

UNIVERSIDAD DE LEÓN



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS
DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE**

**COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS SOBRE
LA CAPACIDAD FUNCIONAL, LAS MANIFESTACIONES DE
LA FUERZA Y LA CALIDAD MUSCULAR DEL
ENTRENAMIENTO DE FUERZA CLÁSICO *VERSUS* EL
REFORZADO EXCÉNTRICAMENTE EN PERSONAS CON
ESCLEROSIS MÚLTIPLE**

**COMPARISON OF EFFECTS PRODUCED ON FUNCTIONAL CAPACITY,
STRENGTH MANIFESTATIONS AND THE MUSCLE QUALITY FOR CLASSICAL
RESISTANCE TRAINING *VERSUS* ECCENTRIC-ENHANCED RESISTANCE
TRAINING IN PEOPLE WITH MULTIPLE SCLEROSIS**

Claudia Eliza Patrocínio de Oliveira

Marzo, 2018

UNIVERSIDAD DE LEÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS

DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE

COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS SOBRE LA CAPACIDAD FUNCIONAL, LAS MANIFESTACIONES DE LA FUERZA Y LA CALIDAD MUSCULAR DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA CLÁSICO *VERSUS* EL REFORZADO EXCÉNTRICAMENTE EN PERSONAS CON ESCLEROSIS MÚLTIPLE

Memoria presentada por **Claudia Eliza Patrocinio de Oliveira** para la obtención del título de Doctora en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

DIRECTOR: José Antonio de Paz Fernández

Marzo, 2018

Parte de los resultados expuestos en la presente memoria han sido publicados en:

PATROCINIO DE OLIVEIRA CE, COSTA MOREIRA O, CARRIÓN-YAGUAL ZM, MEDINA-PÉREZ C, DE PAZ JA. "Effects of classic progressive resistance training versus eccentric-enhanced resistance training in people with multiple sclerosis". Arch Phys Med Rehabil. 2017 Nov 27. pii: S0003-9993(17)31382-5. doi: 10.1016/j.apmr.2017.10.021. [Epub ahead of print]. (ANEXO).

Parte de los resultados expuestos en la presente memoria han sido objeto de las siguientes comunicaciones en Congresos Internacionales:

OLIVEIRA, C. E. P.; MOREIRA, O. C.; MEDINA-PEREZ, C.; ROMERO-PEREZ, E. M.; PAZ, J. A. Efeito de 12 semanas de treinamento reforçado excentricamente sobre indicadores de capacidade funcional em pessoas com Esclerose Múltipla: um estudo piloto. In: 1º Congresso Ibero Americano - Desporto, Educação, Atividade Física e Saúde, 2015, Lisboa. Gymnasium Revista: Educação Física, Desporto e Saúde. Lisboa: Faculdade de Educação Física e Desporto. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Cofac, 2015. v. 2015. p. 31 – 32.

OLIVEIRA, C. E. P.; MOREIRA, O. C.; DE PAZ, J. A. Effects of classic strength training *versus* eccentric-enhanced resistance training in people with Multiple Sclerosis. In: International Congress of the Research Center in Sports Sciences, Health Sciences & Human Development (CIDESD 2016), 2016, Évora. Motricidade. 2016. v. 13. p. 139 – 140.

OLIVEIRA, C. E. P.; MOREIRA, O. C.; CARRION-YAGUAL, Z. M.; MEDINA-PEREZ, C.; DE PAZ, J. A. Efectos del entrenamiento de fuerza convencional *versus* el entrenamiento reforzado excéntricamente en la calidad muscular de personas con esclerosis múltiple. In: XIII SIEFLAS - Seminário Internacional de Educação Física Lazer & Saúde, 2017, Guarda. Livro de abstracts do XIII SIEFLAS. Guarda - Portugal: Instituto Politécnico da Guarda, 2017. v. 1. p. 87 – 87.

Para la realización de la presente tesis doctoral, Claudia Eliza Patrocínio de Oliveira ha sido beneficiaria de una Beca de Doctorado Pleno en el Exterior del programa “Ciência sem fronteiras” del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico que es un órgano del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | Página |
|-------------------------------------|---------------|
| AGRADECIMIENTOS | I |
| ABREVIATURA Y SÍMBOLOS | III |
| ÍNDICE GENERAL | V |
| ÍNDICE DE FIGURAS | IX |
| ÍNDICE DE TABLAS | XI |
| RESUMEN | XIII |
| ABSTRACT | XVII |

“No basta saber, se debe también aplicar. No es suficiente querer, se debe también hacer.”

Johann Wolfgang von Goethe

“El hombre más feliz del mundo es aquel que sepa reconocer los méritos de los demás y pueda alegrarse del bien ajeno como si fuera propio”

Johann Wolfgang von Goethe

A las personas con Esclerosis Múltiple.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, porque para mí, es fundamental.

A mi numerosa y especial familia. A mi padre Raul (*in memoriam*) y a mis madres, Vanda y Baly, por todo lo que han hecho pensando en el bienestar de la familia. Al amor incondicional, la base de nuestra vida. A mis hermanas y hermanos que, cada uno a su manera, colaboraron en este logro académico.

A José Antonio de Paz Fernández por aceptar ser mi director y tutor, además de ofrecerme las condiciones necesarias para la realización de la presente investigación y por el aprendizaje más allá del ámbito académico, que no cabe en una frase.

A Osvaldo por ser compañero, amigo y referencia como persona y como profesional. A João Miguel por soportar nuestra ausencia y ser dueño de una sonrisa que nos conforta. A Cecília por iluminar nuestra vida.

A los compañeros del laboratorio 85 por la convivencia y el aprendizaje.

A los participantes de este estudio que son la fuerza impulsora y la motivación para realizar esta investigación.

A los amigos que hice en España que hicieron que mi trayectoria en este país fuera más agradable.

A la *University of Tampa - UT* y al profesor Eduardo Oliveira de Souza por aceptarme para la estancia internacional y darme todo su apoyo para realizarla. De verdad que las personas merecen la pena.

A la *Universidade Federal de Viçosa* por permitir mi estancia fuera de Brasil, al *Departamento de Educação Física*, el *Centro de Ciências Biológicas e da Saúde*, la *Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação* y la *Pró-Reitoria de Gestão de Pessoas*.

Al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil que a través del programa “Ciência sem fronteiras” del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico me concedió una Beca para la realización del *Doutorado Pleno no Exterior*.

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

| | |
|----------|---|
| Δ | Diferencia porcentual entre los valores pre y post |
| 1RM | Test de fuerza máxima dinámica: una repetición máxima |
| ACSM | <i>American College of Sports Medicine</i> |
| AVD | Actividad de la vida diaria |
| Bi | Bilateral |
| cm | Centímetros |
| CM | Calidad muscular |
| CST | <i>Chair stand test</i> |
| Dch | Pierna derecha |
| DMO | Densidad mineral ósea |
| DXA | <i>Dual-energy X-ray absorptiometry</i> |
| EDSS | <i>Expanded Disability Status Scale</i> |
| EF | Entrenamiento de fuerza |
| EM | Esclerosis Múltiple |
| ERE | Entrenamiento de fuerza reforzado excéntricamente |
| FCAFD | Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte |
| FzIso | Fuerza máxima isométrica |
| GC | Grupo control |
| GE | Grupo experimental |
| IMC | Índice de masa corporal |
| Izq | Pierna izquierda |
| Kg | Kilogramos |
| m | Metros |
| m/s | Metros por segundo |
| MG | Masa grasa |
| MM | Masa magra |
| ND | No determinado |
| Pm | Potencia media |
| PP | Primaria progresiva |
| RM | Fuerza máxima dinámica |
| ROI | Región de interés |

| | |
|-----|------------------------------------|
| RR | Recurrente-remitente |
| s | Segundos |
| SNC | Sistema nervioso central |
| SP | Secundaria progresiva |
| TUG | <i>Timed 8-foot Up and Go test</i> |
| ua | Unidad arbitraria |
| ULE | Universidad de León |
| w | Vatios |

ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 01 |
| 2. ANTECEDENTES | 05 |
| 2.1. Esclerosis Múltiple | 07 |
| 2.2. Esclerosis Múltiple y ejercicio físico | 10 |
| 2.3. Acciones musculares | 11 |
| 2.4. Fuerza muscular máxima | 14 |
| 2.5. Potencia muscular | 14 |
| 2.6. Relación entre fuerza muscular y la salud | 16 |
| 2.7. Calidad muscular | 17 |
| 2.8. Esclerosis Múltiple y entrenamiento de fuerza muscular | 18 |
| 2.9. Entrenamiento excéntrico de la fuerza | 20 |
| 2.10. Entrenamiento excéntrico de la fuerza con fines de salud | 24 |
| 3. OBJETIVOS | 27 |
| 3.1. Objetivo general | 29 |
| 3.2. Objetivos específicos | 29 |
| 4. DISEÑO EXPERIMENTAL | 31 |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS | 35 |
| 5.1. Muestra | 37 |
| 5.1.1. Grupo control | 38 |
| 5.1.2. Grupo experimental | 39 |
| 5.1.3. Emparejamiento: Grupo control X Grupo experimental | 39 |
| 5.2. Procedimientos | 39 |
| 5.2.1. Procedimientos de las evaluaciones | 39 |
| 5.2.1.1. Historia médica personal y grado de discapacidad | 39 |
| 5.2.1.2. Composición corporal | 40 |
| 5.2.1.3. Región de interés | 41 |
| 5.2.1.4. Agilidad y equilibrio dinámico: “ <i>timed 8-foot up and go test</i> ” | 43 |
| 5.2.1.5. Fuerza del tren inferior: “ <i>chair stand test</i> ” | 43 |
| 5.2.1.6. Fuerza máxima isométrica | 44 |
| 5.2.1.7. Fuerza máxima dinámica | 45 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2.1.8. Fuerza potencia | 45 |
| 5.2.1.9. Calidad muscular | 46 |
| 5.2.2. Procedimientos de los entrenamientos | 46 |
| 5.2.2.1. Entrenamiento clásico: Grupo control | 46 |
| 5.2.2.2. Entrenamiento reforzado excéntricamente: Grupo experimental | 48 |
| 5.2.3. Tratamiento estadístico de los datos | 50 |
| 6. RESULTADOS | 53 |
| 6.1. Resultados de la muestra | 55 |
| 6.1.1. Características generales de la muestra: Grupo control y Grupo experimental | 55 |
| 6.1.2. Pruebas funcionales | 55 |
| 6.1.3. Evaluación de la fuerza | 56 |
| 6.1.3.1. Fuerza máxima isométrica | 56 |
| 6.1.3.2. Fuerza máxima dinámica | 57 |
| 6.1.3.3. Potencia muscular..... | 58 |
| 6.1.4. Densidad mineral ósea, masa grasa y masa magra de la región de interés | 58 |
| 6.1.5. Calidad muscular | 59 |
| 6.2. Resultados de la muestra en parejas | 61 |
| 6.2.1. Características generales de la muestra en parejas: Grupo control y Grupo experimental | 61 |
| 6.2.2. Pruebas funcionales | 61 |
| 6.2.3. Evaluación de la fuerza | 62 |
| 6.2.3.2. Fuerza máxima isométrica | 62 |
| 6.2.3.2. Fuerza máxima dinámica | 63 |
| 6.2.3.3. Potencia muscular | 63 |
| 6.2.4. Densidad mineral ósea, masa grasa y masa magra de la región de interés | 64 |
| 6.2.5. Calidad muscular | 65 |
| 7. DISCUSIÓN | 67 |
| 7.1. Muestra general | 69 |
| 7.1.1. Características de la muestra | 69 |
| 7.1.2. Pruebas funcionales | 71 |
| 7.1.3. Evaluación de la fuerza | 72 |
| 7.1.3.1. Fuerza máxima isométrica | 72 |
| 7.1.3.2. Fuerza máxima dinámica | 74 |

| | |
|---|------------|
| 7.1.3.3. Potencia muscular | 75 |
| 7.1.4. Densidad mineral ósea, masa grasa y masa magra de la región de interés | 78 |
| 7.1.5. Calidad muscular | 80 |
| 7.2. Muestra en parejas | 81 |
| 7.2.1. Características de la muestra en parejas | 82 |
| 7.2.2. Pruebas funcionales | 83 |
| 7.2.3. Evaluación de la fuerza | 83 |
| 7.1.3.1. Fuerza máxima isométrica | 83 |
| 7.1.3.2. Fuerza máxima dinámica | 84 |
| 7.1.3.3. Potencia muscular | 84 |
| 7.1.4. Densidad mineral ósea, masa grasa y masa magra de la región de interés | 85 |
| 7.1.5. Calidad muscular | 86 |
| 7.3. Los entrenamientos | 86 |
| 8. CONCLUSIONES | 89 |
| 9. APLICACIONES PRÁCTICAS | 93 |
| 10. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN | 97 |
| 11. ENGLISH SUMMARY | 101 |
| 12. REFERENCIAS | 147 |
| 13. ANEXO | 165 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|---------------|
| Figura 1. Tipos de progresiones de la Esclerosis Múltiple y los cambios en la clasificación de 1996 | 08 |
| Figura 2. Diseño experimental | 34 |
| Figura 3. Diagrama de la muestra del estudio | 38 |
| Figura 4. Imagen de la <i>Prodigy Primo-General Electric</i> [®] | 41 |
| Figura 5. Puntos anatómicos utilizados para determinar las regiones de interés | 42 |
| Figura 6. Distancia entre la silla y el cono para realización de la prueba funcional “ <i>timed 8-foot up and go test</i> ” | 43 |
| Figura 7. Máquina multiestación (BH [®] fitness Nevada Pro-T, España) | 47 |
| Figura 8. Máquina <i>nHANCETM Multi Gym</i> (Norrbrand et al., 2011) | 49 |
| Figura 9. Imagen de la adaptación de la silla de la Máquina <i>nHANCETM Multi Gym</i> (Franco, 2014) | 49 |
| Figura 10. Imagen de la gráfica del software utilizada para monitorizar los entrenamientos | 50 |
| Figura 11. Imagen de gráfica del software utilizada para monitorizar el rendimiento a lo largo de los entrenamientos | 50 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|---|---------------|
| Tabla 1. Distribución de la muestra por asociación, género y número de participantes que iniciaron y terminaron el estudio..... | 37 |
| Tabla 2. Descripción del programa de entrenamiento de fuerza clásico..... | 48 |
| Tabla 3. Características generales de la muestra por grupo..... | 55 |
| Tabla 4. Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de capacidad funcional..... | 56 |
| Tabla 5. Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de fuerza máxima isométrica bilateral y unilateral..... | 57 |
| Tabla 6. Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de fuerza máxima dinámica bilateral y unilateral | 57 |
| Tabla 7. Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de potencia media bilateral | 58 |
| Tabla 8. Comparación intra e intergrupo de los resultados de la densidad mineral ósea, masa grasa y masa magra de la ROI bilateral y unilateral | 59 |
| Tabla 9. Comparación intra e intergrupo de los resultados de calidad muscular de la fuerza máxima isométrica y dinámica, bilateral y unilateral y de la potencia media correspondiente a la región de interés | 60 |
| Tabla 10. Características generales de la muestra emparejada por grupo | 61 |
| Tabla 11. Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de capacidad funcional de la muestra en parejas | 62 |
| Tabla 12. Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de fuerza máxima isométrica bilateral y unilateral de la muestra en parejas | 62 |
| Tabla 13. Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de fuerza máxima dinámica bilateral y unilateral de la muestra en parejas | 63 |
| Tabla 14. Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de potencia media bilateral de la muestra en parejas | 63 |
| Tabla 15. Comparación intra e intergrupo de los resultados de la densidad mineral ósea, masa grasa y masa magra de la ROI bilateral y unilateral de la muestra en parejas | 64 |
| Tabla 16. Comparación intra e intergrupo de los resultados de calidad muscular de la fuerza máxima isométrica y dinámica, bilateral y unilateral y de la potencia media correspondiente a la región de interés de la muestra en parejas | 65 |

RESUMEN

Resumen

Introducción: La Esclerosis Múltiple (EM) es una enfermedad autoinmune, inflamatoria, crónica y degenerativa del sistema nervioso central, multifactorial y de etiología desconocida. Entre los síntomas más frecuentes están los trastornos neuromusculares, sin embargo, el entrenamiento de fuerza (EF) puede ejercer un papel determinante en la velocidad de marcha, inducir hipertrofia muscular, ganancias de fuerza y adaptaciones neurales.

Objetivo: Comparar los efectos del EF clásico con el EF reforzado excéntricamente (ERE) en la realización de diferentes pruebas funcionales, manifestaciones de la fuerza y la calidad muscular (CM) en los miembros inferiores de personas con EM.

Participantes: Cincuenta y dos personas con EM (19 varones y 33 mujeres) pertenecientes a asociaciones de EM de Castilla y León / España.

Intervención: Los participantes fueron divididos en dos grupos: un grupo control que realizó EF clásico en la máquina multiestación (BH® fitness Nevada Pro-T) y un grupo experimental que realizó ERE en la máquina *nHANCE™ Multi Gym*. Ambos entrenaron ejercicios involucrando los músculos extensores de las rodillas durante 12 semanas.

Métodos: Antes y después de los entrenamientos, se evaluó dos pruebas funcionales: *chair stand test* (CST) y *timed 8-foot up and go* (TUG) y tres tipos de manifestación de la fuerza: la máxima isométrica (FzIso), la máxima dinámica (RM) y la potencia media (Pm) de los extensores de las rodillas. La FzIso y la RM fueron medidas de manera bilateral (Bi) y unilateral, derecha (Dch) e izquierda (Izq). La Pm fue realizada de manera bilateral utilizándose como referencia los 40, 50, 60, 70 y 80% de la RM. Se cuantificó la densidad mineral ósea (DMO), la masa magra (MM) y la masa grasa (MG) del muslo, además de calcular la calidad muscular (CM) del referido segmento corporal. Con el objetivo de minimizar los efectos de la heterogeneidad de la muestra, además de los análisis estadísticos con la muestra en general, se hizo análisis estadísticos del emparejamiento de la muestra, utilizándose como parámetros el género, la edad y el grado de discapacidad (EDSS), formándose 12 parejas.

Resultados: No se encontraron diferencias entre los grupos en los valores iniciales en ninguna variable para la muestra general, ni siquiera para la muestra en parejas. Para la muestra general, en las comparaciones que consideraron el factor tiempo se encontraron

diferencias en CST ($p < 0,001$), TUG ($p = 0,043$), 1RMBi ($p = 0,004$), 1RMDch ($p < 0,001$), 1RMizq ($p < 0,001$), Pm40 ($p < 0,001$), Pm50 ($p = 0,018$), Pm60 ($p = 0,013$), MMDch ($p = 0,006$), MMIzq ($p = 0,026$), CMRMBi ($p < 0,001$), CMRMDch ($p < 0,001$), CMRMIZq ($p < 0,001$), CMPmBi40 ($p < 0,001$), CMPmBi50 ($p = 0,012$) y CMPmBi60 ($p = 0,013$). Para el factor grupo, se encontraron diferencias en CST ($p = 0,004$), TUG ($p = 0,026$), 1RMDch ($p = 0,018$), 1RMizq ($p = 0,006$), Pm80 ($p = 0,046$), MMDch ($p = 0,036$), CMRMIZq ($p = 0,028$) y CMPmBi80 ($p = 0,039$), siendo todos favorables al ERE. Para la muestra en parejas, en las comparaciones que consideraron el factor tiempo se encontraron diferencias en CST ($p < 0,001$), TUG ($p = 0,043$), 1RMBi ($p < 0,001$), 1RMDch ($p < 0,001$), 1RMizq ($p < 0,001$), Pm40 ($p = 0,001$), MMBi ($p = 0,024$), MMDch ($p = 0,023$), CMRMBi ($p < 0,001$), CMRMDch ($p < 0,001$), CMRMIZq ($p < 0,001$), CMPmBi40 ($p = 0,003$), CMPmBi70 ($p = 0,036$) y CMPmBi80 ($p = 0,014$). Para el factor grupo, se encontraron diferencias en CST ($p = 0,035$), Pm80 ($p = 0,033$), CMRMIZq ($p = 0,028$) y CMPmBi80 ($p = 0,028$), siendo todos favorables al ERE.

Conclusión: El ERE es seguro para personas con EM, produciendo efectos similares al EF clásico en la mejora de 1RM, TUG y CST y además parece promover una mejor transferencia de las adaptaciones de fuerza en las pruebas funcionales, que favorecen las actividades de la vida diaria.

ABSTRACT

Abstract

Introduction: Multiple sclerosis (MS) is an autoimmune, inflammatory, chronic and degenerative disease of the central nervous system, multifactorial and of unknown etiology. Among the most frequent symptoms are neuromuscular disorders; however, resistance training (RT) can play a determining role in gait speed in people with MS, can induce muscle hypertrophy, strength gains, and also neural adaptations.

Objective: To compare the effects of classical RT with eccentric-enhanced resistance training (EERT) in the performance of functional tests, different manifestations of muscle strength, and quality in the lower limbs of people with MS.

Participants: Fifty-two people with MS (19 men and 33 women) belonging to MS associations of Castilla y León/Spain.

Intervention: The participants were assigned to one of two groups: a control group that performed classic EF in the multistation machine (BH® fitness Nevada Pro-T) or an experimental group that performed EERT in the nHANCE™ Multi Gym machine. Both groups trained for 12 weeks with exercises involving the extensor muscles of the knee.

Methods: Before the initial evaluations, the medical history of the volunteers was done, and the EDSS was quantified. Before and after the trainings, two functional tests were evaluated: chair stands test (CST) and timed 8-foot up and go (TUG); and three types of strength manifestations: the maximum isometric (MIS), the maximum dynamic (RM), and the average muscle power (AMP) of the knee extensors. MIS and RM were measured bilaterally (Bi) and unilaterally: right and left. The AMP was performed bilaterally, using 40, 50, 60, 70, and 80% of 1RM as a reference. Bone mineral density (BMD), lean mass (LM), and fat mass (FM) of the thigh were quantified, in addition to calculating muscle quality (MQ) of the referred body segment. In order to minimize the effects of heterogeneity of the sample, in addition to the statistical analyzes with the sample in general, statistical analysis was conducted for pairing of the sample using gender, age, and degree of disability (EDSS) as parameters, which resulted in 12 couples.

Results: No differences were found between the groups in the initial values for different tests for general sample and for the sample in pairs. For the general sample: in the comparisons that considered the time factor, differences were found in CST ($p < 0.001$), TUG ($p = 0.043$), 1RMBi ($p = 0.004$), 1RM_R ($p < 0.001$), 1RM_L ($p < 0.001$), AMP40 ($p < 0.001$), AMP50 ($p = 0.018$), AMP60 ($p = 0.013$), LM_R ($p = 0.006$), LM_L ($p = 0.026$), MQRMBi ($p < 0.001$), MQRM_R ($p < 0.001$), MQRM_L ($p < 0.001$), MQAMPBi40 ($p < 0.001$), MQAMPBi50 ($p = 0.012$), and MQAMPBi60 ($p = 0.013$). For the group factor, differences were found in CST ($p = 0.004$), TUG ($p = 0.026$), 1RM_R ($p = 0.018$), 1RM_L ($p = 0.006$), AMP80 ($p = 0.046$), LM_R ($p = 0.036$), MQRM_L ($p = 0.028$), and MQAMPBi80 ($p = 0.039$), all being favorable to the EERT. For the matched sample: in the comparisons that considered the time factor differences were found in CST ($p < 0.001$), TUG ($p = 0.043$), 1RMBi ($p < 0.001$), 1RM_R ($p < 0.001$), 1RM_L ($p < 0.001$), AMP40 ($p = 0.001$), LMBi ($p = 0.024$), LM_R ($p = 0.023$), MQRMBi ($p < 0.001$), MQRM_R ($p < 0.001$), MQRM_L ($p < 0.001$), MQAMPBi40 ($p = 0.003$), MQAMPBi70 ($p = 0.036$), and MQAMPBi80 ($p = 0.014$). For the group factor, differences were found in CST ($p = 0.035$), AMP80 ($p = 0.033$), MQRM_L ($p = 0.028$), and MQAMPBi80 ($p = 0.028$), all being favorable to EERT.

Conclusion: The EERT is safe for people with MS. EERT produces effects similar to classical RT in the improvement of 1RM, TUG, and CST for people with MS; however, for patients who participated in this study, the EERT seems to promote a better transfer of strength adaptations to functional tests, which are closer to the activities of daily living.

1. INTRODUCCIÓN

1. Introducción

La actividad física es considerada como cualquier movimiento corporal que tenga un gasto de energía. A su vez, el ejercicio físico es una actividad física sistematizada y orientada con unos objetivos preestablecidos y que abarca diversos tipos de entrenamientos, entre ellos, el entrenamiento de fuerza. Este tipo de entrenamiento tiene como principal objetivo, como su propio nombre indica, el desarrollo y el mantenimiento de la salud del sistema locomotor y de la fuerza muscular.

A su vez, la fuerza muscular puede ser clasificada de acuerdo con las características requeridas y para citar algunos ejemplos, tenemos una fuerza ejercida contra una resistencia insuperable (fuerza isométrica), una fuerza que vence una resistencia (fuerza dinámica concéntrica), una fuerza para frenar el movimiento (fuerza excéntrica) o una fuerza combinada con la velocidad (fuerza potencia).

El entrenamiento de la fuerza ha sido utilizado por diversos tipos de personas, sea con el objetivo de lograr hechos en el deporte o para mantener sus niveles de salud. En los últimos años, este tipo de entrenamiento ha incrementado su papel en la rehabilitación de lesiones y como estrategia para frenar la evolución de algunos cuadros relacionados a los efectos del deterioro relacionado a algunas enfermedades y hasta del propio envejecimiento.

Algunas debilidades demostradas a causa de algunas enfermedades están siendo tratadas por un conjunto de acciones no farmacológicas, que tienen por objetivo promover la autonomía y la calidad de vida de personas afectadas por estas dolencias, tales como enfermedades autoinmunes y neurodegenerativas.

En este ámbito, se encuadra la Esclerosis Múltiple, enfermedad autoinmune, crónica y degenerativa, que afecta al sistema nervioso central produciendo diversas alteraciones en los diferentes sistemas del organismo. Una de las afectaciones más comunes de dicha enfermedad es a nivel del sistema musculoesquelético, con pérdidas significativas en la funcionalidad y en la calidad de vida.

Así, el entrenamiento de fuerza puede desempeñar una importante función para el desarrollo y/o mantenimiento de la fuerza muscular, teniendo como posibles consecuencias transferencias positivas para mejorar la capacidad funcional, el incremento de la masa muscular y de la fuerza. Además, tales incrementos podrían reflejarse en una autonomía funcional mejorada que posibilitaría una calidad de vida mejor e incrementos en los niveles del metabolismo basal.

Todo lo descrito son posibilidades frente al entrenamiento de fuerza y es de donde surgen las dudas y cuestiones frente al comportamiento de la fuerza en personas con Esclerosis Múltiple. Así, múltiples oportunidades se abren. Pensando en un paso más allá de lo descrito en la literatura, ¿cuáles serían las posibles respuestas de estas personas a un entrenamiento diferenciado y de alta intensidad que ya, comprobadamente, es tan útil para otras poblaciones? Las preguntas que deben de ser contestadas, involucran las posibles alteraciones frente a diferentes manifestaciones de la fuerza en los miembros inferiores, así como su transferencia a algunas pruebas de capacidad funcional y también, los efectos en la composición corporal del segmento corporal involucrado en el ejercicio propuesto.

2. ANTECEDENTES

2. Antecedentes

2.1. Esclerosis Múltiple

La Esclerosis Múltiple (EM) es definida como una enfermedad autoinmune, inflamatoria, crónica y degenerativa del sistema nervioso central (SNC) (Denninson et al., 2009) que afecta principalmente a la materia blanca del SNC (Karussis, 2014; NINDS 2012). La característica distintiva de la enfermedad desmielinizante, es la formación de la placa esclerótica, que representa la etapa final del proceso que implica inflamación, desmielinización y remielinización, el agotamiento de los oligodendrocitos y astrocitosis además de la degeneración neuronal y axonal (Compston, Coles, 2008; Hunter, 2016).

La EM es de etiología desconocida (Tejera-Alhambra et al., 2015) y estudios epidemiológicos muestran que la EM es una enfermedad multifactorial posiblemente ocasionada por una interacción compleja entre múltiples genes y factores ambientales (Compston, Coles, 2008). Actualmente esta enfermedad afecta tres veces más a mujeres que a varones (Ortona et al., 2016), además, en ellos ocurre más tardíamente (Bove, Chitnis, 2013). Es considerada la enfermedad que más discapacidad neurológica produce en población joven (edad 25-40 años) después de los traumatismos automovilísticos y representa gravámenes financieros importantes para la salud pública (Tejera-Alhambra et al., 2015; Hunter, 2016).

Además de presentar variedades de formas clínicas, el curso clínico de la EM pasa de una fase inflamatoria con brotes y remisiones, donde los pacientes pueden responder a fármacos inmunomoduladores, a una fase progresiva y neurodegenerativa en la que no responden a ningún tratamiento disponible actualmente (Compston, Coles, 2008; Hunter, 2016); por lo que las clasificaciones actuales de la EM tienen en consideración la actividad de la enfermedad y su progresión (Lublin et al., 2014; Katz, 2015) y sufrieron modificaciones en los últimos años. La clasificación propuesta en 1996 fue modificada en 2013 como se puede apreciar en la figura 1.

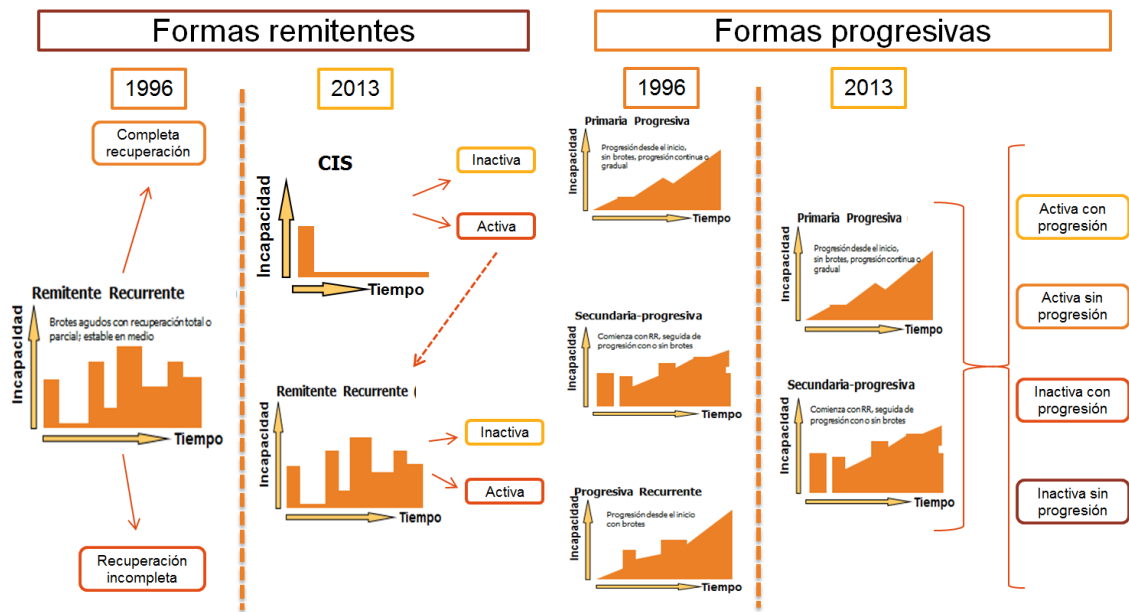


Figura 1: Tipos de progresiones de la Esclerosis Múltiple y los cambios en la clasificación de 1996. Extraído de <http://www.emyaccion.com/emyaccion-articulos/tipos-de-esclerosis-multiple/>, en 20/10/2017.

Los tipos de esta enfermedad incluyen la EM remitente-recurrente (RR), el síndrome clínico aislado, el síndrome radiológico aislado, la EM primaria progresiva (PP) y la EM secundaria progresiva (SP) (Lublin et al., 2014; Katz, 2015). Los criterios de diagnóstico “McDonald 2010” proporcionaron patrones formales para el diagnóstico de la EM RR y la EM PP. Estos patrones, requieren demostración de la diseminación en el espacio y el tiempo, considerando tanto los hallazgos clínicos como los datos de imágenes. Además, la historia clínica, el examen y la resonancia magnética deben ser más consistentes con los síntomas de la EM, incluida la presencia de características típicas de la enfermedad, así como la ausencia de características que sugieran una causa alternativa para el diagnóstico de la EM (Katz, 2015).

Probablemente entre el 60-70% de los pacientes diagnosticados con EM RR evolucionarán a una forma SP. Aproximadamente 20% de los pacientes sufren de un inicio progresivo de la enfermedad sin remisiones, denominada como EM progresiva primaria (Compston, Coles, 2008; Hunter, 2016). En cualquier caso, sigue siendo posible que las diversas formas clínicas de la EM manifiesten etiologías, patrones patológicos y características clínicas diferentes (Tejera-Alhambra et al., 2015).

Generalmente, los axones afectados no pueden transmitir impulsos a alta velocidad, explicando en parte los síntomas resultantes de la fatiga fisiológica. La despolarización podría atravesar la lesión, pero a una velocidad reducida, lo que

representa el retardo en las contracciones musculares característico de los pacientes de EM. Estos axones pueden descargar de forma espontánea, produciendo sensación y distorsiones desagradables. Los fallos en la conducción de las vías parcialmente desmielinizadas asociadas con un aumento de la temperatura es un indicador de la reducción de la capacitancia de la vaina de mielina, lo que representa el aumento de la gravedad de los síntomas con incremento de la temperatura (Compston, Coles, 2008).

