Chair Stand Test*

CVM: *contracció voluntària màxima*

DN4: *Douleur Neuropathique en 4 Questions*

ET: *exercici terapèutic*

GC: *grup control*

GE: *grup experimental*

HADS: *Hospital Anxiety and Depression Scale*

IC: *interval de confiança*

KVIQ-10: *Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire*

LM: *lesió medul·lar*

MGMPQ: *McGill-Melzack Pain Questionnaire*

MGPQ: *McGill Pain Questionnaire*

MMII: *membres inferiors*

MPQ-BF: *Multidimensional Personality Questionnaire – Brief Form*

MV: *marxa virtual*

MVIC: *maximum voluntary isometric contraction*

NPS: *Neuropathic Pain Scale*

NPSI: *Neuropathic pain symptom inventory*

NRS: *Numeric Rating Scale*

PANAS: *Positive and Negative Affect Schedule*

PGIC: *The Patients' Global Impression of Change*

PHQ-9: *Patient Health Questionnaire-9*

QST: *Quantitative Sensory Testing*

RMS: *Root Mean Square*

SCIM: *Spinal Cord Independence Measure*

SNC: sistema nerviós central

SNP: sistema nerviós perifèric

T1: valoració prèvia a la intervenció

T2: valoració posterior a la intervenció

T3: valoració de seguiment, un mes després de finalitzar la intervenció

T4: valoració de seguiment, tres mesos després de finalitzar la intervenció

tDCS: *transcranial Direct Current Stimulation*

TEI: *The Treatment Evaluation Inventory*

TENS: *Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation*

TUG: *Time Up and Go*

VAS: *Visual Analogic Scale*

WISCI: *Walking Index for Spinal Cord*



# **RESUM/*ABSTRACT***



## RESUM

Estudis previs han mostrat el potencial de les teràpies basades en l'activació del sistema de neurones mirall, concretament les teràpies de marxa virtual (MV) en persones amb afectació del sistema nerviós central (SNC). Malgrat això, aquestes teràpies no han estat estudiades com a potenciador de l'exercici terapèutic (ET) utilitzat com a rehabilitació usual sobre persones amb LM incompleta. La hipòtesi principal de la present tesi és que l'aplicació de la teràpia de MV combinada amb un programa d'ET produeix la millora de la funcionalitat, la disminució del dolor neuropàtic i la millora del to muscular en persones amb LM incompleta.

Per tal de validar aquesta hipòtesi, l'objectiu de l'estudi va ser avaluar l'efectivitat de l'estimulació de les neurones mirall mitjançant una teràpia de MV combinada amb un programa d'ET sobre les variables relacionades amb la funció motora de la marxa (*i.e.*, velocitat i assistència durant la marxa, temps de reacció per iniciar la marxa, rangs vertical i miglateral [ML] durant la marxa, i temps emprat per realitzar un *Time Up and Go* [TUG] modificat), l'equilibri estàtic (desplaçament anteroposterior [AP], ML i àrea total recorreguda pel centre de pressions [CDP]) i tasques funcionals (temps per girar-se, seure i temps i potència per aixecar-se); amb la força (força màxima durant els moviments de abducció i extensió de maluc, extensió de genoll, i flexió i extensió de turmell) i l'activació muscular (amplitud màxima i mitjana del gluti mig, recte anterior, bíceps femoral, tibial anterior i gastrocnemi extern) durant una contracció voluntària màxima (CVM); amb el to muscular en repòs (tensió i rigidesa dels músculs gluti major, isquiotibials, quàdriceps, tibial anterior i tríceps sural); i amb el dolor (intensitat i interferència d'aquest sobre l'estat d'ànim i les activitats de la vida diària).

Per a contrastar els objectius, es va dur a terme un assaig clínic aleatoritzat. La mostra estava formada per 28 persones d'entre 20 i 77 anys amb LM incompleta (*American Spinal Injury Association* [ASIA] *Impairment Scale* [AIS] C or D) i amb capacitat de marxa amb o sense ajudes. La mostra es va dividir en dos grups: i.) grup experimental (GE), als quals s'aplicava un protocol de MV combinat amb un programa d'ET (n=15); i ii.) GC, al quals s'aplicava un protocol de MV placebo combinat amb un programa d'ET (n=13). Les intervencions dels dos grups duraren 6 setmanes i s'aplicaren 3 vegades per setmana.

Es realitzaren 4 valoracions: preintervenció (T1), postintervenció (T2), seguiment després d'un mes d'haver finalitzat (T3) i seguiment després de tres mesos (T4). Els registres de les variables anteriorment citades es realitzaren a través dels tests *10 Meters Walking Test* (10MWT), *Walking Index for Spinal Cord* (WISCI) per avaluació de la marxa, i un dispositiu inercial (*FallSkip*) per a l'avaluació de la funció motora en general; una cèl·lula de càrrega (Chronojump) i un sistema d'electromiografia (BTS100 EMG) per a mesurar la força màxima i l'activació muscular, respectivament; un miotonòmetre (Myoton) per a la valoració del to muscular i el qüestionari *Brief Pain Inventory* (BPI) per avaluar el dolor.

Respecte a la funció motora, després de la intervenció es mostraren millores estadísticament significatives per al GE sobre la velocitat de la marxa, l'assistència requerida per caminar, el temps de reacció per a iniciar-la marxa, i el temps emprat per a realitzar una prova que combina la marxa tasques funcionals (T2). Aquesta última va mantenir les millores fins a tres mesos després de la intervenció (*i.e.*, T3 i T4). Al GC solament van millorar al T2 el temps de reacció i el temps per realitzar una marxa combinada amb tasques funcionals.

A més, al GE es va reduir significativament el desplaçament ML del CDP durant la prova d'equilibri immediatament després de la intervenció (T2) i a la valoració dels tres mesos de seguiment (T4), mentre que el desplaçament AP i l'àrea recorreguda pel CDP van mostrar millores estadísticament significatives a la valoració T4. Al GC, en canvi no va mostrar diferències en cap de les valoracions respecte a T1.

Al GE, el temps emprat durant el gest de girar-se i seure també es va reduir significativament al T2, T3 i T4, comparat amb la mesura prèvia a la intervenció, mentre que el temps per aixecar-se es va reduir significativament solament al T4. Pel que fa al GC es mostren diferències respecte al T1, a la valoració T2 per al temps emprat durant el gest de girar-se i seure i al T4 per al temps emprat durant el gest d'aixecar-se.

Respecte a la força i l'activació muscular, els dos grups mostraren una millora després de les respectives intervencions per a la força màxima dels isquiotibials, sense que l'acompanyara cap millora de l'activació muscular. En la mateixa línia, el to muscular no es va veure modificat de forma significativa per cap de les intervencions.

Contràriament el dolor sí es va veure beneficiat de l'aplicació de la teràpia combinada del GE, registrant una disminució significativa de la intensitat del dolor ( $p < 0,05$ ) i de la interferència d'aquest sobre l'estat d'ànim i sobre les activitats de la vida diària ( $p < 0,05$ ).

En conclusió, l'adició d'una teràpia de MV a un programa d'ET millora de forma immediata l'eficiència de la marxa, l'equilibri a través de l'eix ML, i el dolor i la seua interferència. A més, aquesta combinació fa que els efectes produïts pel programa d'ET sobre les tasques funcionals es mantinguen al llarg del temps (fins a 3 mesos). A més, per les millores obtingudes en la resta de dimensions, els participants podrien adquirir la facilitat d'augmentar el seu nivell d'activitat, ja que també és produïrien millores de forma indirecta a l'equilibri, després de 3 mesos. Per tant, l'adició d'una teràpia de MV a un programa d'ET podria potenciar els seus resultats.



## ***ABSTRACT***

Previous studies have shown the potential of therapies based on the activation of the mirror neuron system, specifically virtual walking (VW) in people with central nervous system (CNS) disease. Despite this, these therapies have not been studied as an enhancer of therapeutic exercise (TE) used as usual rehabilitation on people with incomplete spinal cord injury (SCI). The main hypothesis of the present study is that the application of VG therapy combined with an ET program results in improved functionality, decreased neuropathic pain and improved muscle tone in people with incomplete LM.

To test this hypothesis, the aim of the study was to evaluate the effectiveness of mirror neuron stimulation through a VW therapy combined with an TE program on the outcomes related to the motor function of walking (i.e., speed and assistance during walking, reaction time to initiate walking, vertical and mediolateral (ML) ranges during walking, and time spent performing the modified Time Up and Go (TUG) test); static balance (i.e., anteroposterior displacement (AP), ML and total area ranged by the centre of pressure (CoP)); functional tasks (time to turn and sit down, and time and power required to stand up); strength (maximum force during movements of hip abduction and extension, knee extension, and ankle flexion and extension) and muscle activation (maximum and mean amplitude of the gluteus medius, rectus anterior, biceps femoris, tibialis anterior and external gastrocnemius) during a maximal voluntary contraction (MVC); muscle tone at rest (tension and stiffness of the gluteus maximus, hamstrings, quadriceps, tibialis anterior and triceps surae muscles); and pain (intensity and its interference with mood and activities of daily living).

A randomized clinical trial was carried out. The sample consisted of 28 people aged between 20 and 77 with incomplete SCI (American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale (AIS) C or D) and with the ability to walk with or without aids. The sample was divided into two groups: i.) experimental group (EG), to which a VW protocol combined with a TE program was applied (n=15); and ii) CG, to which a placebo VW protocol was applied combined with a TE program (n=13). The interventions of the two groups lasted 6 weeks and were applied 3 times per week.

Four assessments were carried out: pre-intervention (T1), post-intervention (T2), follow-up after one month of completion (T3) and follow-up after three months (T4). Previously mentioned variables were registered using the following materials: 10 Meters Walking

Test (10MWT) and Walking Index for Spinal Cord (WISCI) for gait assessment, and an inertial device (*FallSkip*) for functional assessment in general; a load cell (Chronojump) and an electromyography system (BTS100 EMG) to measure maximum force and muscle activation, respectively; a myotometer (Myoton) to assess muscle tone; and the Brief Pain Inventory (BPI) questionnaire to assess pain and its interference with daily life.

Regarding the motor function, after the intervention (T2), significant improvements were shown for the EG on the walking speed, the assistance required to walk, the reaction time to initiate the walk and the time used to perform a test combining walking and functional tasks. The benefits obtained on the last one maintained the improvements up to three months after the intervention (i.e., T3 and T4). The CG only improved reaction time and time to perform a walk combined with functional tasks after treatment.

In addition, in the EG, the CoP ML displacement during the balance test was significantly reduced immediately after the intervention (T2) and at the three-month follow-up assessment (T4), while the AP displacement and the area ranged by the CoP showed significant improvements in the T4 assessment. CG, instead, showed no differences in any of the ratings compared to T1.

In EG, the time spent during the turning and sitting gesture was also significantly reduced at T2, T3 and T4, compared to the pre-intervention measurement, while the time to stand up was significantly reduced only at T4. Regarding CG, differences were shown in T2 compared to T1 for the time spent during the gesture of turning and sitting and in T4 for the time spent to stand up.

Regarding strength and muscle activation, both groups showed an improvement after the respective interventions for the maximum strength of the hamstrings, without any improvement in muscle activation. In the same line, muscle tone was not significantly modified by any of the interventions.

Contrarily, the experienced pain was reduced by the application of the combined therapy in the EG, recording a significant decrease in the intensity of the pain ( $p < 0.05$ ) and its interference with the mood and activities of daily living ( $p < 0.05$ ).

In conclusion, the addition of MV therapy to a TE program improves gait efficiency, balance across the ML axis, and pain and its interference with mood and daily life. In addition, this combination produces that the effects achieved by the ET program on



functional tasks are maintained for up to 3 months. In addition, due to the improvements obtained in the other dimensions and thus the ease it gives the participants to increase their level of activity, they also indirectly produce improvements in postural control after 3 months. Therefore, the addition of MV therapy to an ET program could enhance its results.



# **1. INTRODUCCIÓ**



### **1.1. La Lesió Medul·lar (LM)**

La medul·la espinal, junt a l'encèfal, forma part del sistema nerviós central (SNC) i s'allotja al conducte raquidi. S'origina a la base del cervell i recorre les zones cervical, dorsal, i una o dues vèrtebres de la zona lumbar. A continuació, a l'alçada de la L2 es forma el con medul·lar, una prolongació fibrosa de la medul·la coneguda com a *filum terminale* (1).

El terme "LM" fa referència al dany produït a la medul·la espinal tant com a conseqüència d'un traumatisme com d'una malaltia o degeneració (2), fets que, entre d'altres, poden produir una contusió, compressió, laceració i/o ruptura de la medul·la espinal (3).

L'afectació depèn del nivell i l'extensió de la lesió (4), i pot incloure la pèrdua de sensibilitat i/o del control motor, parcial o completa, per davall del nivell de la lesió (5). També pot veure's afectada la funció autònoma (els sistemes de regulació de l'intestí i la bufeta, el ritme cardíac i la tensió arterial, i la respiració). A més, la majoria de les persones que han patit aquesta lesió, reporten dolor crònic durant la resta de la seua vida (2,5).

A banda dels dèficits produïts directament per la pròpia lesió, també cal tenir en compte les conseqüències indirectes produïdes per aquesta, com ara el gran impacte a nivell psicosocial que pateix l'afectat (6).

### **1.2. Tipologia de la LM**

La lesió produïda a la medul·la, juntament amb les adaptacions produïdes del sistema nerviós després d'aquesta, poden veure's en diferents signes i símptomes, com s'ha comentat a l'apartat anterior. A aquest apartat, es destaquen les afectacions motores, sensitives i del to muscular.

#### **1.2.1. Afectació motora**

L'afectació més visible després d'una LM és l'alteració funcional motora. Com a resultat, es produeix una paràlisi o parèsia deguda a l'afectació de les vies nervioses responsables del moviment. A més, la funcionalitat motora pot veure's més acusada per l'afectació sensitiva (descrita al subapartat següent) després de la lesió, ja que els diferents sistemes aferents juguen un paper important en la producció de moviment funcional (7).

### **1.2.2. Afectació sensitiva**

Una altre tipus d'afectació a causa d'una LM és l'afectació sensitiva, és a dir, afectació de la sensibilitat propioceptiva-vibratòria, termoalgèsica i/o tàctil (8). A més, aquesta afectació pot desencadenar una mala adaptació per part del sistema nerviós i, produir així el que anomenem dolor neuropàtic. Aquest dolor està produït per diferents mecanismes que s'activen després d'una lesió del SNC, entre els quals destaca la sensibilització central (9). De fet, estudis previs relacionen la reorganització de l'escorça somatosensorial primària (S1) després d'una LM amb la intensitat del dolor (10).

### **1.2.3. Afectació del to muscular**

A banda, la híper excitabilitat dels reflexes musculars esquelètics, sobretot si queden intactes algunes vies facilitadores entre l'encèfal i la medul·la, pot comportar l'aparició d'espasticitat, definida com un "trastorn motor caracteritzat per un augment, depenent de la velocitat, dels reflexos d'estirament tònic (to muscular) amb sacsejades exagerades dels tendons, com a conseqüència de la hiperexcitabilitat del reflex d'estirament, component de la síndrome de la motoneurona superior" (11). Al voltant del 70% de la població amb una lesió medul·lar crònica pateix aquest tipus de trastorn (12), i afecta de forma negativa a la qualitat de vida de les persones amb LM, ja que pot afectar les activitats funcionals, provocar fatiga i dolor, i augmentar els trastorns psicològics de qui la pateix (13).

## **1.3. Classificació de la LM**

### **1.3.1. Atenent al nivell de lesió**

La LM es pot dividir en dos tipus atenent al nivell de lesió: tetraplegia/tetraparèsia i paraplegia/paraparèsia. S'utilitza el prefix "tetra" quan l'afectació medul·lar inclou algun o varis segments cervicals (C1-C8), podent quedar afectades les quatre extremitats i el tronc, així com el sistema nerviós autònom (1). En canvi, s'empra el prefix "para" quan l'afectació medul·lar inclou segments per sota dels nivells cervicals, és a dir, quan l'afectació es localitza als segments toràcics (T1-T12), lumbar (L1-L5) i/o sacres (S1-S5). En aquest cas, es poden veure afectats el tronc, membres inferiors (MMII) i part del sistema autònom (1).

### **1.3.2. Atenent a la integritat de les funcions per davall del nivell de lesió**

La LM es pot dividir en dos tipus, atenent a la integritat de les funcions per davall del nivell de lesió: completa o incompleta. Es defineix com a LM completa quan per davall

del nivell de lesió no existeix funció sensitiva ni motora. En canvi, a la LM incompleta hi persisteix la sensació perineal y anal i la funció dels esfínters, encara que aquestes no siguin normals. A la LM incompleta es produeix una recuperació espontània, degut als mecanismes que actuen a les diferents vies intactes (14). Així, l'aplicació de teràpies encaminades a estimular aquests mecanismes proporciona a les persones amb LM incompleta una via de recuperació pel que fa a les funcions tant motores com sensitives.

Es pot considerar lesió medul·lar completa amb preservació parcial quan existeix funció motora o sensitiva a les primeres metàmeres per davall de la lesió (1,15,16).

### **1.3.3. Atenent a la gradació de l'American Spinal Injury Association (ASIA)**

La concreció de l'afectació de funcions, comentada a l'apartat anterior, es porta a terme mitjançant l'ASIA *Impairment Scale* (AIS) (17), la qual descriu el deteriorament funcional, tant motor com sensitiu, d'una persona com a resultat d'una LM, d'acord amb cinc graus determinats per l'absència o la preservació de la funció motora i sensitiva, indicant la severitat de la lesió i el possible pronòstic:

- Grau A: Lesió completa sensitivomotora. No es conserva cap funció sensorial o motora als segments sacres S4-S5.
- Grau B: Lesió incompleta sensitiva i completa motora. La funció sensorial es conserva per sota del nivell neurològic i inclou els segments sacres S4-S5. Pel que fa a la funció motora, no hi ha preservació més de tres nivells per sota del nivell de lesió motora a cap dels dos hemicossos.
- Grau C: La funció motora es conserva a la majoria dels segments sacres, mantenint, així, la contracció anal voluntària. També s'assigna aquest grau C quan el participant compleix els criteris sensorials presentats al Grau B i, a més, hi ha preservació de part de la funció motora més de tres nivells per sota del nivell de lesió motora als dos hemicossos. Per a l'AIS Grau C, menys de la meitat dels músculs clau per sota del nivell de lesió presenten un grau  $\geq 3$  al *Muscle Function Grading* (Annex I).
- Grau D: Lesió incompleta sensitivomotora funcional. Estat motor incomplet tal com es defineix al Grau C, amb almenys la meitat dels músculs clau per sota del nivell de lesió amb un grau  $\geq 3$  al *Muscle Function Grading* (Annex I).

- Grau E: Funció motora i sensitiva normal. La sensació i la funció motora es classifiquen com a normals en tots els segments, però, en algun moment després de la LM, la persona presentava dèficits.

L'Annex I mostra la fitxa estandarditzada que s'utilitza per a la valoració i, posterior classificació, de la LM. Amb ella, es determinen els nivells de lesió motora i sensitiva, el caràcter complet o incomplet i el grau de deteriorament. Així, es mostren les zones utilitzades per a avaluar cadascun dels nivells sensitius, i els músculs clau representants de cadascun dels nivells de la medul·la espinal utilitzats per a avaluar la capacitat de moviment.

#### **1.4. Epidemiologia**

La incidència de persones amb LM resulta difícil de concretar, ja que no es compta amb un registre centralitzat fiable. S'estima que la incidència global de la LM actual és d'entre els 12,1 i els 57,8 casos per milió d'habitants i any en països desenvolupats i entre els 12,7 i els 29,7 casos en països no desenvolupats (18,19). Malgrat aquestes xifres, els estudis realitzats a la població espanyola estimen una incidència una mica més baixa, que oscil·la entre els 4,1 i els 9,3 casos per milió d'habitants i any (20,21).

Degut al descens dels accidents de trànsit, a l'envelliment de la població i a l'augment de la pràctica d'esports extrems, s'està produint un canvi important en el perfil de les persones que pateixen una LM (22). Actualment, es presenta a una major edat (la mitjana d'edat ha pujat dels 38 anys [entre 2001–2005] als 48 anys [entre 2011–2015]) (20), i continua sent més freqüent en homes (22), amb una relació home dona d'aproximadament 2:1.

Pel que fa a l'etiologia, la LM d'etiologia traumàtica és més prevalent que la LM d'etiologia no traumàtica (al voltant del 80%) (23). Concretament, als països desenvolupats, la incidència és de 22.55 milió de casos per any (Interval de Confiança [IC] 95%: 13.52 - 37.62 milió de casos per any), sent els homes i el grup de menys de 30 anys els més afectats. En aquest cas, l'afectació cervical continua sent la més prevalent (24) i les causes més freqüents continuen sent els accidents de trànsit, encara que en menor mesura que a les dècades anteriors, i les caigudes. El resultat de la lesió d'etiologia traumàtica sol ser una LM completa motora (AIS A o B) (25).

Dins de les causes no traumàtiques, la causa més freqüent és la mielopatia cervical degenerativa (26). Altres causes són les d'origen vascular, els tumors, les iatrogèniques,



les patologies osteoarticulares o degeneratives, les patologies inflamàtores o autoimmunes, les infeccions i les causes congènites (27,28). També poden originar-se a tot el recorregut de la medul·la i el resultat d'aquets tipus de lesió sol ser una LM incompleta (AIS C o D) (25).

En conjunt, tenint en compte les lesions d'etiologia traumàtica i no traumàtica, es comptabilitza que aproximadament el 60% de les persones amb LM pateixen una lesió incompleta (29). Per aquest motiu, resulta important aprofitar els avantatges dels processos de neuroplasticitat que es produeixen al SNC quan la LM és incompleta. Al següent apartat es descriuen aquests processos.

### **1.5. Neuroplasticitat i LM**

Quan es talla transversalment la medul·la espinal, queden deprimides pràcticament totes les funcions, fins arribar a una situació anomenada *shock medul·lar*, formada per un silenci total dels impulsos nerviosos, tant eferents com aferents. Durant l'activitat normal, les neurones motores reben senyals contínues a través de les fibres nervioses descendents de centres nerviosos superiors, sobretot a través dels fascicles corticoespinals, vestibuloespinals i reticuloespinals (7). Quan es produeix una interrupció sobtada d'aquestes senyals, es bloqueja quasi per complet el sistema simpàtic i, durant les etapes inicials del *shock medul·lar*, ocorre una baixada brusca de la tensió arterial, i el bloqueig dels reflexes medul·lars esquelètics i sacres (7). Després d'unes hores, les neurones recuperen de forma espontània i progressiva la seua excitabilitat. Per fer-ho, fan ús de la seua pròpia excitabilitat natural, per poder compensar en certa manera el dèficit creat (7). Aquesta recuperació espontània de l'excitabilitat forma part dels processos de plasticitat del SNC, junt a d'altres mecanismes. Així, es defineix com a neuroplasticitat la flexibilitat que té el sistema nerviós per adaptar-se als canvis, modificant les seues xarxes neuronals (21).

Per tant, després de patir una lesió al SNC, s'activen diferents mecanismes de neuroplasticitat que produeixen canvis a curt i llarg termini. Estudis anteriors han demostrat que la neuroplasticitat de les fibres corticoespinals residuals, el còrtex motor i les neurones espinals juguen un rol important en la recuperació funcional espontània de les persones amb una LM incompleta (22–24).

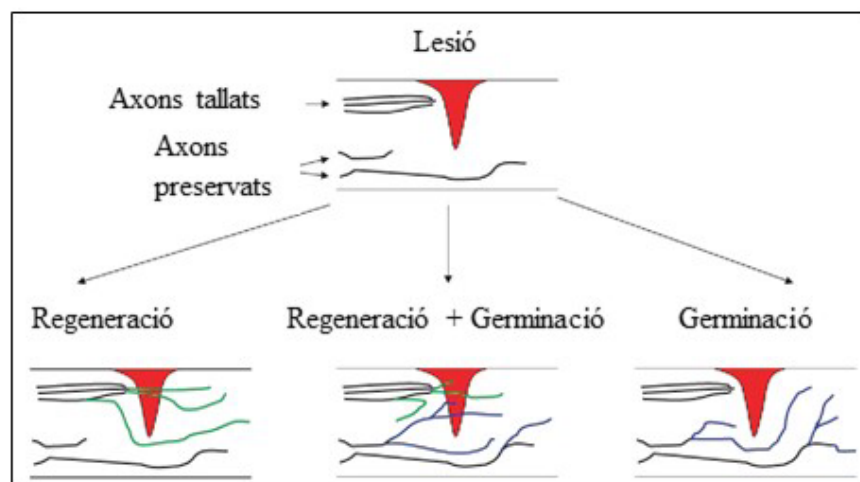
Amb tot i això, la majoria de les neurones no són capaces de regenerar els axons, degut a la pèrdua de la capacitat de desenvolupar-los intrínsecament i, també, degut a factors

extrínsecs que eviten el seu desenvolupament (26,27). Per aquest motiu, la medul·la espinal situada per sota de la lesió pateix canvis debilitants (25), acusant encara més l'afectació als sistemes sensitiu, motor i autònom.

No obstant, la manca de regeneració dels axons madurs contrasta amb la seva capacitat de germinar. Es distingeixen dues classes de germinació (figura 1) (30). En primer lloc, les branques dels axons intactes broten a les zones desnervades de la medul·la espinal. En segon lloc, els axons lesionats poden brotar de la part no danyada. Curiosament, aquests brots poden trobar el seu camí fins al nivell de la lesió, o fins i tot més caudal (31). Tanmateix, no és probable que s'aconsegueixi l'extensió i el patró original de connexions.

Pel que fa al tracte corticoespinal, es descriuen tres tipus d'adaptació del SNC (25):

- Brot de l'axó del tracte corticoespinal. La regeneració d'axons es defineix com un nou creixement d'axons (32). Malgrat que els axons madurs no es regeneren (33–35), les neurones immadures mantenen la capacitat de creixement axonal (34).
- Competència sinàptica entre el tracte corticoespinal i les terminacions de la fibra aferent propioceptiva.
- Potenciació a llarg termini de la sinapsi entre el tracte corticoespinal i la interneurona espinal.



*Figura 1. Germinació axonal*

Cal tenir en compte que la recuperació espontània mitjançant aquestes adaptacions comporta avantatges i desavantatges, ja que els canvis fisiopatològics que es produeixen en el moment de la lesió i just després d'aquesta, així com els canvis progressius posteriors, poden ser adaptatius o no (36).

Després d'un dany a la medul·la, els senyals de control descendents es minimitzen o s'eliminen en gran mesura, mentre que els senyals aferents es converteixen en l'únic impuls important per als circuits medul·lars (36). D'aquesta manera, la rehabilitació en una LM ha d'anar encaminada a estratègies conductuals que minimitzen les noves connexions que poden no ser adaptatives i maximitzen aquelles connexions que sí ho són (37,38). La manera d'intentar reparar una LM contempla dues vies: tornar a connectar les fibres i regular externament les funcions dels circuits caudals a la lesió. Per aconseguir la primera de les vies, l'enfocament clau de la investigació és la reparació axonal: regeneració d'axons i brots d'axons. Per aconseguir-ho, l'objectiu és activar les funcions normals, com ara la marxa, estimulants, així els processos de neuroplasticitat (36). La segona via, consisteix en estimular-la mitjançant teràpies encaminades a donar suport a les funcions de la persona amb LM, de forma passiva o assistida, amb dispositius externs, com ara l'ús de fèrules o d'exoesquelets.

El coneixement de la presència de la plasticitat de la medul·la espinal és important per entendre les estructures clau per a l'aprenentatge motor i per a la recuperació després d'una lesió. Així, el coneixement dels mecanismes subjacents a diferents formes de neuromodulació que indueixen la plasticitat ajuda a crear noves estratègies de rehabilitació.

Aquests mecanismes de neuroplasticitat poden ser estimulats a través de tècniques orientades a rehabilitar diferents dèficits (per exemple, la funció motora o la sensibilitat). En general, es solen dur a terme programes d'intervenció de baix cost com els programes d'exercici físic terapèutic (39). Així be, també s'utilitzen tècniques orientades a estimular la neuroplasticitat amb dispositius externs, com els exoesquelets (40).

Tant en programes senzills, com en els més avançats tecnològicament es pretén incentivar la neuroplasticitat mitjançant teràpies immediates, intensives i específiques, que solen enfocar-se en la recuperació mitjançant l'estimulació motora, és a dir, mitjançant la realització d'exercicis en tasques concretes (marxa, equilibri, etc.).

### **1.6. Neurons mirall i teràpies mirall virtuals**

Estudis previs indiquen que la realització de moviments concrets augmenta la representació cortical de la musculatura encarregada de la realització dels moviments (41–43). Però també hi ha altres formes d'estimulació a nivell cortical de les zones encarregades de la realització dels moviments. És el cas de l'activació de les neurones

mirall, que es defineixen com una classe particular de neurones visuomotores, descobertes originalment a l'àrea F5 de l'escorça premotora d'un mico (44–46). Aquestes neurones mostren activació, no només quan s'executa un moviment sinó quan s'observa i examina atentament una acció motora similar (47). Actualment, es coneix que aquestes neurones es troben tant en àrees motores i premotores, com en altres àrees corticals i subcorticals (48–50), per tant la funció de les neurones mirall, van més allà de la funció motora pròpiament dita.

La funció principal de les neurones mirall es la mediació en la imitació i en la comprensió de les accions (51). Així, quan un individu observa una acció amb un objectiu determinat realitzada per un altre individu, les neurones que representen aquest acció s'activen a l'escorça motora i premotora de l'observador, transformant la informació rebuda visualment en coneixement (52–54).

Aquesta capacitat d'activació mitjançant l'observació és especialment rellevant quan es produeix una lesió del SNC, atès que la interrupció neuronal no permet executar certes tasques motores. Per aquest motiu, s'han publicat diferents estudis que han analitzat la repercussió de la teràpia basada en neurones mirall en poblacions amb afectació del SNC, com ara accidents cerebrovasculars, traumatismes cranioencefàlics, la malaltia de Parkinson o la d'Alzheimer. Amb aquestes poblacions s'han dut a terme investigacions experimentals, l'objectiu de les quals ha estat modificar l'activitat de les neurones mirall, usant eines terapèutiques com la teràpia mirall (55), teràpies amb realitat virtual (56) o teràpies d'Acció-Observació (57). Aquestes, en general, han mostrat un gran potencial sobre la reactivació de la representació mental de l'acció, que es tradueix en un millor control motor.

Degut a la capacitat de recuperació de la LM incompleta anteriorment descrita, les teràpies basades en l'activació de les neurones mirall, concretament l'aplicació de sistemes de teràpia mirall virtual, mitjançant els quals les persones participants visualitzen accions motores perfectament executades, ha estat objecte de revisió sistemàtica en aquesta població, per a conèixer la seva repercussió sobre el dolor neuropàtic en pacients crònics (58–60). En aquest apartat, s'actualitzen aquestes revisions publicades al 2018, 2019 i 2021, realitzant una revisió bibliogràfica per recopilar la informació publicada fins ara sobre l'efectivitat de l'activació de neurones mirall (concretament mitjançant els sistemes de teràpia mirall virtual per a membres inferiors (MMII), no solament sobre el

dolor, sinó també sobre la funcionalitat i el to en persones amb lesió medul·lar completa o incompleta.

### *Mètodes generals*

S'ha utilitzat la llista de verificació PRISMA (Annex II) com a marc per desenvolupar aquesta revisió sistemàtica. Es va realitzar una cerca bibliogràfica electrònica utilitzant una combinació de paraules clau de *Medical Subject Headings* (MSH) per identificar estudis rellevants. A més, es van analitzar revisions sistemàtiques prèvies per identificar bibliografia rellevant.

### *Estratègia de cerca*

Per a realitzar la cerca bibliogràfica, es van consultar les bases de dades: *Medline (Pubmed)*, *Cochrane*, *Scopus*, *Embase*, *Cochrane* i *PEDro*. Les paraules clau introduïdes, (seguint la metodologia PICO) van ser:

- Per descriure les intervencions: “bodily illusion”, “visual illusion”, “mirror therapy”, “virtual reality”, “body image”, “virtual gait”, “motor imagery”
- Per a descriure la població: “spinal cord injuries”, “spinal cord injury”, “central cord syndrome”, “spinal cord compression”, “spinal cord trauma”, “traumatic myelopathy”, “spinal cord transection”, “spinal cord laceration”, “post-traumatic myelopathy”, “spinal cord contusion”
- Per a descriure les variables estudiades: “functional capacity”, “gait”, “motor rehabilitation”, “motor function”, “strength”, “endurance”, “coordination”, “spasticity”, “balance”, “pain”.

Es va realitzar una cerca simple sobre els títols i resums dels estudis, en totes les bases de dades anteriorment citades, entre desembre de 2022 i febrer de 2023, on l'estratègia de cerca va ser la següent:

```
("bodily illusion" OR "visual illusion" OR "mirror therapy" OR "virtual reality" OR "body image" OR "virtual gait" OR "motor imagery") AND ("spinal cord injuries" OR "spinal cord injury" OR "central cord syndrome" OR "spinal cord compression" OR "spinal cord trauma" OR "traumatic myelopathy" OR "spinal cord transection" OR "spinal cord laceration" OR "post-traumatic myelopathy" OR "spinal cord contusion") AND ("functional capacity" OR gait OR "motor rehabilitation" OR "motor function" OR strength OR endurance OR coordination OR spasticity OR balance OR pain).
```

Els criteris d'elegibilitat per considerar els estudis es van basar en el tipus d'estudis, intervencions i participants:

- Tipus d'estudis: es van incloure els estudis amb un disseny experimental o quasi-experimental.
- Tipus d'intervencions: es van considerar els estudis que analitzaven la eficàcia d'una teràpia mirall virtual dirigida a MMII, durant la qual els voluntaris no realitzaven ningun moviment de MMII. La teràpia mirall virtual podia presentar-se sola o combinada amb altres tipus de teràpies.
- Tipus de participants: es van considerar els estudis que incloïen participants amb una LM completa o incompleta. No van haver restriccions respecte al temps passat des de la lesió, ni respecte a l'edat dels participants. Els estudis duts a terme en animals es van descartar.
- Tipus de resultats: es van incloure els articles que estudiaven l'efectivitat de la teràpia mirall virtual sola o combinada sobre variables de funcionalitat, to i/o dolor.

No hi van haver restriccions d'idioma ni d'any de publicació.

#### *Recol·lecció i cribratge dels estudis*

Utilitzant l'estratègia de cerca esmentada anteriorment i després d'una selecció preliminar, van romandre un total de 307 estudis. Dos investigadors independents van revisar els títols i resums d'aquests estudis i van descartar 281 registres més. Es van llegir íntegrament 25 estudis i, d'aquests, se'n van descartar 16, d'acord amb les raons esmentades a la figura 2. Quan es va produir desacord entre ambdós investigadors, un tercer investigador va determinar la inclusió/exclusió.