Como consecuencia ocurre una disminución o bloqueo de las conexiones nerviosas que, a su vez puede ocasionar una gran diversidad de síntomas que pueden englobar aspectos cognitivos, sensitivos, oculares, emocionales y motores en conformidad con la zona del SNC afectada (Fernández, Fernández, Guerrero, 2015; Hunter, 2016). Los síntomas que están relacionados con trastornos neuromusculares como la debilidad de la fuerza muscular (Chung et al., 2008; Ng et al., 2004), principalmente en las extremidades inferiores (Lambert, Archer, Evans, 2001), parece que se agravan durante las contracciones dinámicas a altas velocidades (Ponichtera et al., 1992; Lambert, Archer, Evans, 2001) en la potencia muscular de las extremidades inferiores en personas con EM.

Además de los síntomas ya citados, las personas con EM también pueden presentar depresión, fatiga, dolor y efectos secundarios de tratamientos concomitantes (Oreja-Guevara, Lubrini, 2009) que posiblemente contribuyan al déficit cognitivo que es representado por el procesamiento de las informaciones de manera más lenta, reducción de la atención y de la memoria (Sistiaga et al., 2014; Hunter, 2016).

Entre los síntomas, se destaca los que afectan el sistema músculo esquelético que generalmente se asocia con la reducción de la capacidad funcional, incremento de la discapacidad y de la fatiga (White et al., 2004; NINDS 2012; Hunter, 2016), aumento del número de caídas (Gunn et al., 2014) que probablemente promuevan a una reducción de su actividad física (Cavanaugh et al., 2011), estos síntomas muchas veces pueden causar un impacto negativo sobre la familia, las actividades sociales y el trabajo (Flachenecker, 2015).

Actualmente, la estrategia terapéutica medicamentosa es la más utilizada para el tratamiento de la EM, sin embargo, a través de estrategias multidisciplinarias, que consideren diversas facetas como el componente físico, mental y emocional es posible maximizar la participación de personas con EM en actividades de la vida diaria (Shevil et al., 2014). Además, la promoción del ejercicio debe convertirse en una parte central de la atención clínica y el manejo de los pacientes con EM por parte de los profesionales de

atención médica (Motl, Sandroff, 2015) y también como instrumento para prevenir comorbilidades (Wens et al., 2013).

En este sentido, es importante que las personas con EM estén involucradas en actividades físicas para que se pueda contribuir a la disminución de la debilidad, dolor, dificultad para dormir, fatiga, problemas cognitivos y la depresión (NINDS, 2012; Motl et al., 2017). Así, la utilización del ejercicio físico como estrategia de mantenimiento, desarrollo de la fuerza y otras habilidades físicas puede representar ganancias en la calidad de vida para los pacientes con EM (Flachenecker, 2015) y tener como consecuencia, efectos positivos sobre el bienestar de los mismos (NINDS, 2012; Giesser, 2015).

2.2. Esclerosis Múltiple y ejercicio físico

Hace algunas décadas, era común creer que personas con EM debían evitar realizar ejercicios físicos extenuantes para prevenir posibles empeoramientos en su estado neurológico. Puede ser que tal pensamiento surgió, de la observación de que personas con EM tienen algunos de sus síntomas más pronunciados cuando incrementan su temperatura corporal o cuando están expuestos a temperaturas ambientales más altas (Giesser, 2015). Sin embargo, parece claro que la falta de actividad física puede generar condiciones desfavorables para la salud, incrementando el riesgo para morbilidades asociadas como la osteoporosis y la osteopenia (White et al., 2004; Giesser, 2015). Además de tener los mismos beneficios que la población en general, los pacientes de EM que practican ejercicios físicos pueden beneficiarse del alivio de algunos síntomas, de la prevención de complicaciones en su enfermedad y posiblemente, de un efecto neuroprotector (Dalgas, Stenager, 2012; Giesser, 2015).

Mantener la práctica de ejercicio físico en pacientes con EM, también podría ayudar a la disminución de la depresión e incremento en la calidad de vida (Dalgas et al. 2010; Giesser, 2015; Romberg et al. 2004), mejorías en la espasticidad (Giesser et al. 2007; Tarakci et al. 2013), promoción de una mejor condición física, que tiene como consecuencias mejoras en la función cognitiva en estos pacientes (Motl et al. 2011; Beier et al. 2014) y disminución de la fatiga (Pilutti et al. 2013).

Dalgas y Stenager (2012) afirman, que no puede ser claramente establecido si el ejercicio tiene un efecto modificador de la enfermedad o no, pero los hallazgos hacen

suponer que el ejercicio, puede influir en varios factores neurotróficos que, como se sabe, están involucrados en los procesos de neuroprotección.

A pesar de todos los aspectos positivos relacionados a la práctica del ejercicio físico, una investigación acerca de la actitud de los pacientes con EM hacia la actividad física demuestra, que en una población de 118 personas con EM, 37% realizaba ejercicio físico solamente antes del diagnóstico, después del diagnóstico sólo 9% y 52% antes y después del diagnóstico. El 64% de los participantes relataron algunas diferencias negativas para la realización de la actividad física principalmente la falta de fuerza, disminución de la resistencia y el agravamiento de los síntomas. Como consecuencia, el 38% abandonaron la práctica (Frau et al., 2015). Sin embargo, la práctica de ejercicio físico en sus diferentes tipos, como aeróbico o de fuerza, parece aportar beneficios para los pacientes con EM.

Tanto es así, que Motl y Sandroff (2015), Halabchi et al. (2017) y Motl et al. (2017) han publicado que el entrenamiento físico puede producir mejoras pequeñas, pero relevantes de la marcha, el equilibrio, la cognición, en la fatiga, en la depresión y en la calidad de vida. Todas estas mejoras se pueden obtener con un riesgo mínimo de brotes o disfunciones en adultos con discapacidad leve o moderada.

2.3. Acciones musculares

La comprensión de cómo la práctica regular de ejercicios físicos puede afectar la vida, la salud y la capacidad funcional de las personas con EM, pasa por entender algunos conceptos básicos, como los diferentes tipos de acciones musculares que pueden ser utilizados durante el ejercicio físico.

En esta línea, la relación entre la resistencia a vencer y la tensión generada en los sarcómeros, pueden tener como resultado que las fibras musculares: se acorten, se alarguen o no haya cambio en su longitud (Ratamess, 2012). Estos distintos comportamientos de los sarcómeros, dan origen a las acciones musculares.

Con la función elemental de estabilizar y mantener las posiciones corporales, las acciones isométricas se caracterizan por no haber cambios claros en la longitud del músculo y tampoco en el ángulo articular a pesar de demostrar tensión en sus fibras musculares (Ratamess, 2012), definición ésta, en la que desde la óptica de la física no se

produce trabajo (Knuttgen, Komi, 2003), y se produce cuando la tensión muscular es igual a la fuerza a vencer (Kraemer, Vingren, 2007).

Las acciones concéntricas tienen la función de aproximación de palancas y también de disminuir, en general, los ángulos articulares. Ocurren cuando el músculo produce más tensión que la resistencia que se quiere vencer, lo que implica una aproximación de las estructuras fibrilares del músculo (Knuttgen, Komi, 2003; Ratamess, 2012).

Las acciones excéntricas, son identificadas por la realización de trabajo cuando las fibras musculares son sometidas a una tensión durante el elongamiento del músculo (Roig, Shadgan, Reid, 2008) que ocurren, en el momento que la resistencia a superar es más grande que la tensión generada por el músculo (Kraemer, Vingren, 2007).

La acción excéntrica destaca por ser el tipo de contracción que puede producir más fuerza, seguida por la acción isométrica y por último las acciones concéntricas. Tal característica de la acción excéntrica, se justifica por algunos de sus aspectos tales como la arquitectura muscular, la longitud de las palancas, la velocidad del movimiento, la técnica empleada y el tipo de resistencia a ser vencida (Kraemer, Vingren, 2007). La distinción (tipo I, IIa, IIb) y la cantidad de las fibras musculares influyen tanto en la velocidad de generación de fuerza como en el nivel de fuerza máxima (González-Badillo, Gorostiaga-Ayestarán, 2002).

Un estudio desarrollado por Colliander y Tesch (1990) comparó ejercicios para cuádriceps, con características concéntricas con otro que además del estímulo concéntrico, proporcionaba un refuerzo excéntrico. Los resultados indicaron mayores ganancias en los porcentajes de fuerza pico en diferentes velocidades angulares, en la prueba de salto vertical y también en la fuerza máxima para el grupo que ha trabajado con ambas acciones musculares. Ya la investigación conducida por Dudley et al. (1991a) indicó que las acciones excéntricas optimizaron la intensidad del entrenamiento además de mejorar las adaptaciones neurológicas a la fuerza. Así, estos hallazgos comprobaron que existe una mayor producción de fuerza en una acción concéntrica que fue precedida de una excéntrica, que en una acción solamente concéntrica.

La justificación para estos descubrimientos puede estar basada en las peculiaridades de la acción excéntrica, como una mayor contribución de los componentes elásticos que están presentes en la unidad músculo-tendinosa, incrementando así el potencial para generación de fuerza, mayor empleo y reserva de energía elástica (Meylan, Cronin, Nosaka, 2008; Roig, Shadgan, Reid, 2008). Algunos estudios indican, que el

refuerzo excéntrico es de bajo coste energético (Dudley et al., 1991b; Caruso et al., 2003; García-López, 2008) y que el SNC tiene un patrón diferenciado al programar y ejecutar una acción excéntrica en relación a la acción concéntrica, donde hay una mayor actividad cortical y mayor actividad electromiográfica que en la realización de acciones excéntricas (Fang et al., 2001). Con respecto a la actividad electromiográfica, el número de unidades motrices que son reclutadas durante una acción excéntrica, representa entre 35 y 60% menos que la acción muscular en una acción concéntrica (Westing, Creewell, Thorstensson, 1991; Enoka, 1996; Hortobágyi et al., 1996; Fang et al., 2001). Circunstancialmente las acciones excéntricas tienen la capacidad de generar altos niveles de fuerza con una menor activación muscular (Franco, 2014).

Otra característica inherente de las acciones excéntricas, es que la misma abarca los valores de fuerza máxima en el cual diferentes investigaciones (Colliander, Tesch, 1990; Westing, Creewell, Thorstensson, 1991; Hollander et al., 2007) describen que, a lo largo de la realización de acciones excéntricas, se observa más producción de fuerza en comparación con las acciones concéntricas. Enoka (1996) y Paulsen et al. (2010) ratifican que el daño en las estructuras musculares y del tejido conectivo, así como el dolor muscular tardío, pueden ser provocadas como consecuencias de cargas excéntricas agudas, muy altas o repetitivas.

McHugh (2003) indica, que en el músculo hay una reacción denominada *Repeated Bout Effect*, que desenvuelve un efecto protector consistente en que tras la realización de ejercicio excéntrico que produzca daño muscular, la ejecución de los mismos ejercicios no genera el mismo daño además de recuperarse la fuerza muscular. Así, estudios desarrollados coinciden con McHugh (2003) y destacan las diferentes maneras de respuestas en acuerdo con la fase de vida de la muestra (García-López et al., 2007; Jiménez- Jiménez et al., 2008; Fernández-Gonzalo et al., 2011; Gorianovas et al., 2013).

Por tanto, las distintas acciones musculares pueden promover respuestas fisiológicas y adaptaciones que posiblemente están relacionadas con mejoras en la condición física, en mayor o menor grado. Entender como la práctica de ejercicios físicos con énfasis en diferentes acciones musculares puede afectar la salud de los individuos, puede ser un importante instrumento a la hora de prescribir ejercicios y entrenamientos para la promoción de la salud y la prevención de agravios en los distintos estratos poblacionales.

2.4. Fuerza Muscular Máxima

Teniendo en cuenta las características de las acciones musculares, hay que aclarar las peculiaridades de la fuerza. Se define fuerza muscular como la máxima tensión producida por un músculo o grupo muscular durante la ejecución de un patrón de movimiento preestablecido, en acuerdo con la velocidad determinada y también con los tipos de acciones musculares (Knuttgen, Komi, 2003; Ratamess, 2012). Las manifestaciones de fuerza son diversas y la que será abordada en este estudio es la fuerza máxima en dos diferentes facetas, fuerza máxima dinámica (RM) y la fuerza máxima isométrica (FzIso).

La fuerza máxima se describe como la aptitud de desplazar una determinada carga que sea límite durante la realización de un ejercicio específico, respetando una determinada velocidad y mediante un esfuerzo máximo (Ratamess, 2012). Al referirse a una acción muscular dinámica, la fuerza máxima corresponde a la máxima cantidad de carga que se puede mover en una repetición máxima (1RM).

La FzIso está basada en la capacidad de generar una tensión máxima ante a una resistencia insuperable (Brown, Weir, 2001) y puede ser expresada en valores y unidades en acuerdo con el aparato utilizado para medirla. Es posible considerar que, tanto la fuerza isométrica, como la fuerza dinámica pueden estar relacionadas con la salud y guardar relación también con los niveles de funcionalidad del sujeto (De Souza-Teixeira et al., 2009), siendo variables importantes a ser estudiadas.

2.5. Potencia muscular

La potencia muscular se define como la capacidad de realizar fuerza muscular por unidad de tiempo, y es la capacidad de ejercer fuerza rápidamente (potencia = fuerza x velocidad) (Bean, et al., 2002).

En los pacientes con EM, la potencia muscular de la extremidad inferior es reducida en comparación con personas sanas (Chung et al., 2008), y esta diferencia puede estar relacionada a la deficiencia en la mecánica muscular donde están involucrados mecanismos neuronales (Scott et al., 2011; Ng et al., 2004) y estructurales (Garner, Widrick, 2003). Algunas investigaciones han demostrado, que en pacientes con EM en comparación con controles sanos ocurre pérdida de masa magra (MM), distribución

anormal de los tipos de fibras musculares, capacidad reducida para activar completamente las unidades motoras y reducción del tiempo para el desarrollo de la fuerza (Kjølhede et al., 2015; Chung et al., 2008).

La reducción de la potencia muscular que ocurre en pacientes con EM, es similar a la que acontece en los ancianos, como consecuencia normal del envejecimiento que, además de ser responsable de alteraciones en la composición corporal, principalmente en la masa grasa (MG) y la MM, puede tener efectos negativos para la salud como la disminución de la potencia muscular, disminución de la movilidad y de la capacidad funcional (Kim et al., 2016; Gluchowski et al., 2015).

Uno de los efectos del envejecimiento es la afectación considerable de manera negativa la potencia muscular, por ser esta manifestación de la fuerza extremadamente sensible a la degeneración neuromuscular, siendo relacionada principalmente con la disminución de fibras tipo II, con consecuencia directa en la velocidad contráctil (McKinnon et al., 2017). Brady, Straight, Evans (2014) indican que la pérdida en la potencia muscular a lo largo de la vida es un 10% mayor que la disminución en la fuerza muscular.

La potencia muscular, es una medida fiable del rendimiento muscular (Foldvari et al., 2000) y un fuerte predictor fisiológico de las limitaciones funcionales (Foldvari et al., 2000; Suzuki, Bean, Fielding, 2001; Van Roie et al., 2011). Consecuentemente, una mayor potencia muscular en los miembros inferiores, generalmente está relacionada con la conservación de la función física (Caserotti et al., 2008; Warburton, Gledhill, Quinney, 2001).

El mantenimiento y el incremento de la potencia muscular también es importante para aumentar la seguridad, durante la realización de ciertas tareas funcionales en poblaciones frágiles como, por ejemplo, subir escaleras o estabilizar el cuerpo después de una pérdida de equilibrio (Warburton, Gledhill, Quinney, 2001; Cadore et al., 2014; Sayers, Gibson, 2014).

Por lo tanto, incrementar la capacidad de producir potencia en las extremidades inferiores es un factor clave en el rendimiento y en la ejecución de las actividades de la vida diaria (Warburton, Gledhill, Quinney, 2001), especialmente en personas con EM. Medina-Pérez et al. (2016) demostraron que un protocolo de entrenamiento de fuerza (EF) muscular para los miembros inferiores de 12 semanas incrementó la fuerza máxima y la potencia muscular en personas con EM RR. En este sentido, el EF puede ser una alternativa para desarrollar la fuerza y potencia muscular en personas con EM.

2.6. Relación entre la fuerza muscular y la salud

Considerando lo anteriormente expuesto, es necesario explicar la relación entre fuerza, masa muscular y salud.

En 1998, el *American College Medicine of Sports* (ACMS) publicó un documento (Pollock et al., 1998) refrendando que la práctica regular del ejercicio físico y el desarrollo de la fuerza muscular tienen papeles fundamentales para la salud y que en el entrenamiento físico debe considerarse una intensidad suficiente para incremento de la fuerza y de la masa libre de grasa.

En 2002, el ACMS publicó una directriz que deja más claro las instrucciones acerca de la progresión, tipos de fuerza, cómo establecer la carga, tipos de ejercicio y cómo hacerlos (Kraemer, Ratamess, French, 2002). En 2009, el ACMS emitió una directriz aportando demás evidencias científicas e incluyeron la importancia de desarrollar la potencia muscular. Con ello se puede afirmar que personas con comportamiento y hábitos que las hace ser físicamente inactivas, tienen un mayor riesgo de mortalidad por todas las causas (FitzGerald et al., 2004) y que tener una buena condición física y utilizar entrenamientos físicos ayuda en el control del peso, reducción del riesgo de osteoporosis y consecuencias positivas junto al enfrentamiento a enfermedades crónicas y metabólicas (Kraemer, Ratamess, French, 2002).

La importancia para el desarrollo del músculo, además de mantener sus funciones de contracción y generación de movimiento (Pedersen, 2011), está involucrada en la función endocrina y paracrina del tejido muscular siendo responsable por la producción de proteínas que tiene funciones hormonales y regulatorias (Febbraio, Pedersen, 2005; Pedersen, Febbraio, 2008). Tales proteínas son producidas en la contracción muscular y tienen una relación con el sistema inmunitario, así como en los procesos pro y anti-inflamatorios (Febbraio, Pedersen, 2005).

Complicaciones de salud como resistencia a la insulina, aterosclerosis, neurodegeneración, surgimiento de tumores y otras morbilidades están relacionadas con la inflamación crónica (Pedersen et al., 2000; Brandt, Pedersen, 2010) y de cierta manera, el depósito de grasa visceral se destaca, ya que esta grasa es responsable de la producción de proteínas pro-inflamatorias. Así, la práctica del ejercicio físico y el mantenimiento de la MM corporal desempeñan un importante papel en la funcionalidad muscular por regular algunas funciones metabólicas y estimular la producción de proteínas anti-inflamatorias (Febbraio, Pedersen, 2005; Petersen, Pedersen, 2005).

En ese sentido, es importante comprender cómo la fuerza muscular en sus diferentes aspectos influye en la capacidad funcional, las características funcionales de los músculos y en la salud de las personas con EM.

2.7. Calidad Muscular

La calidad muscular (CM) es un cálculo que representa la característica funcional del músculo, habitualmente definida como fuerza muscular dividida por unidad de masa muscular (fuerza muscular/masa muscular), también puede ser nombrada como fuerza específica (Hairi et al., 2010). Para expresar la fuerza máxima se puede relativizarla por la MM del individuo (Ratamess, 2012) y como consecuencia, se obtiene la CM. Es un factor que, recientemente se ha demostrado relacionado con la salud y la funcionalidad muscular (Moore et al., 2014).

Para realizar el cálculo de la CM, es necesario conocer tanto la fuerza como la MM. Para identificar la MM se puede utilizar la *Dual-energy X-ray absorptiometry* (DXA) que es la técnica estándar de oro en el análisis de la composición corporal a nivel molecular, proporcionando la evaluación y la cuantificación de la MG, la MM y la densidad mineral ósea (DMO). En particular, a través de la evaluación de los parámetros de MM no-hueso, como la MM apendicular ajustada para el índice de masa corporal (IMC) o altura, es posible identificar a los sujetos con pérdida de masa muscular y masa ósea, refiriéndose a valores de corte específicos validados en la literatura para la estandarización de las medidas del DXA (Guglielmi et al., 2016).

Así es posible utilizar los valores específicos de cada región de interés (ROI de su nombre en inglés *Region of interest*). Además, es ventajosa la utilización de la DXA en términos de precisión, simplicidad, disponibilidad, bajo costo y baja exposición a la radiación, siendo importante en el diagnóstico de sarcopenia y osteopenia, destacándose como técnica de evaluación de referencia en la evaluación de la masa muscular (Guglielmi et al., 2016).

La relativización de la fuerza con la masa muscular, es necesaria para que se pueda comprender el comportamiento y deterioro funcional de manera más significativa que analizando la masa muscular o la fuerza de modo por separado (Brady, Straight, Evans, 2014; Barbat-Artigas et al., 2013). Algunas características como la obesidad, el nivel de actividad física, el género, las hormonas sexuales y la edad influyen y/o explican la

CM. La evaluación de la CM está pendiente de los materiales que se utilizan para verificar la masa muscular, la fuerza y la potencia (Barbat-Artigas et al., 2012).

Moore et al. (2014) desarrollaron una investigación transversal con 786 personas (edad entre 26-90 años), donde constataron reducción de la CM de acuerdo con el incremento de la edad y su disminución fue relacionada con la obesidad y también con factores neuronales, destacándose la velocidad de conducción nerviosa. Sin embargo, dependiendo del grupo muscular analizado, la CM puede manifestarse de maneras diferentes como, por ejemplo, en los resultados de un estudio con 703 personas de ambos sexos (edad entre 19-93 años), que describió que la CM presentada por los brazos fue significativamente más alta, cerca de 30%, en relación a la CM de las piernas en las diversas edades y para ambos sexos. Se observó que hubo disminución de la CM en los miembros superiores e inferiores con avance de la edad a una tasa similar en los varones, entretanto la CM en los miembros inferiores en las mujeres se redujo significativamente 20% más que la CM en los miembros superiores, una vez verificado el incremento de la edad (Lynch et al., 1999).

La CM está intrínsecamente relacionada con el desempeño funcional de personas mayores y puede ser predictor independiente de la aptitud funcional de los miembros inferiores, con valores superiores al rendimiento aeróbico y la MG. Dichas afirmaciones están basadas en un estudio realizado por Misic et al. (2007), donde el rendimiento aeróbico y la MG justificaron solamente entre el 5% y el 6% de la variación del desempeño dinámico de la aptitud funcional de los miembros inferiores, la CM justificó del 29% al 42%.

En los pacientes con EM cuantificar la CM puede ser una interesante estrategia para explicar las ganancias de la capacidad funcional que se observan con la práctica del ejercicio físico y que no pueden ser explicados solamente por ganancias de fuerza y/o masa muscular.

2.8. Esclerosis Múltiple y entrenamiento de fuerza muscular

Los análisis de los estudios indican que los ejercicios aeróbicos y de fuerza pueden ser beneficiosos y actualmente el EF ha sido reconocido como una herramienta eficaz en la rehabilitación de las personas con EM (Giesser, 2015). Kjølhede, Vissing y Dalgas (2012) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de revisar sistemáticamente la literatura

de los estudios relacionados con el EF para las personas con EM. Los autores observaron una alta evidencia del efecto beneficioso del EF sobre la fuerza muscular en cuanto a la capacidad funcional, el equilibrio y las medidas de auto-reporte (fatiga, calidad de vida y el estado de ánimo) presentaron una evidencia menor, pero con una tendencia positiva en general. Tal vez los resultados heterogéneos que corresponden al efecto sobre la capacidad funcional y medidas de auto-referida, se deban probablemente a las diferencias en los protocolos de entrenamiento, tamaños de muestras, tipo y gravedad de la enfermedad, en los estudios analizados.

Además de estos datos, los autores muestran que también existen indicios de un efecto del EF sobre los mecanismos subyacentes como cambios morfológicos en los músculos, adaptaciones neurales y citoquinas, pero los estudios que investigaron estos aspectos son escasos y poco concluyentes (Kjølhede, Vissing, Dalgas, 2012).

En estudios desarrollados para verificar el comportamiento de la fuerza en personas con EM, los resultados muestran que personas afectadas no producen fuerza durante la extensión y flexión de la rodilla con la misma velocidad que personas sanas (Ponichtera et al., 1992) y presentando valores inferiores de FzIso, siendo en los miembros inferiores 18% menos y en los miembros superiores, 6% (Petajan et al., 1996).

De esta manera, la disminución de la fuerza en personas con EM es atribuida a factores neurales y centrales (Scott et al., 2011; Ng et al., 2004). Investigaciones realizadas acerca de la activación de las unidades motoras a lo largo de la producción de la RM en miembros inferiores indican que, mientras personas sanas consiguen activar entre 94% - 100%, personas con EM activan entre 47% - 93% (Rice, Vollmer, Bigland-Ritchie, 1992; Sharma et al., 1995; de Haan et al., 2000).

Precisamente por las razones ya citadas, algunos investigadores se centraron en el estudio de los efectos del ejercicio físico en personas con EM como White et al. (2004), que evaluaron el efecto de un programa de EF progresiva de 8 semanas en la fuerza de las extremidades inferiores, la función ambulatoria, la fatiga, la discapacidad auto-referida y que obtuvieron resultados positivos relacionados con la fuerza muscular mejorada, menor fatiga para caminar y disminución de la discapacidad auto-referida, sugiriendo que el EF puede compensar la disminución de fuerza y capacidad funcional en estos pacientes. Estos datos sugieren la necesidad de investigaciones con programas específicos de EF destinados a frenar el deterioro funcional, que mejoraría la capacidad para realizar actividades de la vida diaria y la calidad de vida en personas con EM.

Considerando que el EF aumenta la activación muscular y la fuerza muscular, Fimland et al. (2010) realizaron una investigación con el objetivo de conocer las adaptaciones neurales en el EF máxima en personas con EM. Evaluaron el músculo sóleo mediante electromiografía de superficie. En esta investigación, el EF obtuvo una mejora significativa en la magnitud de salida de la señal motora eferente de las neuronas motoras espinales en las personas con discapacidades leves y moderadas, aliviando algunos síntomas neuromusculares relacionados con la enfermedad.

Adicionalmente, la investigación desarrollada por Medina-Pérez et al. (2016), a pesar de tener algunas limitaciones, describió las respuestas al EF para miembros inferiores de personas con EM RR, con resultados que apoyan el uso de protocolos de EF para aumentar la fuerza y la potencia muscular.

La fuerza muscular se ha destacado por ser un determinante de la velocidad de marcha en personas con EM (Thoumie et al., 2005), principalmente por las correlaciones significativas entre parámetros de la marcha y fuerza del cuádriceps e isquiotibiales (Güner et al., 2015), donde tener más fuerza en los miembros inferiores puede representar independencia para la realización de actividades de la vida diaria. Adicionalmente, Kjølhede, Vissing y Dalgas (2012) también sugieren que el EF puede inducir a la hipertrofia muscular y adaptaciones neurales a estas personas.

De esta manera, el EF con diferentes acciones musculares podría producir respuestas neuromusculares distintas y con posibles efectos sobre la fuerza y la funcionalidad de las personas con EM.

2.9. Entrenamiento excéntrico de la fuerza

Para llevar a cabo un EF a través de un método específicamente excéntrico, se exigen técnicas complejas y dificultades en su ejecución para determinar las sobrecargas adecuadas (Hortobágyi et al., 2001) y cuando se utiliza máquinas de musculación o entrenamientos con pesos libres, la capacidad de generar fuerza en la fase excéntrica es limitada, dado que la carga necesaria para un estímulo ideal a lo largo de la fase concéntrica es menor en comparación con la carga ideal para la realización de un estímulo excéntrico, por considerar que el potencial para movilizar cargas es más alto durante la fase excéntrica (Hortobágyi et al., 2001; Brandenburg y Docherty, 2002; Reeves et al., 2009). Frente a la ejecución de ejercicio de fuerza, la fatiga es más pronunciada en la fase

concéntrica que en la fase excéntrica, ya que la acción excéntrica representa solamente la sexta parte del consumo de energía de la acción concéntrica (Berg, Tesch, 1998).

En la búsqueda de un entrenamiento excéntrico que sea viable, con sobrecarga adecuada, controlada y que se pueda identificar las variaciones de la velocidad en las diferentes fases del movimiento, diversos investigadores probaron métodos distintos (Brandenburg y Docherty, 2002; Gillies, Putman, Bell, 2006; Bottaro et al., 2007; Marques Izquierdo y Pereira, 2013), utilizando terceras personas o aparatos en el desplazamiento de la carga a lo largo de la fase concéntrica (Hollander et al., 2007; García-López et al., 2007; Jiménez- Jiménez et al., 2008; Reeves et al. 2009; Fernández-Gonzalo et al., 2011) o dinamómetros isocinéticos (Colliander, Tesch, 1990; Hortobágyi et al., 1996, 2001). Con todo, es necesario diseñar máquinas que sean viables para su utilización en espacios no académicos (Roig, Shadgan, Reid, 2008).

Entre las máquinas desarrolladas para el trabajo excéntrico o para un entrenamiento de fuerza reforzado excéntricamente (ERE), se puede citar:

Polea Cónica VersaPulley[®] (VersaPulley; Heart Rate Inc., Costa Mesa, Ca/EUA): desarrollada en 1981, habitualmente empleado para el entrenamiento deportivo, este aparato posibilita la realización de ejercicios multi-articulares con opciones de control de la sobrecarga por programas de informática.

Inertial Exercise Trainer – IET (Impulse Technologies, Newnan, Ga/USA): surgió en 1984 para la utilización en la terapia física y rehabilitación. Admite la realización de acciones con alta velocidad y baja resistencia además de permitir la ejecución simultánea de movimientos multiarticulares en más de un plano de movimiento.

Cicloergómetros excéntricos: desarrollados al principio de la década de los 90, son muy utilizados en aplicaciones para el ejercicio excéntrico en personas con salud comprometida por ser accesible tanto por su técnica como por el tipo de esfuerzo (Gerber et al. 2007; Dibble et al., 2006; Marcus et al., 2008; LaStayo et al., 1999, 2000, 2003, 2010).

Bromsman eccentric overload training device: a mediados de los años 90, Frohm Halvorsen y Thorstensson (2005) desarrollaron una máquina para sentadilla con la esencia de un dinamómetro que favorece una sobrecarga excéntrica de acuerdo con situaciones determinadas.

Advanced Resistive Exercise Device – ARED (NASA Johnson Space Center, Houston, Tx/USA): fue desarrollado por la NASA y tiene su utilización restringida a

transportes espaciales. Esta máquina promueve la sobrecarga tras la utilización de cilindros al vacío y es posible realizar hasta 29 movimientos diferentes.

Automatic Escalator Device: en 2013, Paschalis et al. (2013) demostraron un escalador automático que posibilita realizar subidas y bajadas en escalones además de graduar la carga y la velocidad de movimiento de la escalera y controla el número de pasos ejecutados.

Eccentric Arm Cycle Ergometer: tuvo su primera referencia bibliográfica en 2013, este tipo de cicloergómetro proporciona sobrecarga excéntrica en los miembros superiores a causa de la acción de un motor que hace una fuerza en el volante en un sentido inverso a la aplicación de la fuerza (Elmer, Danvind, Holmberg, 2013).

Inertial Training and Measurement System - ITMS: este es otro aparato presentado en 2013, un invento hecho por Brzenczek et al. (2013), con la utilización de volantes, se puede incrementar la sobrecarga en el aparato o el mismo puede establecer la sobrecarga como consecuencia del estímulo aplicado.

Sin embargo, gran parte de los avances en el desarrollo de máquinas con la capacidad de proporcionar una sobrecarga excéntrica tuvieron lugar después de la década de 80, cuando las agencias espaciales norteamericana (NASA) y europea (ESA) buscaban soluciones para la disminución de masa ósea y masa muscular presentada por los astronautas que quedaban durante mucho tiempo en el espacio. A pesar de intentar resolver tales efectos negativos tras la utilización de medicamentos, estimulación eléctrica y gravedad artificial, el ejercicio físico fue considerado como la mejor estrategia para el mantenimiento de masa ósea y masa muscular (Berg, Tesch, 1998). Para lograr el éxito en sus búsquedas, las agencias iniciaron investigaciones para aclarar las características y potencialidades de las acciones excéntricas (Colliander, Tesch, 1990; Dudley et al., 1991a, 1991b, Hather et al., 1991).

Como consecuencia, investigadores que pertenecían al Departamento de Fisiología del Instituto Karolinska (Suecia) y que participaron en las investigaciones, intentaron desarrollar un aparato que pudiese ofrecer sobrecarga excéntrica independientemente de la fuerza de gravedad. De esta búsqueda resultó en el *Flywheel Exercise Device - FWED* (Berg y Tesch, 1994), que utilizó la tecnología isoenergética y fue patentada como *YoYo Inertial Technology™*. Dicho aparato fue validado como una máquina desarrollada para el EF que hace uso de un sistema mecánico independiente de las acciones de la gravedad y con base en la resistencia inercial realizada por los volantes que promovían la sobrecarga. Eso es posible, porque los volantes inerciales acumulan

energía cinética y alcanzan altas velocidades angulares. Esta mayor carga general y la tensión mecánica ejercida sobre el músculo, es responsable de provocar un trabajo más concéntrico y como resultado, una sobrecarga excéntrica acentuada y estos son los motivos que parecen ser responsables por una mayor activación muscular demostrada con el ejercicio YoYo™ (Tesch, Fernández-Gonzalo, Lundberg, 2017).

En 1998, Berg y Tesch (1998) publicaron un artículo en el que muestran que el aparato desarrollado por ellos promueve adaptaciones iguales o superiores cuando es comparado con el entrenamiento con pesas libres, además de presentar mayor activación muscular, aumento de masa muscular, ganancias en la fuerza con menor coste energético. Así, concluyeron que la máquina sería adecuada para luchar contra la pérdida de masa muscular y ósea de los astronautas. Estos resultados positivos en relación al entrenamiento tradicional (con énfasis en las acciones concéntricas) pusieron en evidencia el entrenamiento con énfasis en las acciones excéntricas, especialmente como una estrategia para la promoción de la salud, preparación de deportistas y rehabilitación (Berg, Tesch (1998; Tesch, Fernández-Gonzalo, Lundberg, 2017).

Después de ser probado exhaustivamente en sujetos, en situaciones análogas a la de los vuelos espaciales, un aparato de ejercicio YoYo™ multimodo fue instalado en la Estación Espacial Internacional en 2009. El método, aplicable a cualquier grupo muscular, proporciona una resistencia cómoda y una carga muscular óptima a través del rango completo de movimiento de acciones concéntricas y breves episodios de sobrecarga excéntrica. Este tipo de intervención en el ámbito del ejercicio físico, ha encontrado aplicaciones terrestres y ha demostrado su éxito en la mejora del rendimiento deportivo, en la prevención de lesiones y en la ayuda en los programas de rehabilitación neurológica u ortopédica. Otras investigaciones han demostrado que el ejercicio con refuerzo excéntrico, ofrece respuestas fisiológicas únicas que no son posibles con otras propuestas de ejercicio físico (Tesch, Fernández-Gonzalo, Lundberg, 2017).

De las investigaciones mencionadas en la revisión realizada por Tesch, Fernández-Gonzalo, Lundberg (2017), se destaca las que tuvieron como sujetos personas con algún tipo de compromiso neurológico tales como los estudios desarrollados por Fernández-Gonzalo et al. (2014) con pacientes que padecen de accidente cerebrovascular crónico, que tras el entrenamiento en la YoYo™ han mejorado la fuerza muscular y la potencia muscular de la extremidad más afectada y entrenada además de la pierna no entrenada; además, en un estudio también con pacientes con ACV, el entrenamiento fue

una importante ayuda para recuperar la masa muscular y la funcionalidad, además de mejoras concomitantes en funciones cognitivas (Fernández-Gonzalo et al. 2016).

Otros estudios citados engloban el estudio de Oliveira et al. (2015) donde personas con EM, presentaron mejorías en la capacidad funcional tras el entrenamiento en la YoYo™ y la investigación desarrollada por Sarmiento et al. (2014) con personas con Alzheimer, que han presentado mejor rendimiento en la marcha. Así, estudios clínicos en personas que padecen otras patologías neurológicas están justificadas con la utilización del YoYo™ ya que este se ha presentado como un método de rehabilitación viable y seguro (Tesch, Fernández-Gonzalo, Lundberg, 2017).

2.10. Entrenamiento excéntrico de la fuerza con fines de salud

Estímulos excéntricos indican una enorme aptitud adaptativa del músculo como consecuencia del entrenamiento (Lindstedt, LaStayo, Reich, 2001), optimizan las adaptaciones neurológicas a la fuerza (Dudley et al., 1991a) que son resultado de estímulos con baja intensidad, además de hacerlo en un periodo de tiempo muy corto (Hortobágyi et al., 2001). Aparte de eso, las ganancias de MM y fuerza son más perceptibles como consecuencia del reclutamiento de más fibras tipo IIX que posibilitan soportar cargas más elevadas y más momentos de fuerza que hace oportuno el incremento de sarcómeros en serie (Roig, Ranson, 2007; Reeves et al., 2009). El entrenamiento con características excéntricas pudiera restringir o anular los mecanismos de inhibición muscular que tiene como responsabilidad proteger los músculos e impedir activaciones musculares altas expuestas a cargas máximas, proporcionando la activación de un mayor número de fibras del músculo y producir más cantidad de fuerza (Aagaard et al., 2000).

Los cambios proporcionados por los entrenamientos excéntricos, también pueden ser comprobados por estudios que fueron desarrollados como, por ejemplo uno que tras 8 semanas de entrenamiento en un cicloergómetro excéntrico, comprobaron que jóvenes sanos tuvieron mejorías en la FzIso en los miembros inferiores e incremento significativo en el área de sección transversal de las fibras musculares (52%), con un dispendio energético muy parecido con el exigido para realizar el trabajo concéntrico, sin registro de lesión muscular y con baja presencia de dolor muscular (LaStayo et al., 2000).

Hortobágyi et al. (2001) desarrollaron una investigación donde encontraron aumento de FzIso, fuerza isocinética excéntrica y 3RM (tres repeticiones máximas) en

solamente 7 sesiones de entrenamientos en mujeres jóvenes. Estos datos sugieren que tales ganancias son atribuidas y asociadas a cambios de la activación muscular. Otro ejemplo es la investigación conducida por Brandenburg y Docherty (2002) donde varones jóvenes fueron sometidos a entrenamiento con sobrecarga excéntrica a lo largo de 9 semanas y obtuvieron incremento en la fuerza máxima. Vikne et al. (2006) registraron ganancias significativas en el área de sección transversal del flexor del codo en individuos ya entrenados y que hicieron ejercicio excéntrico, al mismo tiempo que no se verificaron cambios significativos en el grupo con entrenamiento concéntrico.

Roig et al. (2009) buscaron, entre otros objetivos establecer en qué tipo de entrenamiento se puede obtener más ganancia de masa muscular, el excéntrico o concéntrico. Para eso hicieron una revisión sistemática con meta-análisis y concluyeron que el entrenamiento excéntrico promueve más ganancia de masa muscular que el entrenamiento concéntrico. En esta misma línea, Maroto-Izquierdo et al. (2017) también llevaron a cabo un estudio meta analítico para comparar los efectos del entrenamiento con énfasis en las acciones excéntricas frente al entrenamiento con énfasis en las acciones concéntricas sobre la funcionalidad y la estructura muscular en sujetos sanos. Los autores concluyeron, que el entrenamiento excéntrico es mejor para promover adaptaciones en el músculo esquelético en términos de fuerza, potencia y tamaño muscular.

Teniendo en cuenta las peculiaridades de las acciones excéntricas, sus ventajas, así como sus fundamentos fisiológicos, se hace necesario su aplicabilidad con objetivos de mejorías de la salud, con costo energético más bajo y con menores demandas de oxígeno (Lindstedt, LaStayo, Reich, 2001), provocando una producción más pronunciada de fuerza. Tales características ayudan a justificar la gran capacidad adaptativa de los músculos como respuestas frente al ejercicio excéntrico crónico (Franco, 2014).

Roig, Shadgan, Reid (2008) tras una revisión sistemática con el objetivo de restaurar las funciones músculo-esqueléticas en personas con algunos tipos de enfermedad crónica específica, describieron que el entrenamiento excéntrico puede ser utilizado con seguridad.

Más allá de esas indicaciones y fundamentado en que el entrenamiento excéntrico promueve mayor activación cortical (Fang et al., 2001), Fernández-Gonzalo et al. (2014) desarrollaron un estudio piloto con pacientes con accidente cerebrovascular crónico, sometidos al ERE donde pudieron verificar que en corto plazo de tiempo, el ERE se presentó como un método válido, seguro y viable para mejorar la función muscular, el equilibrio, la marcha y el rendimiento funcional en los varones y mujeres que sufren de

derrame cerebral crónico. Posteriormente en un estudio desarrollado por Fernández-Gonzalo et al. (2016) han visto que el ERE fue capaz de promover una recuperación de la masa muscular y de la funcionalidad de personas con accidente cerebrovascular crónico además de mejoras concomitantes en las funciones cognitivas.

De manera semejante, Casillas et al. (2016) han demostrado que en un grupo de pacientes con insuficiencia cardíaca crónica, el entrenamiento excéntrico aplicado, adaptado y controlado por una baja percepción subjetiva del esfuerzo, fue bien tolerado e indujo a mejoras en las capacidades funcionales máximas (distancia desplazada a lo largo de una prueba de caminar y máxima tasa de trabajo de los miembros inferiores) similar a los pacientes que fueron sometidos al EF convencional y ganancias superiores que el entrenamiento convencional para fuerza máxima de tríceps sural y cuádriceps. Las demandas más bajas en el sistema cardiorrespiratorio del entrenamiento excéntrico representa un buen indicativo para la prescripción de ejercicios excéntricos para los pacientes en rehabilitación de insuficiencia cardíaca crónica, que presentan una reducción de reserva energética, porque muestran una mejor eficiencia energética (Casillas et al., 2016). Así, parece que el entrenamiento con énfasis en las acciones excéntricas es seguro, más eficiente que el EF convencional para promover incrementos de fuerza, masa muscular y funcionalidad, siendo una alternativa interesante como complemento al tratamiento en personas con insuficiencia cardíaca crónica.

El EF para personas con EM es una temática relativamente nueva (Giesser, 2015) y bajo el punto de vista histórico, los registros académicos del ERE también son considerados comparativamente recientes, con muy poca información sobre esta temática.

Sin embargo, el presente estudio es completamente novedoso por tratar con ERE a personas con EM y en virtud de esta escasez de investigaciones que contemplan esta temática, todos los estudios que estén focalizados en los efectos del ERE sobre la fuerza, funcionalidad u otros indicadores relacionados a la salud podrán aportar informaciones a la literatura científica y también, contribuir para la utilización de este tipo de entrenamiento en pacientes con EM

3. OBJETIVOS

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Estudiar los efectos del entrenamiento reforzado excéntricamente frente al entrenamiento concéntrico clásico en el desempeño de pruebas funcionales, diferentes manifestaciones de la fuerza y calidad muscular de los miembros inferiores en personas con EM.

3.2. Objetivos específicos

Evaluar y comparar las adaptaciones producidas por el entrenamiento concéntrico clásico y el entrenamiento reforzado excéntricamente en:

- la capacidad funcional a través del desempeño en las pruebas funcionales “*timed 8-foot up and go*” y “*chair stand test*”;
- las diferentes tipos de manifestación de la fuerza: la fuerza máxima isométrica y la fuerza máxima dinámica de la extensión de rodillas, evaluadas de manera unilateral y bilateral y la potencia muscular de la extensión de rodillas bilateral;
- la masa magra de los muslos, con mediciones de las regiones de interés de modo unilateral y bilateral;
- la calidad muscular correspondiente a la fuerza máxima isométrica y fuerza máxima dinámica, ambas evaluadas de manera unilateral y bilateral y la calidad muscular relativa a la potencia muscular bilateral.

4. DISEÑO EXPERIMENTAL

4. Diseño Experimental

Para contestar a los objetivos planteados en el presente estudio, se contactó con los pacientes de las asociaciones de EM de la Comunidad Autónoma de Castilla y León para explicarles el proyecto e invitarlas a participar, obteniendo una respuesta positiva de las personas con EM de las ciudades de Burgos, Miranda de Ebro, León, Valladolid y Zamora.

Las personas que aceptaron participar, previa firma de un consentimiento informado, fueron divididas en dos grupos: el grupo control (GC = 39 personas) fue formado por los participantes no residentes en León y el grupo experimental (GE = 36 personas) fue compuesto por los participantes residentes en León. Ambos grupos realizaron ejercicios de fuerza para los miembros inferiores, con énfasis en cuádriceps: a) el GC realizó ejercicio concéntrico con la máquina multiestación (BH[®] fitness Nevada Pro-T, España) disponible en las diferentes asociaciones, y b) el GE, ejercicio concéntrico y excéntrico reforzado excéntricamente, con la máquina *nHANCETM Multi Gym* en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (FCAFD) de la Universidad de León (ULE). Esta distribución se realizó para garantizar la adherencia y por motivos geográficos de los participantes.

Los EF se llevaron a cabo dos veces por semana, a lo largo de 12 semanas totalizando 24 sesiones y las evaluaciones fueron realizadas antes y después de los entrenamientos. Se consideró como criterio de inclusión para los dos grupos la capacidad de ejecución de los ejercicios propuestos.

Se recogió una historia médica personal de cada participante y se determinó el grado de discapacidad con la *Expanded Disability Status Scale* (EDSS) antes de empezar las evaluaciones. Al inicio y al final de la realización de los programas de entrenamientos, se realizaron evaluaciones de los miembros inferiores de la fuerza máxima isométrica y de la fuerza máxima dinámica, ambas de manera unilateral y bilateral, de la potencia media de manera bilateral, además, se cuantificó composición corporal con la utilización del DXA (Lunar Prodigy, GE[®]) y se calculó la CM (figura 2).

Diseño experimental

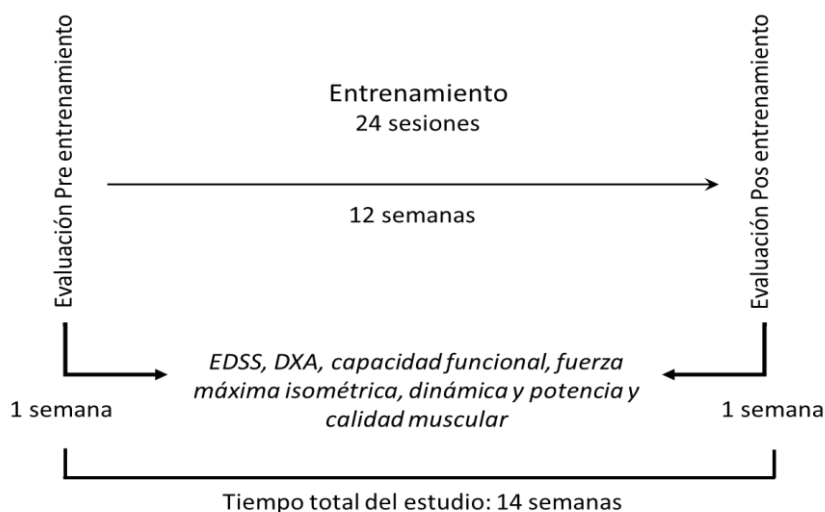


Figura 2: Diseño experimental.

Tras la segunda evaluación, todos los participantes fueron invitados a continuar el EF utilizándose la máquina multiestación con entrenamiento individualizado con el objetivo que continuasen con los beneficios de la práctica del EF.

Para realización de las evaluaciones se siguió el siguiente orden:

- Informar los pacientes de los procedimientos de cada evaluación.
- Realización de la historia médica personal y evaluación de la discapacidad.
- Verificación de la composición corporal (Realización del DXA) y realización de la identificación de cortes de las imágenes de la densitometría (ROI).
- Realización de la prueba funcional “*timed 8-foot up and go test*”.
- Realización de la prueba funcional “*chair stand test*”.
- Evaluación de la fuerza isométrica.
- Evaluación de la fuerza máxima.
- Evaluación de la fuerza potencia.
- Cálculo de la calidad muscular.

Todos los procedimientos que fueron llevados a cabo para la evaluación de los participantes y para verificar la composición corporal fueron acompañados y supervisados presencialmente por un médico.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5. Materiales y métodos

5.1. Muestra

El presente estudio se llevó a cabo con personas con EM de cinco diferentes asociaciones de afectados de Castilla y León. La distribución de la muestra considerada para el presente estudio está representada en la tabla 1.

Tabla 1: Distribución de la muestra por asociación, género y número de participantes que iniciaron y terminaron el estudio.

| Ciudad | Asociación | Nº de participantes inicial (♂/♀) | Nº de participantes que terminaron el estudio (♂/♀) |
|-------------------------|--|-----------------------------------|---|
| Burgos* | Asociación de Afectados de EM de Burgos (AFAEM) | 11(4-7) | 05(1-4) |
| Miranda de Ebro* | Asociación Burgalesa de Esclerosis Múltiple (ASBEM) | 10(1-9) | 07(1-6) |
| León** | Asociación Leonesa de EM (ALDEM) | 36(16-20) | 31(13-18) |
| Valladolid* | Asociación Vallisoletana de Esclerosis Múltiple (AVEM) | 09(4-5) | 07(3-4) |
| Zamora* | Asociación Zamorana de EM (AZDEM) | 09(4-5) | 02(1-1) |
| TOTAL | | 75(29-46) | 52(19-33) |

♂: número de varones; ♀: número de mujeres, *Participantes que hicieron entrenamiento clásico (Grupo control). **Participantes que hicieron entrenamiento reforzado excéntricamente (Grupo experimental).

Del total de 75 pacientes que iniciaron el presente estudio, eran 29 varones y 46 mujeres con experiencia previa en EF. Inicialmente participaron en el GC 39 personas de las cuales 13 eran varones y 26 mujeres. De los 36 sujetos pertenecientes al GE, 16 eran varones y 8 mujeres, sin embargo, 9 personas han renunciado al EF, siendo 2 varones y 5 mujeres del GC y 1 varón y 1 mujer del GE.

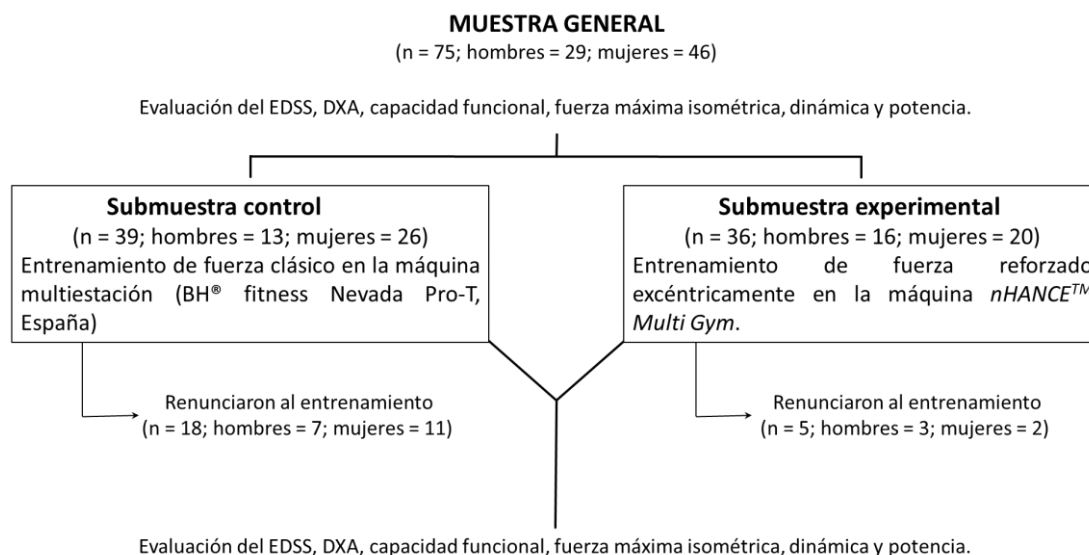


Figura 3: Diagrama de la muestra del estudio.

Todas las evaluaciones fueron realizadas en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio que el Departamento de Ciencias Biomédicas en la FCAFD de la ULE, por investigadores capacitados. Para llevarlas a cabo, todos los participantes se desplazaron hasta la ULE, incluso las personas que residían fuera de León. Las evaluaciones fueron idénticas siguiendo el mismo protocolo para todos los participantes.

Antes del inicio del estudio, todos los participantes fueron informados de los objetivos del estudio y posibles riesgos del estudio, firmando su consentimiento informado para participación en el mismo.

5.1.1. Grupo control

El GC estuvo formado por pacientes pertenecientes a las asociaciones de EM de las ciudades de Burgos, Miranda de Ebro, Valladolid y Zamora. Fueron considerados datos válidos únicamente los de aquellos sujetos que realizaron al menos 80% del total de las 24 sesiones del EF clásico en la máquina multiestación (BH® fitness Nevada Pro-T, España) y las evaluaciones pre-post entrenamiento.

5.1.2. Grupo experimental

El GE fue formado por personas pertenecientes a asociación de EM de León las aceptaron voluntariamente. Fueron considerados datos válidos únicamente los de aquellos sujetos que realizaron al menos 80% del total de las 24 sesiones del ERE en la máquina *nHANCE™ Multi Gym*.

5.1.3. Emparejamiento: Grupo control x Grupo experimental

En virtud de la dificultad del análisis de personas, con una enfermedad que es tan diversa en síntomas y manifestaciones, se hizo un emparejamiento de la muestra considerando los variables género, edad y grado de discapacidad con el objetivo de verificar si ellos presentaban un factor que pudiera influenciar en los posibles cambios generados como resultado de los entrenamientos.

De acuerdo con los criterios establecidos de mismo género, similar edad (± 4 años) y similar EDSS ($\pm 0,5$), se ha encontrado similitud entre 12 personas del GE y del GC, siendo 4 varones y 8 mujeres en cada grupo.

5.2. Procedimientos

Para llevar a cabo las evaluaciones, los entrenamientos y los análisis estadísticos se siguieron los procedimientos que se describen a continuación:

5.2.1. Procedimiento de las evaluaciones

5.2.1.1. Historia médica personal y grado de discapacidad

La realización de la historia médica y la verificación del grado de discapacidad de cada participante fueron de manera individual y personalizada, donde ellos contestaron las preguntas realizadas por un médico en un sitio privado, estando acomodados en una

silla. Las informaciones adquiridas fueron: fecha de nacimiento, tipo de EM, fecha de diagnóstico de la EM, tipo de tratamiento para EM, otras enfermedades y en el caso de otra enfermedad, tipo de tratamiento. Además de estos datos también se registraron los síntomas de EM más preponderantes, si hay algún lado y/o miembro más afectado que otro, si tenían algún factor limitante para la realización de los entrenamientos, la experiencia en EF y datos para contactarlos.

Adicionalmente, se realizaron preguntas específicas para valorar el nivel de discapacidad donde se utilizó la escala EDSS (Kurtzke, 1983) que es un método de cuantificación de la discapacidad para personas con EM. La EDSS se presenta en ocho sistemas funcionales (*functional system* - FS) piramidal (función motora), cerebelo, tronco del encéfalo, sensibilidad, intestino y vejiga, visión, funciones mentales y capacidad de deambulación. La escala consta de una valoración de 0 a 10, con intervalos de 0,5 puntos y cuanto más alto es el valor, significa que la persona está más discapacitada.

5.2.1.2. Composición Corporal

Para verificar la composición corporal se utilizó la DXA, guardando reposo y en las mismas condiciones, antes de empezar y al final de las sesiones de entrenamiento. En la exploración, se solicitó al evaluado que quitase todo lo que llevara de metal y sus calzados. En seguida, se acostaba en decúbito dorsal sobre el aparato, con los miembros superiores extendidos paralelos al tronco, con las manos en pronación y apoyadas en la superficie de la camilla. Los miembros inferiores estaban igualmente extendidos, con separación estándar correspondiente al ancho de la cadera y asegurados por una cinta de velcro que conservaba la separación de manera cómoda. Después de tomar la posición correcta, al mando del evaluador, el brazo del aparato se movía para escanear todo el cuerpo. Se indicó a los participantes que permanecieran lo más relajados posibles y sin moverse.

Al final de la exploración, se solicitó al evaluado que se sentara y luego que se pusiera de pie. Cada exploración se empleó alrededor de siete minutos y a través de las mismas, se obtuvo medidas de la masa corporal total, MG total, MM total y DMO total. Antes de cada sesión de evaluación el densitómetro fue calibrado con un *phantom* precalibrado.

Se utilizó la DXA Prodigy Primo-General Electric® con software enCore 2009® versión 13.20.033 (figura 4), por ser este método más preciso que la antropometría y la bioimpedancia (Heyward, 2001; Andreoli et al., 2009; Cruz-Jentoft et al., 2010; Moreira et al., 2015). Se realizó siguiendo los estándares de la *International society for clinical densitometry official positions* (Schousboe et al. 2013).



Figura 4: Imagen de la *Prodigy Primo-General Electric*®.

Tras la realización de la densitometría, cada persona tuvo acceso al informe generado de su composición corporal.

5.2.1.3. Región de interés

A partir de las imágenes generadas tras la realización de la DXA, fueron determinadas algunas ROI, tomando como base algunos puntos anatómicos. A través de estos procedimientos fue posible obtener los datos de masa total, MG, MM y DMO de cada segmento corporal representado por los 3 ROI considerados para este estudio.

Los puntos anatómicos utilizados como referencias para la posterior determinación de los ROI se describen a continuación (figura 5):

1° punto anatómico de referencia: Tuberosidad isquiática

La delimitación de este punto anatómico fue en el borde inferior de ambos isquiones.

2° punto anatómico de referencia: Línea medial de la sínfisis púbica

Para referenciar este punto, se consideró una línea perpendicular a la sínfisis púbica que dividió la cadera en derecha e izquierda, así la delimitación medial de la zona pélvica fue visualizada desde la de la sínfisis púbica hasta la línea media

de la apófisis espinosa de la cuarta vértebra lumbar (L4) para separar adecuadamente las regiones derecha e izquierda.

3º punto anatómico de referencia: Interlínea de los cóndilos femorales

En este punto anatómico, se consideró el espacio presentado entre el fémur y la tibia, siendo denominada línea femoro-tibial o interlínea de los cóndilos femorales.

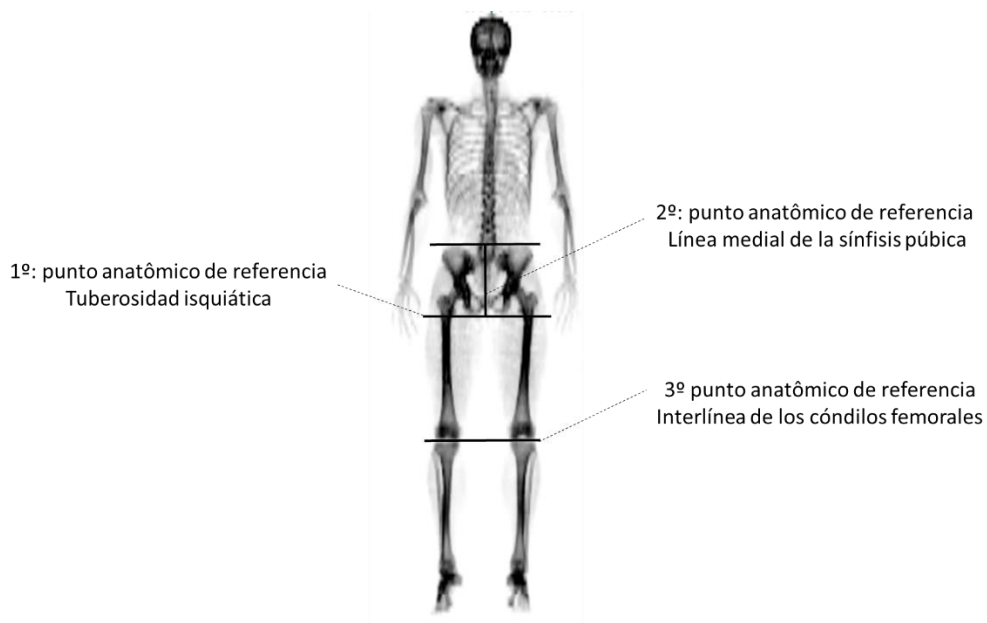


Figura 5: Puntos anatómicos utilizados para determinar las regiones de interés.

Los ROI fueron establecidos considerando ambos lados y cada lado por separado, totalizando así 3 regiones y en todos los casos, la delimitación de las áreas se trazó de manera que recogiera todo el tejido blando del segmento descritos a continuación:

Los ROI fueron medidos desde el punto de contacto con la línea que pasa por el borde inferior de la tuberosidad isquiática hasta la interlínea de los cóndilos femorales. Para determinar los ROI de los lados, además de los puntos anatómicos descritos se consideró la línea medial de la sínfisis púbica.

5.2.1.4. Agilidad y equilibrio dinámico: “*timed 8-foot up and go test*”

Se realizó la prueba funcional “*timed 8-foot up and go test*” (TUG) (Rikli y Jones, 2001) con el objetivo de evaluar la agilidad y el equilibrio dinámico. Para ello se utilizó una silla, una cinta métrica, un cronómetro, un cono de 60 cm de alto y una superficie antideslizante. El cono fue posicionado a la distancia de 8 pies (2,44 metros) de una silla apoyada en una pared, siendo la medida desde el borde anterior de la silla hasta el borde de la parte posterior del cono (figura 6).

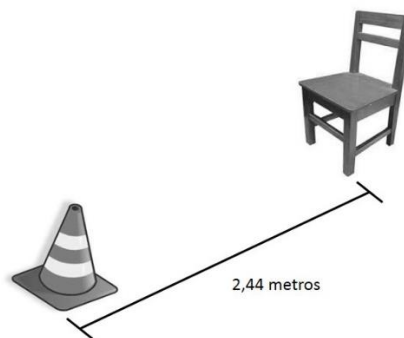


Figura 6: Distancia entre la silla y el cono para realización de la prueba funcional “*timed 8-foot up and go test*”.

Para comenzar la prueba, el evaluado se sentó en la región central de la silla, con la espalda recta, tronco levemente inclinado hacia delante, las manos sobre sus muslos y los pies apoyados en el suelo, uno ligeramente más adelante que el otro. A la señal “3, 2, 1, ya”, se puso el cronómetro en marcha y el evaluado se levantó, caminó lo más rápido que fue posible, rodeó el cono y volvió a sentarse. El cronómetro se paró cuando el evaluado se encontraba completamente sentado en la silla. La prueba fue realizada dos veces y se eligió el mejor tiempo que fue usado para su utilización en posteriores análisis estadísticos.

5.2.1.5. Fuerza del tren inferior: “*chair stand test*”

Se ha utilizado la prueba funcional “*chair stand test*” (CST) propuesta por Rikli y Jones (2001) que tiene como objetivo evaluar la fuerza del tren inferior utilizando como materiales, una silla y un cronómetro. Para la realización de esta prueba, la silla estaba apoyada en una pared y el evaluado comenzó sentado en la región central de la silla con

su espalda recta, con los pies totalmente apoyados en el suelo, codos flexionados, brazos cruzados y manos sobre los hombros opuestos. A partir de esta posición inicial y al comando “3, 2, 1, ya”, se puso el cronometro en marcha, el evaluado se levantó completamente y volvió a la posición sentada el mayor número de veces posible durante 30 segundos (s). Se permitió al evaluado realizar el movimiento una o dos veces antes de la prueba para conocer el movimiento correcto que debería hacer.

5.2.1.6. Fuerza máxima isométrica

Para la realización de la evaluación de la FzIso, se utilizó la máquina multiestación (BH[®] fitness Nevada Pro-T, España) donde se puso en el lugar de la cadena una célula de carga (Globus ergometer[®], Italia; 1000 Hz) conectada al software Globus Ergo Tester v1.5, Italia, colocada de manera que no era posible mover las piernas. Se solicitó a los participantes del presente estudio que empezasen sentados, con espalda completamente recostada en el respaldo y las manos sujetas a los asideros que a tal efecto dispone la máquina. Las rodillas flexionadas y la zona de la articulación tibioastragalina empujando en el punto de aplicación de la fuerza en el brazo de palanca. La flexión de rodillas, debería ser aproximadamente de 90 grados y fue controlada con el goniómetro (TEC[®], España). A partir de ahí, fueron orientados a que generaran la máxima fuerza posible para intentar extender las rodillas con el objetivo de vencer una resistencia insuperable, durante un periodo de 5 segundos para llegar a la fuerza máxima lo más breve posible.

Se realizaron dos intentos para cada ejecución: con las dos piernas al mismo tiempo de manera bilateral (Bi), después sólo con la pierna derecha (Dch) y a continuación, sólo con la pierna izquierda (Izq). Entre cada intento, se respetó un intervalo aproximado de tres minutos y para los cálculos del estudio se consideró el intento con mayor valor, siendo expresada esta fuerza en kilogramos/fuerza. El objetivo de la medición de la FzIso, fue obtener un valor de referencia para establecer la carga inicial de evaluación de la RM.

5.2.1.7. Fuerza máxima dinámica

Con el objetivo de evaluar la RM, los evaluados fueron acomodados en la máquina multiestación (BH[®] fitness Nevada Pro-T, España) comenzando la evaluación sentados, espalda apoyada en el respaldo de la máquina, manos y pies en sitios apropiados.

Para evaluar las personas con EM, se adaptó el protocolo de 1RM (Kraemer et al., 2002) de acuerdo con las especificidades de la muestra. Fue realizado un calentamiento con 5 repeticiones, siendo la carga inicial de evaluación de la RM, 50% del mejor intento de la prueba de FzIso. Bajo la supervisión del evaluador entrenado y tras responder cuál fue la percepción subjetiva del esfuerzo a través de la Escala OMNI-RES (OMNI - *Resistance Exercise Scale*) (Gearhart et al., 2011), se incrementada la carga y el evaluado recibía la orden para hacer dos repeticiones. En el caso de hacer dos repeticiones completas y tras contestar cuál era su percepción del esfuerzo, se hacía un nuevo incremento en la carga. Cuando en la repetición, el sujeto era capaz únicamente de movilizar una sola vez la carga y de acuerdo con su percepción, se consideraba esta carga como la correspondiente de fuerza máxima. En caso de no lograr ni siquiera una repetición, se quitaba parte de la carga y el evaluado podría intentarlo otra vez. La RM fue establecida con un máximo de cinco intentos. Entre un intento y otro, había un intervalo de tres minutos. Todo el procedimiento fue hecho para evaluación de la fuerza máxima con el movimiento de extensión de rodillas bilateral, unilateral del lado derecho y unilateral del lado izquierdo.

5.2.1.8. Fuerza potencia

Para la realización de la evaluación de fuerza potencia, se usó la máquina multiestación (BH[®] fitness Nevada Pro-T, España) con tres repeticiones a distintas cargas. Las cargas utilizadas para la realización de esta prueba corresponden a 40, 50, 60, 70 y 80% de carga lograda en 1RM (adaptado del protocolo utilizado por Callahan et al., 2007). Se ha utilizado un transductor de posición linear Globus Real Power[®], Italia, con frecuencia de muestreo de 300 Hz y el software Globus Real Power[®], v3.11, Italia para verificar los datos pertinentes a la potencia. Después de visualizar las curvas de cada repetición, los valores considerados para el análisis fueron los valores de la potencia media (Pm) realizada de manera bilateral (Bi).