Es va dissenyar una taula amb el programa Microsoft Excel (2019) per recollir dades sobre el disseny dels estudis, els objectius, les mostres, les intervencions, les variables analitzades i els resultats principals. El risc de biaix va ser analitzat amb l'escala *Physiotherapy Evidence Database* (PEDro) (61), en el cas dels estudis amb disseny experimental.

L'escala PEDro avalua 10 dominis diferents i cada ítem es puntua en funció d'una resposta "sí" o "no". Els estudis que van obtenir una puntuació igual o superior a 6 respostes positives a l'escala PEDro es van considerar evidències d'alta qualitat, mentre que els

estudis que van puntuar 4 o 5 van ser de qualitat moderada (62). Si la puntuació es trobava per baix de 4, l'evidència era qualificada com a baixa. Només es van atorgar punts quan el criteri estava explícitament satisfet.

No es va avaluar el risc de biaix als estudis quasi-experimentals, ja que el propi disseny no permet realitzar una avaluació adequada amb l'escala PEDro.

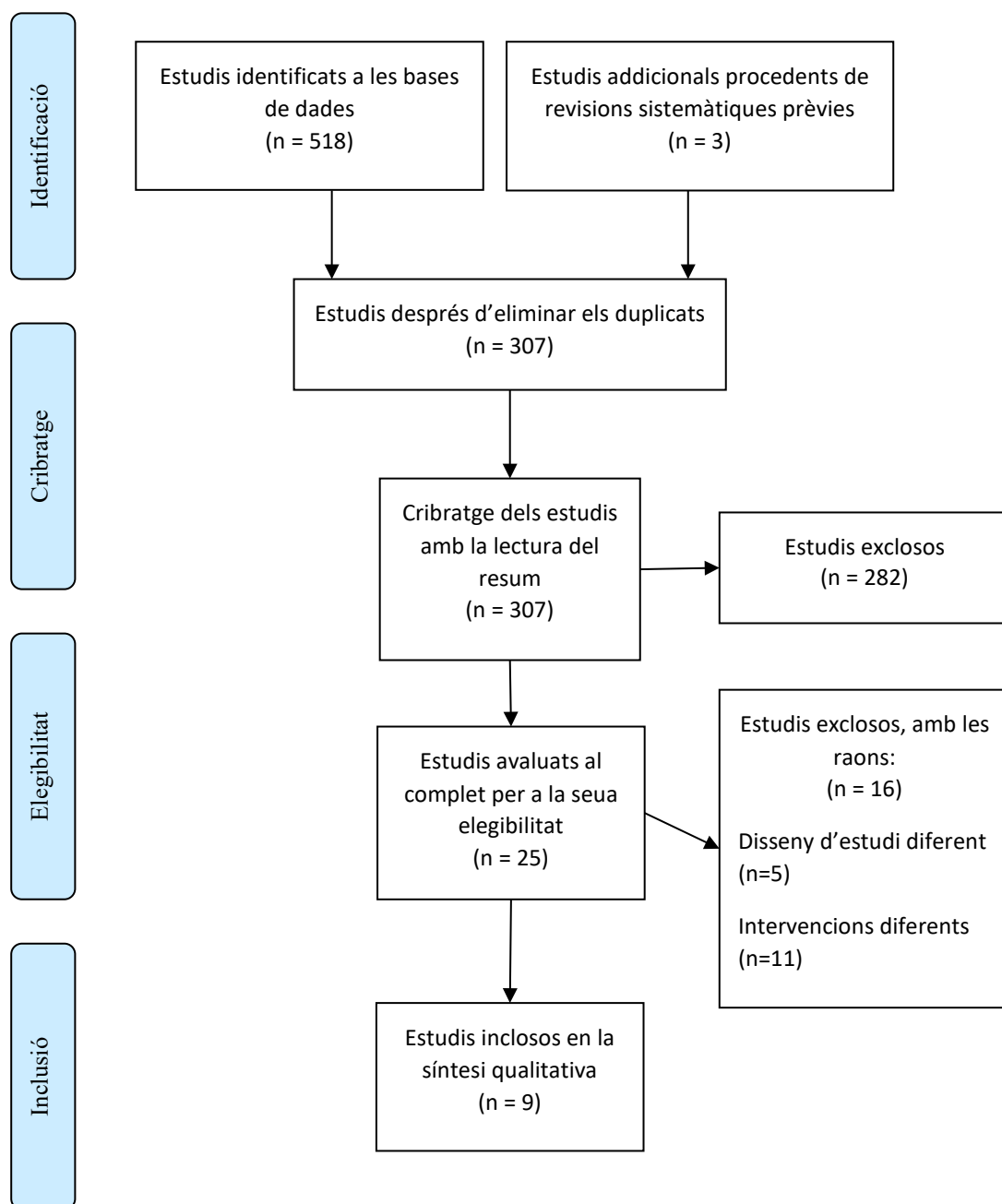
### *Resultats*

La figura 2 mostra el procés de selecció dels estudis. Tots ells avaluaven l'eficàcia d'una teràpia mirall virtual, sola o combinada amb altres teràpies, i dirigida a MMII, sobre la millora de la funcionalitat, el to i/o el dolor en persones amb LM.

Solament 6 estudis dels 9 foren assajos clínics (63–68), incloent el disseny *crossover* d'Özkul *et al.* (64). La resta d'estudis presentaven dissenys quasi experimentals, on realitzaven sèries temporals (69,70), comparacions entre diferents poblacions (71) o comprovaven els efectes de la intervenció de mirall virtual sobre un sol grup (66,69,71).

Pel que fa a la qualitat dels articles inclosos, tres d'ells no s'avaluaren, ja que no presentaven un disseny experimental (69–71). La resta dels estudis que sí foren avaluats mitjançant l'escala PEDro (taula 1), presentaren una puntuació d'entre 4 i 8 punts, és a dir, una qualitat moderada-alta. Quatre estudis dels set foren aleatoritzats (63–65,68), però solament en dos, l'assignació es va ocultar (65,68). A més, solament tres dels estudis presentaren grups comparables a l'inici, pel que fa als indicadors pronòstic més importants (64,65,68).

Pel que fa al cegament, cap dels estudis va cegar els participants, degut a la naturalesa de la intervenció. A més, solament dos estudis van cegar els terapeutes (65,66) i un va cegar els avaluadors (63). Tots els estudis van evitar o corregir les pèrdues durant la recollida i l'anàlisi de les dades. Per últim, tots els estudis van reportar els resultats comparant-los entre els grups avaluats, excepte Özkul *et al.* (64), i tots van reportar, almenys, una mesura de tendència central i una de dispersió.



**Figura 2. Diagrama de flux PRISMA**

La mida mostral va variar d'entre 5 (69) i 130 persones (67). Cinc estudis van realitzar la intervenció en persones amb LM completa motora (AIS A o B) (65–67,69,71), i els altres quatre, amb persones amb els dos tipus de lesió (63,64,67,70). Quatre estudis (66–69) inclouen persones amb una lesió crònica (> 1 anys d'evolució), un estudi (63) que no especificava la cronicitat, i quatre estudis (64,65,67,71) inclouen persones en estadi tant subagut com crònic (> 2-3 mesos d'evolució des de la lesió).

En relació a les intervencions, en tots els estudis analitzaven l'eficàcia d'una teràpia basada en el concepte de teràpia mirall virtual dirigida a MMII, durant la qual els subjecte



no realitzava ningun moviment de MMI. La majoria dels estudis avaluaren la teràpia mirall virtual sola (63,64,66,69,70), mentre els altres la combinaren amb imatgeria motora (65) o estimulació elèctrica directa transcranial (tDCS, per les seues sigles en anglès) (67,68,71). La teràpia mirall virtual es comparava amb una condició control (63,65–69), o amb altres intervencions com imatgeria motora (69), electroestimulació nerviosa transcutània (TENS, per les seues sigles en anglès) (64) i tDCS (68).

Per últim, les variables analitzades en els estudis inclosos en la revisió, en relació amb la al dolor foren:

- El dolor, mitjançant la *Visual Analògic Scale* (VAS) (63,69,70), *McGill Pain Questionnaire* (69), *McGill-Melzack Pain Questionnaire* (64), *Doleur Neuropathic and 4 Questions* (64), *Brief Pain Inventory* (BPI) (64,67,68), *Numeric Rating Scale* (65,66,71), *The Neuropathic Pain Scale* (65,66), *Basic Pain Data Ser* (70), *Neuropathic pain symptom inventory* (67,68), i mitjançant un estudi psicofísic del llindar del dolor al calor (71) amb potencials evocats pel calor amb estimulació tèrmica.

Cap estudi va incloure mesures sobre la funcionalitat motora o el to muscular.

A més, també es valoraren: la percepció corporal, mitjançant VAS (69); la sensibilitat, mitjançant el *Quantitative Sensory Testing* (63), i potencials evocats pel calor amb estimulació tèrmica (71); la personalitat, mitjançant el *Absorption Scale of the Multidimensional Personality Questionnaire – Brief Form* (65); la percepció de canvi, mitjançant *The Patients' Global Impression of Change* (66,68); l'ansietat i la depressió, mitjançant *The Patient Health Questionnaire 9 - Item* (66,67), *Hospital Anxiety and Depression Scale* (70), i *The Numeric Rating Scale* (68); la intervenció, mitjançant *The Treatment Evaluation Inventory* (66) i *The Adapted Virtual Reality Embodiment and Bodily Illusion Questionnaire* (66); l'afectivitat, mitjançant el *Positive and Negative Affect Schedule* (66); l'habilitat per a imaginar, mitjançant *The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire* (70).

La taula 1 mostra el resultat de l'avaluació dels estudis amb disseny experimental mitjançant l'escala PEDro, i la taula 2 mostra el resum dels estudis inclosos, incloent la seua identificació de referència, els objectius, les mostres, les intervencions, l'avaluació i els resultats.

**Taula 1. Puntuació dels articles inclosos segons l'escala PEDro**

Articles	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Moseley et al., 2007 (Estudi 1) (69)							NA					
Moseley et al., 2007 (Estudi 2) (69)							NA					
Jordan et al., 2016 (Estudi 1) (63)	No	Sí		No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	6
Jordan et al., 2016 (Estudi 2) (63)	No	Sí		No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	6
Ozkul et al., 2015 (64)	Sí	Sí		No	Sí	No	No	No	Sí	No	No	4
Richardson et al., 2019 (65)	Sí	Sí		Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	7
Trost et al., 2022 (66)	Sí	No		No	No	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	5
Roosnik et al., 2016 (70)							NA					
Soler et al., 2010 (68)	Sí	Sí		Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Sí	8
Kumru et al., 2013 (71)							NA					
Soler et al., 2021 (67)	Sí	No		No	No	No	Sí	No	Sí	No	Sí	5

0: s'han especificat els criteris d'elegibilitat; 1: els subjectes es van assignar aleatòriament a grups; 2: l'assignació es va ocultar; 3: els grups eren similars al principi pel que fa als indicadors pronòstics més importants; 4: hi va haver cegament de tots els participants; 5: hi va haver cegament de tots els terapeutes que van administrar la teràpia; 6: hi va haver cegament de tots els avaluadors que van mesurar almenys un resultat clau; 7: es van obtenir mesures d'almenys un resultat clau de més del 85% dels subjectes inicialment assignats als grups; 8: tots els subjectes per als quals estaven disponibles mesures de resultat van rebre el tractament o la condició de control tal com s'havia assignat o, si no era el cas, les dades d'almenys un resultat clau es van analitzar per "intenció de tractar"; 9: es reporten els resultats de les comparacions estadístiques entre grups per a almenys un resultat clau; 10: l'estudi proporciona mesures puntuals i mesures de variabilitat per almenys un resultat clau. NA: no aplica (per ser un disseny quasi experimental).

**Taula 2. Resum dels estudis inclosos a la revisió**

<b>Autor, any i disseny de l'estudi</b>	<b>Objectiu</b>	<b>Participants</b>	<b>Intervenció</b>	<b>Avaluació</b>	<b>Resultats</b>
<b>Efectivitat de les teràpies mirall virtuals</b>					
Moseley et al., 2007 (69)	Investigar l'efectivitat d'una intervenció amb teràpia mirall virtual sobre el dolor neuropàtic.	5 persones amb LM Completa (AIS B). Crònica (> 5 anys). Nivell toràcic o lumbar. Amb dolor. Neuropàtic. Edat: 32,2 (8,3) anys	Estudi 1 (n = 5): 3 setmanes, 3 sessions, 10 min (en cadascuna de les sessions, una condició diferent). Estudi 2 (n = 4): 3 setmanes, 15 sessions, 10min (Condicció 1)	Preintervenció, durant les sessions, postintervenció i seguiment (12 setmanes)	Estudi 1. Milliores a curt i llarg termini. Majors per a la condició 1, pel que fa al dolor i temps mitjà per tornar a la intensitat del dolor d'abans de la sessió.
Estudi 1. Sèries temporals.			Condicció 1. MV. L'hemicòs superior del participant es reflectia a un mirall, a l'hemicòs inferior es projectaven unes cames caminant sobre una cinta de córrer.	Dolor: VAS, MGPO, temps per tornar al dolor d'abans de la sessió.	
Estudi 2. Quasi experimental.			Condicció 2. Imatgeria motora. L'investigador guiava als participants a través d'una escena en la qual es trobava sense dolor i realitzava una activitat agradable.	Alteracions de la percepció corporal: VAS	Estudi 2. Milliores a curt i llarg termini. Intensitat del dolor
			Condicció 3. Teràpia de control. amb el muntatge de la condició 1, però a la pantalla es projectava una pel·lícula d'animació.		
Jordan et al., 2016 (63)	Estudi 1. Investigar l'efecte d'una intervenció amb teràpia mirall virtual sobre els resultats del dolor neuropàtic depenent de la ubicació d'aquest.	Estudi 1: 35 persones amb LM: Completa i Incompleta (AIS A, B, C o D). Mitjana de cronicitat: 16,1 (10,4). Nivells no definits.	1 sessió, 20 min.	Preintervenció i postintervenció Dolor: VAS Sensibilitat: QST	Major reducció del dolor en la condició 1. El tractament va respondre independentment de la ubicació del dolor, amb una tendència a la major reducció al nivell lesió. Una hipersensibilitat al fred i a la pressió al nivell de lesió pot atenuar els
Estudi 1. Assaig clínic aleatoritzat			Estudi 1. Grup 1 (n no especificada): Condicció 1. Grup 2 (n no especificada): Condicció 2.		
Estudi 2. Assaig clínic aleatoritzat	Estudi 2. Investigar la relació potencial entre la híper		Estudi 2. Grup 1 (n = 8): Condicció 1 Grup 2 (n = 7): Condicció 2		

	excitabilitat neuronal i la reducció del dolor després d'una intervenció amb teràpia mirall.	Estudi 2: 15 persones amb LM: Completa i Incompleta (AIS A, B o C). Cronicitat no definida. Nivell Cervical o toràcica. Edat no definida.	Condicció 1. MV, en primera persona, caminant per un camí. Condicció 2. Desplaçament en cadira de rodes virtual, en primera persona, es visualitza un actor impulsant una cadira de rodes manual. Els estímuls es van presentar en un monitor tridimensional en una habitació tranquil·la i poc il·luminada. Es va demanar als participants que s'imaginaren que ells mateixos estaven realitzant els moviments.		beneficis de la condició 1 sobre el dolor.
Özkul et al., 2015 (64)  Assaig clínic aleatoritzat - Crossover	Investigar l'efecte d'una intervenció amb teràpia mirall virtual comparada amb una intervenció amb TENS sobre la intensitat del dolor, la qualitat del dolor i la capacitat funcional.	24 persones amb LM:  Completa i Incompleta (A, B, C). Subaguda i crònica (>2 mesos). Dolor (>4 a <i>Douleur Neuropathique en 4 Questions</i> (DN4)).  Edat: 32.33 (12,97) anys	2 setmanes, 10 sessions, 15 min  Grup 1 (n = 12): Condicció 1 + període de blanqueig + Condicció 2. Grup 2 (n = 12): Condicció 2 + període de blanqueig + Condicció 1.  Condicció 1: MV. L'hemicòs superior del participant es reflectia a un mirall, a l'hemicòs inferior es projectaven unes cames caminant sobre un tapís rodant. Condicció 2: TENS. Quatre elèctrodes a banda i banda de la regió espinal a dalt del nivell de la lesió. Aplicació d'alta freqüència (80 Hz), una durada del pols de 180 µs i una intensitat de 0-100 mA per segon. La intensitat de corrent es va augmentar al nivell que es podia sentir però no resultava incòmode.	Preintervenció i postintervenció. Dolor: DN4, MGMPQ VAS, NPS, BPI.	Millors significatives per a condició 1: Intensitat del dolor, sobretot en dolors calents, aguts, desagradables i profunds; i l'efecte negatiu del dolor sobre la capacitat de moviment  Millors significatives per a la condició 2: Intensitat del dolor general i el dolor màxim i mínim; i l'efecte negatiu del dolor sobre l'estat d'ànim, les relacions amb els altres i el son.
Richardson et al., 2019 (65)	Investigar l'eficàcia d'un protocol de teràpia mirall virtual sobre el dolor.	59 persones amb LM:	1 sessió, 20min Grup 1: Condicció 1. Grup 2: Condicció 2.	Preintervenció i postintervenció. Dolor: NRS, NPS.	Millora significativa per a la grup 1:

Assaig clínic aleatoritzat		Completa (AIS A) Subaguda i crònica (> 3 mesos). Dolor neuropàtic (>3 mesos) Edat: 19-69 anys	Condicció 1: MV. Condicció 2: desplaçament en cadira de rodes. Les escenes de realitat virtual es van presentar als participants en un monitor 3D en una habitació tranquil·la i poc il·luminada. Abans de veure l'escena de la realitat virtual, els participants van rebre instruccions per tal que s'imaginaren que ells mateixos interpretaven els moviments de l'actor mostrat.	Personalitat: <i>Absorption Scale</i> MPQ-BF.	Dolor experimentat com a fred, profund i amb una major sensibilitat de la pell.
Trost et al., 2022 (66)	Investigar la viabilitat i l'eficàcia d'una intervenció interactiva de marxa virtual sobre el dolor	27 Persones amb LM: Completa (AIS A) Crònica (>1anys). Nivell Toràcic. Amb dolor: (>4/10) Edat: 42,5 (12,4) anys.	2 setmanes, 20 sessions, 30 minuts (a casa). Grup 1 (n = 17): Condicció 1. Grup 2 (n=10): Condicció 2. Condicció 1: MV. Els moviments dels braços (registrats acceleròmetres) es van traduir en moviments de cames al món virtual. Els participants van veure els seus braços i cames virtuals a través d'unes ulleres de realitat virtual. Condicció 2: MV no interactiva. El mateix protocol que a la condició 1 però sense que els moviments dels braços es traduïren en moviments de cames.	Preintervenció, postintervenció i seguiment (2 setmanes). Dolor mitjà: NRS. Preintervenció i Postintervenció: Dolor neuropàtic: NPS Interferència del dolor: NRS. Depressió: PHQ-9. Valoracions de la intervenció: PGIC; TEI; AVREBIQ. Pre-sessió i post-sessió: Dolor al moment: NRS. PANAS	Millors significatives en la condició 1: Intensitat i interferència del dolor comparant la mesura preintervenció amb la postintervenció. Estat d'ànim i afectivitat durant les sessions i en la intervenció completa.

---

### Efectivitat de les teràpies mirall virtuals combinades amb altres teràpies

Roosnik et al., 2016 (70)  Sèries temporals	Investigar l'efectivitat d'una teràpia mirall virtual junt a un entrenament d'imatgeria motora.	9 persones amb LM:  Completa i incompleta (AIS A, C i D). Subaguda i Crònica (>3 mesos). Nivell cervical toràcic i lumbar.  Edat: 53 (13) anys.	1 setmana, 2 sessions, 90 min.  MV interactiva. A la pantalla apareixia un avatar caminant cap avant i cap enrere, mentre el participants imaginaven que caminaven:  Se'ls van aplica 4 condicions diferents (3 series per condició): Condicció 1: Imaginar que camines endavant amb l'avatar Condicció 2: Imaginar que camines endavant amb l'escena virtual estàtica Condicció 3: Imaginar que camines cap enrere amb l'avatar Condicció 4: Imaginar que camines cap enrere amb l'escena virtual estàtica.	Dolor: BPDS, 0-100 VAS. Ansietat i depressió: HADS. Habilitat per a imaginar: KVIQ-10.	Millores significatives: a les condicions 1 i 3 intensitat i velocitat de les imatges motores.
Soler et al., 2010 (68)  Assaig clínic aleatoritzat	Investigar l'efectivitat d'una teràpia mirall virtual junt a tDCS, aplicades de forma aïllada o combinades.	40 persones amb LM:  Completa (AIS A o B) Crònica (>1 any). Nivell cervical o toràcic.  Edat: 45 (15,5) anys.	2 setmanes, 10 sessions, 20min.  Grup 1 (n = 10): Condicció 1 i 3 Grup 2 (n = 10): Condicció 2 i 3 Grup 3 (n = 10): Condicció 1 i 4 Grup 4 (n = 10): Condicció 2 i 4  Condicció 1: MV, amb el protocol descriu per Moseley et al., 2007 (69). Condicció 2: MV placebo, amb el protocol descriu per Moseley et al., 2007 (69). Condicció 3: tDCS, per als pacients amb dolor asimètric, es va aplicar estimulació a l'M1 contra lateral a l'hemicòs més dolorós. Per als pacients amb dolor simètric, es va estimular l'hemisferi dominant. S'utilitzà un corrent constant d'intensitat de 2 mA.	Preintervenció, postintervenció i seguiment (10 dies, 24 dies i 12 setmanes).  Dolor: NPSI; BPI Ansietat: NRS Impressió de canvi: PGIC	Millores a curt termini: El grup 1 va experimentar una millora significativa en tots els subtipus de dolor. El grup 2 va mostrar una millora del dolor continu i paroxístic. El grup 3 va millorar només en dolor continu i disestèsies.  Millores a llarg termini: El grup 1 encara presentava una millora significativa en la percepció general de la intensitat del dolor, mentre que no es va registrar cap

---

			Condició 4: tDCS placebo, l'estimulador es va apagar després de 30 s.		millora en els altres tres grups.
Kumru et al., 2013 (71)	Investigar l'efectivitat d'una teràpia mirall virtual junt a tDCS, aplicades de forma aïllada o combinades en el dolor neuropàtic i en l'examen neurofisiològic.	18 persones amb LM: Completa (AIS A o B). Subaguda o crònica (>3 mesos) Amb dolor (NRS>4). Nivell cervical o toràcic. Edat: 49,4 (12,4) anys.	LM amb dolor: 2 setmanes, 10 sessions. Condicions 1 i 2.  Tant les persones amb LM sense dolor com les persones sanes s'utilitzen com a controls.  Condició 1: MV, amb el protocol descrit per Moseley et al., 2007 (69). Condició 2: tDCS. Per als pacients amb dolor asimètric, es va aplicar estimulació a l'M1 contralateral a l'hemicòs més dolorós. Per als pacients amb dolor simètric, es va estimular l'hemisferi dominant. S'utilitzà un corrent constant d'intensitat de 2 mA.	Preintervenció i postintervenció per al grup de LM amb dolor. Les persones amb LM sense dolor neuropàtic i els sans es van avaluar només una vegada.  Dolor: 0-10 NRS. Estudi psicofísic del llindar del dolor al calor i el llindar del calor. Contacte amb potencials evocats per calor per estimulació tèrmica	Millores a curt termini per a: Dolor, llindar del dolor al calor i el llindar del calor.
Quasi experimental		20 persones amb LM: Completa (AIS A o B). Subaguda o crònica (>3 mesos) Sense dolor. Nivell cervical o toràcic. Edat: 45,5 (11,6) anys			
		14 persones sanes: Edat: 45,6 (11,7) anys			
Soler et al., 2021(67)	Investigar l'efecte d'una teràpia mirall virtual junt a una teràpia tDCS sobre el dolor segons	130 persones amb LM:	2 setmanes, 10 sessions, 20 min. Grup 1 (65): Condició 1 i 2. Grup 2 (65): Condició 3.	Preintervenció i postintervenció. Dolor: NPSI, BPI, PHQ-9.	Millores significatives a curt termini al Grup 1:
Assaig clínic					

perfiles de fenotips sensorials.	Completa i Incompleta (A, B, C i D). Subaguda i crònica. Nivell cervical i toràcic. Grup 1: 49 (14,9) anys. Grup 2: 48 (14.6) anys.	Condicció 1: El sistema de MV consta d'un monitor i, situat sota la pantalla, una càmera que captura part del cos del pacient. L'experiència de la marxa realista es va proporcionar a través del sistema, combinant la pròpia imatge de la part superior del cos del pacient i una imatge complementària animada que representa el moviment de les cames o el moviment dels braços. Condició 2: tDCS. Per als pacients amb dolor asimètric, es va aplicar l'estimulació a l'M1 contra lateral a l'hemicòs més dolorós. Per als pacients amb dolor simètric, es va estimular l'hemisferi dominant. S'utilitzà un corrent constant d'intensitat de 2 mA. Condició 3: sense tractament.	Dolor, estat d'ànim, qualitat del son, el gaudi de la vida.
----------------------------------	---	---	---

*Abreviatures: AIS: The American Spinal Injury Association Impairment Scale; AVREBIQ: Adapterd Virtual Reality Embodiment and Bodily Illusion Questionnaire; BPDS: Basic Pain Data Set; BPI: Brief Pain Inventory; DN4: Douleur Neuropathique en 4 Questions; HADS: Hospital Anxiety and Depression Scale; KVIQ-10: Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire; LM: lesió medul·lar; MV: marxa virtual; MGPQ: McGill Pain Questionnaire; MGMPQ: McGill-Melzack Pain Questionnaire; MPQ-BF: Multidimensional Personality Questionnaire – Brief Form; NRS: Numeric Rating Scale; NPS: Neuropathic Pain Scale; NPSI: Neuropathic pain symptom inventory; PANAS: Positive and Negative Affect Schedule; PGIC: The Patients' Global Impression of Change; PHQ-9: Patient Health Questionnaire-9; QST: Quantitative Sensory Testing; TEI: The Treatment Evaluation Inventory; tDCS: transcranial direct corrent stimulation; TENS: Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation; VAS: Visual Analogic Scale.*



## 1.7. Hipòtesis i objectius

La revisió sistemàtica realitzada a l'apartat anterior mostra que solament sis assajos clínics aleatoritzats han avaluat l'efectivitat mirall virtual dirigida a MMII sobre el dolor neuropàtic en persones amb LM. A més, cap d'ells avalua la repercussió d'aquestes teràpies sobre la funcionalitat motora, el to o l'espasticitat. Per aquest motiu sorgeix la necessitat d'investigar la efectivitat d'una teràpia de marxa virtual (MV), no només sobre el dolor neuropàtic, sinó també sobre la funcionalitat i el to muscular, en persones amb LM incompleta.

Tenint en compte la informació anterior, es justifica la necessitat d'investigar la repercussió de l'activació de les neurones mirall en persones amb LM, amb l'objectiu d'estimular la neuroplasticitat que produeix canvis adaptatius, i evitar els canvis no adaptatius.

La hipòtesi principal és que l'adició de la teràpia de MV a un programa d'exercici terapèutic (ET), en persones amb LM incompleta, produeix en aquesta població una millora de la funció motora, una millora del to muscular i una disminució del dolor neuropàtic.

Per validar aquesta hipòtesi, s'ha plantejat un objectiu general i varis objectius específics. L'objectiu general d'aquest estudi és avaluar l'efectivitat de l'estimulació de les neurones mirall mitjançant una teràpia de MV combinada amb un programa d'exercici físic sobre les variables relacionades amb la capacitat funcional, el dolor i el to en persones amb LM incompleta.

Com a objectius específics, es planteja:

1. Estudiar l'efectivitat de l'adició d'una teràpia de MV a un programa d'ET sobre la velocitat de la marxa, la quantitat d'assistència necessària durant aquesta, el temps de reacció emprat per iniciar la marxa i el temps emprat per dur a terme accions funcionals combinades amb marxa.
2. Analitzar l'efecte de l'adició d'una teràpia de MV a un programa d'ET sobre el desplaçament anteroposterior (AP) i miglateral (ML) del centre de pressions (CDP) i l'àrea recorreguda per aquest mentre es manté l'equilibri estàtic.

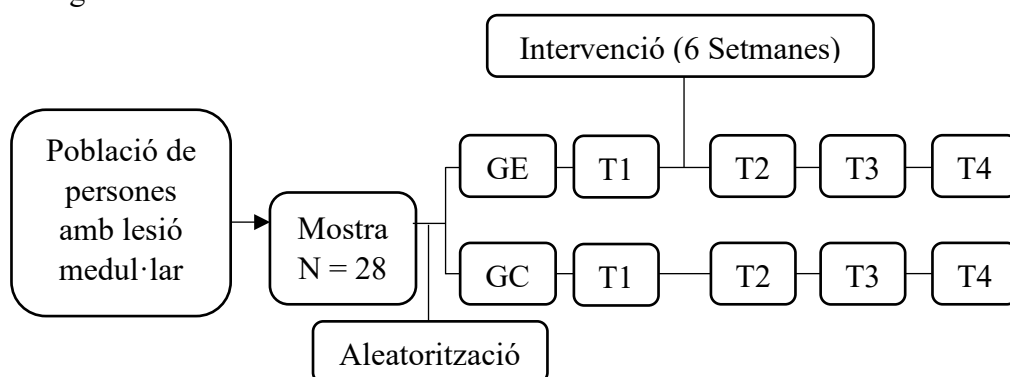
3. Comprovar l'efectivitat de l'adició d'una teràpia de MV a un programa d'ET sobre el temps emprat per realitzar les tasques funcionals de girar-se, seure's i aixecar-se, així com la potència emprada per realitzar l'última.
4. Comparar l'acció d'una teràpia combinada de MV amb un programa d'ET amb un programa aïllat d'ET sobre la força isomètrica durant les activitats d'abducció i extensió de maluc, flexió de genoll i flexió i extensió de turmell durant una contracció voluntària màxima (CVM), a la vegada que es quantifica l'activació electromiogràfica (EMG) dels músculs principals d'aquests moviments (*i.e.*, gluti mig, bíceps femoral, quàdriceps, gastrocnemi extern i tibial anterior, respectivament).
5. Avaluar l'impacte de l'adició d'una teràpia de MV a un programa d'ET sobre la tensió i rigidesa dels músculs gluti major, isquiotibials, quàdriceps, gastrocnemi extern i tibial anterior.
6. Comprovar el potencial benefici respecte a la intensitat del dolor i la interferència d'aquest sobre l'estat d'ànim i les activitats de la vida diària resultant de l'adició d'una teràpia de MV a un programa d'ET.

## **2. MATERIAL I MÈTODES**



## 2.1 Disseny de l'estudi

El disseny de l'estudi és un assaig d'intervenció. Els participants foren avaluats abans de la intervenció (T1), i després d'aquesta (T2). A més, per comprovar la durabilitat de es realitzaren dues valoracions de seguiment: quatre setmanes després de la intervenció (T3) i 12 setmanes després de la intervenció (T4). La figura 3 mostra el disseny de la investigació.



*Figura 3. Disseny experimental de la investigació (assaig clínic aleatoritzat)*

GE: Grup experimental; GC: Grup control; T1: valoració preintervenció. T2: valoració postintervenció; T3: valoració de seguiment (4 setmanes); T4: valoració de seguiment (12 setmanes).

postintervenció

## 2.2 Procediment general

En primer lloc, a gener de 2020 i de forma prèvia a l'inici del present estudi, es realitzà una revisió bibliogràfica per estudiar tota la informació rellevant publicada sobre l'aplicació de teràpies enfocades a estimular les neurones mirall en persones amb LM incompleta i extraure conclusions sobre la seua efectivitat. Seguidament, es va presentar la proposta del pla de recerca sota els principis de la Declaració de Helsinki a la Comissió Acadèmica del Programa de Doctorat del Departament de Fisioteràpia de la Universitat de València, als Comitès d'Ètica de la Universitat de València per a la seua aprovació (Annex III) i al registre d'assajos clínics [www.clinicaltrials.gov](http://www.clinicaltrials.gov) (NCT04809987). L'aprovació del Comitè d'Ètica va ser comunicada als centres participants.

Degut a la pandèmia COVID-19, el reclutament dels participants no va començar fins el setembre de 2020. Malgrat això, i una vegada aprovat el Comitè d'Ètica, durant els mesos de confinament, la informació respecte del projecte del present estudi es va difondre als

diferents centres i associacions relacionats amb la LM i la discapacitat. Així, tots els centres contactats des de 2020 fins a la finalització del reclutament (octubre de 2022) foren:

En l'àmbit nacional:

- Hospital Universitari i Politècnic La Fe, València.
- Hospital Clínic, València.
- Hospital General, València.
- Hospital Vithas Virgen del Consuelo, València.
- Hospital Vithas Aigües Vives, Alzira.
- Asociación de personas con lesión medular y otras discapacidades físicas (ASPAYM), València.
- Associació TetraSport, València.
- Coordinadora de Personas con Diversidad Funcional Física de la Comunitat Valenciana (CODIFIVA), València.
- Clínica Universitaria de Nutrición, Actividad Física y Fisioterapia (CUNAFF), València.

En l'àmbit internacional:

- *L'association Sport et Thérapies Neuro-rééducatives Avancées* (ANTS), Lió, França.
- *Hospital Henry Gabrielle (Hospices Civils de Lyon)*, Lió, França.
- *AutonaBee*, Lió, França.

Per fer difusió, es va crear un tríptic informatiu (Annex IV) i es va publicar un article divulgatiu a la revista informativa de setembre de 2020 de l'associació ASPAYM.

Els potencials participants interessats contactaren per telèfon o per correu electrònic. Una vegada comprovats els criteris d'inclusió i d'exclusió, se'ls explicava amb més detall els procediments de valoració i intervenció que es durien a terme durant l'estudi, així com la temporització i els resultats esperats.

En paral·lel, es va gestionar la reserva dels espais i el material, i es van condicionar per a l'ús previst. A més, es va gestionar la reserva de les places adaptades del pàrquing més

properes a l'ascensor que quedava més prop del laboratori utilitzat. També es va procedir a gravar 20 vídeos de marxa sobre cinta rodant de persones sanes (10 dones i 10 homes), de diferents alçades i pesos. Per fer-ho, es va utilitzar una càmera situada en front de la cinta rodant, de manera que es gravava la part inferior del cos (des de la cintura), evitant que les mans apareguren a la gravació. Els voluntaris per a la gravació van ser personal investigador, docent i d'administració, pertanyent a la Facultat de Fisioteràpia, amb diferent volumetria per poder disposar d'una videoteca de cossos de diferent mida perquè s'acoblaren a les característiques dels participants.

Llavors, el grup d'investigació va procedir a simular els procediments duts a terme en l'estudi, per prevenir i establir plans de contingència en cas de possibles problemes, cronometrar els temps emprats i entrenar els procediments.

Així, es va donar pas a l'inici de l'estudi i a les fases següents. Si els voluntaris accedien a participar en l'estudi, es citaven al laboratori per a la signatura del consentiment informat (Annex V) i la realització de la primera avaluació (T1). A continuació es realitzava l'aleatorització dels participants per un investigador cec tant a l'avaluació com a la intervenció.

Accediren a participar un total de 28 voluntaris, dividits aleatòriament en dos grups segons la intervenció rebuda:

- i. Grup Experimental (GE): MV i programa d'exercici terapèutic (ET)
- ii. Grup Control (GC): MV Placebo i ET.

Els detalls de cadascuna de les intervencions es descriuen a l'apartat "Protocols d'Intervenció".

Els voluntaris van ser citats abans de la primera valoració per explicar-los els procediments del protocol de les valoracions i les intervencions i signar el consentiment informat (annex V). La primera valoració (T1), va incloure la recollida de les dades demogràfiques dels participants i les dades clíniques en referència a la lesió d'aquests, a més de la bateria de tests, proves i qüestionaris descrits a l'apartat "Procediments d'avaluació.". Una vegada recollides totes les dades, es citava al participant, 3 dies per setmana durant 6 setmanes, per tal de dur a terme la intervenció. Al finalitzar-la, es procedia amb la valoració T2, que incloïa els mateixos procediments d'avaluació que a la

valoració T1. Les valoracions T3 i T4 es dugueren a terme a les 4 setmanes i a les 12 setmanes d'haver finalitzat la intervenció, respectivament. Al finalitzar l'estudi, els participants rebien un informe amb un resum dels resultats obtinguts (Annex VI).

Les valoracions i les intervencions es van dur a terme des del setembre de 2020 fins al desembre de 2022 i les dades recollides es guardaren, tot garantint la completa confidencialitat de les dades personal dels participants, d'acord amb la Llei De Protecció de Dades de Caràcter Personal (LOPD) 3/2018, de 5 de desembre. Per això, la codificació dels subjectes es custodiava en una base xifrada de dades diferent.

Cal remarcar la concessió d'una subvenció l'octubre de 2022 des de la Conselleria de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital (CIAICO/2021/215) a la Dra. Pilar Serra Añó, directora de la present tesi, i al seu grup d'investigació (Unitat de recerca en biomecànica clínica [UBIC]), pel projecte titulat "Efectividad de la movilidad virtual sobre la neuroplasticidad y la capacidad funcional en personas con lesión medular (MoVirFun)", que amplia els objectius d'aquest estudi.

### **2.3 Mostra**

Per al reclutament, participaren diferents centres hospitalaris i associacions nacionals (Hospital Universitari i Politècnic La Fe, Hospital Clínic i l'Hospital General, *Asociación de Personas con Lesión Medular y otras Discapacidades Físicas* (ASPAYM), Associació TetraSport, *Coordinadora de Personas con Diversidad Funcional Física de la Comunitat Valenciana* (CODIFIVA), i la Clínica Universitaria de Nutrició, Activitat Física i Fisioteràpia (CUNAFF), i internacionals (*L'association Sport et Thérapies Neuro-rééducatives Avancées* [ANTS] i l' *Hospital Henry Gabrielle* [Hospices Civils de Lyon], ambdues de Lió [França]).

L'execució de les valoracions i les intervencions es va realitzar principalment a la Facultat de Fisioteràpia (Universitat de València), al Laboratori de Fisioteràpia i Exercici Físic. Així mateix, també es realitzaren a la sala d'exercici de l'ANTS i al gimnàs de l'*Hôpital Henry Gabrielle (Hospices Civils de Lyon)* de la ciutat de Lió.

Els criteris d'inclusió de l'estudi foren: i. LM incompleta (ASIA C o D), ii. nivell de lesió a la columna cervical, toràcica o lumbar, iii. capacitat de deambulació amb ajudes o sense i iv. capacitat per entendre instruccions (*Mini-Mental State Examination* > 23 punts). El



compliment dels criteris d'inclusió van ser comprovats per una o un facultatiu especialista en LM de la unitat hospitalària d'on procedien.

Els criteris d'exclusió foren els següents: i. patologia traumàtica a cames, ii. altres alteracions del SNC o Sistema Nerviós Perifèric (SNP), iii. alteracions del sistema vestibular i iv. malalties concomitants.

Els participants es dividiren en els dos grups de forma aleatòria mitjançant el programa informàtic *Random Allocation Software* (72). Es va descartar el disseny quasi experimental creuat, atès que hipotèticament l'efecte sobre la neuroplasticitat es mantindria a llarg termini i, per tant, no seria efectiu un període de blanqueig.

Per calcular la mida mostral es va utilitzar el software G\*Power. Com que no hi havia estudis previs amb resultats de funcionalitat amb una intervenció semblant, d'on extraure la mesura de l'efecte, es va prendre en consideració una potència o capacitat del 80% per descartar falsos negatius, una capacitat per detectar una mesura de l'efecte mitjà ( $d$  de Cohen = 0,45) i una probabilitat d'error de tipus I de 0,05. Tenint en compte que els participants es van dividir en dos grups i es realitzaven un total de 4 mesures, el resultat del càlcul de la mida mostral va ser d'un total de 28 participants, com a mínim (73,74).

## **2.4 Valoracions dels participants**

Per a dur a terme les valoracions, es va indicar als participants que vestiren roba i calçat còmode, que evitaren l'exercici vigorós el dia abans de les proves, i que portaren qualsevol ajuda visual, auditiva o per a la marxa que utilitzaren habitualment.

### **2.4.1 Recollida inicial de dades demogràfiques i clíniques**

Amb l'objectiu de poder controlar, si era necessari, els possibles factors de confusió, a l'inici de la primera valoració (T1) es va realitzar una entrevista clínica per recollir les dades antropomètriques, demogràfiques i clíniques de cadascun dels voluntaris.

Les dades antropomètriques i demogràfiques incloïen:

- Alçada (mesurada amb un tallímetre)
- Pes (mesurat amb una bàscula)
- Edat
- Sexe

Les dades clíniques (avaluades pels facultatius del centre hospitalari d'on procedia el voluntari) incloïen:

- Nivell de la lesió
- Nivell en AIS
- Causa de la lesió
- Possibles comorbiditats
- Ajudes utilitzades per a la marxa

Es va utilitzar un formulari de registre on s'inclouen totes les dades anteriorment citades.

#### **2.4.2 Procediments d'avaluació**

En aquest apartat es parla de les diferents variables i els seus procediments de mesura a les avaluacions T1, T2, T3 i T4.

##### **i. Velocitat de marxa**

Per valorar la velocitat de la marxa dels participants, es va fer servir el *10 Meters Walking Test* (10MWT) (74), que registra el temps necessari per cobrir la distància de 10 m.

El temps utilitzat per a aquest prova va suposar menys de 5 min. El material emprat per a l'avaluació era un cronòmetre, una cinta mètrica, i marcadors per establir els punts d'eixida i l'arribada. Les instruccions que va rebre el participant foren "Camina tan ràpid com pugues, amb seguretat, i atureu-vos quan arribeu a la marca llunyana".

Les propietats que defineixen el test es mostren a continuació:

- Fiabilitat test-retest: ICC 0,97 (75)
- Validesa: es correlaciona amb el *Time Up and Go* (TUG) (0,89) i amb el 6 Minutes Walking Test (6MWT) (0,95) (76).

##### **ii. Ajudes per a la marxa**

Per valorar les ajudes utilitzades per a la marxa, es va fer servir el *Walking Index for Spinal Cord Injury* (WISCI), el qual, tenint en compte la quantitat d'assistència necessària per a realitzar la marxa, atorga una puntuació que oscil·la de l'1 al 19. Avalua la quantitat d'assistència física, aparells ortopèdics i dispositius per a caminar 10 m. La seqüència de punts fa referència als nivells de capacitat de marxa (77).

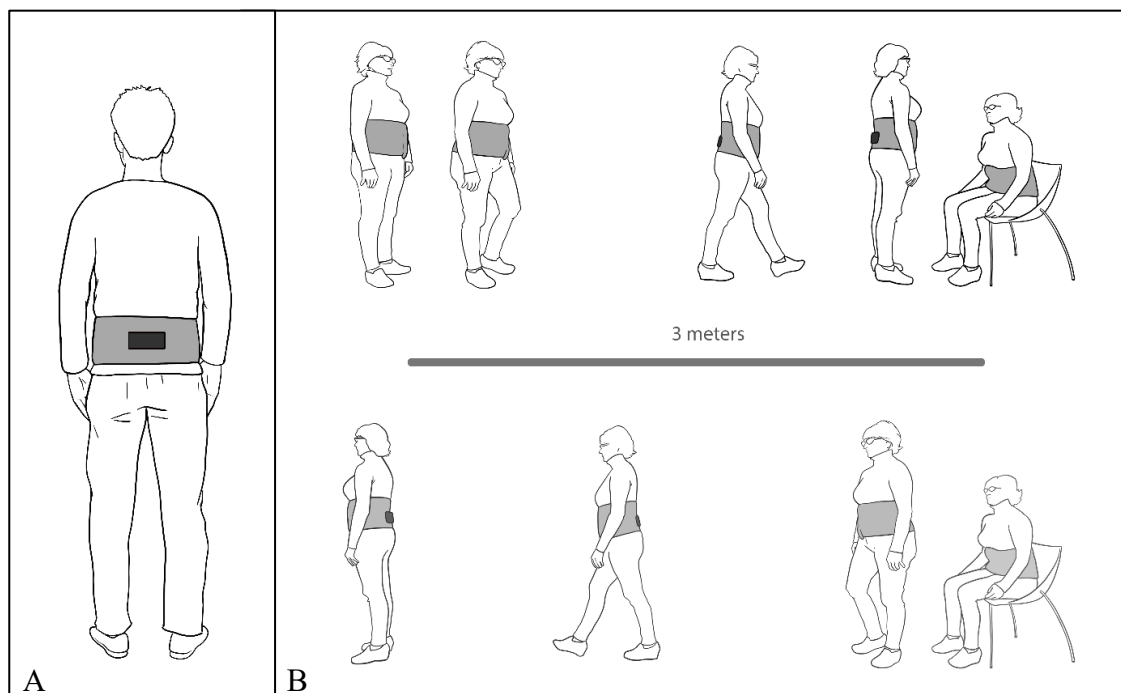
La càrrega administrativa d'aquesta escala és mínima, ja que es pot avaluar juntament amb el 10MW. Així, les instruccions que va rebre el participant foren les mateixes que en aquest test.

Les propietats que defineixen el test es mostren a continuació:

- Fiabilitat test-retest: ICC 0,99 (78).
- Validesa: es correlaciona amb el *Functional Independence Measure* (FIM) (0,77) (78).

iii. Funcionalitat dinàmica i estàtica, i qualitat de la marxa

Per a aquesta valoració es va utilitzar el dispositiu *FallSkip*® (Biomechanical Institute of Valencia, València, Spain) que, mitjançant un sensor inercial incorporat en un telèfon intel·ligent Android (Xiaomi Redmi 4 x Model MAG138) col·locat a nivell d'L4-L5 (figura 3 [A]), permet registrar variables com el desplaçament del centre de pressions tant en dinàmic com en estàtic, així com registrar el temps emprat en girar-se i seure i el temps i la potència emprades per aixecar-se d'una cadira, en un protocol modificat del test *Timed up and Go* (TUG) (79). En primer lloc, els participants han de romandre dempeus amb els braços al costat del cos durant 30 s. Quan sona un senyal acústic, el participant ha de començar a caminar immediatament, durant un tram de 3 m i tan ràpid com siga possible, fins que troben una cadira. En eixe moment, el participant realitza una parada de 3 s, es gira i s'asseu. La figura 3 (B) mostra les fases de la prova.



**Figura 4. Protocol per al sistema *FallSkip*.**

*A: Col·locació del dispositiu; B: Protocol de la prova.*

El temps emprat per a la realització d'aquesta prova va ser de 10 min. El material necessari per a realitzar-la està compost pel sensor inercial *FallSkip*, la faixa amb velcro on es col·loca aquest, una cadira sense recolza-braços, una cinta mètrica i un marcador

per a l'inici/final de la prova. Les instruccions que va rebre el participant van ser les següents: “Estiga quiet amb els braços al costat del cos durant 30 s. Quan escolte el senyal acústic, immediatament comence a caminar recte/a ràpid/a i segur/a cap a la cadira que veu al davant. Pare davant d'aquesta durant 3 segons, i després gire i sega. Haurà d'estar assegut durant 3 s abans d'aixecar-se i tornar caminant ràpid/a i segur/a al punt de partida.

Les propietats que defineixen el test es mostren a continuació:

- Fiabilitat test-retest: ICC 0,55- 0,85 (80,81).
- Consistència interna: Alfa de Cronbach de 0.97 (80,81)
- Validesa: es correlaciona amb el Physiological Profile Assessment en -0,65 (79–81).

Les variables extretes d'aquesta prova es mostren a la taula 5, conjuntament obtingudes amb les diferents avaluacions.




#### iv. Força isomètrica


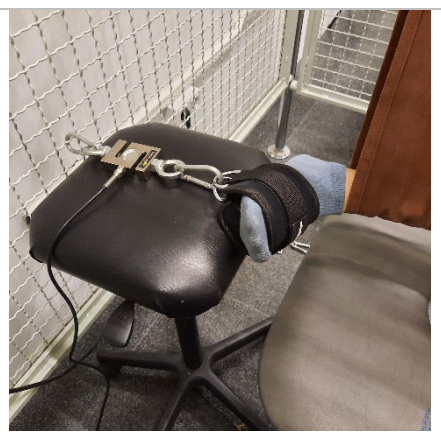
El mesurament de l'acció isomètrica de la musculatura dels MMII es va realitzar mitjançant una cèl·lula de càrrega (Chronojump®). Concretament, es va mesurar la força isomètrica del tibial anterior durant la dorsiflexió de turmell, del quàdriceps durant l'extensió de genoll, del gluti mig durant l'abducció de maluc, dels isquiotibials durant l'extensió de maluc i del tríceps sural durant la plantiflexió de turmell, del membre inferior més fort (segons l'escala AIS), per garantir que es pogueren realitzar totes les proves. Cada mesura es va repetir 3 vegades (5 s de contracció i 5 s de descans) i amb un descans d'aproximadament 2 min entre els diferents grups musculars. Abans de començar la prova, la investigadora explicava i mostrava el moviment que els voluntaris havien de d'executar sabent que aquest anava a ser resistit de manera que es produís una contracció isomètrica. Després, aquets realitzaven una prova prèvia, com a familiarització, perquè la investigadora corregira les possibles compensacions.

Per a l'anàlisi del registre de les dades es van utilitzar els 3 s centrals de les repeticions. Així, d'aquests intervals de temps, es va seleccionar el pic màxim per a, posteriorment, obtenir la mitjana dels pics (N) de cadascuna de les repeticions, de cadascun del test, obtenint així la força màxima. En cas que alguna de les repeticions diferís més d'un 20% amb respecte a les altres, es descartava i es repetia la valoració.

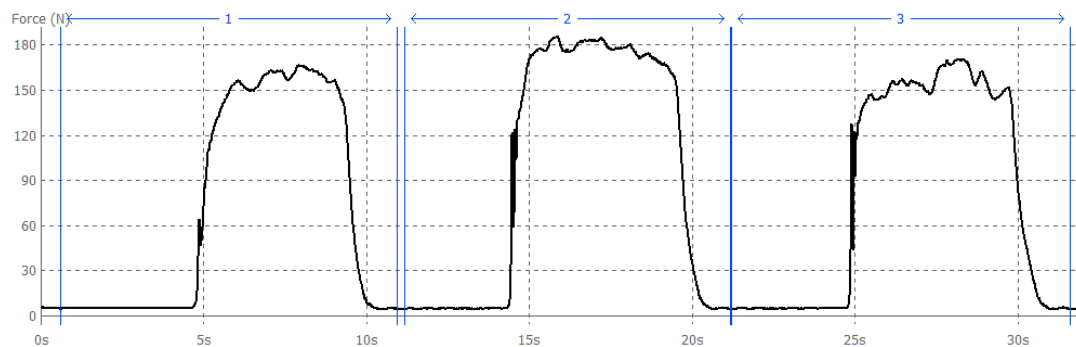
La posició dels participants per a l'avaluació era en decúbit lateral, amb la cama en posició neutra mantinguda per un sistema de suspensió. Aquesta disposició va ser elegida per permetre el registre de l'activitat muscular descrita a l'apartat següent. La taula 3 mostra la disposició per a cadascun dels músculs avaluats, així com les instruccions indicades al participants.

**Taula 3. Protocol d'avaluació per a la força isomètrica màxima i l'activació muscular**

Descripció de la prova	Instruccions	Figura
<p><u>1. Gluti mig</u> El voluntari ha d'executar una abducció de maluc utilitzant la màxima força possible.</p>	<p>“Per a dur a terme l'exercici, eleve la cama estirada cap al sostre fent la màxima força possible. Les investigadores li indicarem quan ha de fer la força i quan ha de fer les pauses”.</p>	
<p><u>2. Isquiotibials</u> El voluntari ha d'executar una extensió de maluc utilitzant la màxima força possible.</p>	<p>“Per a dur a terme l'exercici, porte la cama estirada cap arrere fent la màxima força possible. Les investigadores li indicarem quan ha de fer la força i quan ha de fer les pauses”.</p>	
<p><u>3. Quàdriceps</u> El voluntari ha d'executar una extensió de genoll, utilitzant la màxima força possible.</p>	<p>Quàdriceps: “Per a dur a terme l'exercici, estenga el genoll com si volguera xutar un baló, fent la màxima força possible. Les investigadores li indicarem quan ha de fer la força i quan ha de fer les pauses”.</p>	

<p><b>4. Tríceps sural</b></p> <p>El voluntari ha d'executar una plantiflexió de turmell, utilitzant la màxima força possible.</p>	<p>Per a dur a terme l'exercici, pose els dits del peu i el peu cap avall, com si vulguera posar-se de puntetes, i evite moure la resta de la cama. Les investigadores li indicarem quan ha de fer la força i quan ha de fer les pauses”.</p>	
<p><b>5. Tibial anterior</b></p> <p>El voluntari ha d'executar una dorsiflexió de turmell, utilitzant la màxima força possible.</p>	<p>“Per a dur a terme l'exercici, pose els dits del peu i el peu cap a vosté, com si vulguera posar-se de talons, i evite moure la resta de la cama. Les investigadores li indicarem quan ha de fer la força i quan ha de fer les pauses”.</p>	

La figura 5 mostra un exemple del resultat d'un registre de tres contraccions isomètriques màximes per als isquiotibials, del voluntari 34 amb el sistema Chronojump.



**Figura 5. Exemple de registre de la força isomètrica màxima d'isquiotibials del voluntari 34**

El material utilitzat per a dur a terme aquesta valoració va ser la cèl·lula de càrrega descrita i el seu software Chronojump, un ordinador portàtil Windows 10, una cadena i tres mosquetons, una Gàbia de Rocher, un llitera regulable en altura, un sistema de suspensió per a MMII i una turmellera d'ancoratge.

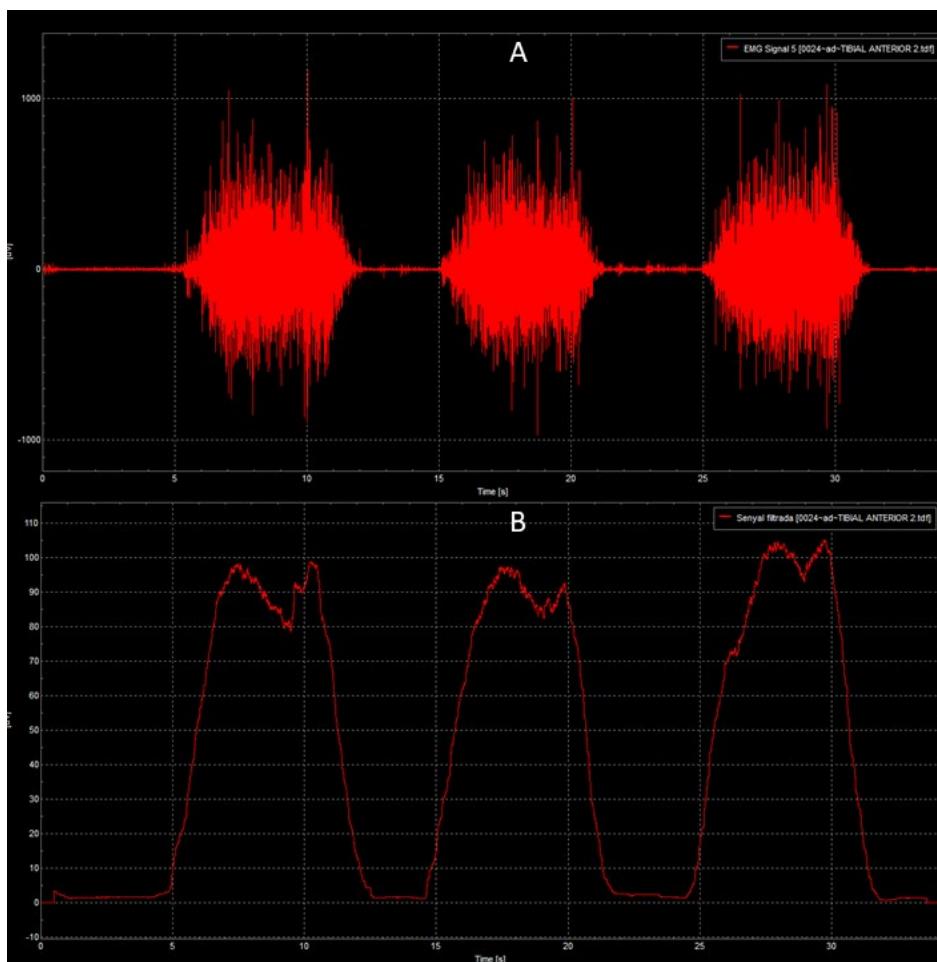
#### v. Activació muscular

Per a la valoració de l'activitat muscular es va registrar el senyal electromiogràfic (EMG) mitjançant el sistema BTS 100 FreeEMG (BTS Bioengineering, Garbagnate Milanese, Milan, Itàlia) de 5 canals. La posició del participant va ser la mateixa que la descrita durant la valoració de la força isomètrica màxima, ja que el registre va ser simultani. Els músculs registrats van ser el tibial anterior (com a representant principal de l'exercici de dorsiflexió), el recte femoral (com a representant del grup muscular quàdriceps durant l'exercici d'extensió de genoll), gluti mig (com a representant principal de l'exercici de abducció de maluc), bíceps femoral (com a representant del grup muscular isquiotibials durant l'exercici d'extensió de maluc), i gastrocnemi extern (com a representant del grup muscular tríceps sural durant l'exercici de plantiflexió). Se li va demanar al participant tres contraccions voluntàries màximes (CVM) dels músculs gluti mig, quàdriceps, isquiotibials, tibial anterior i tríceps sural.

Prèviament, es va rasurar el borrisol corporal a les zones de col·locació dels sensors i es va aplicar alcohol de 98° per netejar la superfície dèrmica. La col·locació dels sensors es va fer seguint els criteris establerts per la SENIAM (82), col·locats en parelles amb una separació de 1,5-2 cm, en paral·lel a les fibres musculars.

El registre de la senyal d'EMG ( $\mu\text{V}$ ) es va realitzar amb el programa EMG Analyzer (BTS Bioengineering, Itàlia), amb una freqüència de mostreig de 1024 Hz. La figura 6 mostra un exemple del resultat de registre de l'activació muscular mitjançant aquest sistema del tibial anterior del voluntari 17. Les dades obtingudes van ser processades posteriorment amb el mateix programa. El senyal en brut va ser filtrada per un filtre passabanda d'entre 40-400 Hz, pel filtre *Butterworth* i una freqüència de tall de 20Hz va ser utilitzada per reduir artefactes. A més, es va utilitzar un filtre d'osca centrat de 50 Hz per eliminar els artefactes produïts per la llum elèctrica del propi laboratori. Els valors de l'arrel de la mitjana quadràtica (RMS, per les seues sigles en anglès) dels 3 s centrals de les tres contraccions va ser utilitzada per a al posterior anàlisi.





**Figura 6. Exemple del senyal resultant del registre del tibial anterior a l'exercici de dorsiflexió del turmell (A) i filtrat amb el sistema EMG Analyzer (B)**

Les variables que es calcularen a partir del senyal electromiogràfic van ser l'amplitud del senyal màxima (*i.e.*, el promig dels pics de cadascuna de les contraccions) i l'amplitud del senyal mitjana (*i.e.*, el promig de l'amplitud mitjana de cadascuna de les contraccions). La valoració es va realitzar de forma sincrònica a la valoració de la força isomètrica, anteriorment descrita.

El material utilitzat per dur a terme l'avaluació de l'activitat muscular va ser el sistema d'electromiografia BTS 100 FreeEMG, el software EMG Analyzer, un ordinador portàtil Windows 10, Elèctrodes 5x5 cm (Nostrumspor), maquineta de rasurar, alcohol, cotó-en-pèl, sistema de suspensió per a MMII, i una cinta mètrica de precisió.

Aquesta avaluació es va executar junt a l'avaluació de força i, per tant, per a cada exercici es va realitzar una sèrie de tres repeticions de 5 s de duració, amb 5 s de descans entre elles. El temps total en aquestes dues proves realitzades conjuntament, va ser



d'aproximadament 20 min., incloent no només el registre, sinó també la col·locació del voluntari i els temps de descans.

#### vi. To i elasticitat de la musculatura

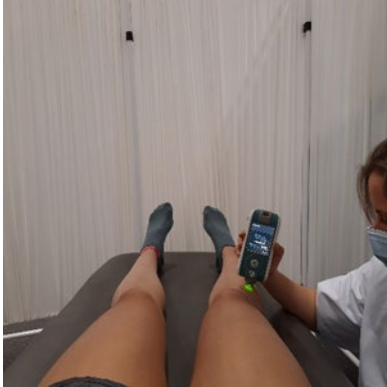



L'elasticitat del teixit muscular es va mesurar de manera indirecta amb un miotonòmetre MyotonPRO (83,84) que aplica una percussió sobre el teixit miofascial i permet reconèixer les propietats viscoelàstiques de la musculatura. Els músculs que es van valorar van ser el recte femoral (quàdriceps), el tibial anterior, el gluti major, el bíceps femoral (isquiotibials) i el gastrocnemi extern (tríceps sural). Amb una cinta mètrica, es van definir els punts dels ventres musculars on es va realitzar la valoració, fent-los coincidir amb els punts definits per SENIAM (82) per a la valoració de l'activitat muscular.

Per dur a terme la valoració, es van fer 5 repeticions sobre la musculatura descrita, sense descans entre les repeticions, tal com s'indica als protocols prèviament publicats (83,84). El recte femoral (quàdriceps) i el tibial anterior es valoraren amb el participant situat en decúbit supí, mentre que el gluti major, el bíceps femoral (isquiotibials) i el gastrocnemi extern (tríceps sural) es valoraren amb el participant en decúbit pro (taula 4).

La fiabilitat test-retest va ser ICC 0,89 (85) i el material necessari per dur a terme la valoració fou el sistema MyotonPro, una cinta mètrica, un retolador de pell i un llitera regulable en altura; i el temps emprat per a la valoració fou d'aproximadament 7 min.

Les variables resultants d'aquesta valoració foren la freqüència oscil·latòria natural (Hz.), i la rigidesa (N./m.). La freqüència oscil·latòria caracteritza la tensió intrínseca del teixit biològic a nivell cel·lular, en aquest cas, el to dels teixits musculoesquelètics durant l'estat de relaxació. La rigidesa caracteritza la resistència biològica dels teixits respecte a una força de deformació.

**Taula 4. Protocol de Valoració amb el Myoton**

<p><u>1. Tibial anterior</u></p>	 A person is lying on a table with their legs extended. A Myoton device is placed on the anterior tibia of the right leg. A person in a white lab coat is holding the device, and the screen shows a graph and data.
<p><u>2. Quàdriceps</u></p>	 A person is lying on a table with their legs extended. A Myoton device is placed on the quadriceps of the right leg. A person in a blue patterned shirt is holding the device, and the screen shows a graph and data.
<p><u>3. Gluti major</u></p>	 A person is lying on a table with their legs extended. A Myoton device is placed on the gluteus major of the right leg. A person in a white lab coat is holding the device, and the screen shows a graph and data.
<p><u>4. Isquiotibials</u></p>	 A person is lying on a table with their legs extended. A Myoton device is placed on the isiotibial muscles of the right leg. A person in a white lab coat is holding the device, and the screen shows a graph and data.



vii. Dolor

L'avaluació del dolor i la interferència d'aquest sobre la vida dels voluntaris es va dur a terme mitjançant el *Brief Pain Inventory* (BPI). Es tracta d'un qüestionari que avalua la intensitat del dolor i el seu impacte sobre l'estat d'ànim i la i les activitats de la vida diària. A més, recull un registre sobre la localització del dolor i la medicació emprada per a tractar-lo. Els participants no van canviar la seua medicació per al dolor durant els 6 mesos previs a l'estudi i la duració d'aquest.

Per a emplenar el qüestionari, la investigadora feia una entrevista al participant, preguntant tots els ítems que apareixen a l'escala. El material emprat va ser paper i bolígraf i el temps emprat va ser de 10 min. Les propietats d'aquest qüestionari es descriuen a continuació:

- Fiabilitat test-retest: ICC 0.53 - 0.77 (86).
- Consistència interna: Alfa de Cronbach de 0.87 - 0.89 (86).
- Validesa: es correlaciona amb el Roland-Morris Disability Questionnaire en  $r = 0,40 - 0,57$  (87).

La taula 5 mostra un resum de totes les variables resultants i el procediment utilitzat per a mesurar-les.

**Taula 5. Resum de les variables analitzades**

Variables	Valorada amb
Temps de marxa per recórrer 10 m (s)	<i>10MWT</i>
Assistència durant la marxa (punts)	<i>WISCI</i>
Equilibri estàtic:	
Desplaçament AP del CDP (mm)	<i>Time Up and Go</i> modificat,
Desplaçament ML del CDP (mm)	mesurat amb el sensor inercial
Àrea recorreguda pel CDP (mm <sup>2</sup> )	<i>FallSkip</i> .

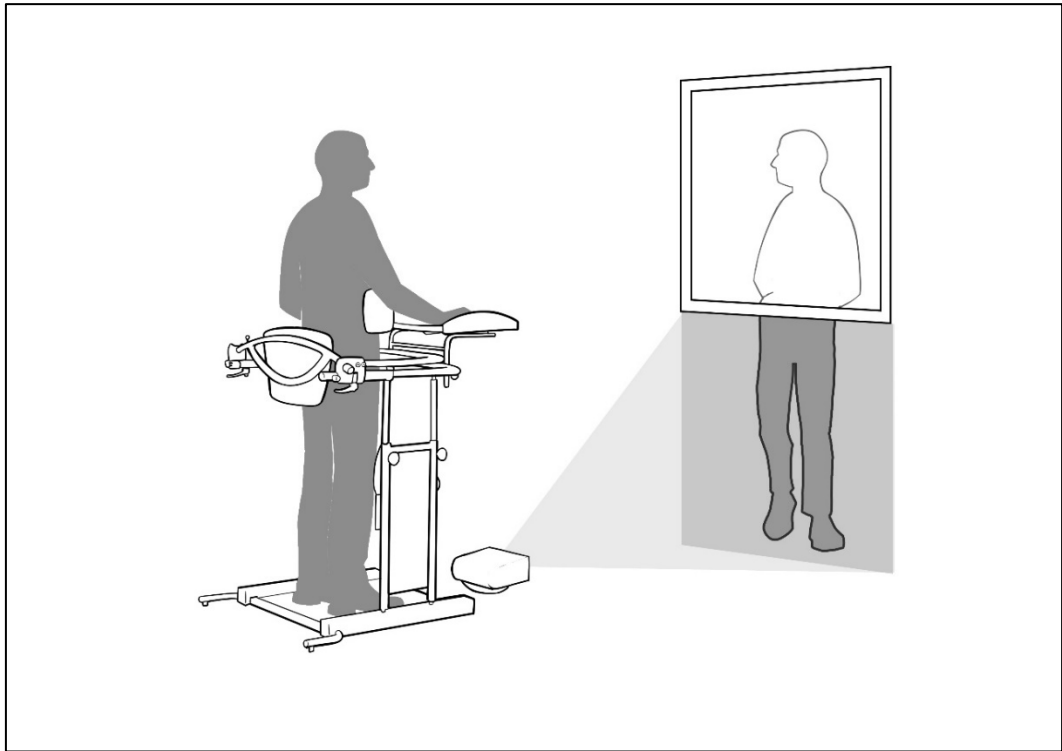
Marxa:	
Rang vertical del CDP (mm)	
Rang ML del CDP (mm)	
Temps total (s)	
Temps de reacció (s)	
Girar, seure i alçar-se:	
Potència per a alçar-se (w)	
Temps per a alçar-se (s)	
Temps per a seure (s)	
Força isomètrica màxima (N) de dorsiflexió i plantiflexió de turmell, flexoextensió de genoll i abducció de maluc.	Força isomètrica màxima, mesurada amb una cèl·lula de càrrega
Activació muscular ( $\mu V$ ) de tibial anterior durant el moviment de dorsiflexió, tríceps sural durant el moviment de plantiflexió, quàdriceps durant el moviment de d'extensió de genoll, isquiotibials durant el moviment d'extensió de maluc, i gluti mig durant el moviment d'abducció de maluc.	Contracció isomètrica màxima dels moviments descrits, mesurada amb un sistema d'electromiografia
To i rigidesa muscular	Miotonòmetre
Dolor neuropàtic (punts)	<i>Brief pain inventory</i>

Abreviatures: 10MWT: Meters Walking Test; AP: anteroposterior; CDP: centre de pressions; MAS: Modified Ashworth Scale; ML: mig-lateral; WISCI: Walking Index for Spinal Cord.