La prueba empezó en la posición sentada, con la espalda apoyada en el respaldo de la máquina, manos y pies en sitios apropiados. La realización de la prueba constaba de la extensión de las rodillas, de aproximadamente 90 grados hasta los 180 grados, respetando las limitaciones de cada individuo. El sujeto fue orientado y estimulado a hacer la fase concéntrica lo más rápido posible, realizar la fase excéntrica de manera controlada, esperar dos segundos antes de realizar la siguiente repetición. Para empezar cada serie, el participante debía esperar la señal del evaluador que debía estar sincronizado con el software. La espera entre las repeticiones evita que el sujeto beneficie el efecto rebote como impulso en la repetición siguiente.

5.2.1.9. Calidad muscular

Con la finalidad de calcular la CM antes y después del EF, se analizó las imágenes generadas de cada persona tras la realización de la DXA y se buscó los valores de MM en los miembros inferiores y se hizo cortes de las imágenes con el objetivo de identificar las diferentes ROI.

En el presente estudio, la CM fue determinada por la división de la carga obtenida tras la realización de la evaluación de las diferentes manifestaciones de la fuerza por la masa muscular de la región de interés (Hairi et al., 2010; Barbat-Artigas et al., 2013). En este sentido, para obtener la CM relacionada a la FzIso, con la RM y la potencia se utilizó la carga correspondiente de cada variable. Los valores correspondientes a la masa muscular utilizados, fueron conseguidos a través de los ROI de las imágenes de la composición corporal tras la realización de la DXA, para comparar las medias de antes y después del entrenamiento y la diferencia entre los entrenamientos.

5.2.2. Procedimientos de los entrenamientos

5.2.2.1. Entrenamiento clásico: Grupo control

Los entrenamientos de fuerza clásico fueron desarrollados en la máquina multiestación (BH[®] fitness Nevada Pro-T, España) (figura 7). Tales sesiones fueron llevadas a cabo en las diferentes asociaciones de EM, dos veces por semana en el

transcurso de 12 semanas. La ejecución del ejercicio se pautó en extensión de las dos rodillas al mismo tiempo, empezando desde la posición inicial sentado en la silla de la máquina multiestación con rodillas a 90°, las manos sujetando el sitio apropiado y la espalda completamente apoyada en el respaldo. Una repetición correcta consiste en extender las rodillas simultáneamente, alcanzando un grado de 180° al final de la fase concéntrica del ejercicio y, a continuación, realizar el movimiento de vuelta a la posición inicial, controlando la velocidad de bajada del peso, es decir, la fase excéntrica del ejercicio.



Figura 7: Máquina multiestación (BH® fitness Nevada Pro-T, España).

El entrenamiento fue personalizado y prescrito siguiendo las recomendaciones generales del ACSM (2011) y de acuerdo con la carga obtenida en la evaluación de la RM realizada antes de empezar los entrenamientos y fue desarrollado de manera autónoma para cada paciente, siendo realizado en la asociación a la que pertenecía con la frecuencia de dos veces a la semana.

En la tabla 2 se demuestra la progresión utilizada a lo largo de los entrenamientos del GC, así como la progresión de las cargas.

Tabla 2: Descripción del programa de entrenamiento de fuerza clásico.

| Semanas | Série 1 | | Série 2 | | Série 3 | |
|--------------|------------------|-------|------------------|------|------------------|-------|
| | Carga (% 1RM) | Reps | Carga (% 1RM) | reps | Carga (% 1RM) | reps |
| 1-2 | 35 | 10-12 | 50 | 8-10 | 35 | 10-12 |
| 3-4 | 40 | 10-12 | 55 | 8-10 | 40 | 10-12 |
| 5-6 | 45 | 10-12 | 60 | 8-10 | 45 | 10-12 |
| 7-8 | 50 | 10-12 | 65 | 8-10 | 50 | 10-12 |
| 9-10 | 55 | 10-12 | 70 | 8-10 | 55 | 10-12 |
| 11-12 | 55 | 10-12 | 70 | 8-10 | 55 | 10-12 |

1RM: una repetición máxima; reps: repeticiones

Cada sesión de entrenamiento estaba compuesta por 3-4 series de 10 a 12 repeticiones, ejecutadas bilateralmente y con intervalo de 3 minutos entre las series. El practicante fue orientado a hacer la fase concéntrica de manera rápida y la fase excéntrica en velocidad moderada. Después de realizar cada sesión del entrenamiento, con la finalidad de hacer el control de los números de entrenamientos realizados, el practicante dejaba constancia escrita de su ejecución y observaciones acerca de su entrenamiento en su propia hoja de entrenamiento.

5.2.2.2. Entrenamiento reforzado excéntricamente: Grupo experimental

Las sesiones de ERE se llevaron a cabo en la máquina *nHANCETM Multi Gym*. En cada sesión de entrenamiento, se ejecutó 4 series con 8 repeticiones, con un intervalo de descanso de 2 minutos entre las series, que fueron desarrolladas en la FCAFDF de la ULE, dos veces por semana a lo largo de 12 semanas.

Como objeto de esta investigación, se utilizó una máquina con *YoYo Inertial TechnologyTM* denominada *nHANCETM Multi Gym* donde el ejecutante, desde la posición sentada, hace fuerza con las piernas para empujar con los pies contra un apoyo. En la posición inicial, el sujeto estaba con las rodillas flexionadas alrededor de 90°. Como consecuencia de la fuerza ejercida, se produce la rotación de volantes inerciales que están conectados a una correa que, a su vez, tiene una punta fijada al eje donde están los

volantes y la placa. Al mismo tiempo en que la correa se desenrolla provoca energía en los volantes de inercia. Esta fase inicial, es donde se constata la acción concéntrica y al final del movimiento inicial, las rodillas deberán estar extendidas. A partir de ahí, la correa se enrolla como resultado de la energía cinética generada por la rotación del volante en el regreso a la placa. Con el objetivo de resistir la fuerza generada por el tirón del volante que recoge la correa, el ejecutante frenaba el movimiento bruscamente cuando las rodillas estaban a una flexión entre 90 y 110 grados, realizando así una acción excéntrica. El próximo movimiento se inicia tras la parada del volante (Tesch et al., 2005) (figura 8).

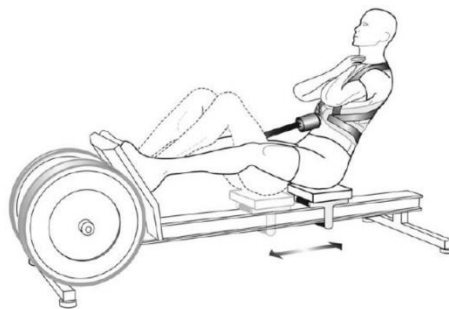


Figura 8: Máquina *nHANCE™ Multi Gym* (Norrbrand et al., 2011).

Debido a las particularidades de las personas con EM y para mantener la seguridad de ellas, fue hecha una adaptación a la silla original, donde se ha puesto un respaldo para la espalda (figura 9).



Figura 9: Imagen de la adaptación de la silla de la Máquina *nHANCE™ Multi Gym* (Franco, 2014).

Los datos del entrenamiento fueron todos controlados y registrados tras la utilización del enCoder SmartCoach®, Suecia, en un monitor de video los ejecutantes tenían una retroalimentación visual de su ejecución (figura 10) y a cada realización del movimiento, fueron estimulados por comandos de voz para que intentaran hacer la máxima fuerza posible a cada repetición (*all out*).

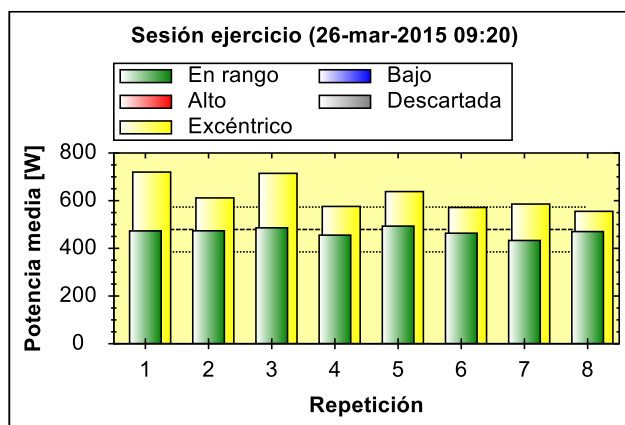


Figura 10: Imagen de la gráfica del software utilizada para monitorizar los entrenamientos.

Además, el software también posibilita la observación del comportamiento del rendimiento acumulado en una sesión frente al rendimiento a lo largo de las sesiones de entrenamiento (figura 11).

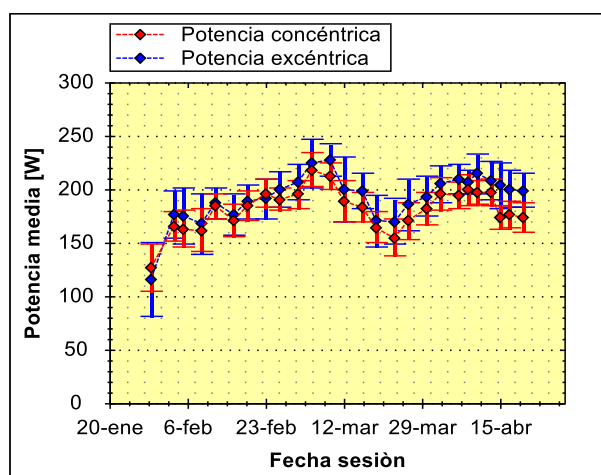


Figura 11: Imagen de la gráfica del software utilizada para monitorizar el rendimiento a lo largo de los entrenamientos.

5.2.3. Tratamiento estadístico de los datos

El análisis estadístico de los datos, fue realizado en el programa estadístico IBM SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) versión 18 (IBM, Chicago, USA). Inicialmente, los datos fueron sometidos a la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors. Se hizo una transformación logarítmica (base 10) para las variables dependientes que no mostraron una distribución normal. A continuación, se hizo el análisis descriptivo de los datos, a través de la media y de la

desviación estándar. Las comparaciones intergrupo, para los valores iniciales fueron hechas a través de la prueba T de *Student* para muestras relacionadas para las variables paramétricas y la prueba U de Mann-Whitney para las variables no paramétricas. Las comparaciones intragrupo (pre x post) e intergrupo (GC x GE) se realizaron utilizando modelos lineales generales (GLM), análisis multivariado de covarianza (MANCOVA). Para esto se utilizó dos factores: el factor de tiempo para la comparación intragrupo y el factor grupo (tipo de entrenamiento) para la comparación intergrupo. Para todos los tratamientos se estableció un nivel de significancia estadística de $p < 0,05$.

6. RESULTADOS

6. Resultados

6.1 Resultados de la muestra

6.1.1 Características generales de la muestra: Grupo control y Grupo experimental

La muestra inicial estaba compuesta por 75 personas. Sin embargo, sólo 52 personas lograron participar de todas las evaluaciones y completaron satisfactoriamente los entrenamientos propuestos. Los datos que caracterizan la muestra en sus respectivos grupos (GC y GE), son presentados en la tabla 3. De las 52 personas, 19 son varones y las 33 son mujeres que representan 63,5% de la muestra.

Tabla 3: Características generales de la muestra por grupo.

| | Grupo Control | Grupo Experimental | N | p |
|----------------------------------|-----------------|----------------------|-------------|-------------|
| Sujetos (♂/♀) | 21 (6/15) | 31 (13/18) | - | - |
| Edad (años) | 50,6 (9,3) | 46,0 (11,7) | 0,737 | 0,164 |
| Peso (kg) | 65,1 (11,1) | 68,8 (13,3) | 0,754 | 0,269 |
| Altura (m) | 1,64 (0,9) | 1,67 (0,9) | 0,499 | 0,141 |
| IMC (kg/m²) | 24,0 (2,9) | 24,3 (4,0) | 0,807 | 0,802 |
| Composición corporal (kg) | MM | 41,1 (8,9) | 43,7 (9,5) | 0,001 0,251 |
| | MG | 21,4 (6,4) | 22,0 (10,2) | 0,079 0,804 |
| | DMO | 2,5 (0,5) | 2,6 (0,5) | 0,200 0,411 |
| T° diag (años) | 11,7 (8,5) | 11,0 (7,6) | 0,241 | 0,829 |
| Tipo de EM | 14 RR/6 SP/1 ND | 20 RR/6 PP/2 SP/3 ND | - | - |
| EDSS (ua) | 3,9 (1,2) | 3,3 (1,4) | 0,099 | 0,085 |

IMC: índice de masa corporal; EDSS: *Expanded Disability Status Scale*; ua: unidad arbitraria; EM: Esclerosis Múltiple; T°diag: tiempo de diagnóstico de la EM; MM: masa magra; MG: masa grasa; DMO: densidad mineral ósea; ♂: varones; ♀: mujeres; RR: remitente-recurrente; SP: secundaria progresiva; PP: primaria progresiva; ND: no determinado; N: prueba de normalidad Kolmogorov Smirnov con corrección de Lilliefors.

No se encontraron diferencias iniciales entre los grupos control y experimental para ninguna de las variables consideradas para las características generales de la muestra tales como: el número de sujetos, la edad, el peso, la altura, el IMC, la EDSS, el tiempo de diagnóstico y la composición corporal (MM, MG y DMO). Para la composición corporal, el porcentual de MG para el GC fue de 32% y para el GE 32,2% no presentando tampoco diferencias.

6.1.2 Pruebas funcionales

Los valores medios, la desviación estándar y el delta porcentual de los GC y GE, correspondientes a las pruebas funcionales CST y TUG aplicadas en la muestra en los momentos pre y post entrenamientos son presentados en la tabla 4.

Tabla 4: Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de capacidad funcional.

| | Grupo Control | | | Grupo Experimental | | | p (tiempo) | p (grupo) |
|------------------|---------------|-----------|------------|--------------------|-----------|-------------|---------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| CST (rep) | 14,8(4,1) | 16,6(5,4) | 12,8(17,6) | 14,2(5,0) | 18,9(6,2) | 35,8(21,3) | 0,000 | 0,004 |
| TUG (s) | 9,3(3,4) | 8,8(7,6) | -9,3(34,1) | 9,5(6,1) | 6,6(2,3) | -24,7(13,4) | 0,043 | 0,026 |

CST: *chair stand test*; rep: repeticiones; TUG: *Timed 8-foot Up and Go*; s: segundos; Δ%: representa el porcentual de la diferencia entre los valores pre y post intragrupo; p: significación estadística.

Al comparar los valores promedios de la prueba funcional CST, se observó que entre los momentos pre y post entrenamientos hubo diferencias significativas para los dos grupos, indicando mejorías para ambas variables. Además, hubo diferencias entre los grupos ya que el grupo de ERE mostró una mejoría más acentuada que el grupo que fue sometido al EF clásico.

6.1.3 Evaluación de la fuerza

6.1.3.1 Fuerza máxima isométrica

Los valores correspondientes a la evaluación de FzIso pre y post entrenamiento, tanto de manera bilateral como unilateral, con sus respectivos valores de desviación estándar están en la tabla 5. Además, en esta tabla también se presentan los valores del delta porcentual y su comparación entre grupos.

Tabla 5: Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de fuerza máxima isométrica bilateral y unilateral.

| | Grupo Control | | | Grupo Experimental | | | p (tiempo) | p (grupo) |
|----------------------|---------------|------------|-----------|--------------------|------------|-----------|---------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| FzIsoBi (kg) | 79,1(27,1) | 79,7(28,3) | 1,0(13,8) | 89,4(31,8) | 95,6(31,5) | 9,3(16,8) | 0,135 | 0,192 |
| FzIsoDch (kg) | 35,3(12,8) | 36,3(13,5) | 3,0(13,7) | 44,7(14,0) | 46,6(15,6) | 4,7(14,8) | 0,077 | 0,579 |
| FzIsoIzq (kg) | 39,6(12,5) | 40,4(13,7) | 1,8(13,2) | 44,4(15,5) | 46,2(15,3) | 5,7(12,7) | 0,052 | 0,465 |

FzIso: fuerza máxima isométrica; Bi: bilateral; Dch: pierna derecha; Izq: pierna izquierda; kg: kilogramos; Δ%: representa el porcentual de la diferencia entre los valores pre y post intragrupo; p: significación estadística.

No se observó diferencias para ninguna de las comparaciones realizadas para la FzIso.

6.1.3.2 Fuerza máxima dinámica

Los datos de las evaluaciones de la RM, así como el porcentual de los valores pre y post y las diferencias estadísticas, están presentes en la tabla 6.

Tabla 6: Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de fuerza máxima dinámica bilateral y unilateral.

| | Grupo Control | | | Grupo Experimental | | | p (tiempo) | p (grupo) |
|-------------------|---------------|------------|------------|--------------------|------------|------------|---------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| RMBi (kg) | 72,0(22,9) | 79,7(27,7) | 10,4(16,1) | 80,8(27,0) | 94,5(25,8) | 20,3(16,7) | 0,004 | 0,061 |
| RMDch (kg) | 28,5(13,4) | 34,0(15,2) | 23,8(24,4) | 36,5(14,3) | 46,1(17,8) | 33,2(22,1) | 0,000 | 0,018 |
| RMIzq (kg) | 32,0(14,6) | 35,8(14,3) | 17,4(22,8) | 37,6(15,0) | 45,3(18,2) | 26,7(18,8) | 0,000 | 0,006 |

RM: fuerza máxima dinámica; Bi: bilateral; Dch: pierna derecha; Izq: pierna izquierda; Δ%: representa el porcentual de la diferencia entre los valores pre y post intragrupo; p: significación estadística.

Los análisis estadísticos demostraron diferencias existentes entre los valores pre y post para los dos grupos en las comparaciones de la RM de los miembros inferiores de manera bilateral y unilateral. Cuando se considera el factor grupo, no se encontró diferencias en la RM bilateral, pero se encontraron diferencias para las evaluaciones de RM de manera unilateral, siendo la mejoría más pronunciada para el GE.

6.1.3.3 Potencia muscular

Los datos que corresponden a la PmBi en cinco diferentes cargas de trabajo representadas por 40, 50, 60, 70 y 80% del 1RM están en la tabla 7.

Tabla 7: Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de potencia media bilateral.

| | Grupo Control | | | Grupo Experimental | | | p (tiempo) | p (grupo) |
|--------------------|---------------|--------------|-------------|--------------------|--------------|------------|---------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| PmBi 40 (w) | 201,2(78,5) | 220,7(89,6) | 6,5(32,7) | 247,9(106,4) | 271,3(93,8) | 19,2(24,6) | 0,000 | 0,450 |
| PmBi 50 (w) | 214,5(92,5) | 230,3(102,4) | 3,9(35,4) | 268,8(105,8) | 285,8(108,2) | 13,8(26,5) | 0,018 | 0,591 |
| PmBi 60 (w) | 214,6(94,8) | 229,9(102,0) | 5,9(37,8) | 278,7(125,6) | 304,2(136,1) | 10,9(24,6) | 0,013 | 0,517 |
| PmBi 70 (w) | 205,7(98,5) | 197,7(95,6) | 1,3(88,8) | 276,0(136,6) | 275,6(127,3) | 6,2(30,8) | 0,584 | 0,604 |
| PmBi 80 (w) | 195,3(108,9) | 168,3(90,0) | -21,1(50,7) | 261,7(148,1) | 274,8(160,6) | 14,3(46,8) | 0,349 | 0,046 |

PM: potencia media; Bi: bilateral; w: vatios; Δ%: representa el porcentual de la diferencia entre los valores pre y post intragrupo; p: significación estadística.

En el análisis del factor tiempo, se presentaron diferencias para PmBi a los 40, 50 y 60% del 1RM para el GE. No hubo diferencias en los 70% de la PmBi ni para el factor tiempo y tampoco para el factor grupo. Lo que corresponde a la PmBi a los 80%, se ha encontrado diferencia relativa al factor grupo.

6.1.4 Densidad mineral ósea, masa grasa y masa magra de la Región de interés

El análisis de la ROI antes y después de los entrenamientos que corresponden a los valores de la DMO, de la MG y de la MM, están en la tabla 8, presentados de manera bilateral y unilateral además de mostrar también la comparación de los resultados intra y entre grupos.

Tabla 8: Comparación intra e intergrupo de los resultados de la densidad mineral ósea, masa grasa y masa magra de la ROI bilateral y unilateral.

| | Grupo Control | | | Grupo Experimental | | | p (tiempo) | p (grupo) |
|----------------------------------|---------------|----------|-----------|--------------------|----------|-----------|---------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| DMOBi (g/cm²) | 1,4(0,2) | 1,4(0,2) | -1,7(2,4) | 1,4(0,2) | 1,4(0,2) | -0,7(2,3) | 0,001 | 0,142 |
| MGBi (kg) | 5,2(1,9) | 5,3(2,0) | 1,6(5,5) | 5,5(2,8) | 5,6(2,6) | 7,2(30,5) | 0,149 | 0,828 |
| MMBi (kg) | 7,4(1,9) | 7,4(2,0) | 0,6(2,8) | 8,6(2,3) | 8,8(2,3) | 1,9(3,8) | 0,010 | 0,188 |
| DMODch (g/cm²) | 1,4(0,2) | 1,4(0,2) | -2,4(3,1) | 1,4(0,2) | 1,4(0,2) | -0,5(2,9) | 0,001 | 0,025 |
| MGDch (kg) | 2,6(1,0) | 2,7(1,0) | 1,0(5,7) | 2,9(1,4) | 2,9(1,3) | 1,4(9,3) | 0,387 | 0,561 |
| MMDch (kg) | 3,7(0,9) | 3,7(1,0) | 0,1(3,4) | 4,3(1,1) | 4,4(1,2) | 2,4(3,7) | 0,006 | 0,036 |
| DMOIzq (g/cm²) | 1,4(0,2) | 1,4(0,2) | -0,9(2,8) | 1,4(,2) | 1,4(,2) | -0,8(3,1) | 0,035 | 0,889 |
| MGIzq (kg) | 2,6(0,9) | 2,6(1,0) | 2,3(6,2) | 2,7(1,3) | 2,8(1,3) | 2,9(8,7) | 0,075 | 0,735 |
| MMIzq (kg) | 3,7 (1,0) | 3,7(1,0) | 1,1(3,2) | 4,3(1,2) | 4,4(1,2) | 1,4(4,1) | 0,026 | 0,689 |

DMO: densidad mineral ósea; MG: masa grasa; MM: masa magra; Bi: bilateral; Dch: pierna derecha; Izq: pierna izquierda; Δ%: representa el porcentual de la diferencia entre los valores pre y post intragrupo; p: significación estadística.

Para los factores tiempo y grupo la MG no sufrió alteraciones, ni de manera bilateral ni unilateral. Para todas las otras variables, se ha encontrado diferencias cuando se analiza el factor tiempo. Considerando el factor grupo, se encontró diferencias en el ROI del lado derecho para la DMO y para la MM.

6.1.5 Calidad muscular

La CM fue calculada utilizando los datos de la ROI. Así, los valores correspondientes a estos datos y a la FzIso y RM, tanto bilateral como unilateral y de las potencias a distintas cargas de manera bilateral, antes y después de los entrenamientos están presentes en la tabla 9 así como las comparaciones intra e inter grupos.

Tabla 9: Comparación intra e intergrupo de los resultados de calidad muscular de la fuerza máxima isométrica y dinámica, bilateral y unilateral y de la potencia media correspondiente a la región de interés.

| | Grupo Control | | | Grupo Experimental | | | p (tiempo) | p (grupo) |
|-------------------|---------------|-----------|------------|--------------------|------------|------------|---------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| CMFzIsoBi | 10,6(1,7) | 10,6(2,0) | 0,5(14,2) | 10,34(2,2) | 10,9(2,1) | 7,4(16,4) | 0,150 | 0,156 |
| CMFzIsoDch | 9,6(2,1) | 9,8(2,2) | 3,1(14,7) | 10,4(1,9) | 10,6(2,1) | 2,3(14,2) | 0,297 | 0,915 |
| CMFzIsoIzq | 10,7(1,6) | 10,8(2,1) | 0,7(13,1) | 10,3(2,0) | 10,6(2,0) | 4,3(12,3) | 0,190 | 0,417 |
| CMRMBi | 9,7(1,7) | 10,7(2,2) | 9,9(16,6) | 9,4(2,1) | 10,9(2,3) | 18,2(16,8) | 0,000 | 0,127 |
| CMRMDch | 7,5(2,5) | 9,0(2,4) | 23,9(25,7) | 8,3(2,2) | 10,3(2,6) | 30,0(21,1) | 0,000 | 0,084 |
| CMRMIzq | 8,4(2,2) | 9,4(2,2) | 16,1(21,7) | 8,5(2,2) | 10,3(2,7) | 25,3(18,6) | 0,000 | 0,028 |
| CMPmBi40 | 26,6(6,6) | 29,2(7,1) | 11,4(22,8) | 28,0(8,1) | 31,6(7,0) | 17,3(24,5) | 0,000 | 0,532 |
| CMPmBi50 | 28,5(8,2) | 30,1(8,0) | 8,9(27,8) | 30,6(7,6) | 33,3(7,9) | 11,9(26,0) | 0,012 | 0,525 |
| CMPmBi60 | 28,3(8,5) | 30,0(7,5) | 10,8(30,0) | 31,7(9,4) | 34,3(10,8) | 9,2(24,9) | 0,013 | 0,590 |
| CMPmBi70 | 27,4(9,2) | 25,4(8,3) | 10,4(81,4) | 31,2(10,6) | 31,0(9,8) | 4,3(30,5) | 0,399 | 0,460 |
| CMPmBi80 | 26,3(10,3) | 21,1(8,1) | -8,5(42,1) | 29,5(12,1) | 30,1(12,3) | 11,9(43,9) | 0,104 | 0,039 |

CM: calidad muscular; FzIso: fuerza máxima isométrica; RM: fuerza máxima dinámica; Pm: potencia media; Bi: bilateral; Dch: pierna derecha; Izq: pierna izquierda; Δ%: representa el porcentual de la diferencia entre los valores pre y post intragrupo; p: significación estadística.

Después de analizar los datos de la CM de la ROI relacionada con las diferentes manifestaciones de fuerza, para el factor tiempo y para el factor grupo, no se observaron alteraciones para la FzIso. Para la CM que concierne a la RM, el factor tiempo presentó diferencias de manera bilateral y para la pierna Dch. Para la pierna Izq ambos factores (tiempo y grupo) demostraron diferencias lo que indica que el GE presentó una mejoría más acentuada que el GC.

Por lo demás, la CM correspondiente a la potencia, ha mostrado diferencias a los 40, 50 y 60% para el factor tiempo y la potencia a los 80% ha presentado cambios para el factor grupo.

6.2 Resultados de la muestra en parejas

6.2.1 Características generales de la muestra en parejas: Grupo control y Grupo experimental

La muestra emparejada fue constituida por 24 personas, con 12 en cada grupo siendo 4 varones y 8 mujeres, representando el 66% de la muestra. Las características generales de los grupos están expuestas en la tabla 10.

Tabla 10: Características generales de la muestra en parejas por grupos.

| | Grupo Control | Grupo Experimental | N | P | |
|---------------------------|---------------|---------------------|-------------|-------|-------|
| Sujetos (♂/♀) | 12 (4/8) | 12(4/8) | - | - | |
| Edad (años) | 46,9 (8,1) | 50,5(10,2) | 0,200 | 0,345 | |
| Peso (kg) | 64,1 (11,1) | 65,1(15,7) | 0,103 | 0,858 | |
| Altura (cm) | 165,6 (10,4) | 165,7(8,6) | 0,152 | 0,983 | |
| IMC (kg/m ²) | 23,3 (2,6) | 23,6(4,6) | 0,200 | 0,856 | |
| Composición corporal (kg) | MM | 41,7 (9,3) | 43,2 (10,6) | 0,018 | 0,686 |
| | MG | 20,6 (6,5) | 19,6 (11,7) | 0,072 | 0,796 |
| | DMO | 2,6 (0,4) | 2,5 (0,5) | 0,959 | 0,650 |
| Tº diag (años) | 8,7 (7,6) | 10,4(8,8) | 0,075 | 0,608 | |
| Tipo de EM | 8 RR/4 SP | 7 RR/2 PP/2 SP/1 ND | - | - | |
| EDSS (ua) | 3,9 (1,2) | 3,8(1,1) | 0,200 | 0,862 | |

IMC: índice de masa corporal; EDSS: *Expanded Disability Status Scale*; ua: unidad arbitraria; EM: Esclerosis Múltiple; Tºdiag: tiempo de diagnóstico de la EM; MM: masa magra; MG: masa grasa; DMO: densidad mineral ósea; ♂: varones; ♀: mujeres; RR: remitente-recurrente; SP: secundaria progresiva; PP: primaria progresiva; ND: no determinado; N: prueba de normalidad Kolmogorov Smirnov con corrección de Lilliefors.

Es posible observar que no se encontró diferencias para los parámetros evaluados teniendo en cuenta que el emparejamiento de la muestra fue realizado en función de la edad, peso, altura, EDSS, tiempo de diagnóstico y composición corporal (MM, MG y DMO).

6.2.2 Pruebas funcionales

Los valores medios obtenidos en las pruebas funcionales CST y TUG para los grupos emparejados, antes y después de los entrenamientos y la comparación entre ellos, se muestran en la tabla 11.

Tabla 11: Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de capacidad funcional de la muestra en parejas.

| | Grupo Control | | | Grupo Experimental | | | p (tiempo) | p (grupo) |
|------------------|---------------|-----------|-------------|--------------------|-----------|-------------|---------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| CST (rep) | 16,1(4,4) | 17,6(5,7) | 10,1(18,5) | 13,5(4,5) | 17,7(5,4) | 33,5(22,1) | 0,000 | 0,035 |
| TUG (s) | 8,2(2,4) | 7,0(2,1) | -14,0(13,3) | 9,5(5,1) | 6,7(2,5) | -25,5(13,0) | 0,000 | 0,109 |

CST: *chair stand test*; rep: repeticiones; TUG: *Timed 8-foot Up and Go*; s: segundos; Δ%: representa el porcentual de la diferencia entre los valores pre y post intragrupo; p: significación estadística.

Para los valores presentados por la prueba CST, se observó diferencias entre los valores para los factores tiempo y grupo, ya que los datos demuestran que las mejorías fueron más pronunciadas en el GE. Para la prueba TUG, el tiempo fue el único factor que presentó diferencias.

6.2.3 Evaluación de la fuerza

6.2.3.1 Fuerza máxima isométrica

El promedio de la FzIso y la RM pre y post de los entrenamientos de la muestra emparejada está representada en kilos en la tabla 12, bien como el delta porcentual de los valores.

Tabla 12: Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de fuerza máxima isométrica bilateral y unilateral de la muestra en parejas.

| | Grupo Control | | | Grupo Experimental | | | p (tiempo) | p (grupo) |
|----------------------|---------------|------------|-----------|--------------------|------------|------------|---------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| FzIsoBi (kg) | 83,7(29,4) | 84,5(26,7) | 2,6(12,5) | 78,6(24,3) | 81,5(17,3) | 8,0(18,0) | 0,437 | 0,661 |
| FzIsoDch (kg) | 38,2(13,8) | 39,1(12,6) | 4,0(10,8) | 42,5(11,1) | 41,9(9,7) | -0,1(11,0) | 0,863 | 0,458 |
| FzIsoIzq (kg) | 42,0(13,7) | 41,4(13,5) | -1,1(9,5) | 37,2(10,8) | 38,5(8,6) | 6,5(15,3) | 0,633 | 0,239 |

FzIso: fuerza máxima isométrica; Bi: bilateral; Dch: pierna derecha; Izq: pierna izquierda; Δ%: representa el porcentual de la diferencia entre los valores pre y post intragrupo; p: significación estadística.

No se ha encontrado diferencias para ningún de los análisis para la FzIso considerando los factores tiempo y grupo.

6.2.3.2 Fuerza máxima dinámica

Los resultados estadísticos de la RM de la muestra emparejada pre y post entrenamiento, así como el porcentual de los valores y las comparaciones estadísticas, están presentes en la tabla 13.

Tabla 13: Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de fuerza máxima dinámica bilateral y unilateral de la muestra en parejas.

| | Grupo Control | | | Grupo Experimental | | | p (tiempo) | p (grupo) |
|-------------------|---------------|------------|------------|--------------------|------------|------------|---------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| RMBi (kg) | 74,0(21,5) | 84,7(24,1) | 16,1(16,7) | 69,2(23,3) | 84,2(22,8) | 25,3(14,7) | 0,000 | 0,241 |
| RMDch (kg) | 29,7(12,3) | 35,8(13,5) | 24,7(20,8) | 32,3(13,0) | 41,5(12,5) | 34,7(23,4) | 0,000 | 0,198 |
| RMIZq (kg) | 32,3(14,6) | 38,4(15,2) | 23,9(19,9) | 32,9(12,5) | 40,5(12,5) | 27,4(22,6) | 0,000 | 0,531 |

RM: fuerza máxima dinámica; Bi: bilateral; Dch: pierna derecha; Izq: pierna izquierda; Δ%: representa el porcentual de la diferencia entre los valores pre y post intragrupo; p: significación estadística.

Los dos grupos presentaron ganancias de las manifestaciones de RM considerando el factor tiempo. No hubo diferencias para el factor grupo.

6.2.3.3 Potencia muscular

Los resultados que corresponden a la PmBi de las parejas están en la tabla 14 y representan cinco diferentes mediciones de acuerdo con cargas calculadas a partir del 1RM, con 40, 50, 60, 70 y 80%.