### 2.4.3 Protocols d'Intervenció

Es realitzaren un total de 18 sessions (3 sessions per setmana durant 6 setmanes) de 45 min de duració (figura 2), basant-nos en els criteris establerts per l'*American College of Sports Medicine* (88). Segons el grup assignat, els participant realitzaren dos tipus d'intervencions: i. GE: MV i ET o ii. GC: MV Placebo i ET. Per a cadascuna de les parts es procedia de la següent manera:

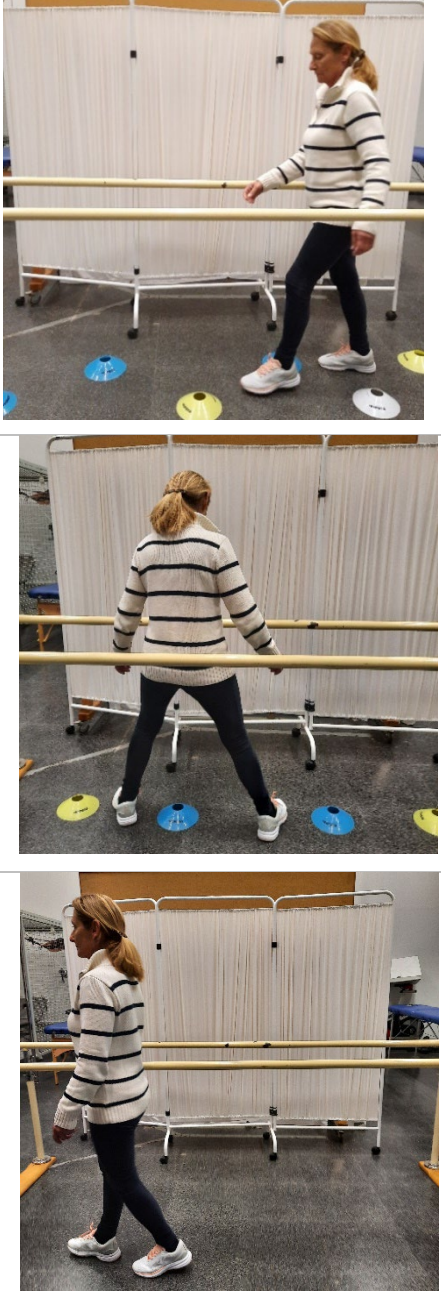

- MV: el participant es col·locava en bipedestació (amb un sistema d'ajuda dissenyat *ad-hoc*) davant d'un mirall (que reflectia l'hemicòs superior des de la cintura) i una pantalla ajustable en alçada (de cintura cap avall) on es projectava un vídeo d'unes cames caminant sobre un tapís rodant. Amb la finalitat que el o la participant sentira com a pròpies les cames projectades, es gravaren prèviament persones amb diferent volumetria, caminant per disposar d'enregistraments amb cames de mida i longitud diferents. Així, hi va haver una acomodació visual de les cames projectades a l'envergadura de cada participant, a la primera sessió, tal com es mostra a la figura 7. Aquest programa de MV durava 10 min.





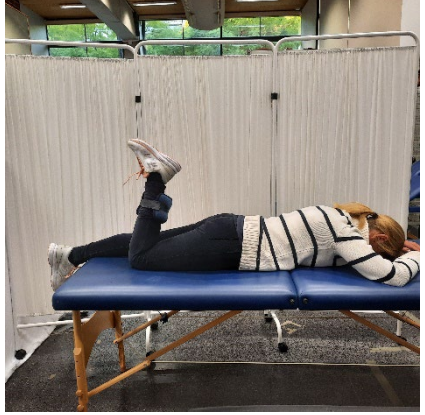
*Figura 7. Muntatge de la instrumentalització del participant durant la MV*


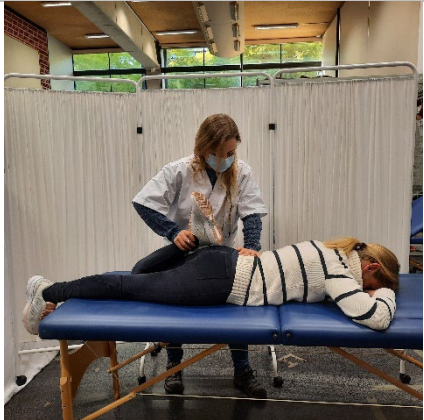
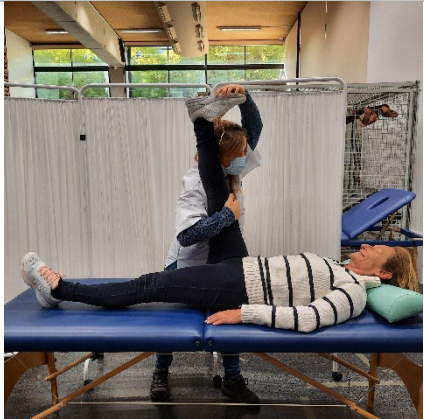
- MV placebo: la instrumentació dels i les participants va ser la mateixa que en la intervenció amb MV. Tot i això, la projecció constava d'una sèrie de vídeos en els quals no apareixia cap tipus de moviment humà o animal, amb la finalitat que no s'estimularen les àrees motores cerebrals (47).
- ET: La intervenció corresponent a l'ET (taula 6), es dividia en dues parts: en la primera es realitzava un entrenament de la tècnica de la marxa en què s'inclouïen exercicis de coordinació de la marxa i exercicis d'entrenament de l'equilibri. En la segona part es realitzava un entrenament de força de cames i estiraments. El protocol va ser adaptat a la condició física de cada participant, tenint en compte el nivell de fatiga percebut en cadascun dels exercicis. A la taula 6 es mostra la variació dels exercicis segons la capacitat funcional i la fatiga. A més, s'anava ajustant setmanalment a l'evolució de cada participant, segons la percepció subjectiva de l'esforç. La suma de totes dues parts van tindre una durada de 30 min.

**Taula 6. Programa d'exercicis**



Exercicis	Descripció	Figura
<p>Exercicis de coordinació</p>	<p><u>1. Marxa amb obstacles</u>                      El voluntari ha de realitzar marxa cap endavant sorteiant els cons, utilitzant les barres paral·leles per seguretat.  <b>Forma avançada:</b> augmentant la velocitat.  <b>Sèries:</b> 3  <b>Repeticions:</b> 3  <b>Descans ente sèries:</b> 1 min.</p> <p><u>2. Marxa lateral amb obstacles</u>                      El voluntari ha de realitzar marxa lateral sorteiant els cons, utilitzant les barres paral·leles per seguretat.  <b>Forma avançada:</b> augmentant la velocitat.  <b>Series:</b> 3  <b>Repeticions:</b> 3  <b>Descans ente sèries:</b> 1 min.</p> <p><u>3. Marxa cap enrere</u>                      El voluntari ha de realitzar marxa cap enrere, utilitzant les paral·leles per seguretat.  <b>Forma avançada:</b> augmentant la velocitat.  <b>Series:</b> 3  <b>Repeticions:</b> 3  <b>Descans ente sèries:</b> 1 min.</p>	
<p>Exercicis de força</p>	<p><u>4. Squat</u>                      Des d'una posició bípeda amb els peus separats a l'alçada dels malucs, es realitza una flexió de genolls i malucs, baixant lentament fins que les cuixes es situen en paral·lel amb el sòl, mantenint l'esquena recta, per després tornar a pujar.  <b>Forma avançada:</b> executant l'squat sobre un Bosu.</p>	



<p><b>Series:</b> 3</p> <p><b>Repeticions:</b> 3</p> <p><b>Descans ente sèries:</b> 1 min.</p> <p><u>5. Flexo-extensió de turmell amb pes corporal.</u></p> <p>Des d'una posició bípeda amb els peus separats a l'alçada dels malucs, es realitza una flexoextensió lenta de turmell amb els genolls estesos.</p> <p><b>Forma avançada:</b> utilitzant un step.</p> <p><b>Series:</b> 3</p> <p><b>Repeticions:</b> 3</p> <p><b>Descans ente sèries:</b> 1 min.</p>	
<p><u>6. Abducció de maluc.</u></p> <p>Des d'una posició bípeda amb els peus junts, es realitza una abducció de maluc lenta amb els genolls extesos. I el turmell a 90°, per després tornar a la posició inicial. La cama que queda recolzada al sòl es troba amb semiflexió de genoll.</p> <p><b>Forma avançada:</b> afegint pes als turmells.</p> <p><b>Series:</b> 3</p> <p><b>Repeticions:</b> 10</p> <p><b>Descans ente sèries:</b> 1 min.</p>	
<p><u>7. Flexió de genoll amb pes en decúbit pro.</u></p> <p>Des d'una posició en decúbit pro, sobre un llitera, es realitza una flexió de genoll lenta, per després tornar a la posició inicial. El maluc no s'ha de flexionar en cap moment.</p> <p><b>Forma avançada:</b> afegint pes als turmells.</p> <p><b>Series:</b> 3</p> <p><b>Repeticions:</b> 10</p> <p><b>Descans ente sèries:</b> 1 min.</p>	

<p>Exercici d'equilibri</p>	<p><b>8. Equilibri monopodal.</b></p> <p>Des d'una posició bípeda, es col·loca tot el pes del participant sobre una cama, intentant mantindre l'equilibri sense recolzar cap altre punt del cos. L'exercici es realitza a l'espatllera per seguretat.</p> <p><b>Forma avançada:</b> s'utilitza un bosu situat baix del peu recolzat al sòl.</p> <p><b>Sèries:</b> 3</p> <p><b>Repeticions:</b> 1</p> <p><b>Duració:</b> 1 min per cada cama</p> <p><b>Descans entre series:</b> 1 min.</p>	
<p>Estiraments</p>	<p><b>9. Estirament de quàdriceps</b></p> <p>En decúbit pro sobre un llitera, l'investigador realitza una flexió passiva de genoll.</p> <p><b>Forma avançada:</b> es col·loca una cunya sota el genoll per realitzar una mica d'extensió de maluc.</p> <p><b>Sèries:</b> 1</p> <p><b>Repeticions:</b> 1</p> <p><b>Duració:</b> 30 s per cada cama</p> <p><b>Descans entre series:</b> sense descans.</p>	
	<p><b>10. Estirament d'isquiotibials i tríceps sural</b></p> <p>En decúbit supí sobre un llitera, l'investigador realitza una flexió passiva de maluc, mantenint el genoll estés i el turmell dorsiflexionat.</p> <p><b>Sèries:</b> 1</p> <p><b>Repeticions:</b> 1</p> <p><b>Duració:</b> 30 s per cada cama</p> <p><b>Descans entre series:</b> sense descans.</p>	



	<p style="text-align: center;"><u>11. Estirament de glutis</u></p> <p>En decúbit supí sobre un llitera, l'investigador realitza una adducció passiva de maluc amb el genoll flexionat, mantenint la pelvis pegada a la llitera.</p> <p><b>Sèries:</b> 1</p> <p><b>Repeticions:</b> 1</p> <p><b>Duració:</b> 30 s per cada cama</p> <p><b>Descans entre series:</b> sense descans.</p>	
	<p style="text-align: center;"><u>12. Estirament d'adductors</u></p> <p>En decúbit supí sobre un llitera, l'investigador realitza una abducció passiva de maluc amb el genoll estès, mantenint la pelvis i l'altra cama en posició neutra.</p> <p><b>Repeticions:</b> 1</p> <p><b>Duració:</b> 30 s per cada cama</p> <p><b>Descans entre series:</b> sense descans.</p>	

### *Material utilitzat*

A continuació, es detalla el material utilitzat a les sessions d'intervenció.

- Un bipedestador per a mantenir de peu al participant durant la intervenció de MV o MV placebo.
- Un mirall de cos sencer, per a que es reflectia el participant des de la cintura cap amunt i per poder muntar la pantalla a la part inferior.
- Una pantalla, situada a la part inferior del mirall, a l'altura de les cames del participant.
- Paral·leles, per tal d'aportar seguretat als participants, en cas de necessitar-ho, durant els exercicis de coordinació descrits a la taula 6.
- Cons, per a afegir dificultat als exercicis de marxa.
- Espatllera, per a realitzar els exercicis *squat*, flexo-extensió de turmell amb pes, abducció de maluc i equilibri monopodal amb seguretat.
- Bosu, per afegir dificultat a l'exercici d'equilibri i d'*squat*.
- Llitera d'alçada regulable, per realitzar l'exercici de flexió de genoll amb pes en decúbit pro, i els estirament.

- Pesos d'1 i 2 kg per als turmells, per a regular la càrrega durant l'exercici de flexió de genoll amb pes en decúbit pro.

#### **2.4.4 Anàlisi de les dades**

L'anàlisi de dades es va dur a terme mitjançant el programa estadístic SPSS v28 (IBM Inc., Chicago, USA). Es va analitzar la normalitat de la mostra mitjançant el test Shapiro Wilk, l'homoscedasticitat dels grups mitjançant la prova de Levene i l'esfericitat mitjançant el test de Mauchly.

Per a l'anàlisi de la inferència, es va utilitzar una ANOVA factorial mixta, amb el factor entre subjectes "grup" amb dues categories (els dos grups inclosos a l'estudi) i amb el factor intra-subjectes "temps" amb 4 categories (incloent les 4 valoracions). Les variables dependents es detallen a la taula 5. Per a la comparació entre parells de valoracions es va fer servir la correcció de Sidack

Per a l'anàlisi de les variables extretes del dispositiu *FallSkip*, es va incloure la mesura T1 com a covariable, per controlar la gran variabilitat que mostraven els participants, deguda a les diferents ajudes utilitzades per a caminar, per tant s'utilitzà l'aproximació ANCOVA.

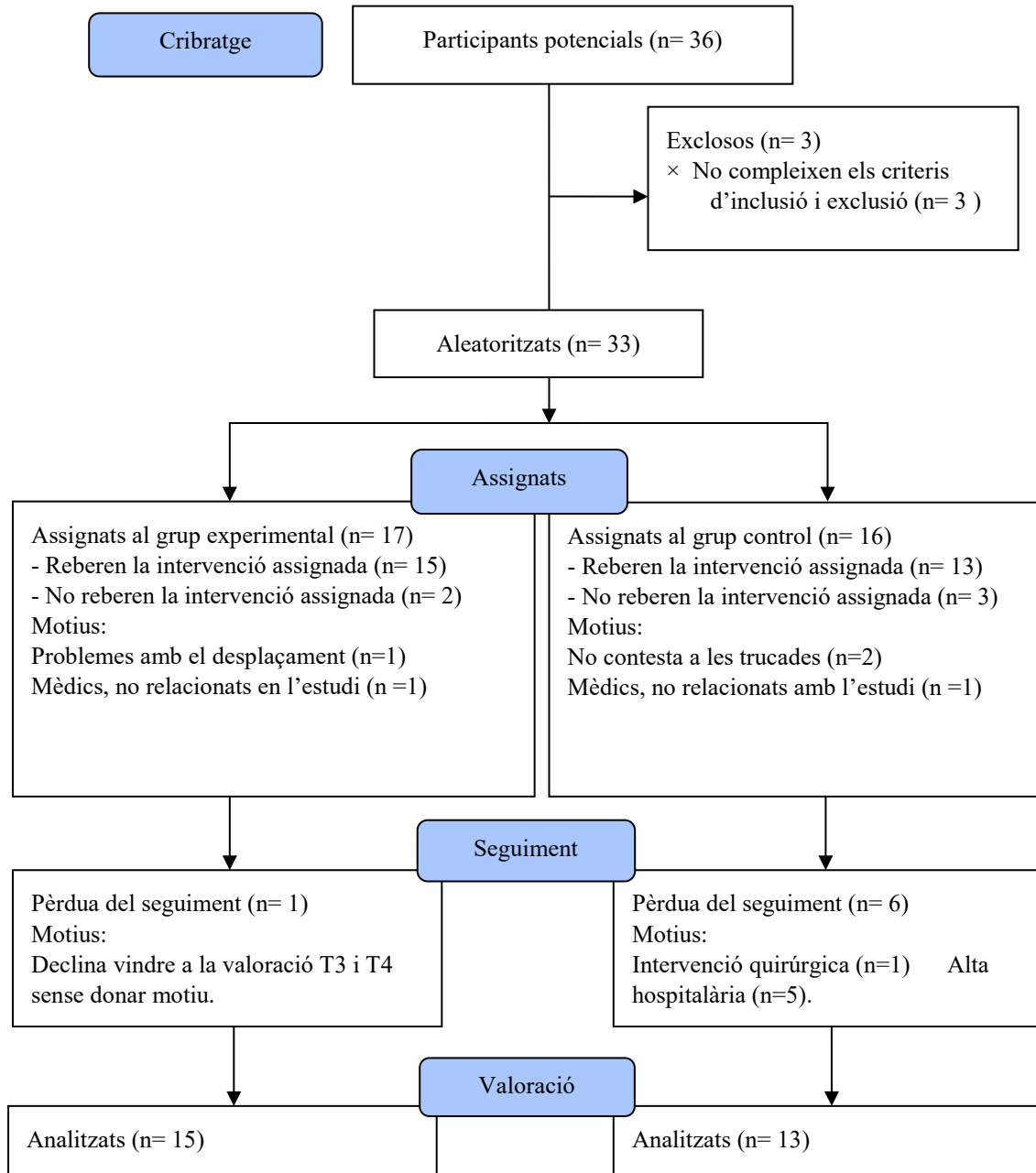
S'assumiren diferències o relacions estadísticament significatives quan el valor p fou inferior a 0,05.

# **3. RESULTATS**



### 3.1 Participants

A la figura 8 es mostra el diagrama de participants al llarg de l'estudi, amb els integrants inclosos en cada grup així com els exclosos. Al final de la figura, s'indica la mostra inclosa per a l'anàlisi T1 i T2.



*Figura 8. Diagrama de flux del participants al llarg de l'estudi*

La mostra es va conformar per 28 persones amb LM incompleta. A la taula 7 s'indiquen les dades demogràfiques dels participants, les dades clíniques de la seua lesió i el grup assignat.

**Taula 7. Dades demogràfiques i clíniques dels participants**

ID	Sexe	Edat	Cronicitat de la lesió	Nivell de lesió	Etiologia	AIS	Ajudes per a la marxa	Dolor	Grup
1	M	62	7 anys i 4 mesos	T5	Traumàtica	C	Paral·leles + bitutors	Sí	GE
2	M	48	6 anys i 5 mesos	T6	Traumàtica	C	Caminador + antiequí	No	GE
3	M	58	36 anys i 0 mesos	C5-C6	Traumàtica	D	Sense ajudes	Sí	GE
4	M	50	8 anys i 3 mesos	T12-L1	Tumor	D	Dues crosses	Sí	GE
5	F	64	5 anys i 3 mesos	C4-C7	Traumàtica	D	Sense ajudes	Sí	GE
6	M	72	11 anys i 1 mes	T12-L12	Traumàtica	D	Dues crosses	Sí	GE
7	M	46	5 anys i 4 mesos	T6-T7	Quirúrgica	C	Paral·leles + bitutors	Sí	GE
8	F	37	10 anys i 11 mesos	T10	Quirúrgica	C	Paral·leles + bitutors	Sí	GE
9	F	20	19 anys i 0 mesos	T4-L3	Congènita	D	Una crossa	Sí	GE
10	M	48	5 anys i 1 mes	L2-S1	Tumor	D	Dues crosses + antiequí	No	GE
11	F	48	1 any i 4 mesos	D8	Quirúrgica	C	Caminador	Sí	GE
12	M	39	4 anys i 6 mesos	L5-S1	Traumàtica	D	Antiequí	Sí	GE
13	M	40	4 anys i 9 mesos	C6-T1	Quirúrgica	D	Sense ajudes	No	GE
14	M	46	3 anys i 5 mesos	L3	Traumàtica	C	Antiequí	Sí	GE
15	F	52	3 anys i 6 mesos	L2	Infart medul·lar	C	2 Antiequins + paral·leles	No	GE
16	M	35	1 any i 5 mesos	C3-C6	Traumàtica	D	Antiequí	Sí	GC
17	F	65	1 any i 2 mesos	C4	Traumàtica	D	Sense ajudes	Sí	GC
18	F	68	1 any i 5 mesos	D5	Estenosi + Cirurgia	D	Caminador	Sí	GC
19	F	42	5 anys i 8 mesos	D12	Leptomenigitis	C	2 Bitutors + Paral·leles	Sí	GC
20	M	38	38 anys i 0 mesos	S1	Congènita	D	2 Crosses	No	GC
21	F	70	2 anys i 10 mesos	C4	Traumàtic	D	1 Crossa	Sí	GC
22	M	77	1 any i 0 mesos	L3-L4	Estenosi + Cirurgia	D	Caminador	No	GC
23	M	40	1 any i 2 mesos	C4	Traumàtic	C	2 Crosses	Sí	GC
24	F	69	2 anys i 2 mesos	C4-C7	Siringomielia	D	Caminador	Sí	GC
25	M	28	1 any i 1 mes	C1-C2	Vascular	C	Caminador + antiequí	Sí	GC

26	F	22	5 anys i 5 mesos	T11-T12	Traumàtic	C	2 Bitutors + Paral·leles Caminador	No	C
27	M	43	1 any i 6 mesos	C5	Traumàtic	D	Sense ajudes	Sí	C
28	F	31	1 any i 7 mesos	T2-T3	Vascular	D	Sense ajudes	Sí	C

Abreviatures: AIS: ASIA Impairment Scale; M: Masculí; F: Femení; E: Experimental; C: Control.

Tots els participants es trobaven clínicament estables i cap d'ells va canviar la medicació o la dosi durant els 6 mesos previs a l'estudi i/o durant la realització d'aquest.

No es va trobar diferència estadísticament significativa entre grups segons a l'edat (48,67 [12,53] anys per al GE, i 48,31 [18,74] anys per al GC). En canvi, sí que hi existia una diferència estadísticament significativa en el factor cronicitat de la lesió ( $\bar{x}= 8,81$ ;  $\sigma=8,65$  anys al GE i  $\bar{x}= 2,26$ ;  $\sigma= 1,60$  anys per al GC), encara que tots dos pertanyien a la categoria de crònics.

A continuació es detallen els resultats de les variables dependents, analitzades en funció del factor valoració, comparant el resultat de les avaluacions posteriors a la intervenció amb les valoracions prèvies. Els resultats de l'ANOVA factorial mixta (*i.e.* F de Snedecor i mesura de l'efecte de cada factor i de la interacció de factors) es resumeixen a l'Annex VII.

### 3.2 Funcionalitat

En aquest apartat es mostren els resultats de l'avaluació de la marxa, mesurada amb el 10MWT, el WISCI i el dispositiu *FallSkip*; l'equilibri, mesurat amb el dispositiu *FallSkip*; i les activitats de girar, seure i aixecar-se d'una cadira, també mesurades amb el dispositiu *FallSkip*.

#### 3.2.1 Marxa

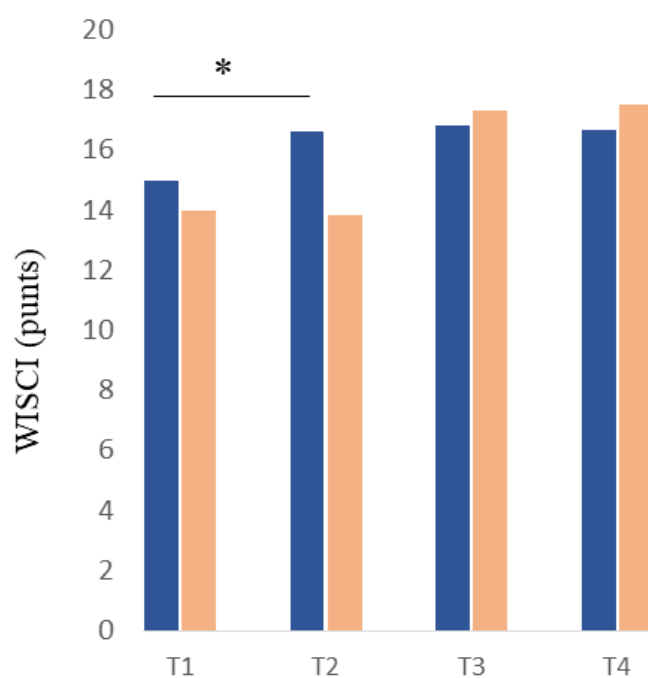
Amb respecte a la velocitat de la marxa, mesurada amb el 10MWT (taula 8), el GE mostra una millora estadísticament significativa al T2 amb respecte al T1 (dif.  $\bar{x}= -7,88$  s,  $p < 0,05$ ,  $d= -0,65$ ), però aquesta millora no es manté a les valoracions de seguiment (T3 i T4;  $p>0,05$ ). En canvi, el GC no mostra millores estadísticament significatives després de la intervenció (comparacions de T2, T3 o T4 amb respecte al T1;  $p > 0,05$ ).

**Taula 8. Resultats de la velocitat de la marxa en els grups, mesurada amb el 10MWT**

	GE (N=13)				GC (N=12)			
	T1 (N=15)	T2 (N=15)	T3 (N=12)	T4 (N=12)	T1 (N=13)	T2 (N=13)	T3 (N=6)	T4 (N=6)
10MWT (s.)	20,30 (15,39)	12,42 (5,44)*	11,03 (4,27)	11,64 (4,49)	28,30 (29,97)	22,53 (21,79)	19,37 (20,35)	17,33 (2,80)

\*  $p < 0,05$  comparant amb T1. Les dades s'expressen en mitjana i (desviació estàndard). Abreviatures: 10MWT: 10 Meteres Walking Test; GE: Grup Experimental; GC: Grup Control.

De la mateixa manera, la quantitat d'ajudes utilitzades per a la marxa, mesurades amb l'escala WISCI (figura 9) també presenta una millora estadísticament significativa al T2 en comparació amb la mesura T1 (dif.  $\bar{x}$ = 1,62 s,  $p < 0,05$ ,  $d= 0,90$ ) per al GE. Com la velocitat de la marxa, aquesta millora tampoc es manté en les valoracions de seguiment (T3 i T4;  $p > 0,05$ ). El GC, en canvi, no mostra diferències estadísticament significatives entre cap de les mesures.



**Figura 9. Resultats de la quantitat d'ajudes necessàries per a la marxa en els grups, mesurades amb WISCI**

\*  $p < 0,05$  comparant amb T1. Abreviatures: GE: Grup Experimental (mostrat en blau); GC: Grup Control (mostrat en taronja); WISCI: Walking Index for Spinal Cord.

Pel que fa a la qualitat de la marxa (taula 9), el rang vertical i ML, registrats amb el dispositiu *FallSkip*, no mostren diferències estadísticament significatives entre les valoracions ( $p > 0,05$ ). El temps de reacció, en canvi, mostra una reducció significativa



tant per al GE (dif.  $\bar{x} = -0,53$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -1,10$ ) com per al GC (dif.  $\bar{x} = -1,14$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -1,00$ ), però aquesta reducció no es manté a les valoracions de seguiment (T3 i T4).

El temps total per a realitzar el TUG modificat també es veu significativament reduït a la valoració T2 amb respecte a la valoració T1 per al GE (dif.  $\bar{x} = -2,95$  s,  $p < 0,05$ ,  $d = -1,54$ ) i per al GC (dif.  $\bar{x} = -3,46$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -1,30$  per al GC), però solament el GE manté aquesta reducció durant les avaluacions de seguiment T3 (dif.  $\bar{x} = -6$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -1,48$ ) i T4 (dif.  $\bar{x} = -4,87$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -1,46$ ).

**Taula 9. Variables referents a la marxa mesurades amb el sensor inercial FallSkip**

	GE				GC			
	T1 (N=7)	T2 (N=7)	T3 (N=6)	T4 (N=6)	T1 (N=10)	T2 (N=10)	T3 (N=6)	T4 (N=6)
Marxa (Rang V, mm)	55,06 (38,83)	48,11 (18,71)	45,00 (24,87)	39,49 (22,73)	42,06 (19,48)	49,42 (30,19)	40,84 (22,00)	45,36 (29,21)
Marxa (Rang ML, mm)	87,90 (32,81)	94,00 (37,18)	85,89 (41,61)	81,85 (23,39)	58,79 (27,00)	60,77 (32,63)	52,33 (24,39)	67,81 (23,20)
Temps de reacció (s)	1,51 (0,77)	0,98 (0,43) *	0,77 (0,35)	0,89 (0,33)	1,24 (0,75)	0,91 (0,49) *	1,08 (0,82)	1,11 (0,65)
Temps total (s)	17,78 (9,26)	14,83 (4,56) *	11,78 (2,45) *	12,91 (1,79) *	20,24 (8,24)	16,78 (5,80) *	17,74 (8,43)	18,14 (7,36)

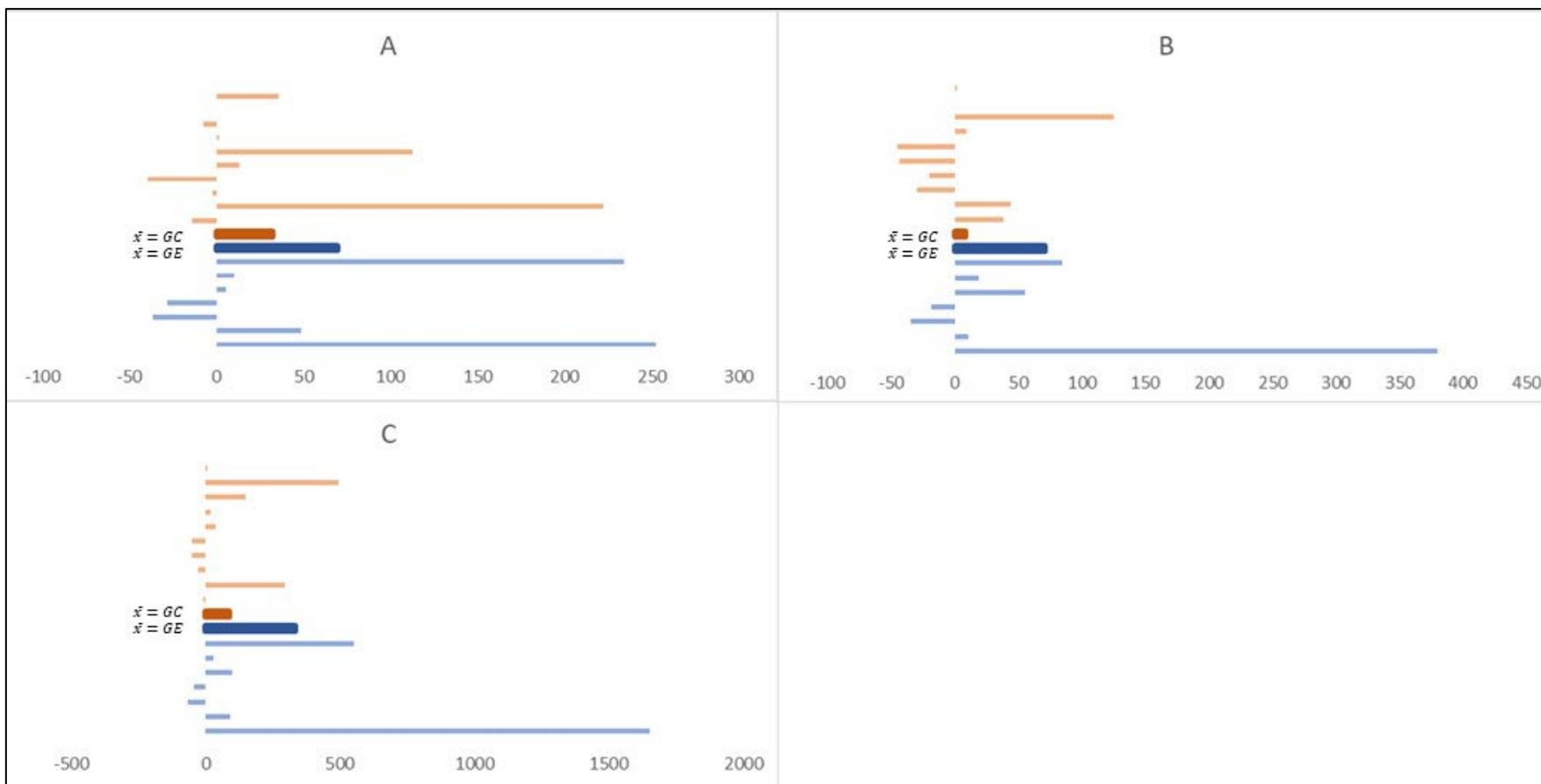
\* $p < 0,05$  comparant amb T1. Les dades s'expressen en mitjana i (desviació estàndard). Abreviatures: GE: Grup Experimental; GC: Grup Control. T1: valoració prèvia a la intervenció; T2: valoració posterior a la intervenció; T3: valoració de seguiment, un mes després de finalitzar la intervenció; T4: valoració de seguiment, tres mesos després de finalitzar la intervenció.

Cal destacar que un voluntari del GE i un del GC que no foren capaços de realitzar la prova al T1, sí la varen poder realitzar durant les valoracions T2, T3 i T4.

### 3.2.2 Equilibri

La figura 10 mostra el percentatge de millora entre les valoracions T1 i T2 del desplaçament ML i AP, i l'àrea recorreguda pel centre de pressions (CDP) durant la prova d'equilibri, mesurat amb el dispositiu *FallSkip*. Totes aquestes mesures mostren un percentatge de millora major al GE que al GC entre les valoracions T1 i T2, però aquestes millores no mostren una significació estadística per al desplaçament AP i l'ària del CPD.

En canvi, el GE redueix de forma significativa el desplaçament ML al T2 en comparació amb T1 (dif.  $\bar{x} = -2,77$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -0,89$ ) durant la prova d'equilibri (taula 10). El GC, per contra, no mostra diferències estadísticament significatives entre les valoracions ( $p > 0,05$ ).



**Figura 10.** Percentatge de millora als desplaçaments miglateral (ML) i anteroposterior (AP), i a l'àrea, durant la prova d'equilibri mesurat amb el dispositiu FallSkip.

A: % de millora al desplaçament ML (mm); B: % de millora al desplaçament AP (mm); C: % de millora l'àrea (mm<sup>2</sup>). Abreviatures: GC: grup control (color taronja);

GE: grup experimental (color blau).

Quan es compara l'avaluació prèvia amb les avaluacions de seguiment en el GE, s'observa que el desplaçament AP, ML i l'àrea recorreguda pel CDP durant aquesta prova es redueixen significativament (dif.  $\bar{x} = -12,28$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -1,70$ ; dif.  $\bar{x} = -3,78$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -1,43$ , respectivament i dif.  $\bar{x} = -485,24$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -0,31$ , respectivament).

**Taula 10. Resultat d'equilibri estàtic mesurat amb el sensor inercial FallSkip**

	GE				GC			
	T1 (N=7)	T2 (N=7)	T3 (N=6)	T4 (N=6)	T1 (N=10)	T2 (N=10)	T3 (N=6)	T4 (N=6)
Equilibri (desplaçament ML, mm)	8,49 (6,71)	5,72 (3,64)*	6,75 (4,48)	4,71 (3,26)*	9,41 (4,39)	8,32 (4,05)	9,63 (5,33)	8,35 (3,17)
Equilibri (desplaçament AP, mm)	25,26 (6,92)	19,76 (9,99)	16,44 (5,93)	12,98 (3,04)*	22,41 (7,45)	23,20 (7,98)	31,37 (27,43)	26,68 (12,03)
Equilibri (Àrea, mm <sup>2</sup> )	635,78 (543,59)	381,44 (406,70)	370,79 (287,18)	150,54 (83,96)*	691,71 (393,08)	558,05 (336,01)	1060,56 (1164,81)	610,31 (427,71)

\* $p < 0,05$  comparant amb T1. Les dades s'expressen en mitjana i (desviació estàndard). Abreviatures: AP: anteroposterior; GC: grup control; GE: grup experimental; ML: Miglateral; T1: valoració prèvia a la intervenció; T2: valoració posterior a la intervenció; T3: valoració de seguiment, un mes després de finalitzar la intervenció; T4: valoració de seguiment, tres mesos després de finalitzar la intervenció.