Tabla 14: Comparación intra e intergrupo de los resultados de las pruebas de potencia media bilateral de la muestra en parejas.

| | Grupo Control | | | Grupo Experimental | | | p (tiempo) | p (grupo) |
|--------------------|---------------|--------------|-------------|--------------------|--------------|------------|---------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| PmBi 40 (w) | 211,1(85,0) | 241,2(89,2) | 18,2(23,4) | 208,3(69,3) | 239,1(69,4) | 18,8(22,1) | 0,001 | 0,965 |
| PmBi 50 (w) | 235,5(100,4) | 247,8(104,6) | 7,6(19,3) | 228,3(78,1) | 259,6(84,8) | 19,9(34,2) | 0,061 | 0,397 |
| PmBi 60 (w) | 238,2(97,7) | 235,6(105,0) | -1,6(15,2) | 235,3(100,3) | 248,3(118,0) | 3,7(27,9) | 0,581 | 0,409 |
| PmBi 70 (w) | 241,7(101,6) | 212,7(105,5) | -16,9(22,0) | 229,8(121,4) | 230,8(97,5) | 7,6(34,6) | 0,123 | 0,107 |
| PmBi 80 (w) | 238,1(127,5) | 173,2(120,4) | -24,3(36,8) | 210,8(108,8) | 214,3(98,3) | 22,9(64,3) | 0,053 | 0,033 |

PM: potencia media; Bi: bilateral; w: vatios; Δ%: representa el porcentual de la diferencia entre los valores pre y post intragrupo; p: significación estadística.

Cuando se considera el factor tiempo, la Pm a los 40% ha obtenido cambios estadísticos y solamente la Pm a los 80% presentó diferencias.

6.2.4 Densidad mineral ósea, masa grasa y masa magra de la región de interés

Los valores correspondientes al tratamiento estadístico de la ROI de la DMO, de la MG y de la MM, antes y después de los entrenamientos de la muestra emparejada están representadas en la tabla 15, presentados de manera bilateral y unilateral además de mostrar la comparación de los resultados intra y entre grupos.

Tabla 15: Comparación intra e intergrupo de los resultados de la densidad mineral ósea, masa grasa y masa magra de la ROI bilateral y unilateral de la muestra en parejas.

| | Grupo Control | | | Grupo Experimental | | | p (tiempo) | p (grupo) |
|----------------------------------|---------------|----------|------------|--------------------|----------|-----------|---------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| DMOBi (g/cm²) | 1,5(0,2) | 1,4(0,2) | -0,2(0,4) | 1,4(0,2) | 1,4(0,2) | 0,0(0,0) | 0,054 | 0,198 |
| MGBi (kg) | 5,1(2,1) | 5,3(2,2) | 0,2(,2) | 5,1(3,3) | 5,5(2,9) | 0,4(1,0) | 0,058 | 0,480 |
| MMBi (kg) | 7,6(2,0) | 7,7(2,2) | 0,1(0,2) | 8,0(2,2) | 8,2(2,3) | 0,2(0,4) | 0,024 | 0,238 |
| DMODch (g/cm²) | 1,5(0,2) | 1,4(0,2) | -0,4(0,1) | 1,4(0,1) | 1,4(0,2) | -0,1(0,0) | 0,012 | 0,150 |
| MGDch (kg) | 2,6(1,1) | 2,7(1,1) | 0,1(0,1) | 2,7(1,6) | 2,8(1,5) | 0,1(0,2) | 0,021 | 0,833 |
| MMDch (kg) | 3,8(1,0) | 3,8(1,1) | 0,0(0,1) | 4,0(1,1) | 4,2(1,1) | 0,1(0,2) | 0,014 | 0,173 |
| DMOIzq (g/cm²) | 1,5(0,2) | 1,4(0,2) | -0,01(0,0) | 1,4(0,2) | 1,4(0,2) | 0,0(0,0) | 0,684 | 0,531 |
| MGIzq (kg) | 2,5(1,0) | 2,6(1,1) | 0,1(0,1) | 2,6(1,5) | 2,7(1,4) | 0,1(0,2) | 0,023 | 0,775 |
| MMIzq (kg) | 3,8(1,1) | 3,8(1,1) | 0,0(0,1) | 4,0(1,1) | 4,1(1,2) | 0,1(0,2) | 0,075 | 0,441 |

DMO: densidad mineral ósea; MG: masa grasa; MM: masa magra; Bi: bilateral; Dch: pierna derecha; Izq: pierna izquierda; Δ%: representa el porcentual de la diferencia entre los valores pre y post intragrupo; p: significación estadística.

Considerando el factor tiempo se demostró alteraciones estadísticas para la MMBi, DMODch, MGDch, MMDch y MGIzq. Para el factor grupo no se ha encontrado diferencias estadísticas para ninguna de las variables analizadas.

6.2.5 Calidad muscular

Los valores correspondientes a la CM de la FzIso y de la RM, tanto de manera Bi como unilateral y de la PmBi medida a distintas cargas, analizadas de función del tiempo y con el factor grupo (GC y GE) de la muestra en parejas están presentes en la tabla 16.

Tabla 16: Comparación intra e intergrupo de los resultados de calidad muscular de la fuerza máxima isométrica y dinámica, bilateral y unilateral y de la potencia media correspondiente a la región de interés de la muestra en parejas.

| | Grupo Control | | | Grupo Experimental | | | p (tiempo) | p (grupo) |
|-------------------|---------------|-----------|-------------|--------------------|------------|------------|---------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| CMFzIsoBi | 10,9(1,4) | 11,0(1,1) | 2,1(12,7) | 10,0(2,4) | 10,2(1,7) | 5,4(18,7) | 0,599 | 0,857 |
| CMFzIsoDch | 10,0(1,7) | 10,2(1,4) | 3,7(12,1) | 10,7(1,8) | 10,4(2,1) | -3,4(9,9) | 0,822 | 0,231 |
| CMFzIsoIzq | 11,0(1,1) | 10,8(1,5) | -1,8(9,1) | 9,4(1,9) | 9,7(1,5) | 4,4(13,6) | 0,859 | 0,271 |
| CMRMBi | 9,7(1,3) | 11,1(1,0) | 15,4(16,6) | 8,7(2,2) | 10,4(2,5) | 22,2(15,3) | 0,000 | 0,416 |
| CMRMDch | 7,6(1,4) | 9,2(1,4) | 24,3(21,8) | 8,0(2,4) | 10,0(2,1) | 30,4(22,9) | 0,000 | 0,524 |
| CMRMIzq | 8,1(1,8) | 9,8(1,7) | 23,2(20,5) | 8,1(2,1) | 9,3(2,1) | 25,7(22,6) | 0,000 | 0,960 |
| CMPmBi40 | 27,2(5,8) | 31,0(5,1) | 17,7(24,3) | 25,7(6,7) | 28,8(5,2) | 16,1(20,4) | 0,003 | 0,704 |
| CMPmBi50 | 30,3(7,2) | 31,7(7,3) | 7,0(20,1) | 28,4(8,2) | 31,2(6,4) | 17,2(34,2) | 0,081 | 0,569 |
| CMPmBi60 | 30,8(6,8) | 30,0(7,5) | -2,2(15,1) | 29,3(9,6) | 29,8(10,9) | 1,2(27,8) | 0,858 | 0,510 |
| CMPmBi70 | 31,9(6,5) | 26,2(8,8) | -17,5(22,2) | 28,4(11,9) | 27,8(9,0) | 5,0(35,0) | 0,036 | 0,086 |
| CMPmBi80 | 29,9(10,5) | 20,4(9,7) | -24,7(37,2) | 26,1(11,2) | 25,5(7,4) | 19,2(59,9) | 0,014 | 0,028 |

CM: calidad muscular; FzIso: fuerza máxima isométrica; RM: fuerza máxima dinámica; Pm: potencia media; Bi: bilateral; Dch: pierna derecha; Izq: pierna izquierda; Δ%: representa el porcentual de la diferencia entre los valores pre y post intragrupo; p: significación estadística.

Tras analizar los datos de la CM referentes a la ROI relacionada a diferentes manifestaciones de fuerza, se observaron que para la FzIso no hubo diferencias. Para los datos de la RM, se observó incrementos relacionados al factor tiempo. En los datos que corresponden a la PmBi para ambos grupos en lo que se concierne al factor tiempo, se demostró diferencias a los 40 y 70% de la RM. Ya en la CMPmBi80, se han observado diferencias para el factor tiempo y para el factor grupo.

7. DISCUSIÓN

7. Discusión

7.1 Muestra general

7.1.1 Características de la muestra

En este apartado se discute las principales características de la muestra del presente estudio. Analizar estas características es importante, ya que puede dar una idea general de cómo fue la muestra de este estudio, comparada a otros estudios publicados con personas con EM. Además, es posible pensar que muestras con características semejantes deberían producir resultados semejantes.

La edad de la muestra del presente estudio demostró una media alrededor de 48 años. Otros estudios con la temática de ejercicio físico con personas con EM hicieron sus investigaciones con valores de edad semejantes al presente estudio, de los cuales se puede citar Dalgas et al. (2009) que en la investigación que desarrollaron con 35 pacientes, la edad era alrededor de 48 años; De Souza-Teixeira et al. (2009) con trece pacientes con una media de aproximadamente de 43 años y Medina-Pérez (2012) que trabajó con 172 afectados con edad media cerca de 49 años. También se puede citar Manca et al. (2017) con 20 personas y edad media de 45 años, así como Wens et al. (2017) que desarrolló su investigación con 34 personas con EM con el mismo promedio de edad.

La masa corporal (kg) presentó valores medios similares a los estudios de Dalgas et al. (2009) (GC: 66,9 e intervalo entre 58,8-75,0; GE: 70,1 e intervalo entre 62,3-78,0) y Medina-Pérez et al. (2014) (GC: 63,3±12,0; GE: 68,1±11,4) en los cuales se encuentran otras semejanzas. Por ejemplo, más mujeres que varones en los grupos estudiados y que la edad no fue un criterio de selección de la muestra.

De acuerdo con los valores establecidos por la OMS (2017) para clasificar el IMC, los valores medios de IMC de la muestra estudiada indican que los sujetos pertenecen a la clasificación Normal (normo pesos) y que están en concordancia con los hallazgos de Ortiz-Moncada et al. (2011) para la población general española en que, 83% de las personas con edad entre 45 y 60 años de ambos sexos, tienen como clasificación normo pesos y sobrepeso. Además, están de acuerdo con Wingo, Young, Motl (2017) (varones con EM 23,6±2,5 y mujeres con EM 26,1±5,2).

En la composición corporal, es importante destacar los riesgos asociados con la grasa corporal total y la MM, ya que la composición de los segmentos corporales individuales son particularmente importantes para predecir el riesgo de algunas enfermedades. La adiposidad central aumentada, por ejemplo, puede estar asociada con enfermedad cardiometabólica, apoplejía y cáncer, mientras que la disminución de MM apendicular se asocia con caídas y fragilidad aumentadas (González et al., 2017; Scott et al., 2017; Takahashi et al. 2017). Comparando a los datos porcentuales presentados por Wingo, Young, Motl (2017) (varones con EM $24,5 \pm 4,3$ y mujeres con EM $36,4 \pm 7,7$), donde se han observado diferencias significativas en todo el cuerpo y la composición corporal regional entre varones con IMC emparejados con y sin EM, y que los varones con EM tenían significativamente menos MM de cuerpo entero y mayor masa grasa. Así, como la muestra del presente estudio muestra el porcentual de MG más alto, esto indica mayor riesgo de desarrollar co-morbilidades asociadas.

Considerando el tiempo de diagnóstico, donde se observa la media cercana a 10 años, la muestra está en concordancia con Bove y Chitnis (2013), que afirman que generalmente la EM es diagnosticada entre los 25 y 40 años. La media del tiempo de diagnóstico presentado por los participantes de este estudio, es análoga a la media de las muestras de estudios desarrollados por Stroud y Minahan (2009) (12 ± 8 años) y Medina-Pérez et al. (2016) (GC: 10,4 con intervalo de 7-13,7 años; GE: 10,9 y con intervalo entre 7,9-14 años). Además, están de acuerdo con los datos de salud pública que muestran que la EM es la discapacidad neurológica que más afecta a adultos jóvenes (Tejera-Alhambra et al., 2015).

Para los dos grupos del presente estudio, la media en la escala que mide el nivel de discapacidad (EDSS) es similar a los valores medidos por White et al. (2004) ($3,7 \pm 1$) y concuerda con los datos de Dalgas et al. (2009) (GC: 3,9 con intervalo entre 3,5-4,4; GE: 3,7 y con intervalo entre 3,2-4,2), De Souza-Teixeira et al. (2009) ($3,3 \pm 1,6$), Fimland et al. (2010) (GC: $3,5 \pm 0,5$; GE: $4,6 \pm 0,4$) y Manca et al. (2017) (GE1: $3,8 \pm 1,39$; GE2: $3,0 \pm 1,0$). El valor medio del EDSS para la muestra estudiada indica que los pacientes pueden caminar alrededor de 500 metros sin asistencia y pueden presentar discapacidad severa en un sistema funcional o moderada en más de uno de estos sistemas. Conocer el EDSS de la muestra, permite entender como una población con determinado nivel de discapacidad responde a los estímulos, a la vez que diferentes niveles de afectación de la enfermedad pueden generar a diferentes respuestas a los estímulos del entrenamiento. En

esta línea, es posible observar que los valores iniciales no presentaron diferencias significativas entre los grupos, lo que indica cierta homogeneidad entre los dos grupos.

7.1.2 Pruebas funcionales

Se ha demostrado que la fuerza muscular máxima, es un importante predictor de la capacidad funcional de las personas con EM (Kjølhede et al., 2015). Así, es posible considerar, que un programa de EF en personas con EM podría impactar positivamente en las variables indicadoras de la capacidad funcional de estas personas.

Los dos grupos han mejorado en la realización del número de sentadillas realizadas en el CST y han disminuido el tiempo de ejecución del TUG. Resultados semejantes son descritos por Aidar et al. (2017), en personas con EM que participaron de un programa de EF general, presentando mejoras en las dos pruebas con valores de $p=0,017$ y $p=0,021$ respectivamente.

Específicamente en el TUG, los resultados positivos como consecuencia de la participación en un programa de EF son relatados por Moradi et al. (2015) ($p=0,006$ para el grupo de entrenamiento de fuerza), por Çakıt et al. (2010) ($p<0,01$ en el grupo de entrenamiento de fuerza) y por De Souza-Teixeira et al. (2009) ($p<0,001$). Sin embargo, Pearson, Dieberg y Smart (2015) en un estudio de meta-análisis no encontraron efectos positivos del EF sobre el desempeño en el TUG.

Basados en los resultados del presente estudio y en otras investigaciones sobre EF en personas con EM (Aidar et al., 2017; Moradi et al., 2015; Çakıt et al., 2010; De Souza-Teixeira et al., 2009) se puede decir que el EF es capaz de disminuir el promedio del tiempo de realización de la prueba, lo que puede indicar que, tal vez algunas personas se beneficiaron de una transferencia positiva de las ganancias de fuerza promovidas por el EF, para la velocidad de desplazamiento con cambio de dirección (TUG).

En la comparación de los tipos de EF utilizados en el presente estudio, el GE proporcionó mejorías mayores que el GC. Una posible explicación para este hallazgo puede estar en el hecho de que los ejercicios reforzados excéntricamente, pueden producir mayor actividad de la corteza cerebral que los ejercicios concéntricos (Fang et al., 2001). Esto permite suponer que, tal vez las ganancias más pronunciadas en las pruebas funcionales producidas por el ERE y por el CST, que puede representar incrementos en fuerza/potencia de los miembros inferiores, como en el TUG, puedan deberse a la mayor activación neural producida por los ejercicios excéntricos (Fang et al., 2001).

En muestras sin experiencia previa en EF, Pau et al. (2017) demostraron que, tras el EF, personas con EM con moderada EDSS han mejorado los parámetros espacio-temporales de la marcha, además de aumentar el rango dinámico de movimiento durante la marcha. Eso también puede justificar el incremento en los valores representativos en la prueba funcional TUG para los dos grupos del presente estudio.

Adicionalmente, los hallazgos de Dalgas et al. (2013) demostraron que 12 semanas de EF progresivo de alta intensidad en las extremidades inferiores mejoran el impulso neuronal en personas con EM, con efectos que persisten después de 12 semanas de actividad física auto guiada. Tales mejorías podrían justificar las ganancias más pronunciadas en las pruebas funcionales para el ERE llevado a cabo en el presente estudio, considerado como un entrenamiento de alta intensidad.

7.1.3 Evaluación de la fuerza

7.1.3.1 Fuerza máxima isométrica

Tras la evaluación de la FzIsoBi de los participantes del presente estudio, se observó que la media pre y post de los valores obtenidos son superiores a otros estudios que utilizaron el mismo protocolo empleado por este estudio, tales como el desarrollado por De Souza-Teixeira et al. (2009) y por Medina-Pérez (2012). No se ha encontrado referencias para la comparación de las medias de los valores para las piernas de manera bilateral y unilateral (derecha e izquierda por separado).

Los mayores valores del presente estudio frente a otros, pueden ser debido a la condición y hábitos de la práctica de ejercicio físico de la presente muestra, considerando que los participantes ya estaban involucrados en la práctica de EF. En parte, eso también puede explicar que, tras el análisis estadístico, no se observó cambios significativos entre la FzIsoBi pre y post entrenamiento (factor tiempo), sin embargo, estudios como los de Dalgas et al. (2009), De Souza-Teixeira et al. (2009) y Medina-Pérez (2012) encontraron ganancias significativas en la FzIso en los pacientes con EM que hicieron EF clásico, estudios en que los participantes eran personas no entrenadas.

Partiendo de la premisa de que la evaluación de la FzIso en nuestro estudio tuvo la función de establecer la carga inicial para la evaluación de la RM, las razones por las cuales se puede explicar que no haya cambios en la FzIso en ambos grupos tras el EF

estarían basadas en que la realización de los ejercicios propuestos a lo largo del entrenamiento abarcan estímulos exclusivamente dinámicos, es decir, que no fueron utilizadas acciones musculares isométricas durante el entrenamiento, ni siquiera priorizado este tipo de acción muscular.

En la investigación conducida por Dalgas et al. (2009) tras 12 semanas de EF intenso en las extremidades inferiores, sus resultados indicaron mejorías de la FzIso con efectos que persistieron después de 12 semanas de actividad física auto-guiada.

Una investigación con mujeres jóvenes y sanas desarrollada por Hortobágyi et al. (2001), describe los cambios relacionados tras la realización del EF excéntrico, encontraron incremento en la FzIso. Por otra parte, cuando se compararon los ERE, combinado concéntrico-excéntrico y clásico, las personas que fueron sometidos al ERE obtuvieron más ganancias en la FzIso que los otros grupos de EF (Hortobágyi et al., 2000).

En contraposición de resultados presentados en otras poblaciones, el estudio desarrollado por Hayes, Gappmaier y LaStayo (2011) en personas con EM indicó que la realización de un entrenamiento con ejercicio excéntrico, no ha provocado ganancias de fuerza de las extremidades inferiores significativamente mayores que el grupo que ha realizado EF con carga progresiva. Lo que está de acuerdo con el presente estudio, ambos grupos no presentaron mejorías significativas para esta variable.

Cabe también destacar que, aunque se no se obtuvieron cambios positivos en los valores verificados para la FzIso, tampoco fueron observados cambios negativos. Teniendo en cuenta que la EM es una enfermedad neurodegenerativa, hay que considerar que tan importante como tener ganancias en la fuerza, es mantenerla y el promedio de la de FzIso de los participantes del GC del presente estudio se mantuvo y los valores del GE se incrementaron, a pesar de no haber presentado una significancia estadística.

En este sentido, Medina-Pérez et al. (2014) desarrollaron un estudio diseñado para evaluar los efectos de un período de desentrenamiento de 12 semanas en la fuerza muscular (isométrico y de resistencia) y la potencia muscular en personas con EM que habían llevado a cabo previamente un programa de EF de 12 semanas. Sus resultados indicaron, que el protocolo utilizado aumentó la FzIso y la potencia, sin embargo, no indujo ningún cambio en la resistencia muscular. Además, este fue el primer trabajo que estudió las respuestas al desentrenamiento en personas con EM después del EF. Los datos mostraron que 12 semanas de desentrenamiento fueron suficientes para reducir la fuerza

máxima para niveles pre-entrenamiento. Así, los resultados de este estudio también apoyan el uso continuado del EF en personas con EM.

7.1.3.2 Fuerza máxima dinámica

En los valores medios encontrados en la muestra del estudio, para la evaluación en la *leg extension* (extensión de las rodillas) se observa que, en relación al factor tiempo, los dos grupos han incrementado la RM tanto en la evaluación bilateral, como en la evaluación ejecutada unilateralmente. Además, se observó que realizar el entrenamiento del GE indica mejorías significativamente más pronunciadas para la RM tanto para la pierna derecha como para la pierna izquierda.

Tras el entrenamiento clásico en personas con EM, algunos estudios describieron cambios significativos en la RM en concordancia con los hallazgos del presente estudio, tales como los desarrollados por Moradi et al. (2015) ($p=0,006$ para el grupo del entrenamiento de fuerza) y Dodd et al. (2011) ($p<0,05$). Para una población distinta a la del presente estudio, ganancias en la RM tras el entrenamiento excéntrico en personas sanas fueron descritas por Hortobágyi et al. (2001) en mujeres jóvenes, Brandenburg y Docherty (2002) en varones jóvenes.

Casillas et al. (2015), desarrollaron un estudio con personas con insuficiencia cardíaca crónica, que de alguna manera se acerca a la muestra del presente estudio por la afectación neuronal de la muestra y hallaron que, tras un entrenamiento excéntrico, los participantes tuvieron ganancias en la RM en el tríceps sural en el grupo que fue sometido al entrenamiento de fuerza excéntrico, pero no para el grupo que ha entrenado de manera concéntrica.

Los datos del presente estudio indican que el entrenamiento clásico y el ERE produjeron efectos similares en relación al incremento de la fuerza dinámica bilateral en el movimiento de extensión de rodillas. Cuando se relaciona estos resultados con la literatura científica, resultados diferentes a los del presente estudio son descritos por Hortobágyi et al. (1996), Berg y Tesch (1998), Aagard et al. (2000) y Vikne et al. (2006), que observaron en personas sanas, que el ERE proporcionó mayores ganancias de fuerza que el entrenamiento clásico. Esto ocurre en el presente estudio cuando analizamos los valores encontrados en las piernas de modo unilateral.

Sin embargo, la investigación conducida por Kim et al. (2015) donde 13 personas fueron separadas en dos grupos, uno con entrenamiento excéntrico y otro con

entrenamiento concéntrico y sometidas a 8 semanas de entrenamiento, 3 veces por semana del músculo supraespinoso demostró que el entrenamiento excéntrico de la abducción del hombro produce ganancias de fuerza similares al EF concéntrico, así como ratifican los datos encontrados en el presente estudio.

Relacionado con los componentes neurales de las ganancias de fuerza, se observa que el músculo puede incrementar su producción de fuerza, independientemente de la producción de modificaciones estructurales (Enoka, 1988). El incremento en la fuerza a través de adaptaciones neurales, puede ser explicado por la mejora de los mecanismos involucrados en el reclutamiento de las unidades motoras (Enoka, 1988; Kent-Braun et al. 1994; Nielsen, 1997).

En ese sentido, el aumento de la fuerza contráctil en el músculo esquelético por la adaptación neural, puede resultar de una mejora en la sincronía del reclutamiento de las unidades motoras y del reclutamiento de unidades motoras adicionales. Tal mejoría en el patrón de reclutamiento, es consecuencia de un bloqueo o reducción de impulsos inhibitorios, permitiendo que más unidades motoras sean activadas simultáneamente. Adicionalmente, la mejora en la codificación de las frecuencias en el disparo de las unidades motoras y las alteraciones en la morfología de la unión neuromuscular están asociadas al aumento de la fuerza contráctil (Broekmans et al., 2011; De Souza-Teixeira et al., 2009; Enoka, 1997).

Parece que ambos tipos de entrenamiento clásico o ERE son capaces de producir adaptaciones neurales que inducirán a un incremento de la fuerza muscular dinámica. Sin embargo, parece no haber un consenso en la literatura científica sobre qué tipo de entrenamiento produciría cambios más acentuados en esta variable, a la vez que los estudios presentan resultados contradictorios. Así, es posible deducir que las personas con afectación neural, como los pacientes con EM, pueden obtener beneficios como consecuencia de la práctica de EF, independientemente del tipo de acción muscular empleada (concéntrica o excéntrica).

7.1.3.3 Potencia muscular

Son muy escasos los estudios que se dedicaron a evaluar la potencia muscular en personas con EM, lo que dificulta la comparación e interpretación de los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Los hallazgos de la investigación presentada por Medina-Perez et al. (2016) sugieren que 12 semanas de EF de alta velocidad mejoran tanto la FzIso como la potencia muscular con cinco cargas diferentes en pacientes con EM del tipo RR. A diferencia de lo descrito, el presente estudio ha demostrado ganancias en potencia para ambos grupos a cargas de 40, 50 y 60% de 1RM. Sin embargo, para los 80% de 1RM se encontraron alteraciones en la potencia muscular, ya que el promedio del GC ha disminuido en cuanto el promedio del GE ha tenido un ligero incremento.

Tal hecho, promueve la oportunidad de cuestionar si la diferencia descrita es en función de la mejoría en el GE o virtud de que la Pm generada por el GC no fue suficiente para acompañar las ganancias de la RM, ya que las cargas que fueron utilizadas para la realización de la prueba de Pm son basadas en la carga de 1RM.

Hay que destacar, que los participantes del presente estudio presentaban experiencia previa en EF y que ganancias en personas ya entrenadas suelen ocurrir de manera menos destacable (Kenney, Wilmore y Costill; 2015), lo que puede justificar la falta de mejorías en virtud de los tipos de entrenamientos.

Siendo la potencia muscular el producto entre la fuerza y la velocidad de contracción (Reid y Fielding, 2012), los incrementos en esta variable podrían ser explicados, por aumentos en la fuerza muscular o aumentos en la velocidad de contracción. Así, es posible pensar que el incremento de la potencia muscular mediado por aumentos de la fuerza tras el EF en las cargas iniciales, podrían estar relacionados con adaptaciones morfológicas (Moritani y DeVries, 1979) y/o neurológicas (Schoenfeld, Ogborn y Krieger, 2015) así como por las ganancias presentadas en la RM.

La principal adaptación morfológica ocasionada por el EF, es el aumento en el área de sección transversal de las fibras musculares esqueléticas (Davies et al., 2016; Davies et al., 2017) que puede conducir a una mayor producción de fuerza mediante el aumento en el número de puentes cruzados dispuestos en paralelo, especialmente en fibras de tipo II; la producción de cambios en el tipo de fibra y en la arquitectura muscular; el aumento de la densidad de miofilamentos y la promoción de adaptaciones en las estructuras del tejido conectivo y los tendones musculares (Folland y Willians, 2007).

La principal adaptación neurológica producida por el EF es el aumento de la activación muscular (Davies et al., 2016; Davies et al., 2017). Ese aumento puede llevar a la mayor producción de fuerza por incrementar el número de unidades motoras reclutadas, la velocidad y la frecuencia de disparo en las unidades motoras, mejorar el patrón de activación y la sincronización de reclutamiento de las unidades motoras,

aumento de la excitabilidad en las motoneuronas, bloqueo o reducción de impulsos inhibitorios, permitiendo que más unidades motoras se activen simultáneamente, disminución de la inhibición autogénica, y disminución de la co-activación de la musculatura agonista (Gabriel, Kamen y Frost, 2006). Además, es posible que cambios en las características intrínsecas de las neuronas motoras, sean las responsables de la mejora de la activación de las unidades motoras, durante las primeras fases del entrenamiento de fuerza (Gabriel, Kamen y Frost, 2006).

Por otro lado, el incremento de la potencia mediado por el aumento de la velocidad de contracción, estaría relacionado con la propiedad contráctil muscular que puede incrementar, independientemente de ocurrir alteraciones en el tamaño y composición del músculo y con la activación neuromuscular que conduce a una disminución del tiempo necesario para alcanzar la fuerza máxima y a un incremento de la generación de energía muscular (Reid y Fielding, 2012).

Como se observa en el apartado anterior, hubo un incremento de la RM, lo que puede apoyar que, en el GE el aumento observado en la potencia muscular, muy probablemente sea explicado por ganancias en el componente fuerza, especialmente inducidos por las adaptaciones neurales (Schoenfeld, Ogborn y Krieger, 2015) o aún por las ganancias en la MM presentadas por los participantes de los dos grupos.

Los aumentos en la potencia muscular con significancia estadística como consecuencia de los EF fueron limitados a las cargas bajas o intermedia del EF (40%, 50% y 60% de 1RM). En la carga más alta (80% de 1RM) se ha observado mejoría, tras el ERE. Una posible explicación para este hallazgo, es debido a la especificidad del entrenamiento que los participantes del GE, a pesar de entrenar al cien por cien de su fuerza, movilizaron volantes inerciales intermedios durante el entrenamiento, pues son los más adecuados a la producción máxima de potencia muscular durante este tipo de entrenamiento (Franco, 2014). A su vez, los participantes del GC también entrenaron con cargas consideradas intermedias, siendo la disminución de la Pm observada en este grupo, posiblemente explicada por la falta de especificidad del entrenamiento para generar ganancias de Pm con cargas de entrenamiento más altas, como son 70% y 80% del 1RM.

Sabiendo que la falta de entrenamiento o el desentrenamiento afecta de manera significativa los niveles de fuerza y potencia muscular en personas con EM (Medina-Pérez et al., 2014), es posible considerar que el EF debe de ser continuado para estas personas, ya que la potencia en los miembros inferiores está relacionada al mantenimiento

de la capacidad física y la movilidad, con impactos directos en la calidad de vida (Brady, Straight y Evans, 2014; Schaap, Koster y Visser, 2013).

7.1.4 Densidad mineral ósea, masa grasa y masa magra de la región de interés

La sarcopenia es una enfermedad caracterizada por una reducción progresiva y generalizada de la MM y de la fuerza muscular esquelética, que está asociada con un mayor riesgo de resultados adversos como la discapacidad, la hospitalización y la muerte (Kim et al., 2016; Witard et al., 2016).

A pesar de ser común entre los mayores (Landi et al., 2017) tales síntomas también pueden ser identificados en personas con EM. Esto es porque los pacientes de EM presentan importantes pérdidas de MM y de fuerza (Wens et al., 2014). La atención a la identificación de tales pérdidas y a tratamientos adecuados tiene implicaciones en la práctica clínica y en la salud pública (Guglielmi et al., 2016).

Para la variable MM se encontraron cambios significativos relacionados al factor tiempo para ambos grupos, analizado de manera bilateral y unilateral (diferencias para ambos lados). Considerando el factor grupo apenas se ha verificado cambios para la MM del ROI Dch, indicando que pertenecer al GE fue favorable para incrementar la MM.

Dalgas et al. (2010) dirigieron una investigación para identificar los efectos del EF sobre el área de la fibra muscular y la proporción de fibras. Para cumplir con ese objetivo, los autores evaluaron dos grupos (control y entrenamiento). El grupo entrenamiento realizó un programa de EF isocinético por 12 semanas. Al finalizar el estudio los autores no encontraron ningún cambio en el volumen del músculo, a diferencia de los resultados del presente estudio para los dos grupos de entrenamiento. Sin embargo, De Souza-Teixeira et al. (2009) que llevaron a cabo un estudio para evaluar los efectos de 8 semanas de EF con cargas progresiva sobre diferentes manifestaciones de la fuerza, la MM y la capacidad funcional en personas con EM, observaron que, tras el programa de entrenamiento, los pacientes tuvieron un incremento promedio de 3,6% en la masa muscular de los cuádriceps.

Para la comparación, teniendo en cuenta el factor grupo, en el presente estudio no se observó diferencias significativas para la MM. Sin embargo, Berg y Tesch (1998), Hortobágyi et al. (2000), Vikne et al. (2006), Fernández-Gonzalo et al. (2014) y Candia-Luján (2014) observaron más incremento en la MM en jóvenes que hicieron

entrenamiento excéntrico en comparación con los jóvenes que llevaron a cabo el entrenamiento concéntrico.

Roig et al. (2009), tras realizar una revisión sistemática con meta-análisis, indicaron que el entrenamiento excéntrico promueve más ganancia de MM que el entrenamiento concéntrico, pero existen conflictos porque los estudios que fueron considerados para su revisión no presentaban coherencia en el método de evaluación de esta variable. En el estudio meta-analítico realizado por Maroto-Izquierdo et al. (2017), se observó que el ERE es capaz de inducir más hipertrofia muscular que el EF concéntrico clásico.

Adicionalmente, Hortobágyi et al. (2000) desarrollaron una investigación para comparar los efectos de diferentes tipos de entrenamiento, el concéntrico, el excéntrico y el combinado (utilizando los dos tipos de entrenamiento). A través de este estudio pudieron observar que las personas que hicieron el entrenamiento excéntrico, obtuvieron más hipertrofia muscular que las personas que llevaron a cabo el entrenamiento concéntrico y combinado. Por otro lado, Duncan et al. (1989) que utilizaron la medición de la circunferencia del miembro, para verificar los efectos del EF excéntrico y concéntrico, no encontraron ganancias significativas para ninguno de ellos.

La experiencia previa con EF de los sujetos que compusieron la muestra del presente estudio puede ser un potencial factor de explicación para la falta de cambios significativos en la MM de los muslos cuando se analiza los datos considerando el factor grupo. Sin embargo, para el GE, el hecho de realizar un tipo de EF al cual no están acostumbrados (énfasis en las acciones excéntricas), podría haber inducido a adaptaciones estructurales en las fibras musculares que resultaron con mayor hipertrofia muscular, que el EF clásico. Sin embargo, la comparación teniendo en cuenta el factor grupo no indicó diferencias significantes para esta variable.