### 3.2.3 Avaluació de les tasques funcionals girar-se, seure's i aixecar-se

A la taula 11 es mostren els resultats referents les avaluacions de girar-se, seure's i aixecar-se, també mesurades amb el dispositiu *FallSkip*. Quan s'analitza el gest de girar-se i seure's, es mostra una reducció significativa del temps necessari per portar-lo a terme al T2 amb respecte al T1 al GE (dif.  $\bar{x} = -1,09$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -1,16$ ) i al GC (dif.  $\bar{x} = -1,88$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -1,12$ ); aquestes millores solament es mantenen per al GE a les valoracions de seguiment, és a dir, al T3 (GE (dif.  $\bar{x} = -1,97$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -1,79$ ) i al T4 (dif.  $\bar{x} = -2,00$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -2,48$ ).

Per al gest d'aixecar-se, solament es mostren diferències estadísticament significatives per al temps requerit per executar-lo a la valoració T4 amb respecte a la valoració T1 per al GE (dif.  $\bar{x} = -1,41$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -4,19$ ) i per al GC (dif.  $\bar{x} = -2,17$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -4,64$ ). En canvi, la potència desenvolupada per executar el gest no experimenta canvis significatius en cap dels grups ( $p > 0,05$ ).

**Taula 11. Resultats de la valoració de girar, seure i aixecar-se mesurats amb el FallSkip**

	GE				GC			
	T1 (N=7)	T2 (N=7)	T3 (N=6)	T4 (N=6)	T1 (N=10)	T2 (N=10)	T3 (N=6)	T4 (N=6)
Temps de girar i seure (s)	4,72 (3,21)	3,63 (1,58)*	2,75 (0,82)*	2,72 (0,15)*	6,03 (4,56)	4,15 (2,17)*	4,65 (2,93)	4,64 (1,70)
Potència a l'aixecar-se (w)	212,77 (120,49)	195,16 (99,58)	214,98 (75,49)	222,14 (107,21)	182,54 (142,42)	158,33 (93,88)	142,65 (76,49)	228,33 (76,47)
Temps d'aixecar-se (s)	3,05 (4,37)	2,19 (1,60)	1,59 (0,32)	1,64 (0,56)*	3,68 (5,45)	2,76 (2,04)	3,99 (4,97)	1,51 (0,82)*

\* $p < 0,05$  comparant amb T1. Les dades s'expressen en mitjana i (desviació estàndard). Abreviatures: GE: Grup Experimental; GC: Grup Control. T1: valoració prèvia a la intervenció; T2: valoració posterior a la intervenció; T3: valoració de seguiment, un mes després de finalitzar la intervenció; T4: valoració de seguiment, tres mesos després de finalitzar la intervenció.

### 3.3 Força i activació muscular

En aquest apartat, es mostren els resultats de l'avaluació de la força (taula 12) i de l'activació muscular (taula 13) durant la MVIC per als diferents músculs (*i.e.*, tibial anterior, quàdriceps, gluti mig, isquiotibials i tríceps sural) durant els moviments de dorsiflexió de turmell, extensió de genoll, abducció de maluc, extensió de maluc i plantiflexió del turmell, respectivament. La força (N) es va registrar amb la cèl·lula de càrrega, sincrònicament amb el registre de l'activació muscular mitjançant EMG.

A l'analitzar la força, es trobaren millores estadísticament significatives per l'exercici d'extensió de maluc (isquiotibials) després de la intervenció del GE (dif.  $\bar{x}$  T2- T1 = 9,1 N,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,60$ ) i per al GC (dif.  $\bar{x}$  T2 - T1 = 18,12 N,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,64$ ). En canvi, per a la resta de gestos de MMII (*i.e.*, dorsiflexió de turmell, extensió de genoll, abducció de maluc, i plantiflexió del turmell), no es van mostrar diferències estadísticament significatives entre cap de les valoracions, a cap dels grups.

**Taula 12. Resultats de la força màxima (N) registrada durant la contracció isomètrica voluntària màxima**

	GE				GC			
	T1 (N=15)	T2 (N=15)	T3 (N=14)	T4 (N=14)	T1 (N=13)	T2 (N=13)	T3 (N=7)	T4 (N=7)
Tibial Anterior	47,30 (49,33)	65,13 (61,00)	56,17 (52,76)	70,17 (58,56)	48,58 (47,86)	69,85 (62,39)	57,91 (46,66)	67,43 (50,54)
Quàdriceps	88,04 (52,04)	98,48 (59,90)	101,97 (67,72)	83,26 (62,75)	99,25 (52,85)	103,90 (58,10)	89,40 (47,43)	91,33 (43,54)
Gluti Mig	64,42 (39,81)	89,25 (64,67)	86,96 (58,07)	69,07 (56,31)	61,46 (33,35)	87,80 (37,45)	81,73 (44,76)	84,31 (46,44)
Isquiotibials	72,00 (62,97)	81,10 (76,68)*	83,61 (78,83)	74,82 (96,37)	71,06 (36,48)	89,18 (49,84)*	103,75 (46,24)	84,51 (36,71)
Tríceps Sural	54,29 (56,16)	73,00 (68,44)	68,42 (73,34)	77,29 (97,86)	53,14 (45,57)	61,83 (55,04)	76,04 (58,95)	86,28 (80,35)

\*  $p < 0,05$  comparant amb T1. Les dades s'expressen en mitjana i (desviació estàndard). Abreviatures: GE: Grup Experimental; GC: Grup Control; T1: valoració prèvia a la intervenció; T2: valoració posterior a la intervenció; T3: valoració de seguiment, un mes després de finalitzar la intervenció; T4: valoració de seguiment, tres mesos després de finalitzar la intervenció.

Malgrat la millora de força als isquiotibials, els resultats de l'activació muscular, mesurada amb EMG, no va mostrar diferències estadísticament significatives en cap de les valoracions per a cap dels exercicis ( $p > 0,05$ ).

**Taula 13. Resultats de l'activació muscular, mesurada amb EMG**

	GE				GC			
	T1 (N=15)	T2 (N=15)	T3 (N=14)	T4 (N=13)	T1 (N=12)	T2 (N=12)	T3 (N=7)	T4 (N=7)
	Amplitud màxima ( $\mu$ V)							
Tibial anterior	116,54 (127,67)	137,10 (185,51)	125,79 (155,91)	126,44 (143,78)	91,30 (68,34)	93,95 (86,47)	103,84 (73,40)	95,44 (130,96)
Quàdriceps	163,13 (156,78)	155,35 (110,14)	185,78 (156,54)	130,91 (69,49)	70,07 (37,42)	104,46 (109,20)	75,80 (41,90)	89,83 (38,58)
Gluti mig	55,29 (48,82)	63,39 (72,95)	59,87 (70,41)	60,58 (53,08)	57,97 (61,29)	66,57 (50,13)	78,21 (76,73)	76,92 (99,26)
Isquiotibials	92,62 (83,08)	92,30 (90,15)	93,44 (79,30)	141,18 (139,43)	82,99 (66,53)	90,28 (68,66)	70,25 (43,64)	73,12 (42,54)
Tríceps sural	52,64 (48,86)	48,50 (50,07)	37,57 (31,75)	38,39 (33,27)	37,07 (31,26)	50,65 (54,18)	33,17 (37,61)	42,75 (53,68)
	Amplitud mitjana ( $\mu$ V)							
Tibial anterior	109,80 (119,04)	126,93 (166,68)	114,33 (144,90)	108,05 (137,08)	68,38 (60,87)	85,43 (80,36)	94,14 (68,66)	86,15 (117,46)
Quàdriceps	153,02 (148,15)	145,78 (102,52)	152,25 (129,59)	113,60 (58,56)	64,14 (33,05)	94,29 (92,93)	65,93 (34,76)	81,06 (33,96)
Gluti mig	51,69 (46,39)	58,45 (68,33)	51,37 (66,06)	49,70 (44,20)	35,66 (27,94)	54,09 (55,91)	64,83 (21,23)	61,87 (73,59)
Isquiotibials	87,68 (77,24)	87,05 (85,01)	86,89 (75,08)	126,26 (127,29)	75,53 (61,34)	84,32 (59,19)	62,63 (39,33)	76,56 (56,48)
Tríceps sural	48,89 (45,45)	46,07 (48,59)	33,70 (29,11)	34,83 (31,30)	33,06 (30,06)	48,36 (53,11)	29,67 (34,98)	38,16 (50,11)

\*  $p < 0,05$  comparant amb T1. Les dades s'expressen en mitjana i (desviació estàndard). Abreviatures: EMG: Electromiografia; GE: Grup Experimental; GC: Grup Control. T1: valoració prèvia a la intervenció; T2: valoració posterior a la intervenció; T3: valoració de seguiment, un mes després de finalitzar la intervenció; T4: valoració de seguiment, tres mesos després de finalitzar la intervenció.

### 3.4 To muscular, tensió i rigidesa

A la taula 14 es mostren els resultats per a la rigidesa muscular obtinguts a les valoracions, emprant el Myoton per als músculs tibial anterior, quàdriceps, gluti mig, isquiotibials i tríceps sural.

No es mostren canvis estadísticament significatius ( $p > 0,05$ ) per a la rigidesa tant al grup que rep un programa aïllat d'ET com el grup que combina aquest amb teràpia de MV ni al finalitzar la intervenció (T2) ni a les valoracions de seguiment (T3 i T4).

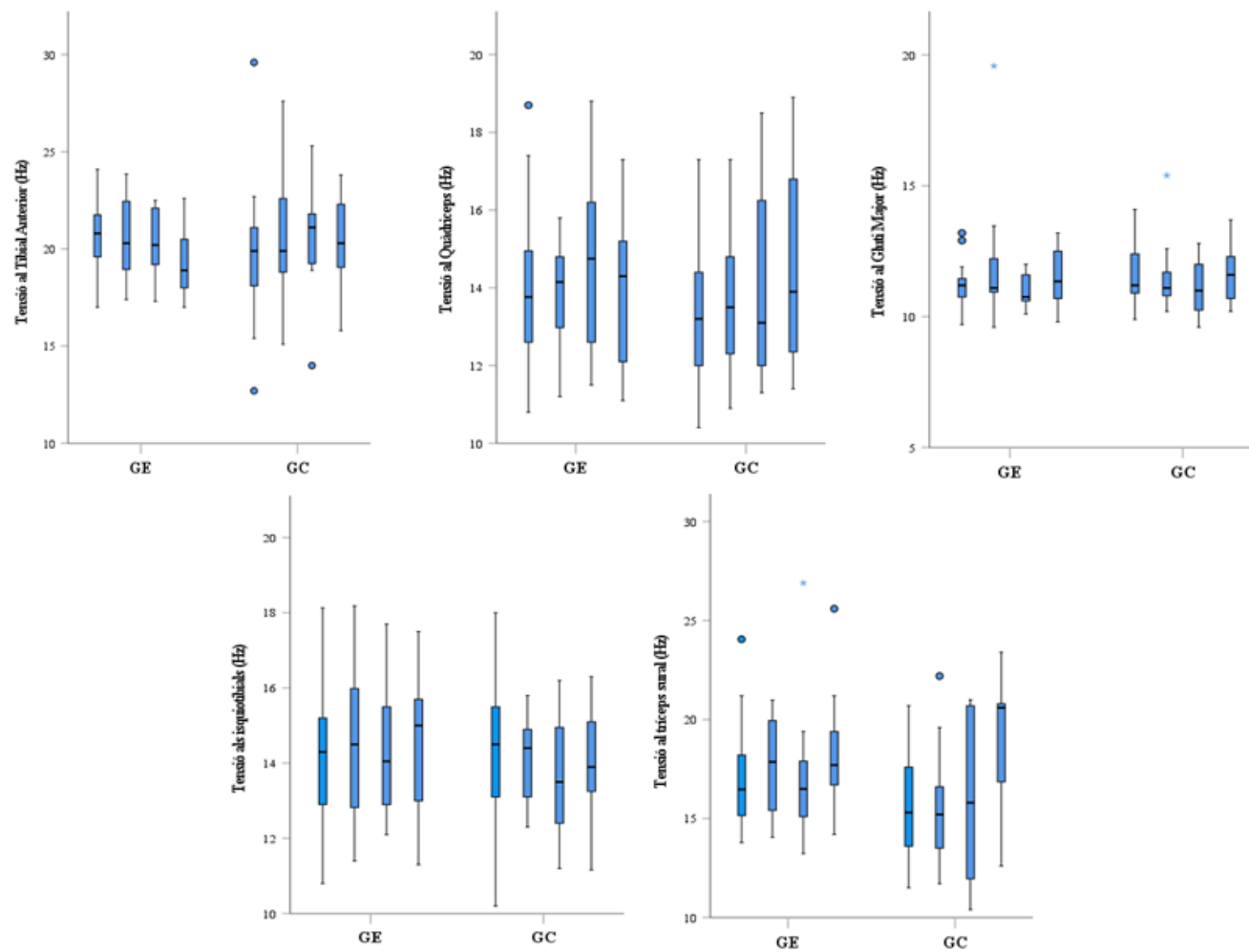
**Taula 14 . Resultats per a la rigidesa muscular mesurada amb el Myoton**

	GE				GC			
	T1 (N=15)	T2 (N=15)	T3 (N=14)	T4 (N=14)	T1 (N=13)	T2 (N=13)	T3 (N=7)	T4 (N=7)
Tibial anterior (N/m)	442,45 (63,57)	435,09 (96,23)	432,43 (52,66)	407,00 (57,30)	426,15 (121,69)	450,08 (142,86)	430,80 (123,71)	451,60 (121,57)
Quàdriceps (N/m)	264,88 (48,16)	265,84 (29,49)	278,14 (45,77)	265,64 (44,80)	261,62 (39,53)	270,31 (36,21)	301,00 (63,90)	295,20 (57,30)
Gluti major (N/m)	212,68 (26,00)	212,48 (33,50)	209,93 (18,76)	207,21 (35,31)	214,38 (35,08)	206,15 (45,01)	209,93 (18,76)	207,21 (35,31)
Isquiotibials (N/m)	267,60 (31,38)	256,46 (51,95)	262,21 (40,80)	256,57 (37,55)	256,46 (51,94)	253,23 (36,70)	254,60 (43,23)	261,00 (31,36)
Tríceps sural (N/m)	341,73 (67,65)	333,44 (58,53)	324,40 (34,96)	367,29 (107,28)	298,85 (56,04)	301,38 (77,19)	339,40 (100,39)	383,40 (112,29)

*Les dades s'expressen en mitjana i (desviació estàndard). Abreviatures: GE: Grup Experimental; GC: Grup Control. T1: valoració prèvia a la intervenció; T2: valoració posterior a la intervenció; T3: valoració de seguiment, un mes després de finalitzar la intervenció; T4: valoració de seguiment, tres mesos després de finalitzar la intervenció.*

A la figura 11 es mostren els resultats obtinguts a les valoracions de la tensió per dels músculs per als músculs tibial anterior, quàdriceps, gluti mig, isquiotibials i tríceps sural mesurada també amb el Myoton.

No existeixen diferències estadísticament significatives ( $p > 0,05$ ) per a la rigidesa a les valoracions T2, T3 i T4 respecte a la valoració T1 en cap dels dos grups.



**Figura 11. Resultats per a la tensió muscular mesurada amb el Myoton**

Les barres es distribueixen de la següent manera: T1, T2, T3 i T4. Abreviatures: GC: grup control; GE: grup experimental. T1: valoració prèvia a la intervenció; T2: valoració posterior a la intervenció; T3: valoració de seguiment, un mes després de finalitzar la intervenció; T4: valoració de seguiment, tres mesos després de finalitzar la intervenció.



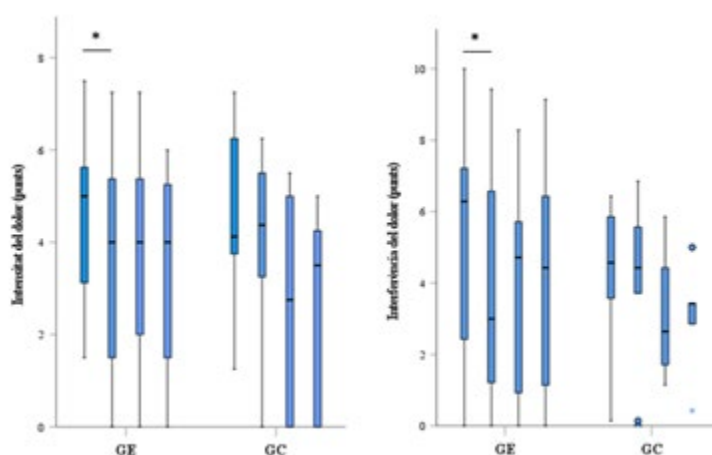
### 3.5 Dolor

Pel que fa al dolor, la figura 10 mostra els resultats per a les quatre valoracions (*i.e.*, T1-T4) en els dos grups atenent a la intensitat del dolor (A) i la interferència que produeix aquest sobre l'estat d'ànim i les activitats bàsiques de la vida diària (B), mesurades amb BPI.

Aquest anàlisi solament es va dur a terme en els participants que presentaven dolor a l'inici de l'estudi. Onze van ser les persones del GE que presentaven dolor neuropàtic a l'inici, però aquesta intensitat es va veure significativament reduïda a la valoració T2 (dif.  $\bar{x} = -0,98$  punts,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,69$ ; figura 10 [A]). Aquesta reducció no es va mantenir a les valoracions T3 i T4 ( $p > 0,05$ ).

La reducció de la intensitat del dolor per al GE va anar acompanyada d'una reducció significativa de la interferència d'aquest (figura 10 [B]) sobre l'estat d'ànim i les activitats bàsiques de la vida diària (dif.  $\bar{x} = -1,26$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = -0,71$ ). Igualment, aquesta reducció no es va mantenir a les valoracions de seguiment ( $p > 0,05$ ).

Pel que fa al GC, deu persones presentaven dolor neuropàtic a l'inici de l'estudi i, tant la intensitat com la interferència d'aquest no es van veure modificades al llarg de les valoracions ( $p > 0,05$ , figura 16 [A] i [B]).



**Figura 12. Resultats de la intensitat del dolor i la interferència que produeix aquest sobre l'ànim i les activitats de la vida diària.**

\*  $p < 0,05$  en comparació amb T1. Les barres es distribueixen de la següent manera: T1, T2, T3 i T4. Abreviatures: GC: grup control; GE: grup experimental. T1: valoració prèvia a la intervenció; T2: valoració posterior a la intervenció; T3: valoració de seguiment, un mes després de finalitzar la intervenció; T4: valoració de seguiment, tres mesos després de finalitzar la intervenció.



## **4. DISCUSSIÓ**



L'objectiu general d'aquest estudi va ser avaluar l'efecte d'afegir un programa d'estimulació de neurones mirall amb MV a un programa d'ET sobre la funció motora, el to muscular i el dolor en persones amb LM incompleta.

Fins a la data, aquest és el primer estudi que ha analitzat l'efectivitat d'aquest tipus de teràpia, combinada amb un programa d'ET, sobre la funció motora (caminar, mantenir l'equilibri, girar-se, seure's i aixecar-se), la força isomètrica màxima i l'activació muscular, el to muscular, el dolor neuropàtic percebut i la seua interferència amb l'estat d'ànim i la vida diària, en persones amb una LM incompleta. L'estudi s'ha portat a terme per contrastar la hipòtesi de que l'activació de les neurones mirall sobre aquesta població estimula la neuroplasticitat, produint canvis adaptatius. D'aquesta manera, es pretén aportar coneixements sobre com els mecanismes de neuroplasticitat, activats a través de l'estimulació de les neurones mirall i l'ET, poden influenciar la recuperació de persones amb LM incompleta.

Els resultats generals d'aquesta investigació mostren que el protocol aplicat al GE (MV + ET) millora la velocitat de la marxa, així com redueix les ajudes necessàries per a executar-la; millora l'eficiència per a dur a terme activitats funcionals de la vida diària (temps de reacció per començar a caminar, temps per girar-se i seure, i temps total per executar una prova funcional combinada [*i.e.*, TUG modificat]); millora l'equilibri estàtic (es redueix el desplaçament ML i l'AP a llarg termini); i disminueix el dolor neuropàtic, tant la intensitat percebuda com la interferència. A més, el GE manté els efectes beneficiosos aconseguits en les valoracions de seguiment, concretament la reducció del temps d'execució global del TUG modificat, el temps requerit per girar-se i seure's, i el desplaçament ML i AP de la prova d'equilibri.

El protocol aplicat al GC (placebo MV + ET) també mostra una millora immediatament després d'acabar la intervenció sobre algunes variables de la funcionalitat motora (temps de reacció per començar a caminar, temps de girar-se i seure, i temps total per executar una prova funcional combinada [*i.e.*, TUG modificat]) però, al contrari que el GE, no mostra millores en l'equilibri estàtic i en el dolor neuropàtic. A més, les millores obtingudes no es mantenen passats un (T3) i tres mesos (T4) des de la intervenció.

Als següents apartats es discutiran específicament els resultats obtinguts per a cadascuna de les variables analitzades.

## 4.1 Funció motora

La millora esperada de la funció motora es va avaluar a través de tres gestos bàsics de la vida diària: la marxa (incloent una prova funcional combinada), l'equilibri i les tasques funcionals de girar, seure's i aixecar-se.

### 4.1.1 Marxa

La rehabilitació de la marxa en persones amb LM esdevé important, no solament per la recuperació funcional pròpiament dita, sinó també per les possibles complicacions que la inactivitat comporta, com són la pèrdua de densitat òssia, les contractures articulars als MMII o la trombosi venosa profunda (89,90). Per aquest motiu, aquest estudi posa especial èmfasi en diferents aspectes de la seua valoració, com la velocitat, mesurada amb el 10MWT, l'assistència requerida per caminar (productes de suport), mesurada amb WISCI, i la qualitat de la marxa, mesurada amb el dispositiu *FallSkip*, compostat per un sensor inercial que informa sobre la despesa energètica i l'equilibri dinàmic (desplaçament vertical i ML, respectivament) durant la seua execució (91).

En aquesta població és habitual l'ús de productes de suport per a caminar fora dels seus entorns controlats, atesa la freqüent inseguretats experimentada i de vegades incapacitat per portar una marxa segura (92). Açò pot evitar caigudes però a la vegada dificulta l'execució d'activitats instrumentals de la vida diària, més complexes. Per eixe motiu, és important dotar-los de major seguretats incrementant la seua capacitat funcional de manera que es pugui reduir l'assistència necessària per caminar.

Després de la intervenció, el GE va aconseguir reduir l'assistència emprada per a caminar, permetent una marxa fora de les paral·leles (amb caminador), amb un bastó o, inclús, sense ajudes. A més, els participants d'aquest grup van aconseguir una reducció dels temps utilitzats per a recórrer 10 m o per a realitzar el TUG modificat, i una reducció del temps de reacció per a iniciar la marxa. Les millores del TUG modificat, a més, es mantingueren fins a 3 mesos després de la intervenció. El GC, en canvi, solament va obtenir una reducció del temps per a realitzar el TUG modificat i també del temps de reacció per a iniciar la marxa. Aquestes millores no es mantingueren en deixar d'aplicar la intervenció. A més, no va aconseguir millorar la velocitat de la marxa, ni reduir l'assistència requerida per caminar, dues variables associades amb l'eficiència de la marxa (93,94).

L'activació muscular necessitada per realitzar una marxa eficient es produeix principalment mitjançant circuits neuronals espinals (95), controlats per centres superiors i utilitzant informació aferent de diversos tipus, com els sistemes visual, propioceptiu i vestibular (96). Aquesta combinació de sistemes eferents i aferents determina el mode d'organització de les sinèrgies musculars desencadenades per a dur a terme un patró de marxa eficient (97). Després d'una LM, es veuen afectats tots els sistemes que hi participen, per la dificultat d'arribada tant dels impulsos aferents com dels eferents, produint així una marxa menys eficient i menys automatitzada.

Estudis previs mostren que les teràpies basades en l'activació del sistema de neurones mirall poden ajudar a recuperar part de les capacitats motores provocant una major activació neuronal de la xarxa cortical-subcortical que supervisa el control motor (98–101). D'aquesta manera, l'activació repetitiva de la xarxa de neurones mirall podria motivar la producció de patrons motors més eficients, millorant la preplanificació motora, l'eficiència espacial (o capacitat per executar la marxa evitant realitzar desplaçaments o moviments no desitjats), i la coordinació multiarticular (102,103). Aquesta millora dels patrons motors pot explicar-se per la capacitat del sistema de neurones mirall de comprendre les accions motores (51). Així, quan un individu s'observa durant la realització de la seua pròpia marxa amb un patró normal o, com ocorre durant l'aplicació de la MV, simulant-la amb un vídeo, les neurones que representen aquesta acció s'activen a l'escorça motora i premotora de l'observador, transformant la informació rebuda visualment en coneixement i augmentant la representació cortical de les xarxes activades (52–54). Açò es suma a l'activació d'aquestes zones produïda únicament pel fet d'executar les accions, és a dir, per l'execució dels exercicis físics.

Estudis previs han confirmat este augment de l'activació cortical quan s'usen dos mètodes d'intervenció, un centrat en l'exercici físic i l'altre involucrant estímuls visuals aferents. És el cas dels estudis de l'equip de Villiger *et al.* (104–107) o l'estudi de Ann i Park (108) que investigaren l'efectivitat d'una teràpia mirall virtual sobre la funció de MMII i el dolor neuropàtic. En aquests estudis els participants, també amb una LM incompleta crònica, realitzaven temptatives de moviments de MMII que es transferien de forma síncrona als MMII virtuals, mitjançant acceleròmetres i giroscopis fixats a les sabates dels participants, de manera que aquests s'observaven amb una perspectiva en primera persona. Aquestes teràpies, com les aplicades amb la nostra intervenció, aconseguiren

reduir el temps emprat per recórrer 10 m (entre  $-0,4$  s i  $-13,75$  s) aconseguint una reducció similar a l'obtinguda al present estudi (dif.  $\bar{x} = -7,88$ ).

Per tant, incrementar el nombre d'estímuls per activar les neurones mirall pot augmentar l'efecte beneficiós dels tractaments. En esta línia, l'estudi de Ann i Park (108) mostra que si bé els dos grups d'estudi, tant el que sols realitzava exercici físic com el que utilitzava el sistema de realitat virtual, milloraven la velocitat de la marxa i l'efecte del grup amb realitat virtual era significativament major.

Al present estudi, el GC no mostra millores pel que fa a la velocitat de la marxa. El motiu principal podria radicar en el volum i la dosificació del programa, ja que empra un total de 90 min setmanals d'exercicis, combinant coordinació, equilibri, estiraments i força, el qual probablement no haja sigut suficient per aconseguir un efecte beneficiós, com es conclou a l'estudi de Martín-Ginis (109). En concret, s'ha establert que per a que l'ET siga efectiu a nivell cardiorespiratori i a nivell de força muscular en persones amb LM, s'hauria de fer almenys 20 min d'exercici aeròbic moderat-vigorós, dues vegades per setmana i tres sèries d'exercicis de força per a cada grup muscular actiu, a una intensitat moderada-vigorosa també dues vegades per setmana.

En canvi, els participants del GC de l'estudi d'Ann i Park (108), a banda de la intervenció, també realitzaven diàriament activitats de marxa addicionals (dins d'un programa de rehabilitació general) superant els 90 min d'activitat setmanals. Per tant, derivat dels nostres resultats, podríem assumir que els sistemes d'activació de neurones mirall podrien ajudar a reduir el llindar necessari per fer efectiu l'ET, sense augmentar els efectes secundaris i riscos d'aquest, sobretot tenint en compte la ràpida aparició de fatiga als músculs afectats per la LM (110–112).

Aquest efecte positiu sobre la velocitat de la marxa es va acompanyar d'una reducció de l'assistència necessària per a dur-la a terme, augmentant 1,62 punts del WISCI per al GE. Aquest resultat està en consonància amb els resultats obtinguts per Villiger *et al.* (104) que, malgrat que la mostra que utilitza és solament de dos subjectes, els dos incrementen tres punts en l'escala WISCI, després d'haver completat la intervenció d'activació de neurones mirall amb realitat virtual, combinada amb exercicis.

Els caminadors o les barres paral·leles proporcionen un major suport vertical que les croses o els bastons, però aquestes últimes permeten una marxa més ràpida i una major propulsió (113), el qual és desitjable per millorar la seua autonomia i independència. Un



major control motor proporcionat per una major activació neuronal de la xarxa cortical-subcortical que intervé en la marxa (98–101), suposaria una reducció de la necessitat de suport i estabilitat, possibilitant l'ús d'ajudes que permeten un moviment més ràpid i eficient, com són les crosses i els bastons. Al present estudi, la prova de velocitat (10MWT) s'ha realitzat utilitzant les mateixes ajudes sempre, malgrat que els voluntaris pogueren executar-la amb menor assistència en les valoracions posteriors a la intervenció (*i.e.*, T2, T3 i T4) per assegurar així la igualtat de condicions durant totes les valoracions. Seria interessant per a estudis futurs, analitzar els resultats del 10MWT amb l'assistència necessària després d'haver realitzat la intervenció, per veure si usant un menor nombre d'ajudes també s'aconsegueix una marxa més veloç.

Pel que fa al temps de reacció, els dos grups mostren una millora significativa similar, igualment que quan s'analitza la repercussió de la intervenció sobre un conjunt d'activitats funcionals com les incloses al TUG modificat (marxa durant trajectòria curta, girar-se sobre un mateix i seure's i aixecar-se d'una cadira). En aquest cas es tenen en compte habilitats diferents a les requerides per caminar, com la potència muscular, la coordinació visuoespacial, etc. En este estudi es mostra una disminució del temps necessari per a la realització de la prova TUG modificat, tant al GE com al GC, així com a l'estudi d'Ann i Park (108), que mostra una disminució significativa del temps emprat per al TUG modificat per al GE (aproximadament, dif.  $\bar{x} = -9$  s) i al GC (aproximadament, dif.  $\bar{x} = -7$  s). Així doncs, tant les intervencions d'ET aïllades com les teràpies d'estimulació de neurones mirall, combinades amb ET, podrien produir una millora, encara que no es produeix un efecte beneficiós addicional en cas d'introduir el protocol de MV.

Cal destacar que, malgrat que al present estudi els dos grups aconseguixen millores, aquestes solament es mantenen a les valoracions de seguiment per al GE en el TUG modificat, mostrant la capacitat de la MV per produir efectes a mig termini. Els estudis electrofisiològics han proporcionat una àmplia evidència de la reorganització corticoespinal, que es produeix després de la LM i que pot contribuir a la recuperació funcional (114), i així mateix han mostrat com aquesta reorganització pot tindre un abast major després d'una intervenció amb un programa d'estimulació de les neurones mirall, estant el resultat funcional correlacionat amb les mesures electrofisiològiques de la funció corticoespinal (115). Aquest fet justificaria que en el GE es produïra una millora mantinguda fins a 3 mesos després d'haver cessat la intervenció.

Malgrat el fet que els participants del GE van mostrar millores significatives en el temps per a realitzar les proves anteriorment citades, no es van trobar diferències entre les avaluacions dels rangs vertical i ML, durant la marxa executada dins del TUG modificat. Aquesta manca de millora probablement és deguda a la curta distància utilitzada per a l'avaluació de la marxa (és a dir, 3 m) que no va permetre una marxa fluida i natural en els participants. De fet, estudis previs han demostrat que la marxa realitzada en un context clínic no pot revelar les seves estratègies d'eficiència natural, a causa del reduït espai disponible per a l'avaluació (116,117). D'aquesta manera, seria interessant estudiar la marxa en un context més comú per als voluntaris, utilitzant sensors que els participants pogueren dur al llarg del dia.

Cal destacar que els resultats obtinguts mitjançant el sistema *FallSkip* s'han de prendre amb cautela, ja que la mostra utilitzada vas ser reduïda i, per tant, els resultats de l'anàlisi d'inferència es veuen limitats.

#### **4.1.2 Equilibri**

L'equilibri té un paper fonamental per dur a terme la majoria de les activitats de la vida diària, ja que intervé en la mobilitat, la postura i la marxa (118). Per mantenir l'equilibri és necessari efectuar correccions posturals constants en forma de moviments involuntaris "ràpids i precisos" que donen resposta a la informació que arriba al SNC de tipus visual, vestibular i propioceptiva (119). D'aquesta forma, s'aconsegueix que el CDP estiga situat dins de la base de suport i no es produïsquen caigudes. Una millora en qualsevol d'aquests sistemes aferents implica una millora global de l'equilibri, per la qual cosa, proveir d'una intervenció, com la proposada a aquest estudi, en la qual es combinen activitats físiques que entrenen el sistema propioceptiu amb estímuls visuals, que, a més, estimulen les zones de l'escorça motora, poden *a priori* resultar beneficioses per a l'equilibri a llarg termini.

Després d'una LM, poden aparèixer deficiències per mantenir l'equilibri quan la posició del centre de gravetat (CDG) no és perceput amb precisió, i/o quan els moviments involuntaris i ràpids necessaris per mantenir-lo a dins de la base de sustentació són poc precisos, i/o estan mal coordinats (120). Aquestes deficiències solen ocórrer degut a la mala coordinació de tres sistemes, el visual, el vestibular i el propioceptiu, que aporten una informació incorrecta de l'entorn i del propi cos. El sistema visual proveeix informació sobre l'orientació dels ulls i, per tant, la situació del cap amb respecte a

l'entorn, mentre que el sistema vestibular mesura les acceleracions lineals i angulars del cap i el cos en les diferents direccions. El sistema propioceptiu, en canvi, aporta informació sobre la posició de les diferents parts del cos en relació a altres parts del cos, a la base de suport i a la gravetat (120).

Més particularment, en una LM, el sistema propioceptiu es veu afectat per la disrupció de les vies aferents, mentre que, per altra banda, el sistema muscular encarregat de corregir els desequilibris del CDG, amb respecte a la base de suport, es troba paralytzat parcialment. Per a la rehabilitació d'aquests dèficits, són molts els estudis que senyalen la importància d'emprar tècniques de retroalimentació somatosensorial, incloses en els programes dirigits a la recuperació del moviment (121–123), ja que l'estimulació de les fibres aferents afavoreix la recuperació motora espontània (124).

Quan la recepció de la informació propioceptiva es veu reduïda, a causa del dany produït a la medul·la espinal, recau una major càrrega de treball sobre els inputs visuals i vestibulars (125,126) per mantenir l'equilibri, sempre que aquests sistemes no patisquen algun dèficit. D'aquesta manera, els sistemes d'activació de neurones mirall podrien millorar el control perceptuomotor mitjançant diferents mecanismes, entre els quals destaca, tal i com reflecteixen estudis previs, l'augment de l'activitat de l'escorça visual i somatosensorial (127,128), reforçant així dos dels sistemes que intervenen en el manteniment de l'equilibri.