La falta de diferencias entre los dos tipos de EF puede estar relacionada con el método utilizado para evaluar la composición corporal, la DXA, que no presenta una muy alta precisión para medir pequeños cambios de MM tras un periodo de entrenamiento (Delmonico et al., 2008). Además, otros factores que pueden explicar la ausencia de cambios positivos más acentuados en la MM, pueden estar asociados a la carga establecida por no haber sido suficientemente alta para promover adaptaciones estructurales en el músculo y/o porque el tiempo del estudio no haya sido suficientemente largo para generar estos cambios.

Los datos de la DMO presentaron resultados diferentes del esperado. La disminución de la DMO para el GC de manera bilateral y unilateral también pueden haber sido influenciados por el método de medida y/o un posible error humano presentado a la hora de realizar los ROI, una vez que la variabilidad intraobservador puede afectar la precisión y la reproducibilidad de estas medidas, pudiendo interferir en los puntos seleccionados para realizar las mediciones y consecuentemente, en la composición del área seleccionada.

Sin embargo, el EF es capaz de promover estímulos osteogénicos, como consecuencia del incremento del estrés mecánico localizado en los huesos (Creighton et al., 2001). A pesar de que autores como Vincent y Braith (2002), Ribom et al. (2004) y Cvijetić et al. (2011) relacionaren el EF con cambios en la composición corporal y también en la DMO, cabe destacar que el estrés necesario para promover estos cambios debe alcanzar una intensidad adecuada (Ryan et al., 2004). Tal vez, por eso el entrenamiento con características excéntricas tiene tendencia a promover mayores cambios en la DMO que el entrenamiento concéntrico (Hawkins et al., 1999), además de promover adaptaciones con tan sólo 8 semanas de entrenamiento (English et al., 2014).

Para el parámetro MG, también se han observado cambios distintos a los esperados. Así, el incremento en la MG, además de las explicaciones ya presentadas para los cambios de la DMO, destacar que no fue objetivo del presente estudio controlar la ingesta nutricional de los participantes, siendo informados que mantuviesen sus vidas sin cambios relacionados al EF. No teniendo así ninguna orientación nutricional que seguir que pudiera influir en la cantidad de MG o disminuirla.

7.1.5 Calidad muscular

La CM es importante para comprender el comportamiento de la fuerza de modo más amplio que analizar la masa muscular o la fuerza de manera por separada (Brady, Straight, Evans, 2014; Barbat-Artigas et al., 2013). Hay que considerar que aumentar el nivel de la fuerza e incrementar la MM a punto de encontrar ganancias en CM puede tener como interpretación de que hubo un incremento en la cantidad de carga soportada por unidad de masa muscular. En otras palabras, eso puede significar mejorías en la eficiencia muscular.

Considerando el factor tiempo, los participantes mostraron aumento en sus niveles de RM y también obtuvieron ganancias de MM, además de presentar incremento en la CM. Así, es posible indicar que los dos tipos de EF a los que los participantes fueron sometidos fueron capaces de promover ganancias en la CM que tiene efectos positivos en la eficiencia muscular en personas con EM una vez que no se encontró diferencias relativas al factor grupo.

En esta misma línea de pensamiento, para el factor tiempo se puede decir que los cambios observados en la CM relacionada a la Pm a las cargas 40, 50 y 60% de 1RM, indican mejorías en la eficiencia muscular tras la realización de los EF propuestos por el presente estudio para la potencia muscular. No fue posible observar ningún cambio a los 70 y 80% de 1RM.

Para el factor grupo, se constató que a los 80% de la 1RM hubo cambios, no es posible afirmar si esta diferencia se debe al incremento en la CM presentada por el GE o por la disminución de los valores de CM presentados por el GC. Estos valores sufrieron influencia de los datos de la Pm a esta carga determinada, y para la MM, se ha observado incrementos significativos.

La falta de diferencia entre los dos grupos para los otros parámetros tal vez puede ser explicada por el nivel de entrenamiento que los participantes ya tenían, o sea, son individuos con experiencias en EF y con las características de la enfermedad que, por su carácter neurodegenerativo, pueden implicarse en alteraciones en los mecanismos neuromusculares de ganancias de fuerza/potencia (Ponichtera et al., 1992; Lambert, Archer, Evans, 2001).

Además, los resultados observados en el presente estudio, apoyan la necesidad de investigaciones con programas específicos de EF destinados a frenar el deterioro funcional que acompaña a la EM, lo que podría impactar positivamente en la realización de las AVD y en su calidad de vida.

7.2 Muestra en parejas

En este apartado, se presentan las interpretaciones posibles de los datos de las parejas que fueron organizadas, con el objetivo de minimizar los efectos de la heterogeneidad de la muestra, con el objetivo de mostrar los efectos de los entrenamientos visto la similitud de las parejas relacionadas por género, edad y el grado de discapacidad

donde se ha utilizado el EDSS como parámetro. Además, el emparejamiento de la muestra nos permite verificar los efectos en personas con el mismo perfil, dato este muy importante porque algunos de los artículos encontrados compararon los datos de sus investigaciones con personas sanas y/o con grupo de perfil completamente distinto del grupo experimental.

7.2.1 Características de la muestra en parejas

Al analizar los datos de las características generales de la muestra emparejada antes de los entrenamientos, como era de esperar, no hubo diferencias. Las parejas fueron organizadas respetando una proporción mayor de mujeres (2:1) aproximándose a la realidad de la relación mujeres X varones (Ortona et al., 2016). Además, los datos demuestran que la franja etaria coincide con otros estudios ya citados como los de Dalgas et al. (2009) y Medina-Pérez (2012); y los datos de composición corporal (peso y altura).

Así es importante saber que los datos presentados para la composición corporal están en acuerdo con la muestra de varones del estudio desarrollado por Wingo, Young, Motl (2017) (varones con EM $24,5 \pm 4,3$ y mujeres con EM $36,4 \pm 7,7$) donde se ha observado diferencias significativas en todo el cuerpo y la composición corporal regional entre varones con IMC emparejados con y sin EM, ya que los varones con EM tenían significativamente menos MM de cuerpo entero y mayores valores para la MG.

El tiempo de diagnóstico concuerda con estudios desarrollados por Bove y Chitnis (2013) y Medina-Pérez et al. (2016). En los valores del IMC encontrados en el presente estudio, se encuadran como normales en acuerdo con la OMS (2017) y están de acuerdo con la investigación realizada por Wingo, Young y Motl (2017) (varones con EM $23,6 \pm 2,5$ y mujeres con EM $26,1 \pm 5,2$). La composición corporal es importante para predecir el riesgo de algunas enfermedades, al mismo tiempo que la disminución de MM en los miembros superiores e inferiores se asocia con caídas y fragilidad aumentadas (González et al., 2017; Scott et al., 2017; Takahashi et al. 2017).

Los valores encontrados para el EDSS están en consonancia a los estudios con EF desarrollados por Dalgas et al. (2009) (GC: 3,9 con intervalo entre 3,5-4,4; GE: 3,7 y con intervalo entre 3,2-4,2), De Souza-Teixeira et al. (2009) ($3,3 \pm 1,6$), Fimland et al. (2010) (GC: $3,5 \pm 0,5$; GE: $4,6 \pm 0,4$) y Manca et al. (2017) (GE1: $3,8 \pm 1,39$; GE2: $3,0 \pm 1,0$),

posibilitando así fuentes de comparación para algunos de los parámetros de fuerza y pruebas funcionales medidas en el presente estudio.

7.2.2 Pruebas funcionales

Cuando se compara los valores encontrados en los análisis de las pruebas funcionales de las parejas, con todos los sujetos del presente estudio, es posible decir que están de acuerdo para la CST para los dos factores analizados, pero están en desacuerdo para el TUG para el factor grupo. Así, los datos han indicado que para la variable CST no hay diferencia en los datos utilizados para el emparejamiento (género, edad y EDSS) pero se puede observar una coherencia con otros estudios que fueron presentados en la discusión de la muestra general.

Para el TUG que es una prueba funcional donde se involucra velocidad de caminar con cambio de dirección, los factores presentados para el emparejamiento pueden ser criterios que han influenciado el análisis del factor grupo. Una ventaja de estos datos implica en que, siendo el EF al cual fue sometido el GC de más fácil acceso y el tipo de entrenamiento no fue capaz de ser determinante para las ganancias en esta prueba de capacidad funcional, significa que la aplicación práctica del EF para las personas que tienen acceso a ejercicios con este tipo de estímulo muscular, es suficiente para promover ganancias en la capacidad funcional. Además, a pesar de que en algunos estudios presentes en la literatura indican que el EF no es capaz de promover mejorías en el TUG (Aidar et al., 2017; Moradi et al., 2015; Çakıt et al., 2010; De Souza-Teixeira et al., 2009), los dos tipos de entrenamiento prescritos en el presente estudio, tanto para el GC, como para el GE, fueron capaces de promover cambios positivos en el desempeño de personas con EM en esta prueba.

7.2.3 Evaluación de la fuerza

7.2.3.1 Fuerza máxima isométrica

Ningún de los EF que los participantes cumplieron, tenían como objetivo mejorías en la FzIso. Así mismo, la ausencia de cambios en la manifestación de la FzIso pueden

ser justificados por cuenta de la especificidad de los entrenamientos del GC y del GE a los que los participantes fueron sometidos

Ni el factor tiempo, ni el factor grupo, analizados en la muestra relativizada por género, edad y EDSS tuvieron diferencias. Los datos de la FzIso de la muestra en parejas están en consonancia con los datos presentados por la muestra general del presente estudio.

7.2.3.2 Fuerza máxima dinámica

La RM es importante para desempeñar las AVD, es decir, del mantenimiento de las funciones básicas como caminar, levantarse de una silla o mantenerse de pie. En el presente estudio se observó ganancias en la RM de manera bilateral comparando por parejas, lo que está de acuerdo con los datos de la muestra en general y como los estudios de Moradi et al. (2015) y Dodd et al. (2011). Un incremento en esta manifestación de la fuerza puede ser explicado por las adaptaciones neurales (Schoenfeld, Ogborn y Krieger, 2015). Sin embargo, la muestra en parejas si difiere de la muestra general por no presentar diferencias, cuando los datos son analizados por el factor grupo, contradiciendo estudios desarrollados por Hortobágyi et al. (1996), Berg y Tesch (1998), Aagard et al. (2000) y Vikne et al. (2006), donde el EF excéntrico logró ganancias en la RM más pronunciadas que el EF concéntrico.

A diferencia de lo observado en la muestra general, para los datos relacionados con el factor grupo, no se ha observado diferencias entre Dch e Izq. Así se puede inferir que, tal vez la heterogeneidad en lo que si refiere al género, edad y EDSS puede tener influencia en los datos de la RM cuando se considera el factor grupo.

7.2.3.3 Potencia muscular

Según Schoenfeld, Ogborn y Krieger (2015) el aumento observado en la potencia muscular, puede ser explicado por incrementos en la fuerza, principalmente como consecuencias de las adaptaciones neurales. Tales adaptaciones son caracterizadas por el aumento de la activación muscular (Davies et al., 2016; Davies et al., 2017) que pueden llevar a una mayor producción de fuerza, por incrementar el número de unidades motoras

reclutadas, ajustes en la velocidad y la frecuencia de disparo en las unidades motoras entre otros factores (Gabriel, Kamen y Frost, 2006).

En los datos de la muestra en parejas, la Pm ha tenido un comportamiento distinto a la muestra general, siendo una diferencia estadística encontrada para el factor tiempo apenas a los 40% de 1RM para el factor tiempo y una tendencia para la carga a 60 y a 80% de 1RM. Tal tendencia, puede tener influencia del tamaño reducido de la muestra. Además, a los 80% ha pasado lo mismo que en la muestra general donde la diferencia presentada para el factor grupo, no se puede afirmar que es por la ganancia presentada por el GE o simplemente por la disminución que se nota en el GC.

7.2.4 Densidad mineral ósea, masa grasa y masa magra de la región de interés

La composición del ROI de la muestra en parejas demuestra algunas diferencias en el factor tiempo, cuando se compara con la muestra general y no ha presentado ninguna diferencia en el factor grupo. Sin embargo, algunas de las diferencias encontradas están en acuerdo con las diferencias presentadas por la muestra general tales como MMBi, DMOdch y MMDch.

Así, se puede decir que los factores utilizados para emparejar la muestra tales como género, edad y EDSS no fueron determinantes para las diferencias de la MMBi para los entrenamientos, ya que incrementos en la MM son comunes tras la realización del EF (De Souza-Teixeira et al., 2009; Berg y Tesch, 1998, Hortobágyi et al., 2000; Vikne et al., 2006; Fernández-Gonzalo et al., 2014).

A diferencia de la muestra general, la muestra en parejas no ha demostrado diferencias en la DMOBi, DMOIzq y MMIzq además de presentar diferencias para la MGDch y MGIzq. Una vez más, se hace fundamental destacar que el tiempo total de la investigación parece no haber sido suficientes para identificar cambios en la DMO, ya que estos valores también pueden haber sido influenciados por el error humano de la realización de los ROI o incluso por el error del aparato (Delmonico et al., 2008).

Para los incrementos de la MG presentados por la muestra en parejas, tanto para Dch y para Izq, se debe considerar que, además de lo expuesto en el párrafo anterior, la ingesta alimenticia de los participantes no fue controlada, no siendo objetivo de la presente investigación controlarla o cambiarla.

7.2.5 Calidad muscular

Los cálculos para la CM, indican que para la FzIso no hubo alteraciones para todas las mediciones, tanto para el factor tiempo como para el factor grupo, así como para la muestra en general indicando que los entrenamientos a los que los participantes fueron sometidos en el GC y en el GE fueron responsables por un mantenimiento de esta variable. Teniendo en cuenta que tan o más importante que tener ganancias es mantener la funcionalidad del organismo, mantener la CM para la FzIso es un hallazgo positivo.

Para la RM, se demostró diferencias para todas las variables evaluadas considerando el factor tiempo y no distinguiendo estas ganancias entre los grupos. Eso puede indicar, que los elementos que fueron utilizados para realizar el emparejamiento de la muestra (género, edad y EDSS) tengan influencia en la CM, a la vez que para la muestra en general se observó el factor grupo como diferencial para la CMRMIZq.

En lo que concierne a la CM de la Pm, el tiempo fue determinante para diferencias a los 40% de 1RM para ambos grupos. Ya a los 70% y los 80% de 1RM no se puede afirmar que la mejoría está más relacionada a los incrementos presentados por el GE o por la disminución de la CM del GC para las referidas cargas. Se destaca que los estímulos a los que fueron sometidos el GE son distintos a los del GC, siendo el ERE con características de mayor velocidad. Al igual que no haya diferencias significativas para las mejorías presentadas para el GE, es posible notar una tendencia a mejorías en los valores de la CM. Así también es posible interpretar que a los 80% de la 1RM hubo diferencias relativas al factor grupo.

7.3 El entrenamiento

Se puede reflejar, que no se produjo, en ningún de los tipos de entrenamiento, ninguna lesión osteomioarticular ni efecto desagradable atribuible a los entrenamientos, durante el periodo de intervención y demostraron ser seguros para personas con EM.

Ratificando esta afirmación sobre el ERE, Coratella, Chemello y Schena (2016) y Bridgeman et al. (2017) demostraron que este tipo de entrenamiento redujo los síntomas y la percepción del daño muscular en varones saludables. Además, las investigaciones desarrolladas por Fernández-Gonzalo et al. (2014) y Fernández-Gonzalo et al. (2016) muestran que la utilización del YoYoTM puede ser empleada en la rehabilitación como

estrategia complementaria, viable y segura al tratamiento clínico en personas con accidente cerebrovascular crónico.

8. CONCLUSIONES

8. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos tras 12 semanas de entrenamiento en personas con EM se ha podido concluir que:

1°. El entrenamiento de fuerza clásico y el entrenamiento de fuerza reforzado excéntricamente no producen mejoras en la fuerza máxima isométrica, para las medidas bilateral y unilateral.

2°. El entrenamiento de fuerza convencional y el reforzado excéntricamente producen mejoras similares en la fuerza máxima dinámica.

3°. De la misma forma, los dos tipos de entrenamiento estudiados conllevan similares mejoras en la potencia muscular manifestada en la acción bilateral.

4°. La hipertrofia muscular, que es uno de los objetivos del entrenamiento de fuerza, se procude con ambos entrenamientos y en la misma magnitud.

5°. Un importante objetivo de la mejora de la fuerza en pacientes con EM es que se traduzca en una transferencia en la mejora de las pruebas funcionales y en este sentido, el entrenamiento reforzado excéntricamente se muestra superior al entrenamiento de fuerza convencional en la prueba de sentarse y levantarse de una silla, que refleja en buena parte la fuerza muscular.

6°. En el mismo sentido, en pruebas funcionales que reflejan la agilidad y el equilibrio, el entrenamiento convencional y el reforzado excéntricamente producen mejoras y de mangnitud similar.

7°. Finalmente, y a modo de conclusión general, podemos afirmar que en personas con esclerosis múltiple el entrenamiento reforzado excéntricamente produce similares mejoras que el entrenamiento convencional sobre las manifestaciones de la fuerza dinámica y la hipertrofia muscular. Sin embargo el reforzado excéntricamente produce mayores transferencias a pruebas funcionales de la vida diaria relacionadas con la fuerza muscular.

9. APLICACIONES PRÁCTICAS

9. Aplicaciones prácticas

Los hallazgos de la presente investigación dan soporte a las aplicaciones prácticas de los entrenamientos de fuerza para personas con EM de manera segura. Además, el entrenamiento reforzado excéntricamente que es una novedad para las personas con EM, se ha mostrado eficiente y seguro.

Así, con la periodización adecuada, tras la realización del entrenamiento de fuerza, es posible lograr mejorías en la capacidad funcional y en diferentes manifestaciones de la fuerza en personas con EM que podrán tener consecuencias positivas en su calidad de vida. Por lo demás, las variables que no han mejorado, han mantenido sus valores promedios, indicando que los entrenamientos, aunque no tuviesen en el objetivo de mejorar la fuerza isométrica, por ejemplo, habían tenido la capacidad de mantenerla. Para personas con enfermedades crónicas degenerativas tan o más importante que tener ganancias en las capacidades físicas, es mantenerlas.

10. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

10. Futuras líneas de investigación

Se hace cada vez más importante las aplicaciones prácticas de las investigaciones desarrolladas en el medio académico. Así, las sugerencias involucran una continuidad de la presente investigación con:

- a) Incremento de un grupo control sin ejercicio para tener como comparación de los entrenamientos, un grupo donde no se ha realizado ejercicio de fuerza.
- b) Ejecutar la evaluación de otras pruebas de capacidad funcional.
- c) Proponer otra fase al estudio para verificar las diferencias del desentrenamiento del GC x GE.
- d) Plantear un período de entrenamiento de más tiempo con evaluaciones periódicas para verificar los efectos crónicos del entrenamiento reforzado excéntricamente, además de poder determinar los períodos de los principales cambios en las diferentes manifestaciones de la fuerza y en la capacidad funcional.
- e) Realizar un acompañamiento de la carga de entrenamiento del grupo que lleve a cabo el entrenamiento reforzado excéntricamente (carga externa), además de intentar relacionarla con la percepción subjetiva del esfuerzo (carga interna) en cada día de entrenamiento.

11. ENGLISH SUMMARY

UNIVERSITY OF LEON



DEPARTMENT OF BIOMEDICAL SCIENCES
DOCTORADE IN SCIENCE OF PHYSICAL ACTIVITY AND SPORTS

**COMPARISON OF EFFECTS PRODUCED ON FUNCTIONAL
CAPACITY, STRENGTH MANIFESTATIONS AND THE MUSCLE
QUALITY FOR CLASSICAL RESISTANCE TRAINING *VERSUS*
ECCENTRIC-ENHANCED RESISTANCE TRAINING IN PEOPLE
WITH MULTIPLE SCLEROSIS**

Claudia Eliza Patrocinio de Oliveira

DIRECTOR:
Dr. José Antonio de Paz Fernández

March, 2018

ABBREVIATIONS AND SIMBOLS

| | |
|------------|---|
| $\Delta\%$ | difference percentage between pre and post values |
| 1RM | One repetition-maximum |
| ACMS | <i>American College Medicine of Sports</i> |
| ADL | Activities of daily living |
| au | Arbitrary unit |
| Bi | Bilateral |
| BMD | Bone mineral density |
| BMI | Body mass index |
| CG | Control group |
| cm | Centimeters |
| CNS | Central nervous system |
| CST | <i>Chair stand test</i> |
| DXA | <i>Dual-energy X-ray absorptiometry</i> |
| EDSS | <i>Expanded Disability Status Scale</i> |
| EERT | Eccentric-enhanced resistance training |
| EG | Experimental group |
| FM | Fat mass |
| Kg | Kilograms |
| LM | Lean mass |
| M | Meters |
| MIS | Maximum isometric strength |
| MQ | Muscle quality |
| MS | Multiple Sclerosis |
| Pm | Potencia media |
| PP | Primary progressive |
| PwMS | People with multiple sclerosis |
| RM | Maximum dynamic strength |
| ROI | Region of interest |
| RR | Relapsing-remitting |
| RT | Resistance training |
| s | Seconds |

| | |
|-----|------------------------------------|
| SP | Secondary progressive |
| TUG | <i>Timed 8-foot Up and Go test</i> |
| UD | Undetermined |
| ULE | University of León |
| w | Watts |

Introduction

Multiple Sclerosis (MS) is defined as an autoimmune, inflammatory, chronic, and degenerative disease of the central nervous system (CNS) (Denninson et al., 2009) that mainly affects the white matter of the CNS (Karussis, 2014; NINDS 2012). The distinctive feature of this demyelinating disease is the formation of sclerotic plaque, which represents the final stage of the process that involves inflammation, demyelination and remyelination, depletion of oligodendrocytes and astrocytosis, as well as neuronal and axonal degeneration (Compston, Coles, 2008; Hunter, 2016).

Types of MS include relapsing–remitting MS (RR), isolated clinical syndrome, isolated radiological syndrome, primary progressive MS (PP), and secondary progressive MS (SP) (Lublin et al., 2014; Katz, 2015). In any case, it is still possible that the different clinical forms of MS manifest etiologies, pathological patterns, and different clinical characteristics (Tejera-Alhambra et al., 2015).

The reduction or blockage of nerve connections caused by the CNS lesions can lead to various symptoms encompassing cognitive, sensory, ocular, emotional, and motor aspects (Fernández, Fernández, Guerrero, 2015; Hunter, 2016). Some of these symptoms are related to the neuromuscular disorders such as weakness of muscle strength (Chung et al., 2008; Ng et al., 2004), mainly in the lower extremities (Lambert, Archer, Evans, 2001), which may be aggravated during dynamic contractions at high speeds (Ponichtera et al., 1992; Lambert, Archer, Evans, 2001), thereby negatively affecting the muscular power of the lower limbs in people with MS (PwMS).

Presently, the multidisciplinary strategies, which include the physical, mental, and emotional component, aim to maximize the participation of PwMS in activities of daily life (Shevil et al., 2014). Thus, physical exercise can play an important role in clinical care (Motl, Sandroff, 2015) as well as an instrument in preventing comorbidities (Wens et al., 2013), strength development, and other physical abilities that can represent gains in the quality of life for PwMS (Flachenecker, 2015) and have positive effects on their well-being (NINDS, 2012; Giesser, 2015).

The practice of physical exercise in its various forms, such as aerobic or strength exercise, seems to provide benefits for PwMS. Motl and Sandroff (2015), Halabchi et al. (2017), and Motl et al. (2017) have reported that physical training can produce small, but important, improvements in the gait, balance, cognition, fatigue, depression, and quality of life.

Benefits can be obtained, with a minimal risk of outbreaks and other adverse or aggravating events, and such findings are applicable for adults with MS who have a mild or moderate disability.

Studies indicate that the aerobic and strength exercises can be beneficial for PwMS (Giesser, 2015), and presently, resistance training (RT) has been recognized as an effective tool in the rehabilitation of these patients.

The strength behavior in PwMS differs from the force behavior in healthy people, once they are unable to produce force during the extension and flexion of the knee with the same speed as healthy people (Ponichtera et al., 1992), and the PwMS also reveal lower values of maximum isometric strength (MIS), being 18% less in the lower limbs and 6% in the upper limbs (Petajan et al., 1996).

The decrease in strength in PwMS is attributed to the neural and central factors (Scott et al., 2011; Ng et al., 2004). White et al. (2004) verified that there is a need for research with specific RT programs aimed at curbing the functional deterioration that accompanies MS.

While RT increases muscle activation and muscle strength, Fimland et al. (2010) conducted an RT program and evaluated the neural alterations of the soleus muscle by means of surface electromyography in PwMS with mild and moderate disabilities. The trained group increased the activity of electromyography in the soleus, in addition to alleviating some neuromuscular symptoms related to the disease.

Additionally, the research developed by Medina-Pérez et al. (2016), despite some limitations, described the responses to RT for lower members of people with RR MS, with results that support the use of RT protocols to increase muscle strength and power.

Muscle strength has been emphasized as an important determinant of the walking speed in PwMS (Thoumie et al., 2005), mainly due to the significant correlations between the gait parameters and strength of the quadriceps and hamstrings (Güner et al., 2015), where having more strength in the lower limbs can represent independence for carrying out activities of daily life. Additionally, Kjølhed, Vissing and Dalgas (2012) also suggest that RT can induce muscle hypertrophy as well as neural adaptations in these patients.

Thus, RT with different muscular actions could produce several neuromuscular responses, with possible effects on the strength and functionality of PwMS.

Eccentric stimuli indicate an enormous adaptive aptitude of the muscle as a consequence of training (Lindstedt, LaStayo, Reich, 2001), optimizing the neurological adaptations to strength (Dudley et al., 1991a) that are the result of stimuli with low

intensity, in addition to doing so in a very short period of time (Hortobágyi et al., 2001). The training with eccentric characteristics could restrict or nullify the mechanisms of muscle inhibition that are responsible to protect the muscles and prevent high muscle activations exposed to maximum loads, providing the activation of a greater number of muscle fibers and producing higher amount of strength (Aagaard et al., 2000).

The changes provided by the eccentric workouts can also be proven by studies that were developed as, for example, one that after 8 weeks of training on an eccentric cycle ergometer, proved that healthy young people revealed improvements in the MIS in the lower limbs and a significant increase in the cross-sectional area of the muscle fibers (52%), with an energy expenditure quite similar to that required to perform the concentric work, without recording the muscle injury and with low presence of muscle pain (LaStayo et al., 2000).

Hortobágyi et al. (2001) developed an investigation where they found an increase in MIS, eccentric isokinetic strength, and three maximum-repetitions in only seven training sessions in young women. These data suggest that such gains are attributed and associated with changes in the muscle activation. The research conducted by Brandenburg and Docherty (2002), reported that young males undergoing eccentric overload training over 9 weeks achieved an increase in their maximum strength. Vikne et al. (2006) recorded significant gains in the cross-sectional area of the elbow flexor in the already trained individuals who did eccentric exercise, whereas no significant changes were observed in the group with concentric training.

Roig et al. (2009) sought, among other objectives, to assess whether the eccentric or concentric type of training can provide higher amount of lean mass (LM). Therefore, they conducted a systematic review with meta-analysis and concluded that eccentric training promotes higher amount of LM than the concentric training. In accordance, Maroto-Izquierdo et al. (2017) also conducted an analytical goal study to compare the effects of training with emphasis on the eccentric actions versus training with emphasis on the concentric actions on the muscle structure and functionality in healthy subjects. The authors concluded that eccentric training is better to promote adaptations in the skeletal muscle in terms of strength, power, and muscle size.

Roig, Shadgan, Reid (2008), after a systematic review, aimed at restoring the musculoskeletal functions in people with certain types of specific chronic diseases, by describing that eccentric training can be used safely.

Beyond these indications and based on the fact that eccentric training promotes greater cortical activation (Fang et al., 2001), Fernández-Gonzalo et al. (2014) developed a pilot study with patients suffering from chronic stroke, subjected to eccentric-enhanced resistance training (EERT), where they could verify that in a short period of time, EERT was presented as a valid, safe, and viable method to improve the muscle function, balance, gait, and functional performance in men and women who suffered from chronic stroke. Later in a study developed by Fernández-Gonzalo et al. (2016), it was observed that EERT was able to promote recovery of muscle mass and functionality of people with chronic stroke in addition to concomitant improvements in the cognitive functions.

Similarly, Casillas et al. (2016) have reported that in a group of patients with chronic heart failure, eccentric training controlled by a low subjective perception of effort was well tolerated and induced improvements in the functional capabilities similar to PwMS of this study, who underwent conventional RT of presenting higher gains than conventional training for maximum strength of the triceps surae and quadriceps. The lower demands on the cardiorespiratory system of eccentric training represent a good indicator for the prescription of eccentric exercises for these patients, because they reveal better energy efficiency (Casillas et al., 2016). Thus, it seems that training with an emphasis on the eccentric actions is safe and more efficient than conventional RT in promoting strength, LM, and functionality, being an interesting alternative as a complement for treatment in people with chronic heart failure.

The PE for PwMS is a relatively new topic (Giesser, 2015) and from the historical point of view, the academic records of EERT are also considered comparatively recent, with insufficient information on this subject. The present study is completely new because it deals with EERT in PwMS, and due to the lack of research that includes this topic, all studies that focus on the effects of EERT on strength, functionality, or other indicators related to health, may provide information to the scientific literature and also contribute to the use of this type of training in these patients.

Objectives

General objective

To study, in PwMS, the effects of eccentrically reinforced training versus classic concentric training on different manifestations of strength, muscle mass, and muscle quality of the lower limbs as well as their performance in functional tests.

Specifics objectives

To evaluate and compare the adaptations produced by the classical resistance training and eccentric-enhanced resistance training in:

- performance in the “timed 8-foot up and go”;
- performance in the “chair stand test”;
- the maximum isometric strength of the knee extension, unilateral and bilateral;
- the maximum dynamic strength of extension of knees, unilateral and bilateral;
- the muscle power of bilateral knee extension;
- the lean mass of the thighs, unilateral and bilateral;
- the muscle quality of the maximal isometric strength, unilateral and bilateral;
- the muscle quality of the maximum dynamic strength, unilateral and bilateral;
- the muscle quality of the bilateral power.

Methods

Sample

The present study was conducted with PwMS from five different associations of those affected in Castilla y León.

Of the 75 patients who started with the present study, there were 29 men and 46 women with previous experience in ST. Initially, 39 people participated in the control group (CG), 13 of whom were men and 26 were women. Of the 36 subjects belonging to the experimental group (EG), 16 were men and 8 were women; however 9 people have renounced the PE, being 2 men and 5 CG women and 1 man and 1 EG woman. The ability to execute the proposed exercises was considered as an inclusion criterion.

All the evaluations were carried out in the Exercise Physiology Laboratory of the Department of Biomedical Sciences at University of Leon (ULE), by trained researchers. All patients underwent identical evaluations and the same protocol was followed. Before performing any procedure, all patients were informed of the possible risks and objectives of the study.

The CG was formed by patients belonging to the EM associations of the cities of Burgos, Miranda de Ebro, Valladolid, and Zamora. The criterion of permanence in the CG included participation in all evaluations and made at least 80% of the total sessions of the classic RT in the multistation machine (BH® fitness Nevada Pro-T, Spain).

The EG was formed after voluntary acceptances from the people belonging to the Leon EM association. To permanence in the EG, the patients had participate in all evaluations and in, at least, 80% of the 26 EERT sessions in the nHANCE™ Multi Gym machine.

Matched sample: Control group × Experimental group

Due to the difficulty in analyzing patients, with a disease that is so diverse in symptoms and manifestations, a match was prepared of the sample considering the variables gender, age, and degree of disability in order to verify if they presented a factor that could influence the possible changes generated as a result of training.

According to the established criteria of the same gender, that is, similar age (± 4 years) and similar EDSS (± 0.5), a similarity has been found between 12 people of the EG and CG, being 4 men and 8 women in each group.

Personal medical history and degree of disability

The medical history and verification of the degree of disability of each volunteer were checked individually. The information acquired included: date of birth, type of MS, date of diagnosis of MS, type of treatment for MS, other diseases, and type of treatment in the case of another disease. In addition to these data, the most prevalent symptoms of MS, that is, the most affected side/limb and the RT experience have also been recorded.

Additionally, questions were asked to assess the level of disability where the EDSS scale was used (Kurtzke, 1983), which is a method of quantifying disability for PwMS. The EDSS is presented in eight functional systems (functional system—FS): pyramidal (motor function), cerebellum, brainstem, sensitivity, bowel and bladder, vision, mental functions, and ability to walk. The scale comprises an assessment from 0 to 10, with intervals of 0.5 points; the higher the value, more the disability.

Body composition

To determine the body composition, we used the DXA (Prodigy Primo-General Electric® with software enCore 2009® version 13.20.033), by following the standards of the International Society for Clinical Densitometry Officials (Schousboe et al., 2013). Each scan was used around 7 min and through them, measurements of total body mass, total fat mass (FM), total LM, and total bone mineral density (BMD) were obtained.

From the images generated after the realization of the DXA, some regions of interest (ROI) were determined, based on certain anatomical points. Through these procedures, it was possible to obtain the data of total mass, FM, LM, and BMD of each body segment represented by the 3 ROI considered for this study.