Els resultats del nostre estudi mostren que la intervenció combinada, rebuda pel GE, redueix de forma significativa el desplaçament ML del CDP, immediatament després de la intervenció (dif.  $\bar{x} = -2,77$ ), mentre que el GC no mostra diferències. En canvi, la millora del desplaçament AP del CDP i del conjunt de la seua àrea, solament es produeix als tres mesos després de la intervenció. Com mostren els resultats, hi ha una tendència a la disminució del desplaçament en direcció ML i AP i de l'àrea del CDP general, en cadascuna de les avaluacions posteriors a la intervenció, conforme avança el temps, però les dues últimes només assoleixen el nivell de significació als tres mesos. Esta progressiva disminució del desplaçament del CDP pot ser deguda a la interrelació, comentada abans, entre els diferents sistemes involucrats en l'equilibri. El fet d'aconseguir una major eficiència i una reducció de les ajudes per executar la marxa, descrites a l'apartat anterior, pot fer que els participants hagen guanyat confiança per portar a terme les seues activitats de la vida diària, incrementant el seu nivell d'activitat física diària i açò pot haver

redundat, a mode de cicle virtuós, en una millora de l'equilibri. Seria convenient utilitzar sensors inercials de registre continu per quantificar el nivell d'activitat física setmanal i comprovar la possible relació entre aquestes dues variables.

Per a l'avaluació de l'equilibri s'han calculat variables que informen sobre el desplaçament del CDP en els dos eixos, el AP i ML, per estudiar si la intervenció podia tenir una repercussió major sobre una direcció o l'altra. Generalment, es descriuen dues estratègies d'acció dels MMII per tal de mantenir l'equilibri, tant en estàtic com en dinàmic. L'estratègia de maluc, vinculada al desplaçament ML, s'utilitza principalment per fer ajustos grans del CDP, mentre que l'estratègia de turmell s'utilitza per fer els ajustos més subtils durant el manteniment de la postura bípeda (129–131). S'observa doncs, que s'aconsegueix un benefici immediat dels ajustos més amplis relacionats amb el maluc i que, conforme passa el temps, es van adquirint els ajustos de turmell que proporcionen un reequilibri més precís.

És difícil comparar els resultats obtinguts amb estudis previs en els que s'hagen avaluat l'efectivitat de la intervenció amb teràpies mirall virtual, ja que els estudis previs han utilitzat la *Berg Balance Scale* (BBS) (104–107). Aquests va aconseguir una millora d'entre 1,8 i 12 punts després de la intervenció, encara que futurs estudis són necessaris per tal de desenvolupar tests d'equilibri equiparables a les proves incloses en la BBS (*i.e.*, tàndem, suport monopodal, etc.) que pogueren ser registrades simultàniament amb sensors inercials, com per possibilitar les comparacions amb el dispositiu *FallSkip*, clínicament validat.

#### **4.1.3 Avaluació de les tasques funcionals girar-se, seure's i aixecar-se**

Les tasques funcionals de girar-se, seure's i aixecar-se, també resulten de gran importància per a la realització de les activitats de la vida diària (132,133), conferint independència i per tant qualitat de vida. Aquestes tasques requereixen unes habilitats diferents de coordinació, força i potència muscular a les requerides per a la marxa. Aquestes capacitats han estat treballades en el programa d'exercici inclòs als dos grups, mitjançant exercicis específics per a MMII de coordinació, de força i d'estirament. Segons els resultats obtinguts a l'analitzar el gest de girar-se i seure's, tant al GE (dif.  $\bar{x}$  = -1,09 s) com al GC dif.  $\bar{x}$  = -1,88 s) redueixen el temps emprat per dur-lo a terme, sense que la inclusió de la MV supose una millora significativament major. No obstant,

la millora en el temps d'execució es manté únicament al GE, tant al T3 (GE (dif.  $\bar{x}$  = -1,97 s) com al T4 (dif.  $\bar{x}$  = -2,00 s) a diferència del que ocorre al GC.

Per tant, la MV no afegeix una major efectivitat immediata al l'ET, però podria intervindre en la duració dels efectes obtinguts per l'ET. El gest de seure's depèn principalment de la producció de força excèntrica de la musculatura que envolta el maluc (134), la qual produeix una desacceleració que frena la força de la gravetat. Per tant, es requereix un gran control excèntric de la musculatura. Aquest control excèntric podria millorar en els dos grups a causa de l'ET aplicat, però aquesta millora es manté, solament al GE, fins a tres mesos després de la intervenció. Aquest efecte que afegeix l'aplicació de MV combinada amb ET podria ser degut a la suma d'ambdues teràpies sobre la regulació de la representació cortical dels músculs emprats en aquesta tasca funcional. Es produiria una major representació cortical de les zones implicades en el moviment i la sensibilitat, millorant el funcionament del sistema propioceptiu i, en definitiva, el coneixement de la posició del cos respecte a la resta d'elements del propi cos, i de l'entorn (135–137). Així, malgrat que l'ET siga clau per aconseguir un efecte immediat en la reducció del temps per girar-se i seure, aquest efecte es pot mantenir, fins a tres mesos després de la intervenció, si s'afegeix un programa de MV.

Pel que fa al gest d'aixecar-se, no s'han trobat millores significatives immediates per a cap dels grups. Per a aixecar-se des de la posició d'asseguts, el CDP es mou cap amunt i cap endavant. L'activitat de flexió del tronc cap endavant és el principal responsable del moviment del CDP en direcció horitzontal, mentre que l'extensió de cames és la principal responsable del moviment en direcció vertical. En aquest últim, la majoria dels músculs dels MMII s'activen de forma concèntrica, destacant sobretot la contracció del quàdriceps i dels isquiotibials (134,138). Per tal de dur a terme aquest gest es requereix una coordinació, equilibri, mobilitat, força i potència adequades per dur-lo a terme amb eficiència. Així, el programa d'ET proposat en aquest estudi no aconsegueix una millora significativa sobre el conjunt d'aquestes habilitats necessàries per realitzar el gest d'aixecar-se. Per millorar l'eficiència del gest d'aixecar-se pot ser convindria utilitzar un programa que no fora específic per a la marxa, sinó que treballés de forma més directa tota la musculatura de MMII que intervé en aquest gest, sobretot els músculs quàdriceps i isquiotibials, així com l'equilibri dinàmic i no tant l'equilibri estàtic monopodal com s'ha treballat al present estudi (taula 6).

A més, la combinació d'ET amb MV no suposa una major efectivitat del programa. El sistema de neurones mirall és essencial durant l'aprenentatge motor de tasques funcionals. Però durant la tasca d'aixecar-se és determinant la producció de força concèntrica, que no ha sigut incrementada mitjançant el programa d'ET aïllat, tal i com es vorà al següent apartat, en el qual es discutiran els resultats de força i activació muscular. Per tant, seria interessant avaluar l'efectivitat de la combinació de la teràpia de MV amb un programa d'ET més exigent, que superara els llindars mínims per aconseguir millores funcionals i comprovar si, en cas d'aconseguir una millora en la producció de força amb l'ET, la MV podria aportar un benefici major.

Cal destacar que a la valoració, després de 3 mesos de seguiment, els dos grups mostren una reducció significativa del temps per a aixecar-se (dif.  $\bar{x}$  = -1,41 per al GE i dif.  $\bar{x}$  = -2,17 per al GC). Això podria explicar-se perquè, malgrat aquest gest en concret no millora de forma immediata, després de l'aplicació del protocol proposat, les millores que s'obtenen en la resta de proves (*ie.*, marxa, tasques funcionals, força i dolor) impliquen una millora de la funcionalitat general diària dels participants, augmenten el nivell d'activitat diària i produeixen una major seguretat durant la realització de les tasques bàsiques. Aquest augment del nivell d'activitat i seguretat, durant els 3 mesos posteriors a la intervenció, podria repercutir en la millora de l'eficiència durant la realització del gest d'aixecar-se.

Solament l'estudi d'Ann i Park (108) avalua l'efectivitat de una teràpia mirall virtual combinada amb moviments de MMII en persones amb LM, encara que aquest ho fa mitjançant el *Chair Stand Test* (CST), el qual posa a prova la capacitat d'aixecar-se i seure's a una cadira de forma repetitiva un total de 5 vegades. En aquest cas, els dos grups disminuïren de forma significativa el temps emprat per dur a terme aquesta prova, encara que el GE va obtenir una major reducció. Es fa difícil comparar aquests resultats amb els del present estudi, ja que el CST inclou tant el gest de aixecar-se com el de seure, a més un major nombre de repeticions, involucrant al sistema cardiovascular en l'avaluació. Per contra, el dispositiu *FallSkip* permet l'avaluació d'ambdós gestos per separat i solament durant una repetició, evitant així la inclusió de factors de confusió que puguen estar afectant l'anàlisi de les millores aconseguïdes, mitjançant la facilitació motora que implica l'augment de la representació cortical, sense tindre en compte l'efecte de l'estat del sistema cardiovascular.

## 4.2 Força i activació muscular

En aquest estudi, la força màxima mesurada amb dinamometria i l'activació muscular mitjançant l'electromiografia es registraren al mateix temps durant la CVM. A l'analitzar la força, es trobaren millores estadísticament significatives per l'exercici d'extensió de maluc (isquiotibials) després de la intervenció per al GE (dif.  $\bar{x} = -9,10$  N) i per al GC (dif.  $\bar{x} = -18,12$  N). En canvi, per a la resta de gestos de MMII (*i.e.*, dorsiflexió de turmell, extensió de genoll, abducció de maluc, i plantiflexió del turmell), no es van mostrar diferències estadísticament significatives entre cap de les valoracions, a cap dels grups. Quan es va analitzar l'activitat electromiogràfica dels principals músculs implicats, no es va obtenir cap millora significativa, ni per al GE ni per al GC.

L'avaluació va contemplar tant la dinamometria com la electromiografia perquè la producció de força muscular voluntària ve determinada tant per factors morfològics del sistema muscular, com són l'àrea de secció, el tipus de fibra, l'arquitectura muscular i les propietats del tendó; així com també per factors neurals, com són el reclutament d'unitats motores (mesurat amb l'amplitud de la senyal electromiogràfica (139)), la freqüència de reclutament, la sincronització de les unitats motores i la coordinació intermuscular (140). Després d'una LM, tot i que la lesió es troba situada directament sobre el sistema nerviós, la paràlisi que provoca aquesta fa que, tant els factors musculars com els neurals determinants de la producció de força, es vegien afectats.

S'ha comprovat que l'ET en aquesta població és capaç de millorar tant els factors neuronals com la força o la potència (141), específics del sistema muscular (140). També s'ha contrastat l'efectivitat de l'aplicació de sistemes d'activació de neurones mirall, sobre els possibles canvis als factors neurals en persones que han patit un accident cerebrovascular (136) o amputacions (142); de fet, també en estudis d'imatge cerebral funcional de persones sanes, es suggereix que la visualització d'imatges de moviment humà produeix excitabilitat de l'escorça motora (46). Per tant, es pot aventurar la hipòtesi que teràpies com la MV podrien ser útils per augmentar el reclutament d'unitats motores, la freqüència de reclutament, la sincronització de les unitats motores i la coordinació intermuscular, i podrien millorar, per tant, els resultats obtinguts amb ET.

No obstant, com s'observa als resultats, cap dels dos programes d'intervenció aconseguix millores, ni de força, ni d'activació neuromuscular en els músculs quàdriceps, tibial anterior, gluti mig i tríceps sural. De la mateixa manera que s'ha

comentat en la discussió sobre els resultats de les tasques funcionals, açò pot ser conseqüència del volum i dosificació del programa d'ET, que no està orientat específicament a la millora de força i activació màxima (142,143), mesurades durant les contraccions isomètriques, sinó que està orientat a la funcionalitat.

Com a excepció, sí que s'obté una millora de la força màxima dels isquiotibials d'aproximadament 10 N (mesurada amb la cèl·lula de càrrega), encara que aquesta no es veu reflectida en l'activació muscular. L'extensió de maluc, produïda en gran part per aquest grup muscular, és de gran importància per a la realització de la marxa. De fet, els isquiotibials tenen un paper important durant la propulsió, al final de la fase de suport del cicle de la marxa, a més del control de l'extensió de genoll, al final de la fase de balanceig. De la mateixa manera, una vegada el taló toca terra, aquest grup muscular també proporciona estabilitat i inicia el moviment de flexió de genoll (144).

Aquest patró d'activació dels isquiotibials durant el cicle de la marxa pot veure's afectat en persones amb patologies neurològiques (144), ja que els extensors de maluc es veuen debilitats, entre altres factors, per l'alta activació dels flexors d'aquesta articulació (*i.e.*, poses-iliac). És eixe el motiu pel qual el programa d'ET aplicat en aquest estudi incideix en la realització de passes amples, com es pot veure als exercicis de marxa mostrats a la taula 6 (*i.e.*, marxa amb obstacles i marxa cap enrere). Aquesta especificitat d'exercicis podria ser la responsable del guany de força dels isquiotibials, després de la intervenció. Aquesta millora pot ser deguda a l'esmentat guany de força dels isquiotibials, però també a la reducció de l'activitat dels flexors de maluc habitualment híper excitats en persones amb patologies neurològiques, explicant així la no millora de l'activació muscular als isquiotibials. Seria interessant avaluar l'efectivitat de la combinació de teràpies de MV i ET sobre la co-contracció de la musculatura de MMII, durant les proves de força màxima, descrites en aquest estudi. A més, en aquest estudi no s'ha mesurat la secció transversal dels músculs, la qual podria haver augmentat, i ser aquesta la responsable de les mesures. Per aquest motiu, seria interessant introduir mesures d'aquesta qualitat en estudis futurs.

De fet, estos resultats estan en consonància amb els obtesos durant el gest de seure's a la cadira, ja que com s'ha comentat, aquest gest es porta a terme fonamentalment gràcies a l'activació excèntrica dels isquiotibials que frenen el moviment, conferint precisió a l'hora de seure's.



Malauradament, els resultats d'aquest estudi no poden ser comparats amb estudis previs en aquesta població, ja que els grups de recerca que han avaluat l'efectivitat de programes de realitat virtual, parcialment semblants al proposat en el nostre estudi, no han avaluat la força isomètrica, sinó que han utilitzat tests clínics de moviment funcional (104–108). Sí que hi ha algun estudi previ en altres poblacions (e.g., accident cerebrovascular i la malaltia de Parkinson) que han proposat intervencions combinades de realitat virtual amb exercici físic, però amb un volum de treball major, obtenint una millora de la força sols en el grup de teràpia combinada. Per tant, com que aquest estudi introdueix dades noves, els resultats no són plenament comparables (145,146,146).

En qualsevol cas, la millora de força dels isquiotibials que s'experimenta al GE és similar a l'experimentada al GC, per la qual cosa, es conclou que la MV no aporta un benefici sobre la força ni sobre l'activació muscular al fet d'executar un programa d'exercici físic. Les neurones mirall s'activen quan s'observen moviments funcionals, ja que l'objectiu d'aquestes és la transformació dels *inputs* visuals en coneixement. Això podria explicar que l'addició del programa de MV a l'ET solament mostre millores significatives immediates en aquells patrons de moviment on la coordinació dels sistemes aferents i eferents és clau (*i.e.*, velocitat de la marxa, assistència requerida per a la marxa i desplaçament ML durant el manteniment de l'equilibri), i no tant en aquells patrons de moviment on són principals qualitats com la força o la potència (*i.e.*, CVM, i gests de seure's i alçar-se).

Per últim, és necessari ressaltar que en aquest estudi no s'han calculat paràmetres del domini freqüencial (FFT) en l'electromiografia. També seria desitjable en futurs treballs mesurar la secció transversal del ventre muscular a través de proves d'imatges.

### **4.3 To muscular**

L'alteració del to muscular pot restringir les activitats de la vida diària, influint negativament sobre la qualitat de vida de les persones amb LM, dificultant la marxa i la mobilitat i augmentant la fatiga i el dolor (13,147,148). Tenint en compte això, es va decidir incloure l'anàlisi de l'impacte de la intervenció presentada en aquest estudi sobre el to muscular, ja que l'exercici físic s'ha considerat important per afavorir l'elasticitat muscular (149). El que no es coneixia fins hores d'ara era si la MV podria tenir alguna repercussió addicional sobre el to muscular, donat que la reorganització cortical que pot produir l'activitat de les neurones mirall, podria regular els mecanismes superiors del

control del to (150). Tanmateix, no es va obtenir cap millora significativa en cap dels dos grups i, per tant, la MV combinada amb ET no va mostrar cap impacte sobre el comportament del to.

Diferents mecanismes perifèrics i centrals estan associats amb els canvis de to (151), incloent còrtex, ganglis basals, cerebel, sistema reticular del tronc cerebral, medul·la espinal i fus muscular (152). Concretament, els danys produïts per una LM als axons descendents des de l'escorça motora primària son clau en la producció d'espasticitat (153). És per això que, després d'una LM l'excitabilitat de les xarxes neuronals per sota de la lesió augmenta per compensar aquesta pèrdua, i dona lloc al desenvolupament d'alteracions del to muscular (153). De fet, més del 65% de les persones amb LM pateixen espasticitat, passat un any o més des de la lesió (148,154).

S'ha demostrat que l'ET específic, sobretot funcional i de força, aplicat de forma aïllada, presenta un efecte directe sobre la regulació del to muscular, a través de l'enfortiment de la musculatura espàstica i l'antagonista (155). Malgrat tot, el protocol presentat en aquest estudi no aconsegueix arribar a la volumetria i dosificació necessàries per aconseguir l'efecte desitjat. Tampoc quan s'ha afegit el programa de MV al programa d'ET en el GE.

Cal destacar que durant l'avaluació del to realitzada en aquest estudi el teixit muscular es trobava en repòs, però es distingeixen dos tipus d'alteració del to en persones amb LM: espasticitat intrínseca (augment del to muscular) i espasticitat fàsica intrínseca (a causa de l'exageració de la component fàsica del reflex d'estirament, dependent de la velocitat). En aquesta última intervé un processament anormal del senyals aferents dels fusos musculars de la medul·la espinal, els quals produeixen una excessiva activació reflexa de les motoneurons  $\alpha$  (156). Hauria estat interessant afegir l'estudi de la component fàsica a l'avaluació, ja que, hipotèticament, l'aportació d'estímuls visuals podrien haver activat les zones corticals encarregades de la regulació del to muscular, i compensar el processament anormal de les senyals aferents procedents dels fusos musculars, regulant així els mecanismes neurals de control del to muscular. Així, estudis futurs són necessaris per comprovar la hipòtesi de que l'aplicació d'un sistema de MV pot potenciar, de forma efectiva, els beneficis que l'exercici físic provoca en la regulació del to, durant el moviment, mesurant-lo amb escales o tests clínics que contemplin les diferents components de l'espasticitat i la rigidesa (157).

Un altre motiu que podria explicar la falta d'efectivitat de la combinació del programa d'ET amb la teràpia de MV és que el to també té un component viscoelàstic que és independent de l'activitat neuronal, ja que està relacionat amb els ponts creuats actina-miosina del sarcòmer, la viscositat, l'extensibilitat i l'elasticitat del teixit, la connexió de les proteïnes no contràctils del teixit, la pressió osmòtica de les cèl·lules, i la tensió dels teixits connectius del voltant (152). Per tant, la teràpia de MV no afegeix una major efectivitat a l'ET en aquest component, ja que es basa en l'estimulació visual amb l'objectiu de reorganitzar les zones corticals que intervenen en la regulació del to.

Aquest estudi és el primer que analitza la repercussió d'una teràpia amb ET combinat amb MV sobre el to muscular en persones amb LM, però els resultats obtinguts van en consonància amb estudis previs, que han analitzat diferents teràpies d'activació de neurones mirall en altres poblacions amb afectació del SNC, com accidents cerebrovasculars, que mostren una manca d'efectivitat d'aquestes sobre la regulació del to (142,142).

#### **4.4 Dolor**

Tenint en compte que el dolor neuropàtic és un factor molt important per a la reducció de la qualitat de vida de les persones amb LM i que dos terços d'aquesta població el pateixen (13,158), la recerca d'un tractament efectiu ha esdevingut primordial entre els investigadors i els clínics, encara que els resultats continuen sent limitats (159).

Estudis anteriors han mostrat resultats prometedors per al tractament del dolor mitjançant teràpies mirall en altres poblacions (160,161) o, concretament per al tractament del dolor neuropàtic en persones amb LM, mitjançant teràpies mirall virtuals (67–69,71), aïllades o combinades amb altres teràpies d'estimulació central o perifèrica. El present estudi és el primer en comprovar si l'aplicació de MV a un programa d'ET suposa un benefici addicional en comparació a l'ET aïllat, en persones amb una LM incompleta, per tal de determinar la seua efectivitat sobre el dolor neuropàtic. En aquest estudi, els dominis de dolor avaluats van millorar al GE entre T1 i T2 (dif.  $\bar{x} = -0,98$  per a la intensitat del dolor percebuda i dif.  $\bar{x} = -1,26$  per a la interferència d'aquest amb l'estat d'ànim i les activitats de la vida diària), mentre que els nivells de dolor en el GC van romandre inalterats durant tot l'estudi.

El dolor neuropàtic és una conseqüència directa, derivada de la LM, és a dir, de la lesió del sistema nerviós somatosensorial central. El seu tractament és un repte difícil perquè

els mecanismes que contribueixen al seu desenvolupament no es coneixen completament. Pot aparèixer en els dermatomes corresponents al nivell de la lesió o als dermatomes per sota d'aquesta. Normalment, si el dolor apareix en regions que mantenen funció sensorial parcial, com és el cas de la LM incompleta, aquest pot ser de tipus al·lodínic (162).

Existeixen diferents hipòtesis sobre els mecanismes del dolor neuropàtic (163,164). Sembla que aquest és el resultat d'un processament sensorial alterat a causa de la LM, que provoca una sèrie de mecanismes de resposta que poden contribuir a la producció d'aquest tipus de dolor. Aquests mecanismes de resposta es poden classificar en tres tipus, segons la seua localització: mecanismes perifèrics, espinals i supraespinals.

Els mecanismes perifèrics són aquells relacionats amb els canvis en la funció nociceptora a nivell perifèric després d'una LM, que han sigut definits en estudis previs (165–167). L'augment de l'excitabilitat dels nociceptors s'ha atribuït a una reducció de l'expressió de la membrana del canal de potassi Kv3.4 i l'augment de l'expressió dels canals de sodi Nav1.8 (167,168). A més, també apareix un augment de neurones nociceptives germinades a les banyes dorsals de la medul·la espinal, tant al nivell de la lesió com per sota (169–172). Aquestes alteracions provoquen un augment de la percepció subjectiva del dolor.

A més dels mecanismes perifèrics, la pròpia medul·la també pateix canvis que podrien desenvolupar dolor neuropàtic, que inclouen desinhibició i hiperexcitabilitat espinal i gliosis reactiva. Després d'una LM, es produeix una reducció local de la inhibició de GABA, degut a la reducció del seu receptor (173). Aquesta inhibició és important per al control dels estímuls sensorials, evitant la hipersensibilitat (174). A més, per baix de la lesió es produeix un augment de la serotonina que desemboca en una hiperexcitabilitat que pot desencadenar el dolor neuropàtic.

Per últim, com s'ha comentat anteriorment, després d'una LM es produeix una reorganització al SNC degut a la manca d'informació aferent (41). En concret, el còrtex somatosensorial es reorganitza de manera que la representació de les zones amb una innervació intacta ocupen aquelles que l'han perduda (175). De fet, la reorganització del còrtex somatosensorial primari es correlaciona amb el dolor neuropàtic produït per una LM (10).

Per a alleugerir el dolor, es necessari portar a terme intervencions amb l'objectiu de millorar la representació propioceptiva, regulant el desequilibri entre la representació

cortical motora i la retroalimentació sensorial distorsionada produïda per la lesió. Així, l'activació del sistema de neurones mirall podria incidir sobre aquest tercer mecanisme, produint una normalització dels mapes de representació somatosensorial cortical i contribuint a modular l'excitabilitat cortical i espinal (161,176–179).

Estudis previs han avaluat l'efectivitat sobre el dolor de diferents sistemes d'activació de neurones mirall en persones amb LM completa o incompleta, utilitzant la realitat virtual (63–71). En general, tots ells van mostrar una reducció significativa del dolor al grup on s'aplicava la teràpia d'activació de neurones mirall, excepte l'estudi de Roosnik *et al.* (70). La resta van obtenir reduccions del dolor d'entre el 8% i el 65%. Al present estudi, la reducció és del 22% al GE, superant el mínim canvi clínicament rellevant (180). La reducció de la intensitat del dolor neuropàtic va lligada als valors absoluts, ja que un canvi de 3/10 a 0/10 pot resultar més important que un canvi de 8/10 a 5/10 (181). Així, la puntuació absoluta de reducció de la intensitat va ser de 0,98 punts al GE i aquest descens s'acompanya d'una reducció de la interferència del dolor sobre l'estat d'ànim i les activitats de la vida diària de 1,26 punts.

Els estudis que major efectivitat mostraren foren els aplicats en persones amb LM completa. L'estudi que més efectivitat va mostra va ser el de Moseley *et al.* (69), encara que aquests resultats han de prendre's amb cautela, ja que el GE d'aquest estudi està format per solament 2 voluntaris. També sobre persones amb lesió completa, els estudis de Soler *et al.* (67,68) i Kumru *et al.* (71) van mostrar una gran efectivitat, amb reduccions de dolor de fins al 50% en els grups, però aplicant de forma combinada dos sistemes que actuen a nivell central: la teràpia amb MV i l'ús de tDCS. Els resultats d'aquests estudis demostren que aquestes teràpies combinades amb tDCS, no solament proporcionen una gran reducció del dolor i de la interferència d'aquest sobre l'estat d'ànim i les activitats de la vida diària a curt termini, sinó que, a més, el manteniment d'aquesta reducció perdura fins a 12 setmanes després d'haver finalitzat la intervenció. Quan la teràpia de MV ha sigut implementada de forma aïllada (sense exercici físic ni tDCS), la millora del dolor experimentada ha sigut menor, com ocorre a l'estudi de Özkul *et al.* (64). En aquest cas, les millores experimentades amb la teràpia de MV mostraren una reducció del 8% de la intensitat del dolor sobretot en dolors que es descriuen com a calents, aguts, desagradables, profunds i com a conseqüència del moviment.

Richardson *et al.* (65), Trost *et al.* (66) i Jordan *et al.* (63) aplicaren una teràpia mirall virtual aïllada, sobre persones amb LM completa en els dos primers casos i sobre persones amb LM completa i incompleta en l'últim. Els tres reporten reduccions significatives en la intensitat del dolor en aquelles persones que han realitzat una teràpia de MV. Per altra part, Roosnik *et al.* (70) comproven l'efectivitat d'una teràpia mirall virtual combinada, en aquest cas, amb una teràpia d'imatgeria motora sobre persones amb LM completa i incompleta, trobant reduccions significatives del dolor solament amb l'aplicació de les dues teràpies combinades, comparades amb l'aplicació d'imatgeria motora aïllada.

En el present estudi, aprofitant l'avantatge de la funció residual en MMII de la LM incompleta motora, es combinen dues tècniques: MV i ET. La primera pretén regular els mecanismes centrals que poden influir en la producció de dolor neuropàtic, mentre que la segona actua tant sobre els mecanismes centrals, com sobre els mecanismes espinals i perifèrics de producció de dolor. Malgrat això, els canvis obtinguts al GE, immediatament després de la intervenció, no es mantenen a les valoracions de seguiment. Per això, per a un efecte durador sobre la reducció del dolor neuropàtic, l'aplicació de sistemes tDCS podrien combinar-se d'una forma més efectiva amb les teràpies de MV.

# **5. CONCLUSIONS**





## CONCLUSIONS

Tenint en compte els resultats obtinguts en aquest estudi, es poden extraure les següents conclusions:

1. L'adició d'una teràpia de MV a un programa d'ET augmenta la velocitat de la marxa i redueix l'assistència necessitada per a aquesta, a diferència de la intervenció amb ET. Tant el programa d'ET com el programa combinat amb MV milloren el temps per executar el test de marxa amb tasques funcionals, però sols aquelles persones que reben la teràpia combinada obtenen resultats que perduren 3 mesos després de la finalització del programa.
2. Afegir una teràpia de MV a un programa d'ET millora d'una forma immediata l'equilibri estàtic en el seu desplaçament ML. A més, l'efectivitat global del protocol del GE proporciona millores als tres mesos, també en el component AP de l'equilibri i en l'àrea total de moviment del CDP. El GC no obté beneficis respecte de l'equilibri.
3. La teràpia de MV combinada amb ET, en el gest de seure's, no produeix una millora addicional al programa d'ET, ja que els dos redueixen el temps requerit per seure's. No obstant, sols el GE manté aquest efecte fins als tres mesos. Cap grup aconsegueix millorar el gest d'aixecar-se, ni el temps, ni la potència requerits per executar-lo.
4. Pel que fa a la força isomètrica i a l'activació dels grups musculars de MMII, cap dels dos grups millora l'activitat dels músculs implicats en els gests d'abducció de maluc, flexió de genoll, i flexió i extensió de turmell. Contràriament, els dos grups milloren el gest d'extensió de maluc, és a dir la CVM dels isquiotibials, però no la seua activació. Per tant afegir la MV no suposa un benefici addicional sobre els resultats del programa d'ET.
5. El to muscular, avaluat mitjançant la tensió i la rigidesa muscular, no millora després de cap de les dues intervencions.
6. La intensitat del dolor i la interferència d'aquest sobre l'estat d'ànim i les activitats de la vida diària es veuen reduïdes per l'aplicació d'un sistema de MV, combinat amb ET, mentre que no ho fan al grup control.



## ***CONCLUSIONS***

In view of the results obtained in this study, the following conclusions can be drawn:

1. The addition of virtual walking therapy to a therapeutic exercise program increases gait speed and reduces gait assistance, whereas therapeutic exercise alone, fails to achieve such effects. Both programs improve the time to perform the “walking with functional tasks” test, but only for those who receive the combined therapy the results last 3 months after the end of the program.
2. Adding virtual walking therapy to a therapeutic exercise program improves the “ML displacement” component of static balance immediately after the program. In addition, the overall effectiveness of the experimental group protocol also provides improvements both for the “AP displacement” and for the “total range of motion of the centre of pressure” component of static balance at three months follow up. On the contrary, the control group does not obtain such benefits in static balance.
3. Virtual walking therapy combined with therapeutic exercise does not produce additional improvements in the sitting gesture than the therapeutic exercise program alone, since both programs reduce the time required to sit. However, only the experimental group maintains this effect up to three months. Neither group manages to improve the gesture of getting up, nor the time or power required to execute it.
4. Regarding the isometric strength and the activation of the lower limbs muscle groups, neither group improves the activation of the muscles involved in hip abduction, knee flexion and ankle flexion and extension movements. However, both groups improve the maximum voluntary contraction of the hamstrings muscles while performing the hip extension movement, but not its activation. Therefore, adding the virtual walking intervention does not result in an additional benefit to those achieved by the therapeutic exercise program alone on these parameters.
5. Muscle tone, as assessed by muscle tension and stiffness, does not improve after either intervention.
6. Pain intensity and its interference on mood and activities of daily living are reduced by the application of a virtual walking intervention combined with therapeutic exercise, while they are not reduced in the control group.



## **6. BIBLIOGRAFIA**



1. Verhaagen J, McDonald JW. Spinal Cord Injury. Newnes; 2012. 677 p.
2. World Health Organization. Lesiones medulares [Internet]. 2023 [citad 25 gener 2023]. Disponible a: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury>
3. Kent M. spinal cord injury. En: The Oxford Dictionary of Sports Science & Medicine. Oxford University Press; 2007.
4. DeVivo MJ, Go BK, Jackson AB. Overview of the national spinal cord injury statistical center database. J Spinal Cord Med. 2002;25(4):335-8.
5. Ruz AE de. Lesión medular: enfoque multidisciplinario [Internet]. Editorial Médica Panamericana; 2009 [citad 16 febrer 2023]. Disponible a: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=731280>
6. Peterson MD, Kamdar N, Chiodo A, Tate DG. Psychological Morbidity and Chronic Disease Among Adults With Traumatic Spinal Cord Injuries: A Longitudinal Cohort Study of Privately Insured Beneficiaries. Mayo Clinic Proceedings. 2020;95(5):920-8.
7. Guyton AC, Hall JE. Funciones motoras de la médula espinal: los reflejos medulares. En: Tratado de fisiología médica. Barcelona, España: Elsevier Inc; 2016. p. 195-705.
8. Naranjo IC, Gómez JM, Sevilla RR, Cuenca JCP. Enfermedades de la médula espinal. Síndromes medulares. Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado. 2015;11(78):4667-77.

9. Hulsebosch CE, Hains BC, Crown ED, Carlton SM. Mechanisms of chronic central neuropathic pain after spinal cord injury. *Brain Research Reviews*. 2009;60(1):202-13.
10. Wrigley PJ, Press SR, Gustin SM, Macefield VG, Gandevia SC, Cousins MJ, et al. Neuropathic pain and primary somatosensory cortex reorganization following spinal cord injury. *PAIN®*. 2009;141(1):52-9.
11. Lance JW. The control of muscle tone, reflexes, and movement: Robert Wartenberg Lecture. *Neurology*. 1980;30(12):1303-13.
12. Kozlov I, Ackert M. Introduction of a New Concept of Pain Management during Labor and a Novel Technique for Pain Free Labor. *OJAnes*. 2012;02(03):79-83.
13. Burchiel KJ, K. Hsu FP. Pain and Spasticity After Spinal Cord Injury: Mechanisms and Treatment. *Spine* [Internet]. 2001;26(24S). Disponible a: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2001/12151/Pain\\_and\\_Spasticity\\_After\\_Spinal\\_Cord\\_Injury\\_.24.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2001/12151/Pain_and_Spasticity_After_Spinal_Cord_Injury_.24.aspx)
14. Little JW, Ditunno JF, Stiens SA, Harris RM. Incomplete spinal cord injury: Neuronal mechanisms of motor recovery and hyperreflexia. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1999;80(5):587-99.
15. Kirshblum S, Snider B, Rupp R, Read MS. Updates of the International Standards for Neurologic Classification of Spinal Cord Injury: 2015 and 2019. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. 2020;31(3):319-30.



16. Ditunno JF, Young W, Donovan WH, Creasey G. The international standards booklet for neurological and functional classification of spinal cord injury. American Spinal Injury Association. Paraplegia. febrer 1994;32(2):70-80.
17. International Standards for Neurological Classification of SCI (ISNCSCI) Worksheet [Internet]. American Spinal Injury Association. [citat 25 gener 2023]. Disponible a: <https://asia-spinalinjury.org/international-standards-neurological-classification-sci-isncsci-worksheet/>
18. Ding W, Hu S, Wang P, Kang H, Peng R, Dong Y, et al. Spinal Cord Injury: The Global Incidence, Prevalence, and Disability From the Global Burden of Disease Study 2019. Spine (Phila Pa 1976). 2022;47(21):1532-40.
19. van den Berg MEL, Castellote JM, Mahillo-Fernandez I, de Pedro-Cuesta J. Incidence of Spinal Cord Injury Worldwide: A Systematic Review. Neuroepidemiology. 2010;34(3):184-92.
20. Bárbara-Bataller E, Méndez-Suárez JL, Alemán-Sánchez C, Sánchez-Enríquez J, Sosa-Henríquez M. Change in the profile of traumatic spinal cord injury over 15 years in Spain. Scand J Trauma Resusc Emerg Med. 2018;26:27.
21. Ríos-León M, Onal B, Arango-Lasprilla JC, Augutis M, Civicos-Sanchez N, Graham A, et al. Pediatric health and life domain priorities: A national survey of people with spinal cord injury and their parents and caregivers. The Journal of Spinal Cord Medicine. 2022;1-13.
22. Torres Alaminos MA. Aspectos epidemiológicos de la lesión medular en el Hospital Nacional de Paraplégicos. Ene [Internet]. 2018 [citat 25 gener 2023];12(2).

Disponible a: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1988-348X2018000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1988-348X2018000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

23. Fekete C, Brach M, Ehrmann C, Post MWM, Middleton J, Battistella L, et al. Cohort Profile of the International Spinal Cord Injury Community Survey Implemented in 22 Countries. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2020;101(12):2103-11.
24. Montoto-Marqués A, Ferreiro-Velasco ME, Salvador-de la Barrera S, Balboa-Barreiro V, Rodríguez-Sotillo A, Meijide-Failde R. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Galicia, Spain: trends over a 20-year period. *Spinal Cord*. 1 juny 2017;55(6):588-94.
25. Shin JC, Kim DH, Yu SJ, Yang HE, Yoon SY. Epidemiologic Change of Patients With Spinal Cord Injury. *Ann Rehabil Med*. 2013;37(1):50-6.
26. Smith SS, Stewart ME, Davies BM, Kotter MRN. The Prevalence of Asymptomatic and Symptomatic Spinal Cord Compression on Magnetic Resonance Imaging: A Systematic Review and Meta-analysis. *Global Spine J*. 2021;11(4):597-607.
27. New PW, Marshall R. International Spinal Cord Injury Data Sets for non-traumatic spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2014;52(2):123-32.
28. New PW, Delafosse V. What to call spinal cord damage not due to trauma? Implications for literature searching. *The Journal of Spinal Cord Medicine*. març 2012;35(2):89.

29. Mataliotakis GI, Tsirikos AI. Spinal cord trauma: pathophysiology, classification of spinal cord injury syndromes, treatment principles and controversies. *Orthopaedics and Trauma*. 1 octubre 2016;30(5):440-9.
30. Lee JK, Zheng B. Axon regeneration after spinal cord injury: insight from genetically modified mouse models. *Restorative neurology and neuroscience* [Internet]. 2008 [citat 5 febrer 2023]; Disponible a: <https://www.semanticscholar.org/paper/Axon-regeneration-after-spinal-cord-injury%3A-insight-Lee-Zheng/1693e809cfcad7964a99552b851947ce9c510dd1>
31. Bareyre FM, Kerschensteiner M, Raineteau O, Mettenleiter TC, Weinmann O, Schwab ME. The injured spinal cord spontaneously forms a new intraspinal circuit in adult rats. *Nature Neuroscience*. 2004;7(3):269-77.
32. Tuszynski MH, Steward O. Concepts and Methods for the Study of Axonal Regeneration in the CNS. *Neuron*. 2012;74(5):777-91.
33. Park KK, Liu K, Hu Y, Kanter JL, He Z. PTEN/mTOR and axon regeneration. *Experimental Neurology*. 2010;223(1):45-50.
34. Park KK, Liu K, Hu Y, Smith PD, Wang C, Cai B, et al. Promoting Axon Regeneration in the Adult CNS by Modulation of the PTEN/mTOR Pathway. *Science*. 2008;322(5903):963-6.
35. Shen Y, Tenney AP, Busch SA, Horn KP, Cuascut FX, Liu K, et al. PTP $\sigma$  Is a Receptor for Chondroitin Sulfate Proteoglycan, an Inhibitor of Neural Regeneration. *Science*. 2009;326(5952):592-6.

36. Martin JH. Chapter 22 - Neuroplasticity of spinal cord injury and repair. En: Quartarone A, Ghilardi MF, Boller F, editors. Handbook of Clinical Neurology [Internet]. Elsevier; 2022. p. 317-30. Disponible a: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128194102000175>
  
37. Wahl AS, Omlor W, Rubio JC, Chen JL, Zheng H, Schröter A, et al. Asynchronous therapy restores motor control by rewiring of the rat corticospinal tract after stroke. *Science*. 2014;344(6189):1250-5.
  
38. Hofer AS, Schwab ME. Enhancing rehabilitation and functional recovery after brain and spinal cord trauma with electrical neuromodulation. *Curr Opin Neurol*. 2019;32(6):828-35.
  
39. Hornby TG, Reisman DS, Ward IG, Scheets PL, Miller A, Haddad D, et al. Clinical Practice Guideline to Improve Locomotor Function Following Chronic Stroke, Incomplete Spinal Cord Injury, and Brain Injury. *Journal of Neurologic Physical Therapy* [Internet]. 2020;44(1). Disponible a: [https://journals.lww.com/jnpt/Fulltext/2020/01000/Clinical\\_Practice\\_Guideline\\_to\\_Improve\\_Locomotor.8.aspx](https://journals.lww.com/jnpt/Fulltext/2020/01000/Clinical_Practice_Guideline_to_Improve_Locomotor.8.aspx)
  
40. De Miguel-Rubio A, Muñoz-Pérez L, Alba-Rueda A, Arias-Avila M, Rodrigues-de-Souza DP. A Therapeutic Approach Using the Combined Application of Virtual Reality with Robotics for the Treatment of Patients with Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(14):8772.
  
41. Nardone R, Höller Y, Brigo F, Seidl M, Christova M, Bergmann J, et al. Functional brain reorganization after spinal cord injury: Systematic review of animal and human studies. *Brain Research*. 2013;1504:58-73.

42. Houlé JD, Côté MP. Axon regeneration and exercise-dependent plasticity after spinal cord injury. *Ann N Y Acad Sci.* 2013;1279(1):154-63.
43. Freund P, Weiskopf N, Ward NS, Hutton C, Gall A, Ciccarelli O, et al. Disability, atrophy and cortical reorganization following spinal cord injury. *Brain.* 2011;134(6):1610-22.
44. di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Exp Brain Res.* 1992;91(1):176-80.
45. Gallese V, Fadiga L, Fogassi L, Rizzolatti G. Action recognition in the premotor cortex. *Brain.* 1996;119(2):593-609.
46. Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, Fogassi L. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Res Cogn Brain Res.* 1996;3(2):131-41.
47. Kraskov A, Philipp R, Waldert S, Vigneswaran G, Quallo MM, Lemon RN. Corticospinal mirror neurons. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2014;369(1644):20130174-20130174.
48. Jeannerod M. The hand and the object: the role of posterior parietal cortex in forming motor representations. *Can J Physiol Pharmacol.* 1 maig 1994;72(5):535-41.
49. Vigneswaran G, Philipp R, Lemon RN, Kraskov A. M1 corticospinal mirror neurons and their role in movement suppression during action observation. *Curr Biol.* 2013;23(3):236-43.
50. Dushanova J, Donoghue J. Neurons in primary motor cortex engaged during action observation. *Eur J Neurosci.* 2010;31(2):386-98.

51. Rizzolatti G, Craighero L. THE MIRROR-NEURON SYSTEM. *Annu Rev Neurosci.* 2004;27(1):169-92.
52. Fadiga L, Fogassi L, Pavesi G, Rizzolatti G. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *J Neurophysiol.* june 1995;73(6):2608-11.
53. Maeda F, Kleiner-Fisman G, Pascual-Leone A. Motor facilitation while observing hand actions: specificity of the effect and role of observer's orientation. *J Neurophysiol.* 2002;87(3):1329-35.
54. Patuzzo S, Fiaschi A, Manganotti P. Modulation of motor cortex excitability in the left hemisphere during action observation: a single- and paired-pulse transcranial magnetic stimulation study of self- and non-self-action observation. *Neuropsychologia.* 2003;41(9):1272-8.
55. Gandhi D, Sterba A, Khatter H, Pandian J. Mirror Therapy in Stroke Rehabilitation: Current Perspectives. *Therapeutics and Clinical Risk Management.* 2020;Volume 16:75-85.
56. Maggio MG, Torrisi M, Buda A, De Luca R, Piazzitta D, Cannavò A, et al. Effects of robotic neurorehabilitation through lokomat plus virtual reality on cognitive function in patients with traumatic brain injury: A retrospective case-control study. *International Journal of Neuroscience.* 2020;130(2):117-23.
57. Abbruzzese G, Marchese R, Avanzino L, Pelosin E. Rehabilitation for Parkinson's disease: Current outlook and future challenges. *Parkinsonism Relat Disord.* 2016;22 Suppl 1:S60-4.

58. Chi B, Chau B, Yeo E, Ta P. Virtual reality for spinal cord injury-associated neuropathic pain: Systematic review. *Ann Phys Rehabil Med*. 2019;62(1):49-57.
59. Austin PD, Siddall PJ. Virtual reality for the treatment of neuropathic pain in people with spinal cord injuries: A scoping review. *J Spinal Cord Med*. 2019;1-11.
60. Austin PD, Siddall PJ. Virtual reality for the treatment of neuropathic pain in people with spinal cord injuries: A scoping review. *J Spinal Cord Med*. 2021;44(1):8-18.
61. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*. 2003;83(8):713-21.
62. Cashin AG, McAuley JH. Clinimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale. *Journal of Physiotherapy*. 2020;66(1):59.
63. Jordan M, Richardson EJ. Effects of Virtual Walking Treatment on Spinal Cord Injury–Related Neuropathic Pain: Pilot Results and Trends Related to Location of Pain and at-level Neuronal Hypersensitivity. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* [Internet]. 2016;95(5). Disponible a: [https://journals.lww.com/ajpmr/Fulltext/2016/05000/Effects\\_of\\_Virtual\\_Walking\\_Treatment\\_on\\_Spinal.8.aspx](https://journals.lww.com/ajpmr/Fulltext/2016/05000/Effects_of_Virtual_Walking_Treatment_on_Spinal.8.aspx)
64. Özkul Ç, Kılınç M, Yıldırım SA, Topçuoğlu EY, Akyüz M. Effects of visual illusion and transcutaneous electrical nerve stimulation on neuropathic pain in patients with spinal cord injury: A randomised controlled cross-over trial. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 2015;28(4):709-19.

65. Richardson EJ, McKinley EC, Rahman AKMF, Klebine P, Redden DT, Richards JS. Effects of virtual walking on spinal cord injury-related neuropathic pain: A randomized, controlled trial. *Rehabilitation Psychology*. 2019;64:13-24.
66. Trost Z, Anam M, Seward J, Shum C, Rumble D, Sturgeon J, et al. Immersive interactive virtual walking reduces neuropathic pain in spinal cord injury: findings from a preliminary investigation of feasibility and clinical efficacy. *PAIN* [Internet]. 2022;163(2). Disponible a: [https://journals.lww.com/pain/Fulltext/2022/02000/Immersive\\_interactive\\_virtual\\_walking\\_reduces.11.aspx](https://journals.lww.com/pain/Fulltext/2022/02000/Immersive_interactive_virtual_walking_reduces.11.aspx)
67. Soler D, Moraña D, Kumru H, Vidal J, Navarro X. Transcranial Direct Current Stimulation and Visual Illusion Effect According to Sensory Phenotypes in Patients With Spinal Cord Injury and Neuropathic Pain. *The Journal of Pain*. 2021;22(1):86-96.
68. Soler MD, Kumru H, Pelayo R, Vidal J, Tormos JM, Fregni F, et al. Effectiveness of transcranial direct current stimulation and visual illusion on neuropathic pain in spinal cord injury. *Brain*. 2010;133(9):2565-77.
69. Moseley GL. Using visual illusion to reduce at-level neuropathic pain in paraplegia. *Pain*. 2007;130(3):294-8.
70. Roosink M, Robitaille N, Jackson PL, Bouyer LJ, Mercier C. Interactive virtual feedback improves gait motor imagery after spinal cord injury: An exploratory study. *Restor Neurol Neurosci*. 2016 34(2):227-35.
71. Kumru H, Soler D, Vidal J, Navarro X, Tormos JM, Pascual-Leone A, et al. The effects of transcranial direct current stimulation with visual illusion in neuropathic



- pain due to spinal cord injury: an evoked potentials and quantitative thermal testing study. *Eur J Pain*. 2013;17(1):55-66.
72. Saghaei M. Random allocation software for parallel group randomized trials. *BMC Medical Research Methodology*. 2004;4(1):26.
  73. Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang AG. Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*. 2009;41(4):1149-60.
  74. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G\*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*. 2007;39(2):175-91.
  75. Bowden MG, Behrman AL. Step Activity Monitor: accuracy and test-retest reliability in persons with incomplete spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev*. 2007;44(3):355-62.
  76. van Hedel HJ, Wirz M, Dietz V. Assessing walking ability in subjects with spinal cord injury: Validity and reliability of 3 walking tests. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2005;86(2):190-6.
  77. Ditunno JF, Ditunno PL, Graziani V, Scivoletto G, Bernardi M, Castellano V, et al. Walking index for spinal cord injury (WISCI): an international multicenter validity and reliability study. *Spinal Cord*. 2000;38(4):234-43.
  78. Burns AS, Delparte JJ, Patrick M, Marino RJ, Ditunno JF. The Reproducibility and Convergent Validity of the Walking Index for Spinal Cord Injury (WISCI) in Chronic Spinal Cord Injury. *Neurorehabil Neural Repair*. 2011;25(2):149-57.

79. Serra-Añó P, Pedrero-Sánchez JF, Hurtado-Abellán J, Inglés M, Espí-López GV, López-Pascual J. Mobility assessment in people with Alzheimer disease using smartphone sensors. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2019;16(1):103.
80. Lord SR, Menz HB, Tiedemann A. A physiological profile approach to falls risk assessment and prevention. *Phys Ther*. 2003;83(3):237-52.
81. Lord SR, Ward JA, Williams P, Anstey KJ. Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women. *J Am Geriatr Soc*. 1994;42(10):1110-7.
82. Hermens HJ, Freriks B, Merletti R, Stegeman D, Blok J, Rau G, et al. European recommendations for surface electromyography. *Roessingh research and development*. 1999;8(2):13-54.
83. Bailey L. Parameters Representing Muscle Tone, Elasticity and Stiffness of Biceps Brachii in Healthy Older Males: Symmetry and Within-Session Reliability Using the MyotonPRO. *J Neurol Disord* [Internet]. 2013 [citat 28 gener 2023];01(01). Disponible a: <https://www.omicsonline.org/open-access/parameters-representing-muscle-tone-elasticity-and-stiffness-of-biceps-brachii-in-healthy-older-males-symmetry-and-within-session-reliability-using-the-myotonpro-2329-6895.1000116.php?aid=12384>
84. Agyapong-Badu S, Warner M, Samuel D, Stokes M. Practical considerations for standardized recording of muscle mechanical properties using a myometric device: recording site, muscle length, state of contraction and prior activity. *Journal of Musculoskeletal Research* [Internet]. 2018 [citat 28 gener 2023];21(2). Disponible a: <https://doi.org/10.1142/S0218957718500100>

85. Dellalana LE, Chen F, Vain A, Gandelman JS, Pöldemaa M, Chen H, et al. Reproducibility of the durometer and myoton devices for skin stiffness measurement in healthy subjects. *Skin Res Technol*. 2019;25(3):289-93.
86. Badia X, Muriel C, Gracia A, Núñez-Olarte JM, Perulero N, Gálvez R, et al. [Validation of the Spanish version of the Brief Pain Inventory in patients with oncological pain]. *Med Clin (Barc)*. 2003;120(2):52-9.
87. Tan G, Jensen MP, Thornby JI, Shanti BF. Validation of the brief pain inventory for chronic nonmalignant pain. *The Journal of Pain*. 2004;5(2):133-7.
88. Ferguson B. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription 9th Ed. 2014. *J Can Chiropr Assoc*. 2014;58(3):328.
89. Giangregorio L, McCartney N. Bone Loss and Muscle Atrophy in Spinal Cord Injury: Epidemiology, Fracture Prediction, and Rehabilitation Strategies. *J Spinal Cord Med*. 2006;29(5):489-500.
90. Mackiewicz-Milewska M, Cisowska-Adamiak M, Rość D, Głowacka-Mrotek I, Świątkiewicz I. Effects of Four-Week Rehabilitation Program on Hemostasis Disorders in Patients with Spinal Cord Injury. *Journal of Clinical Medicine*. juny 2020;9(6):1836.
91. Serra-Añó P, Pedrero-Sánchez JF, Inglés M, Aguilar-Rodríguez M, Vargas-Villanueva I, López-Pascual J. Assessment of Functional Activities in Individuals with Parkinson's Disease Using a Simple and Reliable Smartphone-Based Procedure. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(11):4123.

92. Waters RL, Yakura JS, Adkins RH. Gait performance after spinal cord injury. *Clin Orthop Relat Res.* 1 març 1993;(288):87-96.
93. Kwon SH, Lee BS, Lee HJ, Kim EJ, Lee JA, Yang SP, et al. Energy Efficiency and Patient Satisfaction of Gait With Knee-Ankle-Foot Orthosis and Robot (ReWalk)-Assisted Gait in Patients With Spinal Cord Injury. *Ann Rehabil Med.* 2020;44(2):131-41.
94. Ulkar B, Yavuzer G, Guner R, Ergin S. Energy expenditure of the paraplegic gait: comparison between different walking aids and normal subjects. *International Journal of Rehabilitation Research.* 2003;26(3):213.
95. Dietz V. Human neuronal control of automatic functional movements: interaction between central programs and afferent input. *Physiological Reviews.* 1992;72(1):33-69.
96. Dietz V. Proprioception and locomotor disorders. *Nature Reviews Neuroscience.* 2002;3(10):781-90.
97. MacKay-Lyons M. Central Pattern Generation of Locomotion: A Review of the Evidence. *Physical Therapy.* 2002;82(1):69-83.
98. Caspers S, Zilles K, Laird AR, Eickhoff SB. ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *Neuroimage.* 2010;50(3):1148-67.
99. Buccino G, Binkofski F, Fink GR, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, et al. Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience.* 2001;13(2):400-4.

100. Hari R, Forss N, Avikainen S, Kirveskari E, Salenius S, Rizzolatti G. Activation of human primary motor cortex during action observation: A neuromagnetic study. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1998;95(25):15061-5.
101. Caligiore D, Mustile M, Spalletta G, Baldassarre G. Action observation and motor imagery for rehabilitation in Parkinson's disease: A systematic review and an integrative hypothesis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2017;72:210-22.
102. Todorov E. Optimality principles in sensorimotor control (review). *Nat Neurosci*. 2004;7(9):907-15.
103. Wu CY, Huang PC, Chen YT, Lin KC, Yang HW. Effects of Mirror Therapy on Motor and Sensory Recovery in Chronic Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2013;94(6):1023-30.
104. M. Villiger, M. -C. Hepp-Reymond, P. Pyk, D. Kiper, K. Eng, J. Spillman, et al. Virtual reality rehabilitation system for neuropathic pain and motor dysfunction in spinal cord injury patients. En: 2011 International Conference on Virtual Rehabilitation. 2011. p. 1-4.
105. Villiger M, Bohli D, Kiper D, Pyk P, Spillmann J, Meilick B, et al. Virtual Reality–Augmented Neurorehabilitation Improves Motor Function and Reduces Neuropathic Pain in Patients With Incomplete Spinal Cord Injury. *Neurorehabil Neural Repair*. 2013;27(8):675-83.
106. Villiger M, Grabher P, Hepp-Reymond MC, Kiper D, Curt A, Bolliger M, et al. Relationship between structural brainstem and brain plasticity and lower-limb training in spinal cord injury: a longitudinal pilot study. *Front Hum Neurosci*. 2015;9:254.

107. Villiger M, Liviero J, Awai L, Stoop R, Pyk P, Clijsen R, et al. Home-Based Virtual Reality-Augmented Training Improves Lower Limb Muscle Strength, Balance, and Functional Mobility following Chronic Incomplete Spinal Cord Injury. *Frontiers in Neurology* [Internet]. 2017 [citad 28 gener 2023];8. Disponible a: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2017.00635>
108. An Y, Park C. The effects of virtual soccer game on balance, gait function, and kick speed in chronic incomplete spinal cord injury: a randomized controlled trial. *Spinal Cord*. 2022;60(6):504-9.
109. Martin Ginis KA, van der Scheer JW, Latimer-Cheung AE, Barrow A, Bourne C, Carruthers P, et al. Evidence-based scientific exercise guidelines for adults with spinal cord injury: an update and a new guideline. *Spinal Cord*. 2018;56(4):308-21.
110. Fawkes-Kirby TM, Wheeler MA, Anton HA, Miller WC, Townson AF, Weeks C a. O. Clinical correlates of fatigue in spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2008;46(1):21-5.
111. Anton HA, Miller WC, Townson AF, Imam B, Silverberg N, Forwell S. The course of fatigue after acute spinal cord injury. *Spinal Cord*. 1 gener 2017;55(1):94-7.
112. Wijesuriya N, Tran Y, Middleton J, Craig A. Impact of fatigue on the health-related quality of life in persons with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012;93(2):319-24.
113. Melis E, Torres-Moreno R, Barbeau H, Lemaire E. Analysis of assisted-gait characteristics in persons with incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord*. 1999;37(6):430-9.

114. Oudega M, Perez MA. Corticospinal reorganization after spinal cord injury. *The Journal of Physiology*. 2012;590(16):3647-63.
115. Barthélemy D, Willerslev-Olsen M, Lundell H, Conway BA, Knudsen H, Biering-Sørensen F, et al. Impaired transmission in the corticospinal tract and gait disability in spinal cord injured persons. *J Neurophysiol*. 2010;104(2):1167-76.
116. van Lummel RC, Walgaard S, Pijnappels M, Elders PJM, Garcia-Aymerich J, van Dieën JH, et al. Physical Performance and Physical Activity in Older Adults: Associated but Separate Domains of Physical Function in Old Age. *PLoS One*. 2015;10(12):e0144048.
117. Brodie MAD, Coppens MJM, Lord SR, Lovell NH, Gschwind YJ, Redmond SJ, et al. Wearable pendant device monitoring using new wavelet-based methods shows daily life and laboratory gaits are different. *Medical & Biological Engineering & Computing*. 2016;54(4):663-74.
118. Huxham FE, Goldie PA, Patla AE. Theoretical considerations in balance assessment. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2001;47(2):89-100.
119. Chiba R, Takakusaki K, Ota J, Yozu A, Haga N. Human upright posture control models based on multisensory inputs; in fast and slow dynamics. *Neuroscience Research*. 2016;104:96-104.
120. Jacobson GP, Shepard NT, Barin K, Janky K, McCaslin DL. *Balance Function Assessment and Management, Third Edition*. Plural Publishing; 2020. 734 p.
121. Dietz V, Fouad K. Restoration of sensorimotor functions after spinal cord injury. *Brain*. 2014;137(3):654-67.

122. Edgerton VR, Courtine G, Gerasimenko YP, Lavrov I, Ichiyama RM, Fong AJ, et al. Training locomotor networks. *Brain Research Reviews*. 2008;57(1):241-54.
123. Rossignol S, Frigon A. Recovery of locomotion after spinal cord injury: Some facts and mechanisms. *Annual Review of Neuroscience*. 2011;34:413-40.
124. Takeoka A, Vollenweider I, Courtine G, Arber S. Muscle spindle feedback directs locomotor recovery and circuit reorganization after spinal cord injury. *Cell*. 18 desembre 2014;159(7):1626-39.
125. Logan D, Kiemel T, Jeka JJ. Asymmetric sensory reweighting in human upright stance. *PLoS One*. 2014;9(6):e100418.
126. Peterka RJ, Loughlin PJ. Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol*. 2004;91(1):410-23.
127. Wasaka T, Kakigi R. The effect of unpredicted visual feedback on activation in the secondary somatosensory cortex during movement execution. *BMC Neuroscience*. 2012;13(1):138.
128. Wasaka T, Kakigi R. Conflict caused by visual feedback modulates activation in somatosensory areas during movement execution. *Neuroimage*. 2012;59(2):1501-7.
129. Horak FB, Nashner LM. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol*. 1986;55(6):1369-81.
130. Murtiyani N, Suidah H. The Effect of Giving Intervention 12 Balance Exercise on Postural Balance in Elderly. *OJN*. 2019;09(05):534-40.



131. Nashner LM, McCollum G. The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. *Behavioral and Brain Sciences*. 1985;8(1):135-50.
132. Millor N, Lecumberri P, Gomez M, Martínez-Ramirez A, Izquierdo M. Kinematic Parameters to Evaluate Functional Performance of Sit-to-Stand and Stand-to-Sit Transitions Using Motion Sensor Devices: A Systematic Review. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2014;22(5):926-36.
133. Dall PM, Kerr A. Frequency of the sit to stand task: An observational study of free-living adults. *Applied Ergonomics*. 2010;41(1):58-61.
134. Roy G, Nadeau S, Gravel D, Malouin F, McFadyen BJ, Pottie F. The effect of foot position and chair height on the asymmetry of vertical forces during sit-to-stand and stand-to-sit tasks in individuals with hemiparesis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2006;21(6):585-93.
135. Eick J, Richardson EJ. Cortical Activation During Visual Illusory Walking in Persons With Spinal Cord Injury: A Pilot Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2015;96(4):750-3.
136. Nogueira NG de HM, Parma JO, Leão SES de A, Sales I de S, Macedo LC, Galvão ACDR, et al. Mirror therapy in upper limb motor recovery and activities of daily living, and its neural correlates in stroke individuals: A systematic review and meta-analysis. *Brain Research Bulletin*. 2021;177:217-38.
137. Flor H, Diers M. Sensorimotor training and cortical reorganization. *NeuroRehabilitation*. 2009;25(1):19-27.

138. Roebroek ME, Doorenbosch CAM, Harlaar J, Jacobs R, Lankhorst GJ. Biomechanics and muscular activity during sit-to-stand transfer. *Clinical Biomechanics*. 1994;9(4):235-44.
139. Farina D, Fosci M, Merletti R. Motor unit recruitment strategies investigated by surface EMG variables. *Journal of Applied Physiology*. 2002;92(1):235-47.
140. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing Maximal Neuromuscular Power. *Sports Med*. 2011;41(1):17-38.
141. Serra-Añó P, Pellicer-Chenoll M, García-Massó X, Morales J, Giner-Pascual M, González LM. Effects of resistance training on strength, pain and shoulder functionality in paraplegics. *Spinal Cord*. 2012;50(11):827-31.
142. Broderick P, Horgan F, Blake C, Ehrensberger M, Simpson D, Monaghan K. Mirror therapy for improving lower limb motor function and mobility after stroke: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. 2018;63:208-20.
143. Bayles MP. *ACSM's Exercise Testing and Prescription*. Lippincott Williams & Wilkins; 2023. 831 p.
144. Beyaert C, Vasa R, Frykberg GE. Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*. 1 novembre 2015;45(4):335-55.
145. Lin RC, Chiang SL, Heitkemper MM, Weng SM, Lin CF, Yang FC, et al. Effectiveness of Early Rehabilitation Combined With Virtual Reality Training on Muscle Strength, Mood State, and Functional Status in Patients With Acute Stroke:

- A Randomized Controlled Trial. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*. 2020;17(2):158-67.
146. Liao YY, Yang YR, Wu YR, Wang RY. Virtual Reality-Based Wii Fit Training in Improving Muscle Strength, Sensory Integration Ability, and Walking Abilities in Patients with Parkinson's Disease: A Randomized Control Trial. *International Journal of Gerontology*. 2015;9(4):190-5.
147. Sheean G. The pathophysiology of spasticity. *European Journal of Neurology*. 2002;9(s1):3-9.
148. Sköld C, Levi R, Seiger A. Spasticity after traumatic spinal cord injury: nature, severity, and location. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80(12):1548-57.
149. Page P. Current concepts in muscle stretching for exercise and rehabilitation. *Int J Sports Phys Ther*. 2012;7(1):109-19.
150. Michielsen ME, Selles RW, van der Geest JN, Eckhardt M, Yavuzer G, Stam HJ, et al. Motor Recovery and Cortical Reorganization After Mirror Therapy in Chronic Stroke Patients: A Phase II Randomized Controlled Trial. *Neurorehabil Neural Repair*. 2011;25(3):223-33.
151. Needle AR, Baumeister J, Kaminski TW, Higginson JS, Farquhar WB, Swanik CB. Neuromechanical coupling in the regulation of muscle tone and joint stiffness. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2014;24(5):737-48.
152. Ganguly J, Kulshreshtha D, Almotiri M, Jog M. Muscle Tone Physiology and Abnormalities. *Toxins*. 2021;13(4).

153. Sangari S, Kirshblum S, Guest JD, Oudega M, Perez MA. Distinct patterns of spasticity and corticospinal connectivity following complete spinal cord injury. *The Journal of Physiology*. 2021;599(19):4441-54.
154. Maynard FM, Karunas RS, Waring WP. Epidemiology of spasticity following traumatic spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 1990;71(8):566-9.
155. Barnes M, Johnson G. Upper motor neurone syndrome and spasticity. 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2001.
156. Trompetto C, Marinelli L, Mori L, Pelosin E, Currà A, Molfetta L, et al. Pathophysiology of Spasticity: Implications for Neurorehabilitation. *Biomed Res Int*. 2014;2014:354906.
157. Tederko P, Krasuski M, Czech J, Dargiel A, Garwacka-Jodzis I, Wojciechowska A. Reliability of clinical spasticity measurements in patients with cervical spinal cord injury. *Ortop Traumatol Rehabil*. 2007;9(5):467-83.
158. Lundqvist C, Siösteen A, Blomstrand C, Lind B, Sullivan M. Spinal cord injuries. Clinical, functional, and emotional status. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1991;16(1):78-83.
159. Widerström-Noga EG, Turk DC. Types and effectiveness of treatments used by people with chronic pain associated with spinal cord injuries: influence of pain and psychosocial characteristics. *Spinal Cord*. 2003;41(11):600-9.
160. Chan BL, Witt R, Charrow AP, Magee A, Howard R, Pasquina PF, et al. Mirror Therapy for Phantom Limb Pain. *N Engl J Med*. 2007;357(21):2206-7.
161. Giraux P, Sirigu A. Illusory movements of the paralyzed limb restore motor cortex activity. *NeuroImage*. 2003;20:S107-11.

162. Bryce TN, Biering-Sørensen F, Finnerup NB, Cardenas DD, Defrin R, Lundeberg T, et al. International spinal cord injury pain classification: part I. Background and description. March 6-7, 2009. *Spinal Cord*. 2012;50(6):413-7.
163. Walters ET. Neuroinflammatory contributions to pain after SCI: roles for central glial mechanisms and nociceptor-mediated host defense. *Exp Neurol*. 2014;258:48-61.
164. Walters ET. Nociceptors as chronic drivers of pain and hyperreflexia after spinal cord injury: an adaptive-maladaptive hyperfunctional state hypothesis. *Front Physiol*. 2012;3:309.
165. Carlton SM, Du J, Tan HY, Nesic O, Hargett GL, Bopp AC, et al. Peripheral and central sensitization in remote spinal cord regions contribute to central neuropathic pain after spinal cord injury. *Pain*. 2009;147(1-3):265-76.
166. Bedi SS, Yang Q, Crook RJ, Du J, Wu Z, Fishman HM, et al. Chronic spontaneous activity generated in the somata of primary nociceptors is associated with pain-related behavior after spinal cord injury. *J Neurosci*. 2010;30(44):14870-82.
167. Ritter DM, Zemel BM, Hala TJ, O'Leary ME, Lepore AC, Covarrubias M. Dysregulation of Kv3.4 Channels in Dorsal Root Ganglia Following Spinal Cord Injury. *J Neurosci*. 2015;35(3):1260-73.
168. Yang Q, Wu Z, Hadden JK, Odem MA, Zuo Y, Crook RJ, et al. Persistent pain after spinal cord injury is maintained by primary afferent activity. *J Neurosci*. 2014;34(32):10765-9.

169. Lee-Kubli CA, Ingves M, Henry KW, Shiao R, Collyer E, Tuszynski MH, et al. Analysis of the behavioral, cellular and molecular characteristics of pain in severe rodent spinal cord injury. *Exp Neurol*. 2016;278:91-104.
170. Detloff MR, Smith EJ, Molina DQ, Ganzer PD, Houlé JD. Acute exercise prevents the development of neuropathic pain and the sprouting of non-peptidergic (GDNF- and artemin-responsive) c-fibers after spinal cord injury. *Exp Neurol*. 2014;255:38-48.
171. Krenz NR, Meakin SO, Krassioukov AV, Weaver LC. Neutralizing intraspinal nerve growth factor blocks autonomic dysreflexia caused by spinal cord injury. *J Neurosci*. 1999;19(17):7405-14.
172. Hou S, Duale H, Rabchevsky AG. Intraspinal sprouting of unmyelinated pelvic afferents after complete spinal cord injury is correlated with autonomic dysreflexia induced by visceral pain. *Neuroscience*. 2009;159(1):369-79.
173. Drew GM, Siddall PJ, Duggan AW. Mechanical allodynia following contusion injury of the rat spinal cord is associated with loss of GABAergic inhibition in the dorsal horn. *Pain*. 2004;109(3):379-88.
174. Sivilotti L, Woolf CJ. The contribution of GABAA and glycine receptors to central sensitization: disinhibition and touch-evoked allodynia in the spinal cord. *J Neurophysiol*. 1994;72(1):169-79.
175. Tandon S, Kambi N, Lazar L, Mohammed H, Jain N. Large-scale expansion of the face representation in somatosensory areas of the lateral sulcus after spinal cord injuries in monkeys. *J Neurosci*. 2009;29(38):12009-19.