The anatomical points used as references for the subsequent determination of the ROI are described below:

- 1st reference anatomical point: Ischial tuberosity (the delimitation of this anatomical point was on the lower edge of both ischia).
- 2nd anatomical reference point: Medial line of the pubic symphysis (to refer to this point, we considered a line perpendicular to the pubic symphysis that divided the hip into right and left, thus the medial delimitation of the pelvic area was visualized from the pubic symphysis to the midline of the spinous process of the fourth lumbar vertebra [L4] to appropriately separate the right and left regions.
- 3rd anatomical reference point: Interline of the femoral condyles (at this anatomical point, the space presented between the femur and the tibia was considered, being called the femoro-tibial or interline line of the femoral condyles).

Functional tests

The functional test “timed 8-foot up and go test” (TUG) was performed (Rikli and Jones, 2001) with the objective of evaluating the agility and dynamic equilibrium. For this, a chair, a tape measure, a chronometer, a 60 cm high cone, and a nonslip surface were used. The cone was positioned at a distance of 8 ft (2.44 m) from a chair resting on a wall, measuring from the front edge of the chair to the edge of the back of the cone.

To begin the test, the patient sat in the central region of the chair, with the back straight, trunk slightly inclined forward, hands on his thighs, and feet resting on the floor, one slightly ahead of the other. At the “3, 2, 1, already” signal, the timer was set in motion and the evaluated one stood, walked as quickly as possible, circled the cone, and sat down again. The stopwatch stopped when the evaluated was completely seated in the chair. The test was performed twice and the best time was chosen, which was further used in subsequent statistical analyzes.

The functional test “chair stand test” (CST) proposed by Rikli and Jones (2001) has been used, which aims to evaluate the strength of the lower limb using materials such as a chair and a chronometer. To perform this test, the chair was supported on a wall and the evaluated sat at the center of the chair with his back straight, his feet fully resting on the floor, elbows flexed, arms crossed, and hands on the shoulders opposites. From this initial position and to the command “3, 2, 1, already,” the chronometer was started, the evaluated one stood up completely and returned to the sitting position as many times as

possible within 30 s. The evaluated was allowed to perform the movement once or twice before the test to know the correct movement.

Muscle strength assessment

Maximum isomeric strength

To carry out the evaluation of the MIS, the multistation machine (BH® fitness Nevada Pro-T, Spain) was used where a load cell (Globus ergometer®, Italy, 1000 Hz) connected to the chain was placed so that it was not possible to move the legs. The participants of the present study were asked to sit, with their backs completely reclining on the backrest and their hands subjected to the handles of the machine. The knees were flexed and the area of the tibiotalar joint was pushed at the point of application of force on the lever arm. The knee flexion was around 90° and was controlled with the goniometer (TEC®, Spain). Herein, they were oriented to generate the maximum possible force in extending the knees in order to overcome an insurmountable resistance, for a period of 5 s to reach the maximum force as soon as possible.

Two attempts were made for each execution: with both legs at the same time bilaterally (Bi) and then only with the right leg and only with the left leg. Between each attempt, an interval of about 3 min was observed and for the calculations of the study, the attempt with the highest value was considered, this force being expressed in kilograms/force (kgf). The objective of measuring the MIS was to obtain a reference value to establish the initial load of evaluation of the maximum dynamic strength (RM).

Maximum dynamic strength

Using the same apparatus and the same initial position used in the MIS evaluation, to evaluate RM in PwMS, the one repetition-maximum (1RM) protocol was adapted (Kraemer et al., 2002) according to the specifics of the sample. A warm-up was performed with 5 repetitions, with the initial load of evaluation of the RM, 50% of MIS. Under the supervision of a trained evaluator and after answering regarding the subjective perception of the effort through the OMNI-RES (OMNI - Resistance Exercise Scale) (Gearhart et

al., 2011), the load was increased and the evaluated received the order to perform two repetitions. In case of completing two full repetitions and after answering their perception of the effort, the load was further increased. When in the repetition, the subject was able to move the load only once, according to his perception, this load was considered as the corresponding one of maximum force. In case of not achieving even a single repetition, part of the load was removed and the evaluated could try again. The RM was established with a maximum of five attempts. Between one attempt and another, there was an interval of 3 min. The whole procedure was performed to evaluate the maximum force with the bilateral knee extension movement, unilateral on the right side and unilateral on the left side.

Muscle power

Using the same apparatus and the same initial position used in the MIS and RM evaluation, muscle power was evaluated with loads corresponding to 40, 50, 60, 70, and 80% of 1RM (adapted from the protocol used by Callahan et al., 2007). A Globus Real Power® linear position transducer, Italy, with a sampling frequency of 300 Hz and Globus Real Power® software, v3.11, Italy, was used to verify the pertinent power data. After visualizing the curves of each repetition, the values of the average muscle power (AMP) performed bilaterally (Bi), were considered for the analysis.

The participant was oriented and stimulated to do the concentric phase as quickly as possible and to perform the eccentric phase controlled; wait two seconds at the end of movement, before performing the next repetition. To begin each series, the volunteer had to wait for the signal from the evaluator, which was synchronized with the software. The wait between the repetitions prevented the subject from benefiting with the rebound effect as an impulse in the next repetition.

Muscle quality

In order to calculate the CM before and after the EF, the images generated from each person were analyzed after performing the DXA and the LM values in the lower limbs were searched, and the images were cut in order to identify the different ROI.

In the present study, CM was determined by dividing the load obtained after the evaluation of different manifestations of strength by the lean mass of the region of interest (Hairi et al., 2010, Barbat-Artigas et al., 2013). Thus, to obtain the CM related to the MIS, with the MRI and the power, the corresponding load of each variable was used. The values corresponding to the lean mass used were obtained through the ROI of the body composition images after performing the DXA, in order to compare the means before and after the training and the difference between the training sessions.

Procedures of the training programs

Classical strength training was developed in the multistation machine (BH® fitness Nevada Pro-T, Spain). Such sessions were carried out in various associations of MS, twice a week during a course of 12 weeks. The execution of the exercise was extended in both knees simultaneously, starting from the initial position of sitting on the chair of the multistation machine with knees at 90°, hands holding the appropriate place, and the back completely supported on the backrest. A repetition consists of extending the knees simultaneously, reaching a degree of 180° at the end of the concentric phase of the exercise, and then performing the movement back to the starting position, in order to control the lowering of the weight, that is, the eccentric phase of the exercise.

The training was personalized and prescribed following the general recommendations of the ACSM (2011) and in accordance with the load obtained during the evaluation of the RM performed before starting the training; this training was developed autonomously for each patient, with a frequency of twice a week. The progression used throughout the CG trainings, as well as the progression of the loads can be seen in Table 1.

Table 1: Description of the classic strength training program.

| Week | Set 1 | | Set 2 | | Set 3 | |
|--------------|-----------------|-------|-----------------|------|-----------------|-------|
| | Load (% 1RM) | Reps | Load (% 1RM) | Reps | Load (% 1RM) | Reps |
| 1-2 | 35 | 10-12 | 50 | 8-10 | 35 | 10-12 |
| 3-4 | 40 | 10-12 | 55 | 8-10 | 40 | 10-12 |
| 5-6 | 45 | 10-12 | 60 | 8-10 | 45 | 10-12 |
| 7-8 | 50 | 10-12 | 65 | 8-10 | 50 | 10-12 |
| 9-10 | 55 | 10-12 | 70 | 8-10 | 55 | 10-12 |
| 11-12 | 55 | 10-12 | 70 | 8-10 | 55 | 10-12 |

1RM: one repetition-maximum; reps: repetitions

Each training session comprised 3–4 sets of 10–12 repetitions, performed bilaterally and with an interval of 3 min between the series. The practitioner was oriented to do the concentric phase quickly and the eccentric phase at moderate speed. After performing each training session, in order to control the number of the training sessions, the practitioner left a written record of his performance and observations about his training.

The EERT sessions were carried out on the nHANCE™ Multi Gym machine. In each training session, 4 series with 8 repetitions were performed, with a rest interval of 2 min between the series, twice a week for 13 weeks.

As an object of this investigation, a machine with YoYo Inertial Technology™ called nHANCE™ Multi Gym was used, where the performer, from the sitting position, applies strength with the legs to push the feet against a support. In the initial position, the subject sat with the knees bent around 90°. As a consequence of the force exerted, the rotation of the inertial flywheels is connected to a belt that, in turn, has a tip fixed to the axis where the flyers and the plate are. As the belt unrolls, it causes energy in the flywheels of inertia. This initial phase is where the concentric action is verified, and at the end of the initial movement, the knees must be extended. From there, the belt is wound up as a result of the kinetic energy generated by the rotation of the flywheel on the return to the plate. In order to resist the force generated by the pull of the wheel that picks up the strap, the performer stopped the movement abruptly when the knees were at a 90–110° flexion, thus performing an eccentric action. The next movement begins after stopping the wheel (Tesch et al., 2005).

Due to the particularities of PwMS and to maintain their safety, an adaptation was made to the original chair, where a backrest was placed.

The training data were all controlled and recorded after using the enCoder SmartCoach®, Sweden, on a video monitor; the performers had a visual feedback of their execution and each movement was stimulated by voice commands in order to create the maximum possible strength for each repetition (all out). In addition, the software also makes it possible to observe the behavior of accumulated performance in a session versus performance throughout the training sessions.

Statistical analysis

The data was statistically analyzed using the IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) version 18 (IBM, Chicago, USA). Initially, the data were subjected to the Kolmogorov–Smirnov normality test with the Lilliefors correction. A logarithmic transformation (base 10) was made for the dependent variables that did not reveal a normal distribution. Furthermore, the data was descriptively analyzed through the mean and the standard deviation. The intergroup comparisons for the initial values were done through the Student’s t-test for related samples for the parametric variables and the Mann–Whitney U test for the nonparametric variables. Intragroup (pre × post) and intergroup (GC × EG) comparisons were performed using general linear models and multivariate analysis of covariance (MANCOVA). For this, two factors were used: the time factor for the intragroup comparison and the group factor (type of training) for the intergroup comparison. For all treatments, $p < 0.05$ was considered as statistically significant.

Results

General sample

General characteristics of the sample

The initial sample comprised 75 people; however, only 52 people managed to participate in all the evaluations and successfully completed the proposed training. The data that characterize the sample in their respective groups (CG and EG), are presented in Table 3. Of the 52 people, 19 were men and 33 were women (63.5% of the sample).

Table 2: General characteristics of the sample by group.

| | Control group | Experimental group | N | p |
|-------------------------------|-----------------|----------------------|-------------|-------------|
| Subjects (♂/♀) | 21 (6/15) | 31 (13/18) | - | - |
| Age (years) | 50.6 (9.3) | 46.0 (11.7) | 0.737 | 0.164 |
| Weight (kg) | 65.1 (11.1) | 68.8 (13.3) | 0.754 | 0.269 |
| Height (m) | 1.64 (0.9) | 1.67 (0.9) | 0.499 | 0.141 |
| BMI (kg/m²) | 24.0 (2.9) | 24.3 (4.0) | 0.807 | 0.802 |
| Body composition (kg) | LM | 41.1 (8.9) | 43.7 (9.5) | 0.001 0.251 |
| | FM | 21.4 (6.4) | 22.0 (10.2) | 0.079 0.804 |
| | BMD | 2.5 (0.5) | 2.6 (0.5) | 0.200 0.411 |
| Diagnostic (years) | 11.7 (8.5) | 11.0 (7.6) | 0.241 | 0.829 |
| MS type | 14 RR/6 SP/1 UD | 20 RR/6 PP/2 SP/3 UD | - | - |
| EDSS (au) | 3.9 (1.2) | 3.3 (1.4) | 0.099 | 0.085 |

BMI: body mass index; EDSS: Expanded Disability Status Scale; au: arbitrary unity; MS: Multiple Esclerosis; LM: lean mass; FM: fat mass; BMD: bone mineral density; ♂: men; ♀: women; RR: relapsing–remitting; SP: secondary progressive; PP: primary progressive; UD: undetermined; N: Kolmogorov–Smirnov test with Lilliefors correction.

No initial differences were found between the control and experimental groups for any of the variables considered for the general characteristics of the sample such as follows: the number of subjects, age, weight, height, BMI, EDSS, diagnostic time, and body composition (LM, FM, and BMD). For the body composition, the percentage of FM for the CG was 32% and for the EG 32.2%, not presenting any differences either.

Functional tests

When comparing the average values of the CST functional test, we observed significant differences for the two groups between the pre- and posttraining sessions, indicating improvements for both variables (Table 3). Furthermore, there were differences between the groups since the EERT group revealed a more considerable improvement than the group that was subjected to the classic RT.

Table 3: Intra- and intergroup comparison of the functional capacity tests results.

| | Control group | | | Experimental group | | | P (time) | P (group) |
|------------------|---------------|-----------|------------|--------------------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| CST (rep) | 14.8(4.1) | 16.6(5.4) | 12.8(17.6) | 14.2(5.0) | 18.9(6.2) | 35.8(21.3) | 0.000 | 0.004 |
| TUG (s) | 9.3(3.4) | 8.8(7.6) | -9.3(34.1) | 9.5(6.1) | 6.6(2.3) | -24.7(13.4) | 0.043 | 0.026 |

CST: *chair stand test*; rep: repetitions; TUG: *Timed 8-foot Up and Go*; s: seconds; Δ%: difference percentage between pre- and postintragroup values; p: p-value.

Muscle strength assessment

Maximum isometric strength

No differences were observed for any of the comparisons made for the MIS (Table 4).

Table 4: Intra- and intergroup comparison of bilateral and unilateral results for the maximum isometric strength test.

| | Control group | | | Experimental group | | | P (time) | p (group) |
|-------------------|---------------|------------|-----------|--------------------|------------|-----------|-------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| MISBi (kg) | 79.1(27.1) | 79.7(28.3) | 1.0(13.8) | 89.4(31.8) | 95.6(31.5) | 9.3(16.8) | 0.135 | 0.192 |
| MIS_R (kg) | 35.3(12.8) | 36.3(13.5) | 3.0(13.7) | 44.7(14.0) | 46.6(15.6) | 4.7(14.8) | 0.077 | 0.579 |
| MIS_L (kg) | 39.6(12.5) | 40.4(13.7) | 1.8(13.2) | 44.4(15.5) | 46.2(15.3) | 5.7(12.7) | 0.052 | 0.465 |

MIS: maximum isometric strength; Bi: bilateral; R: right leg; L: left leg; kg: kilograms; Δ%: difference percentage between pre and post intragroup values; p: p-value.

Maximum dynamic strength

Statistical analyzes revealed existing differences between the pre- and postvalues for the two groups in the comparisons of the MRI of the lower limbs, bilaterally and unilaterally (Table 5). When the group factor is considered, no differences were found in the bilateral MRI; however, differences were found for RM evaluations unilaterally, being the most pronounced improvement for the EG.

Table 5: Intra- and intergroup comparison of bilateral and unilateral results for the maximum dynamic strength test.

| | Control group | | | Experimental group | | | P (time) | P (group) |
|------------------|---------------|------------|------------|--------------------|------------|------------|-------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| RMBi (kg) | 72.0(22.9) | 79.7(27.7) | 10.4(16.1) | 80.8(27.0) | 94.5(25.8) | 20.3(16.7) | 0.004 | 0.061 |
| RM_R (kg) | 28.5(13.4) | 34.0(15.2) | 23.8(24.4) | 36.5(14.3) | 46.1(17.8) | 33.2(22.1) | 0.000 | 0.018 |
| RM_L (kg) | 32.0(14.6) | 35.8(14.3) | 17.4(22.8) | 37.6(15.0) | 45.3(18.2) | 26.7(18.8) | 0.000 | 0.006 |

RM: maximum dynamic strength; Bi: bilateral; R: right leg; L: left leg; kg: kilograms; Δ%: difference percentage between pre and post intragroup values; p: p-value.

Muscle power

During analysis of the time factor, there were differences for AMP at 40, 50, and 60% of the 1RM for the EG (Table 6). No differences were observed in 70% of the AMP, neither for the time factor nor for the group factor. What corresponds to the AMP at 80%, a difference has been found relative to the group factor.

Table 6: Intra- and intergroup comparison of bilateral results for the average muscle power test.

| | Control group | | | Experimental group | | | p (time) | p (group) |
|-------------------|---------------|--------------|-------------|--------------------|--------------|------------|-------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| AMP 40 (w) | 201.2(78.5) | 220.7(89.6) | 6.5(32.7) | 247.9(106.4) | 271.3(93.8) | 19.2(24.6) | 0.000 | 0.450 |
| AMP 50 (w) | 214.5(92.5) | 230.3(102.4) | 3.9(35.4) | 268.8(105.8) | 285.8(108.2) | 13.8(26.5) | 0.018 | 0.591 |
| AMP 60 (w) | 214.6(94.8) | 229.9(102.0) | 5.9(37.8) | 278.7(125.6) | 304.2(136.1) | 10.9(24.6) | 0.013 | 0.517 |
| AMP 70 (w) | 205.7(98.5) | 197.7(95.6) | 1.3(88.8) | 276.0(136.6) | 275.6(127.3) | 6.2(30.8) | 0.584 | 0.604 |
| AMP 80 (w) | 195.3(108.9) | 168.3(90.0) | -21.1(50.7) | 261.7(148.1) | 274.8(160.6) | 14.3(46.8) | 0.349 | 0.046 |

AMP: average muscle power; w: watts; Δ%: difference percentage between pre and post intragroup values; p: p-value.

Bone mineral density, fat mass, and lean mass of the region of interest

For the time and group factors, the FM did not suffer any alterations, neither bilaterally nor unilaterally (Table 7). For all other variables, differences have been found when analyzing the time factor. Considering the group factor, differences were found in the ROI of the right side for the BMD and for the LM.

Table 7: Intra- and intergroup comparison of the bone mineral density, fat mass, and lean mass results of bilateral and unilateral ROI.

| | Control group | | | Experimental group | | | p (time) | p (group) |
|---------------------------------|---------------|----------|-----------|--------------------|----------|-----------|-------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| BMDBi (g/MQ²) | 1.4(0.2) | 1.4(0.2) | -1.7(2.4) | 1.4(0.2) | 1.4(0.2) | -0.7(2.3) | 0.001 | 0.142 |
| FMBi (kg) | 5.2(1.9) | 5.3(2.0) | 1.6(5.5) | 5.5(2.8) | 5.6(2.6) | 7.2(30.5) | 0.149 | 0.828 |
| LMBi (kg) | 7.4(1.9) | 7.4(2.0) | 0.6(2.8) | 8.6(2.3) | 8.8(2.3) | 1.9(3.8) | 0.010 | 0.188 |
| BMD_R (g/MQ²) | 1.4(0.2) | 1.4(0.2) | -2.4(3.1) | 1.4(0.2) | 1.4(0.2) | -0.5(2.9) | 0.001 | 0.025 |
| FM_R (kg) | 2.6(1.0) | 2.7(1.0) | 1.0(5.7) | 2.9(1.4) | 2.9(1.3) | 1.4(9.3) | 0.387 | 0.561 |
| LM_R (kg) | 3.7(0.9) | 3.7(1.0) | 0.1(3.4) | 4.3(1.1) | 4.4(1.2) | 2.4(3.7) | 0.006 | 0.036 |
| BMD_L (g/MQ²) | 1.4(0.2) | 1.4(0.2) | -0.9(2.8) | 1.4(.2) | 1.4(.2) | -0.8(3.1) | 0.035 | 0.889 |
| FM_L (kg) | 2.6(0.9) | 2.6(1.0) | 2.3(6.2) | 2.7(1.3) | 2.8(1.3) | 2.9(8.7) | 0.075 | 0.735 |
| LM_L (kg) | 3.7(1.0) | 3.7(1.0) | 1.1(3.2) | 4.3(1.2) | 4.4(1.2) | 1.4(4.1) | 0.026 | 0.689 |

BMD: bone mineral density; FM: fat mass; LM: lean mass; Bi: bilateral; R: right leg; L: left leg; Δ%: difference percentage between pre and post intragroup values; p: p-value.

Muscle quality

After analyzing the muscle quality (MQ) data of the ROI related to various strength manifestations, for the time factor and for the group factor, no alterations were observed for the MIS (Table 8). For the MQ that concerns the RM, the time factor presented differences bilaterally and for the right leg. For the left leg, both factors (time and group) revealed differences, which indicates that the EG presented a considerable improvement than the GC.

In contrast, the MQ corresponding to the power revealed differences at 40, 50, and 60% for the time factor and the power at 80% presented changes for the group factor.

Table 8: Intra- and intergroup comparison of the muscle quality results of bilateral and unilateral ROI.

| | Control group | | | Experimental group | | | p (time) | p (group) |
|----------------|---------------|-----------|------------|--------------------|------------|------------|-------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| MQMISBi | 10.6(1.7) | 10.6(2.0) | 0.5(14.2) | 10.34(2.2) | 10.9(2.1) | 7.4(16.4) | 0.150 | 0.156 |
| MQMIS_R | 9.6(2.1) | 9.8(2.2) | 3.1(14.7) | 10.4(1.9) | 10.6(2.1) | 2.3(14.2) | 0.297 | 0.915 |
| MQMIS_L | 10.7(1.6) | 10.8(2.1) | 0.7(13.1) | 10.3(2.0) | 10.6(2.0) | 4.3(12.3) | 0.190 | 0.417 |
| MQRMBi | 9.7(1.7) | 10.7(2.2) | 9.9(16.6) | 9.4(2.1) | 10.9(2.3) | 18.2(16.8) | 0.000 | 0.127 |
| MQRM_R | 7.5(2.5) | 9.0(2.4) | 23.9(25.7) | 8.3(2.2) | 10.3(2.6) | 30.0(21.1) | 0.000 | 0.084 |
| MQRM_L | 8.4(2.2) | 9.4(2.2) | 16.1(21.7) | 8.5(2.2) | 10.3(2.7) | 25.3(18.6) | 0.000 | 0.028 |
| MQAMP40 | 26.6(6.6) | 29.2(7.1) | 11.4(22.8) | 28.0(8.1) | 31.6(7.0) | 17.3(24.5) | 0.000 | 0.532 |
| MQAMP50 | 28.5(8.2) | 30.1(8.0) | 8.9(27.8) | 30.6(7.6) | 33.3(7.9) | 11.9(26.0) | 0.012 | 0.525 |
| MQAMP60 | 28.3(8.5) | 30.0(7.5) | 10.8(30.0) | 31.7(9.4) | 34.3(10.8) | 9.2(24.9) | 0.013 | 0.590 |
| MQAMP70 | 27.4(9.2) | 25.4(8.3) | 10.4(81.4) | 31.2(10.6) | 31.0(9.8) | 4.3(30.5) | 0.399 | 0.460 |
| MQAMP80 | 26.3(10.3) | 21.1(8.1) | -8.5(42.1) | 29.5(12.1) | 30.1(12.3) | 11.9(43.9) | 0.104 | 0.039 |

MQ: muscle quality; MIS: maximum isometric strength; RM: maximum dynamic strength; AMP: average muscle power; Bi: bilateral; R: right leg; L: left leg; Δ %: difference percentage between pre and post intragroup values; p: p-value.

Matched sample

General characteristics of the matched sample

The matched sample comprised 24 people, with 12 in each group, being 4 men and 8 women, representing 66% of the sample. The general characteristics of the groups are presented in Table 9.

Table 9: General characteristics of the matched sample by groups.

| | Control group | Experimental group | N | P | |
|-------------------------------|---------------|---------------------|-------------|-------|-------|
| Subjects (♂/♀) | 12 (4/8) | 12(4/8) | - | - | |
| Age (years) | 46.9 (8.1) | 50.5(10.2) | 0.200 | 0.345 | |
| Weight (kg) | 64.1 (11.1) | 65.1(15.7) | 0.103 | 0.858 | |
| Height (m) | 165.6 (10.4) | 165.7(8.6) | 0.152 | 0.983 | |
| BMI (kg/m²) | 23.3 (2.6) | 23.6(4.6) | 0.200 | 0.856 | |
| Body composition (kg) | LM | 41.7 (9.3) | 43.2 (10.6) | 0.018 | 0.686 |
| | FM | 20.6 (6.5) | 19.6 (11.7) | 0.072 | 0.796 |
| | BMD | 2.6 (0.4) | 2.5 (0.5) | 0.959 | 0.650 |
| Diagnostic (years) | 8.7 (7.6) | 10.4(8.8) | 0.075 | 0.608 | |
| MS type | 8 RR/4 SP | 7 RR/2 PP/2 SP/1 UD | - | - | |
| EDSS (au) | 3.9 (1.2) | 3.8(1.1) | 0.200 | 0.862 | |

BMI: body mass index; EDSS: Expanded Disability Status Scale; au: arbitrary unity; MS: Multiple Sclerosis; LM: lean mass; FM: fat mass; BMD: bone mineral density; ♂: men; ♀: women; RR: relapsing-remitting; SP: secondary progressive; PP: primary progressive; UD: undetermined; N: Kolmogorov Smirnov test with Lilliefors correction.

Presumably, no differences were found for the parameters evaluated, considering that the pairing of the sample was carried out according to age, weight, height, EDSS, time of diagnosis, and body composition (LM, FM, and BMD).

Functional tests

For the values presented by the CST test, differences were observed between the values for the time and group factors, since the data revealed that the improvements were more pronounced in the EG (Table 10). For the TUG test, time was the only factor that presented differences.

Table 10: Intra- and intergroup comparison of the functional capacity tests results of the matched sample.

| | Control group | | | Experimental group | | | p (time) | p (group) |
|------------------|---------------|-----------|-------------|--------------------|-----------|-------------|----------|-----------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| CST (rep) | 16.1(4.4) | 17.6(5.7) | 10.1(18.5) | 13.5(4.5) | 17.7(5.4) | 33.5(22.1) | 0.000 | 0.035 |
| TUGm (s) | 8.2(2.4) | 7.0(2.1) | -14.0(13.3) | 9.5(5.1) | 6.7(2.5) | -25.5(13.0) | 0.000 | 0.109 |

CST: *chair stand test*; rep: repetitions; TUG: *Timed 8-foot Up and Go*; s: seconds; Δ%: difference percentage between pre and post intragroup values; p: p-value.

Muscle strength assessment

Maximum isometric strength

No differences were found for any MIS results considering the time and group factors (Table 11).

Table 11: Intra- and intergroup comparison of the bilateral and unilateral results for the maximum isometric strength test of the matched sample.

| | Control group | | | Experimental group | | | p (time) | p (group) |
|-------------------|---------------|------------|-----------|--------------------|------------|------------|-------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| MISBi (kg) | 83.7(29.4) | 84.5(26.7) | 2.6(12.5) | 78.6(24.3) | 81.5(17.3) | 8.0(18.0) | 0.437 | 0.661 |
| MIS_R (kg) | 38.2(13.8) | 39.1(12.6) | 4.0(10.8) | 42.5(11.1) | 41.9(9.7) | -0.1(11.0) | 0.863 | 0.458 |
| MIS_L (kg) | 42.0(13.7) | 41.4(13.5) | -1.1(9.5) | 37.2(10.8) | 38.5(8.6) | 6.5(15.3) | 0.633 | 0.239 |

MIS: maximum isometric strength; Bi: bilateral; R: right leg; L: left leg; kg: kilograms; Δ%: difference percentage between pre and post intragroup values; p: p-value.

Maximum dynamic strength

The two groups presented gains from RM manifestations considering the time factor (Table 12). No differences were observed for the group factor.

Table 12: Intra- and intergroup comparison of the bilateral and unilateral results for the maximum dynamic strength test of the matched sample.

| | Control group | | | Experimental group | | | p (time) | p (group) |
|------------------|---------------|------------|------------|--------------------|------------|------------|-------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| RMBi (kg) | 74.0(21.5) | 84.7(24.1) | 16.1(16.7) | 69.2(23.3) | 84.2(22.8) | 25.3(14.7) | 0.000 | 0.241 |
| RM_R (kg) | 29.7(12.3) | 35.8(13.5) | 24.7(20.8) | 32.3(13.0) | 41.5(12.5) | 34.7(23.4) | 0.000 | 0.198 |
| RM_L (kg) | 32.3(14.6) | 38.4(15.2) | 23.9(19.9) | 32.9(12.5) | 40.5(12.5) | 27.4(22.6) | 0.000 | 0.531 |

RM: maximum dynamic strength; Bi: bilateral; R: right leg; L: left leg; kg: kilograms; Δ%: difference percentage between pre and post intragroup values; p: p-value.

Muscle power

When the time factor was considered, the AMP at 40% obtained statistical changes and only the AMP at 80% presented differences (Table 13).

Table 13: Intra- and intergroup comparison of the bilateral results for the average muscle power test of the matched sample.

| | Control group | | | Experimental group | | | p (time) | p (group) |
|-------------------|---------------|--------------|-------------|--------------------|--------------|------------|-------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| AMP 40 (w) | 211.1(85.0) | 241.2(89.2) | 18.2(23.4) | 208.3(69.3) | 239.1(69.4) | 18.8(22.1) | 0.001 | 0.965 |
| AMP 50 (w) | 235.5(100.4) | 247.8(104.6) | 7.6(19.3) | 228.3(78.1) | 259.6(84.8) | 19.9(34.2) | 0.061 | 0.397 |
| AMP 60 (w) | 238.2(97.7) | 235.6(105.0) | -1.6(15.2) | 235.3(100.3) | 248.3(118.0) | 3.7(27.9) | 0.581 | 0.409 |
| AMP 70 (w) | 241.7(101.6) | 212.7(105.5) | -16.9(22.0) | 229.8(121.4) | 230.8(97.5) | 7.6(34.6) | 0.123 | 0.107 |
| AMP 80 (w) | 238.1(127.5) | 173.2(120.4) | -24.3(36.8) | 210.8(108.8) | 214.3(98.3) | 22.9(64.3) | 0.053 | 0.033 |

AMP: average muscle power; w: watts; Δ%: difference percentage between pre and post intragroup values; p: p-value.

Bone mineral density, fat mass, and lean mass of ROI

Considering the time factor, statistical alterations were revealed for the LMBi, BMD_R, FM_R, LM_R, and FM_L (Table 14). For the group factor, no statistical differences were found for any of the variables analyzed.

Table 14: Intra- and intergroup comparison of the bone mineral density, fat mass, and lean mass results of the bilateral and unilateral ROI of the matched sample.

| | Control group | | | Experimental group | | | p (time) | p (group) |
|---------------------------------|---------------|----------|------------|--------------------|----------|-----------|-------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| BMDBi (g/MQ²) | 1.5(0.2) | 1.4(0.2) | -0.2(0.4) | 1.4(0.2) | 1.4(0.2) | 0.0(0.0) | 0.054 | 0.198 |
| FMBi (kg) | 5.1(2.1) | 5.3(2.2) | 0.2(.2) | 5.1(3.3) | 5.5(2.9) | 0.4(1.0) | 0.058 | 0.480 |
| LMBi (kg) | 7.6(2.0) | 7.7(2.2) | 0.1(0.2) | 8.0(2.2) | 8.2(2.3) | 0.2(0.4) | 0.024 | 0.238 |
| BMD_R (g/MQ²) | 1.5(0.2) | 1.4(0.2) | -0.4(0.1) | 1.4(0.1) | 1.4(0.2) | -0.1(0.0) | 0.012 | 0.150 |
| FM_R (kg) | 2.6(1.1) | 2.7(1.1) | 0.1(0.1) | 2.7(1.6) | 2.8(1.5) | 0.1(0.2) | 0.021 | 0.833 |
| LM_R (kg) | 3.8(1.0) | 3.8(1.1) | 0.0(0.1) | 4.0(1.1) | 4.2(1.1) | 0.1(0.2) | 0.014 | 0.173 |
| BMD_L (g/MQ²) | 1.5(0.2) | 1.4(0.2) | -0.01(0.0) | 1.4(0.2) | 1.4(0.2) | 0.0(0.0) | 0.684 | 0.531 |
| FM_L (kg) | 2.5(1.0) | 2.6(1.1) | 0.1(0.1) | 2.6(1.5) | 2.7(1.4) | 0.1(0.2) | 0.023 | 0.775 |
| LM_L (kg) | 3.8(1.1) | 3.8(1.1) | 0.0(0.1) | 4.0(1.1) | 4.1(1.2) | 0.1(0.2) | 0.075 | 0.441 |

BMD: bone mineral density; FM: fat mass; LM: lean mass; Bi: bilateral; R: right leg; L: left leg; Δ%: difference percentage between pre and post intragroup values; p: p-value.

Muscle quality

After analyzing the MQ data, referring to the ROI related to different manifestations of force, no differences were observed for the MIS (Table 15). For the RM data, we observed increases related to the time factor. In the data that correspond to the AMP for both groups concerning the time factor, differences were demonstrated at 40 and 70% of 1RM. In particular, in the MQAMP80, differences have been observed for the time factor and for the group factor.