176. Sakamoto M, Muraoka T, Mizuguchi N, Kanosue K. Combining observation and imagery of an action enhances human corticospinal excitability. *Neuroscience Research*. 2009;65(1):23-7.
177. Stinear CM, Byblow WD. Modulation of corticospinal excitability and intracortical inhibition during motor imagery is task-dependent. *Experimental Brain Research*. 2004;157(3):351-8.
178. Garry MI, Loftus A, Summers JJ. Mirror, mirror on the wall: viewing a mirror reflection of unilateral hand movements facilitates ipsilateral M1 excitability. *Experimental Brain Research*. 2005;163(1):118-22.
179. Funase K, Tabira T, Higashi T, Liang N, Kasai T. Increased corticospinal excitability during direct observation of self-movement and indirect observation with a mirror box. *Neuroscience Letters*. 2007;419(2):108-12.
180. Sabourin S, Tram J, Sheldon BL, Pilitsis JG. Defining minimal clinically important differences in pain and disability outcomes of patients with chronic pain treated with spinal cord stimulation. *J Neurosurg Spine*. 2021;1-8.
181. Sloman R, Wruble AW, Rosen G, Rom M. Determination of clinically meaningful levels of pain reduction in patients experiencing acute postoperative pain. *Pain Manag Nurs*. 2006;7(4):153-8.





# **7. ANNEXOS**



# Annex I

Patient Name \_\_\_\_\_ Date/Time of Exam \_\_\_\_\_  
 Examiner Name \_\_\_\_\_ Signature \_\_\_\_\_



## RIGHT

**MOTOR KEY MUSCLES**

Elbow flexors C5  
 Wrist extensors C6  
 Elbow extensors C7  
 Finger flexors C8  
 Finger abductors (little finger) T1

**UER**  
 (Upper Extremity Right)

**LER**  
 (Lower Extremity Right)

(VAC) Voluntary Anal Contraction (Yes/No)

**RIGHT TOTALS (MAXIMUM)** (50)

## LEFT

**MOTOR KEY MUSCLES**

Elbow flexors C5  
 Wrist extensors C6  
 Elbow extensors C7  
 Finger flexors C8  
 Finger abductors (little finger) T1

**UEL**  
 (Upper Extremity Left)

**LEL**  
 (Lower Extremity Left)

(VAC) Voluntary Anal Contraction (Yes/No)

**LEFT TOTALS (MAXIMUM)** (50)

**KEY SENSORY POINTS**

Light Touch (LTL) Pin Prick (PPR)

**RIGHT** (LTL) (PPR)

**LEFT** (LTL) (PPR)

**SENSORY SUBSCORES**

LTR  + LTL  = LTR TOTAL  (50)

MAX (50)

PPR  + PPL  = PP TOTAL  (112)

MAX (56)

**KEY SENSORY POINTS**

Light Touch (LTL) Pin Prick (PPR)

**RIGHT** (LTL) (PPR)

**LEFT** (LTL) (PPR)

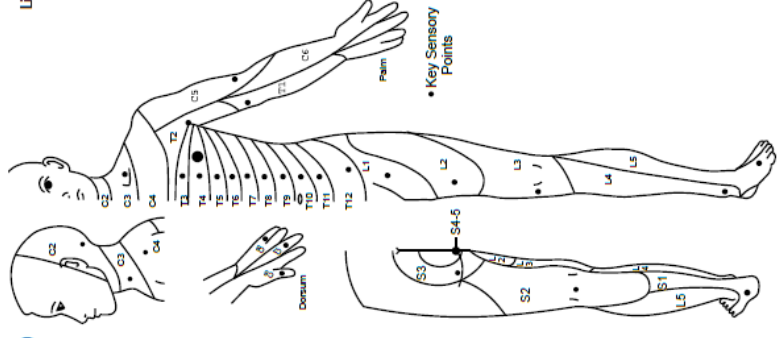
**SENSORY SUBSCORES**

LTR  + LTL  = LTR TOTAL  (50)

MAX (56)

PPR  + PPL  = PP TOTAL  (112)

MAX (56)



**MOTOR (SCORING ON REVERSE SIDE)**

0 = Total paralysis  
 1 = Palpable or visible contraction  
 2 = Active movement, gravity eliminated  
 3 = Active movement, against gravity  
 4 = Active movement, against some resistance  
 5 = Active movement, against full resistance

NT = Not testable  
 0', 1', 2', 3', 4', NT' = Non-SCI condition present

**SENSORY (SCORING ON REVERSE SIDE)**

0 = Absent  
 1 = Not testable  
 0', 1', NT' = Non-SCI condition present  
 2 = Normal

**NEUROLOGICAL LEVELS**  
 Steps 1-6 for classification as on reverse

1. SENSORY

2. MOTOR

3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NL)

4. COMPLETE OR INCOMPLETE?  (in injuries with absent motor OR sensory function in S4-S5 only)  
 Incomplete = Any sensory or motor function in S4-S5

5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS)

6. ZONE OF PARTIAL SENSORY PRESERVATION

Most caudal levels with any innervation

## Muscle Function Grading

- 0 = Total paralysis
- 1 = Palpable or visible contraction
  - 2 = Active movement, full range of motion (ROM) with gravity eliminated
  - 3 = Active movement, full ROM against gravity
  - 4 = Active movement, full ROM against gravity and moderate resistance in a muscle specific position
  - 5 = (Normal) active movement, full ROM against gravity and full resistance in a functional muscle position expected from an otherwise unimpaired person
- NT = Not testable (i.e. due to immobilization, severe pain such that the patient cannot be graded, amputation of limb, or contracture of > 50% of the normal ROM)
- 0\*, 1\*, 2\*, 3\*, 4\*, NT\* = Non-SCI condition present \*

## Sensory Grading

- 0 = Absent 1 = Altered, either decreased/impaired sensation or hypersensitivity
- 2 = Normal NT = Not testable
- 0\*, 1\*, NT\* = Non-SCI condition present \*

\*Note: Abnormal motor and sensory scores should be tagged with a "\*" to indicate an impairment due to a non-SCI condition. The non-SCI condition should be explained in the comments box, together with information about how the score is rated for classification purposes (at least normal / not normal for classification).

## When to Test Non-Key Muscles:

In a patient with an apparent AIS B classification, non-key muscle functions more than 3 levels below the motor level on each side should be tested to most accurately classify the injury (differentiate between AIS B and C).

Movement	Root level
Shoulder: Flexion, extension, abduction, adduction, internal and external rotation	C5
Elbow: Supination	
Elbow: Pronation	C6
Wrist: Flexion	
Finger: Flexion at proximal joint, extension	C7
Thumb: Flexion, extension and abduction in plane of thumb	
Finger: Flexion at MCP joint	
Thumb: Opposition, adduction and abduction perpendicular to palm	C8
Finger: Abduction of the index finger	T1
Hip: Adduction	L2
Hip: External rotation	L3
Hip: Extension, abduction, internal rotation	
Knee: Flexion	L4
Ankle: Inversion and eversion	
Toe: MP and IP extension	
Hallux and Toe: DIP and PIP flexion and abduction	L5
Hallux: Adduction	S1

## ASIA Impairment Scale (AIS)

**A = Complete.** No sensory or motor function is preserved in the sacral segments S4-5.

**B = Sensory Incomplete.** Sensory but not motor function is preserved below the neurological level and includes the sacral segments S4-5 (light touch or pin prick at S4-5 or deep anal pressure) AND no motor function is preserved more than three levels below the motor level on either side of the body.

**C = Motor Incomplete.** Motor function is preserved at the most caudal sacral segments for voluntary anal contraction (VAC) OR the patient meets the criteria for sensory incomplete status (sensory function preserved at the most caudal sacral segments S4-5 by LT, PP or DAP), and has some sparing of motor function more than three levels below the ipsilateral motor level on either side of the body. (This includes key or non-key muscle functions to determine motor incomplete status.) For AIS C – less than half of key muscle functions below the single NLI have a muscle grade  $\geq 3$ .

**D = Motor Incomplete.** Motor incomplete status as defined above, with at least half (half or more) of key muscle functions below the single NLI having a muscle grade  $\geq 3$ .

**E = Normal.** If sensation and motor function as tested with the ISNCSCI are graded as normal in all segments, and the patient had prior deficits, then the AIS grade is E. Someone without an initial SCI does not receive an AIS grade.

**Using ND:** To document the sensory, motor and NLI levels, the ASIA Impairment Scale grade, and/or the zone of partial preservation (ZPP) when they are unable to be determined based on the examination results.

**ASIA**  
AMERICAN SPINAL INJURY ASSOCIATION

INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY

**ISCSO**  
INTERNATIONAL SPINAL CORD SOCIETY

## Steps in Classification

The following order is recommended for determining the classification of individuals with SCI.

1. Determine sensory levels for right and left sides. The sensory level is the most caudal, intact dermatome for both pin prick and light touch sensation.
2. Determine motor levels for right and left sides. Defined by the lowest key muscle function that has a grade of at least 3 (on supine testing), providing the key muscle functions represented by segments above that level are judged to be intact (graded as a 5).  
Note: in regions where there is no myotome to test, the motor level is presumed to be the same as the sensory level. If testable motor function above that level is also normal.
3. Determine the neurological level of injury (NLI). This refers to the most caudal segment of the cord with intact sensation and antigravity (3 or more) muscle function strength, provided that there is normal (intact) sensory and motor function rostrally respectively.  
The NLI is the most cephalad of the sensory and motor levels determined in steps 1 and 2.

4. Determine whether the injury is Complete or Incomplete. If voluntary anal contraction = No AND all S4-5 sensory scores = 0 AND deep anal pressure = No, then injury is Complete. Otherwise, injury is Incomplete.

5. Determine ASIA Impairment Scale (AIS) Grade. Is injury Complete? If YES, AIS=A

NO  $\rightarrow$

Is injury Motor Complete? If YES, AIS=B

NO  $\rightarrow$  (No=voluntary anal contraction OR motor function more than three levels below the motor level on a given side, if the patient has sensory incomplete classification)

Are at least half (half or more) of the key muscles below the neurological level of injury graded 3 or better?

NO  $\rightarrow$  AIS=C

YES  $\rightarrow$  AIS=D

If sensation and motor function is normal in all segments, AIS=E  
Note: AIS E is used in follow-up testing when an individual with a documented SCI has recovered normal function. If at initial testing no deficits are found, the individual is neurologically intact and the ASIA Impairment Scale does not apply.

6. Determine the zone of partial preservation (ZPP). The ZPP is used only in injuries with absent motor (no VAC) OR sensory function (no DAP, no LT and no PP sensation) in the lowest sacral segments S4-5, and refers to those dermatomes and myotomes caudal to the sensory and motor levels that remain partially innervated. With sacral sparing of sensory function, the sensory ZPP is not applicable and therefore "NA" is recorded in the block of the worksheet. Accordingly, if VAC is present, the motor ZPP is not applicable and is noted as "NA".

## Annex II

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
<b>TITLE</b>			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	
<b>ABSTRACT</b>			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	
<b>INTRODUCTION</b>			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	
<b>METHODS</b>			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	
Synthesis methods	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	
<b>RESULTS</b>			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	
<b>DISCUSSION</b>			
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	
<b>OTHER INFORMATION</b>			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	

### Annex III

El comité Ético de Investigación en Humanos de la Comisión de Ética en Investigación Experimental de la Universitat de València,

CERTIFICA:

Que el Comité d'Ètica d'Investigació en Humans, en la reunió celebrada el día , una vez estudiado el proyecto de tesis doctoral: *"Evaluación de la efectividad de un programa de intervención basado en marcha virtual en la función motora, el tono y la sensibilidad en personas con lesión medular incompleta."*,

Cuyo/a responsable es D/Dña.

MARIA PILAR SERRA AÑO, dirigida por D/Dña. MARIA PILAR SERRA AÑO

ha acordado informar favorablemente el mismo.

Y para que conste, se firma el presente certificado

Av. Blasco Ibáñez, 13 tel: 963864109 vicerec.investigacio@uv.es  
València 46010 fax: 963983221 www.uv.es/serInves

Firmado digitalmente por  
PEDRO JESUS PEREZ ZAFRILLA  
Cargo: Presidente del Comité de Ética de la Investigación en Humanos  
Fecha: 04/06/2020 23:18:08 CEST



## Investigación y Lesión Medular

Somos un grupo de la Universitat de València comprometido con el avance de la investigación, concretamente en la Lesión Medular.

## Proyecto

El proyecto agrupa dos conceptos básicos del reaprendizaje motor: Neuroplasticidad y Neuronas Espejo. Nuestro objetivo es evaluar la eficacia de un tratamiento de marcha virtual (ilusión visual) con o sin ejercicio físico específico de marcha, en personas con lesión medular incompleta sobre la capacidad funcional de esta población.

## Intervención

El programa de intervención durará 6 semanas y se realizará 3 días por semana. Los participantes se dividirán en 2 grupos de forma aleatorizada.

Las sesiones estarán compuestas por dos partes: en la primera, el usuario estará de pie con ayuda de un bipedestador, delante de un espejo (parte superior) y una pantalla (parte inferior), mientras sigue las instrucciones que el terapeuta le indicará (Ilustración 1). En la segunda, se realizará un programa de ejercicio terapéutico dirigido a las extremidades inferiores. La duración de cada sesión será de 45 minutos. Además, el estudio contemplará la realización de cinco mediciones para evaluar los efectos, de 1 hora de duración.

## ¿Y qué gano yo si participo?

Seis semanas de tratamiento gratuito y ser cómplice del avance científico sobre la Lesión Medular.

## Neuroplasticidad.

Estudios anteriores han demostrado que la neuroplasticidad de las fibras corticoespinales residuales, el córtex motor y las neuronas espinales juega un rol importante en la recuperación funcional espontánea de las personas con LM incompleta.

Sin embargo, también es posible estimular los mecanismos de la neuroplasticidad de estas estructuras a través de técnicas orientadas a rehabilitar distintos déficits. En general, se pretende incentivar la neuroplasticidad mediante terapias tempranas, intensivas y específicas.

## Neuronas espejo.

Son un grupo de células que parecen estar relacionadas con los comportamientos empáticos, sociales e imitativos.

Refieren activación no solo cuando se realiza un movimiento concreto, sino también cuando se observa una acción.

Por ello, podrían jugar un papel fundamental en el (re)aprendizaje motor.



## ¿Quién puede participar?

Los candidatos deberán reunir las siguientes características:

1. Diagnóstico de Lesión Medular incompleta (ASIA C, D) de menos de un año de evolución.
2. Capacidad de deambulación con o sin ayudas.
3. No haber padecido ninguna patología traumática en piernas u otras alteraciones del Sistema Nervioso y/o Vestibular.

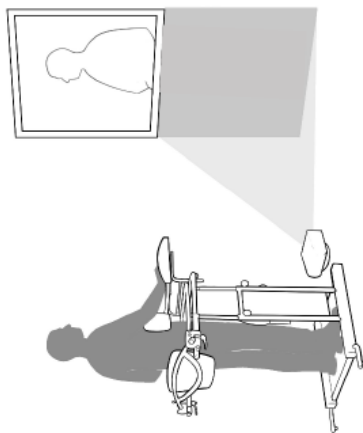


Ilustración 1

Información de contacto:



655069670 (Sara)

sara.molla@uv.es

Proyecto realizado por: **UNIVERSITAT ID VALÈNCIA** **Facultat de Fisioteràpia**

GENERALITAT VALÈNCIANA

## Annex V

### DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO Y COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD

#### 1.- INFORMACIÓN AL SUJETO DE EXPERIMENTACIÓN.

*El proyecto de investigación para el cual le pedimos su participación se titula:*

“Evaluación de la efectividad de un programa de intervención basado en marcha virtual en la función motora, el tono y la sensibilidad en personas con lesión medular incompleta”.

Para que usted pueda participar en este estudio es necesario contar con su consentimiento, y que conozca la información básica necesaria para que dicho consentimiento pueda considerarse verdaderamente informado. Por ello, le ruego que lea detenidamente la siguiente información. Si tuviera alguna duda exprese la, antes de firmar este documento, al investigador principal del proyecto, bien personalmente, bien a través del teléfono o por correo electrónico. Los datos del investigador principal del proyecto aparecen también en el presente documento.

La información básica que debe conocer es la siguiente:

*a) Objetivo del estudio:*

El objetivo principal de este estudio es evaluar la eficacia de un tratamiento de marcha virtual (ilusión visual) comparándolo con intervenciones combinadas con ejercicio físico específico de marcha en personas con lesión medular incompleta sobre la capacidad funcional de esta población.

*b) Metodología a utilizar para el estudio, tipo de colaboración que se espera de usted y duración de dicha colaboración:*

El estudio contemplará la realización de cinco mediciones que se realizarán un día antes de empezar el programa, un día después de terminarlo, y 1, 3 y 6 meses después. Es decir, 5 mediciones de 1h de duración.

El programa de intervención que se va a realizar durará 3 meses y se realizará 3 días por semana.

Las sesiones estarán compuestas por dos partes: en la primera, usted estará de pie con ayuda de un bipedestador mientras ve unas imágenes en una pantalla y sigue las instrucciones que el terapeuta le indicará. En la segunda, usted realizará un programa de ejercicio terapéutico dirigido a las extremidades inferiores.

Usted debe asistir a las sesiones a la hora acordada con ropa cómoda y seguir las instrucciones de la investigadora

c) *Procedimientos preventivos, diagnósticos y/o terapéuticos disponibles alternativos a los que se investigan con este estudio:*

El ejercicio físico terapéutico es una herramienta muy utilizada en rehabilitación que ha demostrado ser muy eficiente en la reeducación motriz en personas con lesión medular incompleta. Además es fundamental para la mejora funcional en los sistemas cardiovascular y pulmonar de personas con discapacidad (Crane DA, 2017; CA Larrson, 2013; Leech KA, 2018).

Lo que se pretende en este estudio es aumentar estos beneficios incluyendo a este tipo de terapia, ayuda suplementaria.

d) *Posibles molestias y riesgos de su participación en el estudio:*

El único riesgo asociado a este tipo de intervención será la fatiga. Es un riesgo leve, aunque puedes aparecer en la mayoría de las sesiones.

Otro riesgo menos probable es el riesgo a sufrir una caída por la realización de ejercicios de marcha. Se trata de un riesgo grave pero muy poco probable, ya que las sesiones serán con un grupo pequeño de participantes (3) y en todo momento estará asistido por la investigadora.

e) *Medidas para responder a los acontecimientos adversos:*

Si aparecen acontecimientos adversos (fatiga o caídas), se procederá a avisar al equipo sanitario para que evalúe la situación y actúe en consecuencia, asegurando el descanso y la recuperación de forma monitorizada, o atender contingencias derivadas por la caída.

f) *Medidas para asegurar una compensación adecuada en el caso de que usted sufra algún daño:*

Si usted sufriese algún daño, no seguiría dentro del estudio. Además, usted decidirá si se pueden o no usar los datos recogidos hasta el momento.

g) *Beneficios que se espera obtener con la investigación: Los beneficios potenciales podrían ser*

-Mejora de la función motora de los participantes, en concreto, del patrón de marcha, del tono y de las capacidades físicas (resistencia y fuerza).

-Mejora de la percepción sensitiva y propioceptiva.

-Reducción del dolor neuropático.

h) *Consecuencias de la no participación:*

Si prefiere no participar eso no afectará a su derecho a la asistencia sanitaria, y que la relación con las personas que le propusieron participar será igual de cordial y dedicada con los que rechacen participar que con los que sí participen.

i) *Posibilidad de retirada en cualquier momento y consecuencias:*

Usted puede retirarse del proyecto en cualquier momento firmando la revocación del consentimiento que se incluye al final del documento. Su retirada no tendrá ninguna consecuencia negativa para usted, y será aceptada sin problemas por el equipo investigador.

j) *¿Quién ha financiado el estudio?:*

La Universitat de València mediante una beca predoctoral “Atracció al Talent 2019”.

k) *¿Qué institución lo realiza?:*

Departament de Fisioteràpia de la Universitat de València.

l) *Gratuidad por la participación:*

Los sujetos de experimentación no obtendrán ninguna compensación económica por la participación en este estudio.

m) *Previsión de uso posterior de los resultados:*

Los resultados se utilizarán con fines de docencia, investigación y/o publicación científica.

n) *Equipo investigador:*

Pilar Serra Añó.

Sara Mollà Casanova.

Núria Sempere Rubio.

Marta Aguilar Rodríguez.

o) *Datos de contacto del investigador principal para aclaraciones o consultas:*

Pilar Serra Añó

Universitat de València, Facultat de Fisioteràpia.

pilar.serra@uv.es

657565150

p) El proyecto se realizará siguiendo los criterios éticos internacionales recogidos en la Declaración de Helsinki.

## 2.- COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD.

a) *Medidas para asegurar el respeto a la vida privada y a la confidencialidad de los datos personales:* Se han adoptado las medidas oportunas para garantizar la completa confidencialidad de los datos personales de los sujetos de experimentación que participen en este estudio, de acuerdo con la Ley De Protección de Datos de Carácter Personal (LOPD) 3/2018, de 5 de diciembre.

b) *Medidas para acceder a la información relevante para usted que surjan de la investigación o de los resultados totales:* Sepa que tiene derecho a acceder a la información generada sobre usted en el estudio. Usted tiene derecho a acceder a todos sus datos recogidos de las diversas evaluaciones realizando una solicitud por escrito a la investigadora principal del proyecto (Pilar Serra, pilar.serra@uv.es

c) *Medidas tomadas por tratarse de un estudio anonimizado:*

Se ha establecido un sistema de amonificación efectivo que no permite la identificación posterior del sujeto. En ningún caso se juntarán los consentimientos otorgados, donde sí se identifica al sujeto, con los cuestionarios utilizados en el estudio. En el uso que se realice de los resultados del estudio, con fines de docencia, investigación y/o publicación, se respetará siempre la debida amonificación de los datos de carácter personal, de modo que los sujetos de la investigación no resultarán identificados o identificables.

## 3.- CONSENTIMIENTO.

En el caso de que el sujeto de experimentación sea mayor de edad:

Don/Doña

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_,

mayor de edad, titular del DNI : \_\_\_\_\_, por el presente documento

manifiesto que:

En el caso de que el sujeto de experimentación sea menor de edad o incapaz de obrar:

Don/Doña

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_,

mayor de edad, titular del DNI : \_\_\_\_\_,

padre,  madre,  tutor legal

de \_\_\_\_\_,

por el presente documento manifiesto que:

He sido informado/a de las características del Proyecto de Investigación titulado: “Evaluación de la efectividad de un programa de intervención basado en marcha virtual en la función motora, el tono y la sensibilidad en personas con lesión medular incompleta”

He leído tanto el apartado 1 del presente documento titulado “información al sujeto de experimentación”, como el apartado 2 titulado “compromiso de confidencialidad”, y he podido formular las dudas que me han surgido al respecto. Considero que he entendido dicha información.

Estoy informado/a de la posibilidad de retirarme en cualquier momento del estudio.

En virtud de tales condiciones, consiento participar en este estudio.

Y en prueba de conformidad, firmo el presente documento en el lugar y fecha que se indican a continuación.

Valencia, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_.

<i>Nombre y apellidos del / de la participante:</i>	<i>Nombre y apellidos del padre, madre o tutor (en el caso de menores o incapaces):</i>	<i>Nombre y apellidos del investigador principal:</i>
Firma:	Firma:	Firma:

**Si el sujeto del estudio es un adolescente capaz intelectual y emocionalmente de entre 12 y 16 años debe de ser oída su opinión y autorizar su participación en el estudio firmando también este consentimiento. Cuando se trate de menores no incapaces ni incapacitados, pero emancipados o con 16 años cumplidos, no cabe prestar el consentimiento por representación y será el propio sujeto del estudio quien firmará el consentimiento (Ley 41/2002).**

## REVOCACIÓN DEL CONSENTIMIENTO

Revoco el consentimiento prestado en fecha \_\_\_\_\_ para participar en el proyecto titulado “Evaluación de la efectividad de un programa de intervención basado en marcha virtual en la función motora, el tono y la sensibilidad en personas con lesión medular incompleta” y, para que así conste, firmo la presente revocación.

En Valencia, a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_.

<i>Nombre y apellidos del / de la participante:</i>	<i>Nombre y apellidos del padre, madre o tutor (en el caso de menores o incapaces):</i>	<i>Nombre y apellidos del investigador principal:</i>
Firma:	Firma:	Firma:

## Annex VI

### INFORME FINAL

Nom:

Data de valoració PRE:

Data de valoració POST:

#### Marxa i equilibri

Comparació entre la valoració prèvia al tractament (PRE) i la valoració posterior (POST) de la marxa i l'equilibri mesurat amb la prova 10 metres marxa i l'eina de valoració *FallSkip*.

---

	PRE	POST
Temps per realitzar la prova 10 metres marxa		
Equilibri (%)		
Marxa(%)		
Temps de reacció (%)		
Seure's i aixecar-se (%)		

---

#### Força Mitjana

Comparació entre la valoració prèvia al tractament (PRE) i la valoració posterior (POST) de la força mesurada amb una cèl·lula de càrrega. Es fan 3 contraccions màximes voluntàries isomètriques de 5 segons de durada amb 5 segons de descans entre elles. Com a resultat es mostra la mitjana de força de les tres contraccions a Newtons.

---

	PRE	POST
Gluti mig		
Quàdriceps		
Isquiotibials		
Tibial Anterior		
Tríceps Sural		

---



## Annex VII

Resultats del MANOVA de dos factors:

- Factor entre-subjectes “grups” amb dues categories (GE i GC).
- Factor intra-subjecte “temps” amb quatre categories (T1, T2, T3 i T4).

### Funcionalitat:

#### 10MWT:

- Grups:  $F(1, 16) = 0,80, p > 0,05$ .
- Temps:  $F(1,124; 17,99) = 1,78, p > 0,05$ .
- Intersecció:  $F(1,124; 17,99) = 2,33, p > 0,05$ .

#### WISCI:

- Grups:  $F(1, 16) = 0,37, p > 0,05$ .
- Temps:  $F(3, 48) = 2,39, p > 0,05$ .
- Intersecció:  $F(3, 48) = 2,12, p > 0,05$ .

#### FallSkip

Desplaçament ML del CDP:

- Grups:  $F(1, 9) = 3,31, p > 0,05$ ,
- Temps:  $F(3, 27) = 3,60, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(3, 48) = 0,80, p > 0,05$ .

Desplaçament AP del CDP:

- Grups:  $F(1, 9) = 15,37, p < 0,05, \eta^2 = 0,63$ .
- Temps:  $F(1,71; 15,42) = 2,98, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(1,71; 15,42) = 1,08, p > 0,05$ .

Ària recorreguda pel CDP:

- Grups:  $F(1, 9) = 8,24, p < 0,05, \eta^2 = 0,45$ .
- Temps:  $F(1,44; 18,16) = 2,98, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(1,44; 18,16) = 1,14, p > 0,05$ .

#### Rang V durant la marxa:

- Grups:  $F(1, 9) = 0,30$ ,  $p > 0,05$
- Temps:  $F(1,83; 16,51) = 4,42$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta^2 = 0,33$ .
- Interacció:  $F(1,83; 16,51) = 0,55$ ,  $p > 0,05$

#### Rang ML durant la marxa:

- Grups:  $F(1, 9) = 8,10$ ,  $p > 0,05$
- Temps:  $F(3,27) = 2,30$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta^2 = 0,47$ .
- Interacció:  $F(3,27) = 1,41$ ,  $p > 0,05$

#### Temps de reacció (s)

- Grups:  $F(1, 9) = 0,43$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta^2 = 0,22$ .
- Temps:  $F(3,27) = 0,86$ ,  $p > 0,05$
- Interacció:  $F(3,27) = 0,29$ ,  $p > 0,05$

#### Temps total (s)

- Grups:  $F(1, 9) = 2,41$ ,  $p > 0,05$ .
- Temps:  $F(2,33; 20,97) = 4,64$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta^2 = 0,02$ .
- Interacció:  $F(2,33; 20,97) = 1,67$ ,  $p > 0,05$ .

#### Temps de girar-se i seure's (s)

- Grups:  $F(1, 9) = 2,34$ ,  $p > 0,05$ .
- Temps:  $F(3, 27) = 5,30$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta^2 = 0,37$ .
- Interacció:  $F(3, 27) = 1,12$ ,  $p > 0,05$ .

#### Potència per aixecar-se (w)

- Grups:  $F(1, 9) = 1,71$ ,  $p > 0,05$ .
- Temps:  $F(3, 27) = 2,72$ ,  $p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(3, 27) = 0,97$ ,  $p > 0,05$ .

#### Temps d'aixecar-se (s)

- Grups:  $F(1, 9) = 2,37$ ,  $p > 0,05$ .
- Temps:  $F(2,06; 18,51) = 2,04$ ,  $p > 0,05$
- Interacció:  $F(2,06; 18,51) = 1,28$ ,  $p > 0,05$ .

### Força màxima isomètrica

#### Tibial Anterior

- Grups:  $F(1, 19) = 0,00, p > 0,05$ .
- Temps:  $F(3, 57) = 2,081, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(3, 57) = 0,03, p > 0,05$ .

#### Quadriceps

- Grups:  $F(1, 19) = 0,00, p > 0,05$ .
- Temps:  $F(3, 57) = 0,41, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(3, 57) = 0,54, p > 0,05$ .

#### Gluti Mig

- Grups:  $F(1, 19) = 0,22, p > 0,05$ .
- Temps:  $F(3, 57) = 2,01, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(3, 57) = 0,13, p > 0,05$ .

#### Isquiotibials

- Grups:  $F(1, 19) = 0,18, p > 0,05$ .
- Temps:  $F(2,28; 43,22) = 2,27, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,28; 43,22) = 0,67, p > 0,05$ .

#### Tríceps Sural

- Grups:  $F(1, 19) = 0,00, p > 0,05$ .
- Temps:  $F(2,01; 38,16) = 2,51, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,01; 38,16) = 2,55, p > 0,05$ .

### Activació muscular mitjana

#### Tibial Anterior

- Grups:  $F(1, 18) = 0,29, p > 0,05$
- Temps:  $F(3,54) = 0,89, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(3,54) = 0,04, p > 0,05$ .

#### Recte femoral

- Grups:  $F(1, 18) = 4,66, p < 0,05, \eta^2 = 0,21$
- Temps:  $F(2,12; 38,16) = 0,55, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,12; 38,16) = 1,69, p > 0,05$ .

#### Gluti Mig

- Grups:  $F(1, 18) = 0,07, p > 0,05$
- Temps:  $F(2,35; 42,33) = 1,16, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,35; 42,33) = 2,28, p > 0,05$

#### Bíceps Femoral

- Grups:  $F(1, 18) = 0,95, p > 0,05$ .
- Temps:  $F(1,95; 35,10) = 0,92, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(1,95; 35,10) = 0,41, p > 0,05$ .

#### Gastrocnemi extern

- Grups:  $F(1, 18) = 0,05, > 0,05$ .
- Temps:  $F(2,55; 45,24) = 0,56, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,55; 43,34) = 0,62, p > 0,05$ .

### Activació muscular màxima

#### Tibial Anterior

- Grups:  $F(1, 18) = 0,37, p > 0,05$
- Temps:  $F(3,54) = 0,50, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(3,54) = 0,30, p > 0,05$ .

#### Recte femoral

- Grups:  $F(1, 18) = 3,33, p > 0,05$ .
- Temps:  $F(2,54; 48,85) = 0,26, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,54; 48,85) = 1,45, p > 0,05$ .

#### Gluti Mig

- Grups:  $F(1, 18) = 0,04, p > 0,05$

- Temps:  $F(2,20; 39,61) = 1,79, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,20; 39,61) = 4,12, p < 0,05, p > 0,05$ .

#### Bíceps Femoral

- Grups:  $F(1, 18) = 0,80, p > 0,05$ .
- Temps:  $F(2,07; 37,29) = 0,46, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,07; 37,29) = 0,94, p > 0,05$ .

#### Gastrocnemi extern

- Grups:  $F(1, 18) = 0,00, p > 0,05$ .
- Temps:  $F(2,59; 46,64) = 1,88, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,59; 46,64) = 0,58, p > 0,05$ .

### To muscular

#### Tensió

#### Tibial Anterior

- Grups:  $F(2,59;) = 0,25, p > 0,05$
- Temps:  $F(2,59; 44,07) = 1,10, p > 0,05$
- Interacció:  $F(2,59; 44,07) = 0,68, p > 0,05$ .

#### Recte femoral

- Grups:  $F(1,17) = 0,12, p > 0,05$ .
- Temps:  $F(2,28; 38,76) = 1,06, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,28; 38,76) = 0,50, p > 0,05$ .

#### Gluti Mig

- Grups:  $F(1,17) = 0,57, p > 0,05$
- Temps:  $F(1,44; 24,52) = 0,26, p > 0,05$
- Interacció:  $F(1,44; 24,52) = 0,36, p < 0,05, \eta^2 = 0,22$

#### Bíceps Femoral

- Grups:  $F(1,17) = 0,05, p > 0,05$
- Temps:  $F(3, 51) = 1,00, p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(3, 51) = 0,19, p < 0,05, \eta^2 = 0,22$

### Gastrocnemi extern

- Grups:  $F(1,17) = 0,03$ ,  $p > 0,05$ .
- Temps:  $F(2,32; 39,48) = 0,16$ ,  $p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,32; 39,48) = 0,69$ ,  $p > 0,05$ .

### Rigidesa

### Tibial Anterior

- Grups:  $F(2,59) = 0,12$ ,  $p > 0,05$
- Temps:  $F(3,17; 51,00) = 0,52$ ,  $p > 0,05$
- Interacció:  $F(3,17; 51,00) = 0,55$ ,  $p > 0,05$ .

### Recte femoral

- Grups:  $F(1,17) = 0,95$ ,  $p > 0,05$ .
- Temps:  $F(1,92; 32167) = 1,93$ ,  $p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(1,92; 32167) = 0,38$ ,  $p > 0,05$ .

### Gluti Mig

- Grups:  $F(1,17) = 2,30$ ,  $p > 0,05$
- Temps:  $F(2,97; 50,45) = 0,96$ ,  $p > 0,05$
- Interacció:  $F(2,97; 50,45) = 0,37$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta^2 = 0,22$ .

### Biceps Femoral

- Grups:  $F(1,17) = 0,03$ ,  $p > 0,05$ .
- Temps:  $F(3, 51) = 2,91$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta^2 = 0,14$
- Interacció:  $F(3, 51) = 0,28$ ,  $p > 0,05$ .

### Gastrocnemi extern

- Grups:  $F(1,17) = 0,05$ ,  $p > 0,05$ .
- Temps:  $F(2,36; 40,13) = 0,11$ ,  $p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,36; 40,13) = 0,52$ ,  $p > 0,05$ .

## Dolor

### Intensitat

BPI

- Grups:  $F(1,13) = 0,70$ ,  $p > 0,05$ .
- Temps:  $F(3,39) = 1,66$ ,  $p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(3,39) = 0,13$ ,  $p > 0,05$ .

### Interferència del dolor la funcionalitat i l'estat psicològic

BPI

- Grups:  $F(1,13) = 0,123$ ,  $p > 0,05$ .
- Temps :  $F(2,37; 70,76) = 0,20$ ,  $p > 0,05$ .
- Interacció:  $F(2,37; 70,76) = 0,26$ ,  $p > 0,05$ .