Table 15: Intra- and intergroup comparison of the muscle quality results of the bilateral and unilateral ROI of the matched sample.

| | Control group | | | Experimental group | | | p (time) | p (group) |
|----------------|---------------|-----------|-------------|--------------------|------------|------------|-------------|--------------|
| | PRE | POST | Δ % | PRE | POST | Δ % | | |
| MQMISBi | 10.9(1.4) | 11.0(1.1) | 2.1(12.7) | 10.0(2.4) | 10.2(1.7) | 5.4(18.7) | 0.599 | 0.857 |
| MQMIS_R | 10.0(1.7) | 10.2(1.4) | 3.7(12.1) | 10.7(1.8) | 10.4(2.1) | -3.4(9.9) | 0.822 | 0.231 |
| MQMIS_L | 11.0(1.1) | 10.8(1.5) | -1.8(9.1) | 9.4(1.9) | 9.7(1.5) | 4.4(13.6) | 0.859 | 0.271 |
| MQRMBi | 9.7(1.3) | 11.1(1.0) | 15.4(16.6) | 8.7(2.2) | 10.4(2.5) | 22.2(15.3) | 0.000 | 0.416 |
| MQRM_R | 7.6(1.4) | 9.2(1.4) | 24.3(21.8) | 8.0(2.4) | 10.0(2.1) | 30.4(22.9) | 0.000 | 0.524 |
| MQRM_L | 8.1(1.8) | 9.8(1.7) | 23.2(20.5) | 8.1(2.1) | 9.3(2.1) | 25.7(22.6) | 0.000 | 0.960 |
| MQAMP40 | 27.2(5.8) | 31.0(5.1) | 17.7(24.3) | 25.7(6.7) | 28.8(5.2) | 16.1(20.4) | 0.003 | 0.704 |
| MQAMP50 | 30.3(7.2) | 31.7(7.3) | 7.0(20.1) | 28.4(8.2) | 31.2(6.4) | 17.2(34.2) | 0.081 | 0.569 |
| MQAMP60 | 30.8(6.8) | 30.0(7.5) | -2.2(15.1) | 29.3(9.6) | 29.8(10.9) | 1.2(27.8) | 0.858 | 0.510 |
| MQAMP70 | 31.9(6.5) | 26.2(8.8) | -17.5(22.2) | 28.4(11.9) | 27.8(9.0) | 5.0(35.0) | 0.036 | 0.086 |
| MQAMP80 | 29.9(10.5) | 20.4(9.7) | -24.7(37.2) | 26.1(11.2) | 25.5(7.4) | 19.2(59.9) | 0.014 | 0.028 |

MQ: muscle quality; MIS: maximum isometric strength; RM: maximum dynamic strength; AMP: average muscle power; Bi: bilateral; R: right leg; L: left leg; Δ %: difference percentage between pre and post intragroup values; p: p-value.

Discussion

General sample

Characteristics of the sample

In this section we discuss the main characteristics of the sample of the present study. Analyzing these characteristics is important, since it can give a general idea of how this study sample was compared to other studies published with PwMS. In addition, presumably, the samples with similar characteristics should produce similar results.

The sample age of the present study included an average of around 48 years. Other studies with the theme of physical exercise with PwMS conducted their research with age values similar to the present study. Dalgas et al. (2009) conducted a research with 35 patients, where the age of patients was around 48 years; De Souza-Teixeira et al. (2009) recruited 13 patients, aged approximately 43 years; and Medina-Pérez (2012) worked with 172 patients, with an average age of 49 years. Manca et al. (2017) worked with 20 people and Wens et al. (2017) worked with 34 volunteers, with the same average age of approximately 45 years.

Body mass (kg) presented mean values similar to the studies by Dalgas et al. (2009) (CG: 66.9 and range between 58.8 and 75.0, EG: 70.1 and interval between 62.3 and 78.0) and Medina-Pérez et al. (2014) (CG: 63.3 ± 12.0 , EG: 68.1 ± 11.4) in which the other similarities included more women than men in the groups studied and that age was not a selection criterion of the sample.

According to the values established by the WHO (2017), the mean BMI values of the sample studied indicate that the subjects belonged to the normal classification and that they are in accordance with the findings of Ortiz-Moncada et al. (2011) for the general Spanish population, in which 83% of people between 45 and 60 years, both male and female, are classified as overweight and underweight. These values are also in accordance with that of Wingo, Young, Motl (2017) (men with EM 23.6 ± 2.5 and women with MS 26.1 ± 5.2).

In body composition, it is important to emphasize the risks associated with the total body fat and lean mass, since the composition of the individual body segments has been particularly important in predicting the risk of certain diseases. Increased central adiposity may be associated with cardiometabolic disease, stroke, and cancer, whereas

decreased appendicular lean mass is associated with increased falls and frailty (González et al., 2017; Scott et al., 2017; Takahashi et al. 2017). Comparing the percentage data presented by Wingo, Young, Motl (2017) (men with MS 24.5 ± 4.3 and women with MS 36.4 ± 7.7), where significant differences have been observed throughout the body and the regional body composition among men with BMI paired with and without MS, we observed that men with MS had significantly less lean body mass and greater fat mass. Likewise, as the sample of the present study presents the highest percentage of FM, this indicates a greater risk of developing associated comorbidities.

Considering the time of diagnosis, with an average of 10 years, the sample is in accordance with that of Bove and Chitnis (2013), who state that MS is usually diagnosed between 25 and 40 years, and is analogous to the average of the study samples developed by Stroud and Minahan (2009) (12 ± 8 years) and Medina-Pérez et al. (2016) (CG: 10.4 with an interval of 7–13.7 years, EG: 10.9 with an interval of 7.9–14 years). They also agree with the public health data that reveals that MS is the neurological disability affecting young adults (Tejera-Alhambra et al., 2015).

For both groups, the mean in the scale that measures the level of disability (EDSS) is similar to the values measured by White et al. (2004) (3.7 ± 1) and presented according to the data of Dalgas et al. (2009) (GC: 3.9 with an interval of 3.5–4.4, EG: 3.7 with an interval of 3.2–4.2), De Souza-Teixeira et al. (2009) (3.3 ± 1.6), Fimland et al. (2010) (CG: 3.5 ± 0.5 , EG: 4.6 ± 0.4), and Manca et al. (2017) (EG1: 3.8 ± 1.39 , EG2: 3.0 ± 1.0). The mean value of the EDSS for the sample studied indicates that the patients can walk around 500 m without assistance and may have severe disability in a functional or moderate system in more than one of these systems. Knowing the EDSS of the sample, allows us to understand how a population with a certain level of disability responds to stimuli, while different levels of the disease can generate different responses to the training stimuli. In accordance, it is possible to observe that the initial values did not reveal significant differences between the groups, which indicate certain homogeneity between the two groups.

Functional tests

It has been revealed that the maximal muscle strength is an important predictor of the functional capacity of PwMS (Kjølhede et al., 2015). Thus, we may consider that a

PE program in PwMS could positively impact the variables that indicate the functional capacity of these people.

The two groups have improved in the realization of the number of squats performed in the CST and they have also decreased the time for the realization of the TUG. Similar results are described by Aïdar et al. (2017), in PwMS who participated in a general EF program, presenting improvements in the two tests with values of $p = 0.017$ and $p = 0.021$, respectively.

Specifically in the TUG, positive results as a result of participation in a PE program are reported by Moradi et al. (2015) ($p = 0.006$ for the strength training group), by Çakıt et al. (2010) ($p < 0.01$ in the strength training group), and by De Souza-Teixeira et al. (2009) ($p < 0.001$); however, Pearson, Dieberg and Smart (2015) in a meta-analysis study found no positive effects of EF on the performance in the TUG.

Based on our results and other studies on PE in PwMS (Aïdar et al., 2017; Moradi et al., 2015; Çakıt et al., 2010; De Souza-Teixeira et al., 2009), notably, EF is able to decrease the average time of the test, which may indicate that, perhaps some people benefited from a positive transfer of strength gains promoted by the RT, for the speed of travel with a change of direction (TUG).

While comparing the types of PE used in the present study, the EG provided greater improvements than the CG. A possible explanation for this finding may lie in the fact that the eccentrically reinforced exercises can produce greater activity of the cerebral cortex than the concentric exercises (Fang et al., 2001). This suggests that, perhaps the most pronounced gains in the functional tests produced by the EERT and the CST, which may represent increases in strength/power of the lower limbs, as in the TUG, may be due to the greater neural activity produced by the eccentric exercises (Fang et al., 2001).

In samples without any previous experience in PE, Pau et al. (2017) reported that after PE, PwMS with moderate EDSS have improved spatiotemporal gait parameters, in addition to increasing the dynamic range of movement during walking. This may also justify the increase in the representative values in the TUG functional test for the two groups in the present study.

Additionally, the findings of Dalgas et al. (2013) demonstrated that 12 weeks of high intensity progressive EF in the lower extremities improve the neuronal impulse in PwMS, with effects that persist after 12 weeks of self-guided physical activity. Such improvements could also justify the most pronounced gains in the functional tests for the EERT carried out in the present study, considered as high intensity training.

Muscle strength assessment

Maximum isometric strength

After evaluating the MISBi of the participants of the present study, it was observed that the pre- and postvalues obtained are superior to the other studies that used the same protocol used by this study, such as the one developed by De Souza-Teixeira et al. (2009) and by Medina-Pérez (2012). No references were found for the comparison of the means of values for the legs, bilaterally and unilaterally (right and left separately).

The highest values of the present study, compared to others, may be due to the condition and approach of the physical exercise practice of the present sample, considering that the participants were already involved in the practice of RT. In part, this may also explain that, after the statistical analysis, no significant changes were observed between the pre- and posttraining MISBi (time factor); however, studies by Dalgas et al. (2009), De Souza-Teixeira et al. (2009), and Medina-Pérez (2012) found significant gains in MIS in PwMS who did classic RT, where the volunteers were untrained.

Considering that the evaluation of the MIS in our study had the function of establishing the initial load for the evaluation of the RM, the reasons for no changes in the MIS in both groups after the RT, would be based on the fact that the performance of the exercises proposed throughout the training includes exclusively dynamic stimuli, that is, no isometric muscle actions were used during the training, or even this type of muscular action was prioritized.

In the research conducted by Dalgas et al. (2009) after 12 weeks of intense RT in the lower extremities, the results indicated improvements in MIS with effects that persisted after 12 weeks of self-guided physical activity.

An investigation with young and healthy women developed by Hortobágyi et al. (2001), describes the related changes after performing the eccentric RT, and found an increase in the MIS. Alternatively, when comparing the EERT, combined concentric–eccentric and classic, the people who underwent the EERT obtained more gains in the MIS than the other groups of PE (Hortobágyi et al., 2000).

In contrast to results presented in other populations, the study developed by Hayes, Gappmaier and LaStayo (2011) in PwMS indicated that the performance of a training exercise with the eccentric exercise did not indicate significant gains in strength of the lower extremities than the group that has made EF with progressive load. In accordance

with the present study, both groups did not reveal any significant improvements for this variable.

Notably, although there were no positive changes in the values verified for the MIS, no negative changes were observed either. Considering that MS is a neurodegenerative disease, we must understand that it is as important to have gains in strength and maintain it; the average of the MIS of the GC participants of the present study was maintained and the EG values increased, despite not having presented a statistical significance.

In this sense, Medina-Pérez et al. (2014) developed a study designed to evaluate the effects of a 12-week detraining period on the muscle strength (isometric and endurance) and muscle power in PwMS who had previously performed a 12-week RT program. Their results indicated that the protocol used increased the MIS and power; however, it did not induce any change in the muscle endurance. In addition, this was the first study that elicited responses to detraining in MS patients after RT. The data revealed that 12 weeks of detraining was sufficient to reduce the maximum strength to the pretraining levels. Thus, the results of this study also support the continued use of RT in PwMS.

Maximum dynamic strength

In the mean values found in the study sample, for the evaluation in the leg extension (extension of the knees), it is observed that, in relation to the time factor, the two groups have increased the RM both in the bilateral and unilateral evaluation. In addition, it was observed that performing EG training indicates significantly more pronounced improvements for RM for both the right and the left leg.

After classical training in PwMS, some studies described significant changes in RM in accordance with the findings of the present study, such as those developed by Moradi et al. (2015) ($p=0.006$ for the strength training group) and Dodd et al. (2011) ($p<0.05$). For a population other than the present study, gains in RM after eccentric training in healthy people were described by Hortobágyi et al. (2001) in young women, and by Brandenburg and Docherty (2002) in young men.

Casillas et al. (2015), developed a study with people with chronic heart failure, which in some way approaches the sample of the present study due to the neuronal

involvement of the sample, and found that after eccentric training, the participants had gains in RM in the sural triceps in the group that was subjected to the eccentric strength training, but not for the group that was trained concentrically.

The data of the present study indicate that the classic training and the EERT produced similar effects in relation to the increase of the bilateral dynamic force in the knee extension movement. When these results of present study are related to the scientific literature, contrasting results are described by Hortobágyi et al. (1996), Berg and Tesch (1998), Aagard et al. (2000), and Vikne et al. (2006), who observed in healthy people, that the EERT provided greater strength gains than the classical training. This occurs in the present study when we analyze the values found in the legs unilaterally.

Nevertheless, the research conducted by Kim et al. (2015), where 13 people were separated into 2 groups, one with eccentric training and the other with concentric training and were subjected to 8 weeks of training thrice a week, of the supraspinatus muscle, revealed that the eccentric training of shoulder abduction leads to gains in strength, similar to the concentric as well as the data found in the present study.

Related to the neural components of the force gains, it is observed that the muscle can increase its force output, independently of the production of structural modifications (Enoka, 1988). The increase in strength through neural adaptations can be explained by the improvement of the mechanisms involved in the recruitment of motor units (Enoka, 1988, Kent-Braun et al., 1994, Nielsen, 1997).

In that sense, the increase of the contractile force in the skeletal muscle by the neural adaptation can result from an improvement in the synchrony of the recruitment of the motor units and the recruitment of additional motor units. Such improvement in the pattern of recruitment is a consequence of a blocking or reduction of inhibitory impulses, allowing more motor units to be activated simultaneously. Additionally, the improvement in the coding of the frequencies in the motor unit firing and the alterations in the morphology of the neuromuscular junction are also associated with the increase in contractile force (Broekmans et al., 2011; De Souza-Teixeira et al., 2009; Enoka, 1997).

It seems that both types of classical training or EERT are capable of producing neural adaptations that will induce an increase in dynamic muscular strength; however, there seems to be no consensus in the scientific literature on what type of training would produce more accentuated changes in this variable, while the studies present contradictory results. Thus, it is possible to deduce that people with neural involvement, such as PwMS,

can obtain benefits as a consequence of the practice of RT, regardless of the type of muscular action used (concentric or eccentric).

Muscle power

There are very few studies that were dedicated to assess the muscle power in PwMS, which makes it difficult to compare and interpret the results obtained in the present work.

The findings of the research presented by Medina-Pérez et al. (2016) suggest that 12 weeks of high-speed PE improve both MIS and muscle power with five different loads in patients with RR-type MS. In contrast to what has been described, the present study has revealed potential gains for both groups at loads of 40, 50, and 60% of 1RM; however, for 80% of 1RM, alterations in muscle power were found, since the CG average has decreased as the average of the EG has had a slight increase.

Such fact, promotes the opportunity to question whether the difference described is in function of the improvement in the EG or virtue that the AMP generated by the CG was not sufficient to accompany the gains of the RM, since the charges that were used for performance of the AMP test is based on the 1RM load.

Notably, the participants in the present study had previous experience in PE and that gains in trained people tend to occur less noticeably (Kenney, Wilmore and Costill, 2015), which may justify the lack of improvements under the types of workouts.

Since muscle power is the product between strength and contraction speed (Reid and Fielding, 2012), increases in this variable could be explained by increases in muscle strength or increases in the speed of contraction. Thus, it is possible to think that the increase in muscle power mediated by increases in strength after the RT in the initial load, could be related to morphological adaptations (Moritani and DeVries, 1979) and/or neurological (Schoenfeld, Ogborn and Krieger, 2015) as well as the profits presented in the RM.

The main morphological adaptation caused by PE is the increase in the cross-sectional area of the skeletal muscle fibers (Davies et al., 2016; Davies et al., 2017) which can lead to a greater production of force by increasing in the number of crossed bridges arranged in parallel, especially in type II fibers; the production of changes in fiber type and muscle architecture; the increase in the density of myofilaments; and the promotion

of adaptations in connective tissue structures and muscle tendons (Folland and Willians, 2007).

The main neurological adaptation produced by RT is the increase in muscle activation (Davies et al., 2016, Davies et al., 2017). This increase can lead to greater force production by increasing the number of motor units recruited, speed and firing frequency in the motor units, improving the activation pattern and synchronization of motor unit recruitment, increased excitability in motoneurons, blockade or reduction of inhibitory impulses, allowing more motor units to be activated simultaneously, decreased autogenic inhibition, and decreased coactivation of the agonist musculature (Gabriel, Kamen and Frost, 2006). In addition, it is possible that changes in the intrinsic characteristics of the motor neurons are responsible for the improvement of the activation of the motor units during the first phases of strength training (Gabriel, Kamen and Frost, 2006).

Alternatively, the increase in the power mediated by the increase in the speed of contraction, would be related to the muscle contractile property that can increase, independently of alterations in the size and composition of the muscle and with the neuromuscular activation that leads to a decrease in the time needed to reach maximum strength and an increase in muscle energy generation (Reid and Fielding, 2012).

As observed in the previous section, there was an increase in RM, which may support that, in the EG, the observed increase in muscle power is very likely to be explained by gains in the force component, especially induced by neural adaptations (Schoenfeld, Ogborn and Krieger, 2015) or for the gains in the LM presented by the volunteers of the two groups.

Increases in the muscle power with statistical significance as a consequence of RT were limited to low or intermediate RT loads (40, 50, and 60% of 1RM). In the highest load (80% of 1RM) improvement was observed after the EERT. One possible explanation for this finding is due to the specificity of the training that the EG patients, despite training 100% of their strength, mobilized intermediate inertial wheels during the training, since they are the most adequate to the maximum production of muscle power during this type of training (Franco, 2014). In turn, CG patients were also trained with loads considered intermediate, with the decrease in AMP observed in this group, possibly explained by the lack of specificity of the training to generate AMP gains with higher training loads, such as 70 and 80% of the 1RM.

Knowing that lack of training or detraining significantly affects the levels of strength and muscular power in PwMS (Medina-Pérez et al., 2014), we may consider that

the ST must be continued for these people, since that the power in the lower limbs is related to the maintenance of physical capacity and mobility, with direct impacts on the quality of life (Brady, Straight and Evans, 2014; Schaap, Koster and Visser, 2013).

Bone mineral density, fat mass, and lean mass of the region of interest

Sarcopenia is a disease characterized by a progressive and generalized reduction of LM and skeletal muscle strength, which is associated with an increased risk of adverse outcomes such as disability, hospitalization, and death (Kim et al., 2016; Witard et al., 2016).

Despite being common among the elderly (Landi et al., 2017) such symptoms can also be identified in PwMS. This is because MS patients present significant losses of LM and strength (Wens et al., 2014). The attention to the identification of such losses and to adequate treatments has implications in clinical practice and in public health (Guglielmi et al., 2016).

For the LM variable, significant changes were found related to the time factor for both groups, analyzed bilaterally and unilaterally (differences for both sides). Considering the group factor, changes have hardly been verified for the LM of the right leg, indicating that belonging to the EG was favorable to increase the LM.

Dalgas et al. (2010) conducted an investigation to identify the effects of RT on the area of muscle fiber and the proportion of fibers. To meet this goal, the authors evaluated two groups (control and training). The training group performed an isokinetic RT program for 12 weeks. At the end of the study, the authors found no change in the muscle volume, unlike the results of the present study for the two training groups. Nevertheless, De Souza-Teixeira et al. (2009) who carried out a study to evaluate the effects of 8 weeks of RT with progressive loads on different manifestations of strength, LM, and functionality in PwMS, observed that after the training program, patients had an average increase of 3.6% in lean mass of the quadriceps.

For the comparison, considering the group factor, in the present study no significant differences were observed for the LM; However, Berg and Tesch (1998), Hortobágyi et al. (2000), Vikne et al. (2006), Fernández-Gonzalo et al. (2014), and Candia-Luján (2014) observed more increase in the LM in young people who did eccentric training compared to the young people who carried out the concentric training.

Roig et al. (2009), after carrying out a systematic review with meta-analysis, indicated that eccentric training promotes more gains in LM than concentric training; however, there are conflicts because the studies that were considered for review did not reveal coherence in the evaluation method of this variable. In the meta-analytical study conducted by Maroto-Izquierdo et al. (2017), it was observed that EERT is capable of inducing more muscle hypertrophy than classical concentric RT.

Additionally, Hortobágyi et al. (2000) developed an investigation to compare the effects of different types of training, the concentric, the eccentric and the combined (using the two types of training). Through this study they could observe that the people who did the eccentric training obtained more muscle hypertrophy than the people who carried out the concentric and combined training. Alternatively, Duncan et al. (1989) who used limb circumference measurement, to verify the effects of eccentric and concentric EF, did not find significant gains for any of them.

The previous experience with RT of the subjects who composed the sample of the present study may be a potential explanation factor for the lack of significant changes in the LM of the thighs when analyzing the data considering the group factor; however, for the EG, the fact of performing a type of RT to which they are not accustomed (emphasis on eccentric actions), could have induced structural adaptations in the muscle fibers that resulted with greater muscle hypertrophy, than classical RT. Nevertheless, the comparison considering the group factor did not indicate significant differences for this variable.

This lack of differences between the two types of PE can be related to the method used to evaluate the body composition, DXA, which does not present a very high accuracy to measure the small changes of LM after a training period (Delmonico et al., 2008). In addition, other factors that may explain the lack of positive changes more accentuated in the LM may be associated with the burden established because it was not high enough to promote structural adaptations in the muscle and/or because the time of the study has not been sufficiently long to generate these changes.

The BMD data presented different results than expected. The decrease of the BMD for the CG in a bilateral and unilateral manner may also have been influenced by the measurement method and/or a possible human error presented when performing the ROI, once the intraobserver variability affects the accuracy and the reproducibility of these measures, being able to interfere in the selected points to make the measurements and consequently, in the composition of the selected area.

However, the RT is able to promote osteogenic stimuli, as a consequence of the increase in the mechanical stress located in the bones (Creighton et al., 2001). Although authors such as Vincent and Braith (2002), Ribom et al. (2004), and Cvijetić et al. (2011) relate RT to changes in body composition and also in BMD, notably, the stress needed to promote these changes must reach an adequate intensity (Ryan et al., 2004). Perhaps, therefore, training with eccentric characteristics tends to promote greater changes in BMD than concentric training (Hawkins et al., 1999), in addition to promoting adaptations with only 8 weeks of training (English et al., 2014).

For the FM parameter, changes other than expected have also been observed. Thus, the increase in FM, in addition to the explanations already presented for the changes of the BMD, emphasized that it was not the objective of this study to control the nutritional intake of the volunteers, being informed that they maintained their lives without changes related to RT. Not having any nutritional guidance to follow that could control the amount of FM or decrease it.

Muscle quality

The MQ is important to understand the behavior of force more broadly than to analyze the lean mass or strength separately (Brady, Straight, Evans, 2014, Barbat-Artigas et al., 2013). It must be considered that increasing the level of force and also increasing the LM to the point of finding gains in MQ can have as an interpretation that there was an increase in the amount of load supported per unit of lean mass. Alternatively, that can mean improvements in the muscle efficiency.

Considering the time factor, the volunteers had an increase in their RM levels and also had gains in LM, in addition to presenting an increase in MQ. Thus, it is possible to indicate that the two types of RT to which the volunteers were subjected were able to promote gains in MQ that have positive effects on muscle efficiency in PwMS once no differences were found regarding the group factor.

In this same line of reasoning, for the time factor it can be said that the changes observed in the MQ related to the AMP at loads 40, 50, and 60% of 1RM, also indicate improvements in muscle efficiency after performing the RT proposed by the present study for muscle power. It was not possible to observe any change at 70 and 80% of 1RM.

For the group factor, it was found that at 80% of the 1RM there were changes, it is not possible to affirm if this difference is due to the increase in the MQ presented by the EG or by the decrease of the MQ values presented by the CG. These values were influenced by the AMP data at this determined load, and for the LM, significant increases have been observed.

The lack of difference between the two groups for the other parameters can perhaps be explained by the level of training that the participants already had, that is, they are individuals with EF experiences and also with the characteristics of the disease that, due to its nature neurodegenerative, may be involved in alterations in the neuromuscular mechanisms of force/power gains (Ponichtera et al., 1992; Lambert, Archer, Evans, 2001).

In addition, the results observed in the present study support the need for research with specific RT programs aimed at curbing the functional deterioration that accompanies MS, which could have a positive impact on the ability of patients to perform ADL and also on their quality of life.

Matched sample

In the present section of the discussion, the possible interpretations of the dice of the couples that were organized are presented, with the objective of minimizing the effects of the heterogeneity of the sample, with the purpose of showing the effects of the training seen the similarity of the couples related by gender, age, and the degree of disability where the EDSS has been used as a parameter. In addition, the pairing of the sample allows us to verify the effects on people with the same profile, a fact that is very important because some of the articles found compared the data of their research with healthy people and/or with a completely different profile group from the EG.

Characteristics of matched sample

When analyzing the data of the general characteristics of the matched sample before the trainings, as expected, there were no differences. The couples were organized respecting a greater proportion of women (2:1) approaching reality (Ortona et al., 2016).

In addition, the data reveal that the age group coincides with other studies already cited, such as those by Dalgas et al. (2009) and Medina-Pérez (2012); and body composition data (weight and height).

It is important to know that the data presented for body composition are in agreement with the sample of men in the study developed by Wingo, Young, Motl (2017) (men with MS 24.5 ± 4.3 and women with MS 36.4 ± 7.7) where significant differences were observed throughout the body and regional body composition between men with BMI paired with and without MS, since men with MS had significantly less lean body mass and higher values for FM.

The time of diagnosis is in accordance with studies developed by Bove and Chitnis (2013) and Medina-Pérez et al. (2016). In the BMI values found in the present study, they are classified as normal according to the WHO (2017) and are in accordance with the research carried out by Wingo, Young and Motl (2017) (men with MS $23.6 \pm 2, 5$ and women with MS 26.1 ± 5.2). Body composition is important for predicting the risk of some diseases, whereas the decrease in LM in the upper and lower limbs is associated with increased falls and frailty (González et al., 2017; Scott et al., 2017; Takahashi et al., 2017).

The values found for the EDSS are in accordance with the studies with EF developed by Dalgas et al. (2009) (GC: 3.9 with an interval between 3.5 and 4.4, EG: 3.7 and with an interval between 3.2 and 4.2), De Souza-Teixeira et al. (2009) (3.3 ± 1.6), Fimland et al. (2010) (CG: 3.5 ± 0.5 , EG: 4.6 ± 0.4), and Manca et al. (2017) (EG1: 3.8 ± 1.39 , EG2: 3.0 ± 1.0), thus enabling comparison sources for some of the strength parameters and functional tests measured in the present study.

Functional tests

When comparing the values found in the analyzes of the functional tests of the couples, with all the subjects of the present study, it is possible to say that they agree for the CST for the two analyzed factors but they disagree for the TUG for the factor group. Thus, the data have indicated that for the CST variable there is no difference in the data used for pairing (gender, age, and EDSS) but a consistency can be observed with other studies that were presented in the discussion of the general sample.

For the TUG, which is a functional test involving walking speed with a change of direction, the factors presented for pairing may be criteria that have influenced the analysis of the group factor. An advantage of these data implies that, being the EF to which the CG of easier access was submitted and the type of training was not able to be determinant for the gains in this test of functional capacity, it means that the practical application of the EF for people who have access to exercises with this type of muscle stimulation, it is sufficient to promote gains in functional capacity. In addition, although some studies in the literature indicate that PE is not capable of promoting improvements in TUG (Aidar et al., 2017; Moradi et al., 2015; Çakıt et al., 2010; De Souza -Teixeira et al., 2009), the two types of training prescribed in the present study, both for CG and EG, were able to promote positive changes in the performance of PwMS in this test.

Muscle strength assessment

Maximum isometric strength

None of the PEs that the volunteers fulfilled aimed at improvements in the MIS. Likewise, the absence of changes in the manifestation of the MIS can be justified on account of the specificity of the training of the CG and the EG to which the volunteers were subjected.

Neither the time factor nor the group factor analyzed in the sample relativized by gender, age, and EDSS had differences. This fact is in accordance with the general sample of the present study discussed in the previous section.

Maximum dynamic strength

The RM is important to perform ADL, that is, maintenance of basic functions such as walking, getting up from a chair or standing. The positive results found in the trainings to which the volunteers developed are in agreement with other studies by Moradi et al. (2015) and Dodd et al. (2011) in addition to also being in line with the data of the general sample of the present study, when it comes to the evaluation in a bilateral way. An increase in this manifestation of force can be explained by neural adaptations (Schoenfeld,

Ogborn and Krieger, 2015); however, the sample in pairs if it differs from the general sample for not presenting differences, when the data are analyzed by the group factor, contradicting studies developed by Hortobágyi et al. (1996), Berg and Tesch (1998), Aagard et al. (2000), and Vikne et al. (2006), where the eccentric RT achieved more pronounced RM gains than the concentric RT.

Unlike what was observed in the general sample, for the data related to the group factor, no differences were observed between right and left. Thus it can be inferred that, perhaps the heterogeneity in what refers to gender, age, and EDSS can have influence on the RM data when considering the group factor.

Muscle power

According to Schoenfeld, Ogborn and Krieger (2015), the observed increase in muscle power can be explained by increases in strength, mainly as consequences of neural adaptations. Such adaptations are characterized by the increase in muscle activation (Davies et al., 2016; Davies et al., 2017) that can lead to greater strength production, by increasing the number of motor units recruited and speed adjustments and the frequency of firing in the motor units among other factors (Gabriel, Kamen and Frost, 2006).

In the data of the sample in pairs, the AMP has had a behavior different from the general sample, being a statistical difference found for the time factor just at 40% of 1RM for the time factor and a tendency for the load to 60 and 80% of 1RM. Such a trend may have an influence on the small sample size. In addition, at 80% the same has occurred as in the general sample where the difference presented for the group factor cannot be affirmed due to the profit presented by the EG or simply because of the decrease noted in the CG.

Bone mineral density, fat mass, and lean mass of the region of interest

The composition of the ROI of the sample in pairs reveals some differences in the time factor, when compared with the general sample and has not presented any difference in the group factor; however, some of the differences found are in accordance with the differences presented by the general sample such as LMBi, BMD_R, and LM_R.

Thus, it can be said that the factors used to match the sample such as gender, age, and EDSS were not determinants for the differences of the LMBi for the training, since increases in the LM are common after the realization of RT (De Souza- Teixeira et al., 2009; Berg and Tesch, 1998; Hortobágyi et al., 2000; Vikne et al., 2006; Fernández-Gonzalo et al., 2014).

Unlike the general sample, the sample in pairs has not revealed any differences in BMDBi, BMD_L, and LM_L, in addition to presenting differences for FM_R and FM_L. Once again, it is fundamental to emphasize that the total time of the investigation seems not to have been sufficient to identify changes in the BMD, since these values may also have been influenced by the human error of the realization of the ROI or even by the device error (Delmonico et al., 2008).

For the FM increments presented by the sample in pairs, both for right and for left, it should be considered that, in addition to what was stated in the previous paragraph, the food intake of the participants was not controlled, not being the objective of this research control it or change it.

Muscle quality

The calculations for the MQ, indicate that for the MIS there were no alterations for all the measurements, both for the time factor and for the group factor as well as for the sample in general indicating that the trainings to which the volunteers were submitted in the CG and in the EG they were responsible for the maintenance of this variable. Considering that it is extremely essential than having gains to maintain the functionality of the organism, maintaining the MQ for the MIS is a positive finding.

For the RM, differences were shown for all the variables evaluated considering the time factor and not distinguishing these gains between the groups. This may indicate that the elements that were used to perform the pairing of the sample (gender, age, and EDSS) have an influence on the MQ, whereas for the sample in general, the group factor was observed as a differential for the MQRM_L.

Regarding the MQ of the AMP, the time was decisive for differences at 40% of 1RM for both groups. Already at 70 and 80% of 1RM cannot be said that the improvement is more related to the increases presented by the EG or the decrease of the MQ of the CG for the referred loads. It is emphasized that the stimuli to which the EG was submitted are

different from those of the CG, with the EERT having higher speed characteristics. Just as there are no significant differences for the improvements presented for the EG, it is possible to notice a tendency to improve the MQ values. Thus it is also possible to interpret that at 80% of the 1RM there were differences related to the group factor.

The training

In no training, any osteomyoarticular injury or unpleasant effect was observed, during the intervention period, and they proved to be safe for PwMS.

Corroborating this statement for the EERT, Coratella, Chemello and Schena (2016) and Bridgeman et al. (2017) demonstrated in healthy males, that there was a decrease in the symptoms and in the perception of muscle damage after training. In addition, the research developed by Fernández-Gonzalo et al. (2014) and Fernández-Gonzalo et al. (2016) with people with chronic stroke after using YoYoTM in an EERT, reveal that it is a viable and safe rehabilitation resource (Tesch, Fernández-Gonzalo, Lundberg, 2017).

Conclusions

In view of the results obtained after 12 weeks of training in a people with multiple sclerosis we conclude as follow:

1. Classical resistance training and eccentric-enhanced resistance training do not produce improvements in maximum isometric strength, for bilateral and unilateral measurements.
2. Traditional and eccentric-enhanced resistance training produces similar improvements in maximum dynamic strength.
3. In the same way, similar muscle power improvements were achieved in bilateral action with both types of training.
4. Muscle hypertrophy, as one of the aims of resistance training, was obtained with both training and at the same magnitude.
5. Strength improvement in a people with multiple sclerosis as an aim that transforms into the improvement of functional tests, in that sense, eccentric-enhanced resistance training has shown superior to the classical resistance training in chair stand test, which largely reflects muscle force.
6. In the same way, functional tests that reflect agility and balance, classical and eccentric-enhanced resistance training both produce improvements of similar magnitude.
7. Finally, we can affirm that in people with multiple sclerosis, eccentric-enhanced resistance training produces similar improvements to classical resistance training regarding the manifestations of dynamic strength and muscle hypertrophy. However, eccentric-enhanced resistance training produces greater transfers of muscle force when it comes to functional tests of daily life.

12. REFERENCIAS

- Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J, Dyhre-Poulsen P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol*. 2000;89(6):2249-57.
- Aidar FJ, Carneiro AL, Costa Moreira O, Patrocínio de Oliveira CE, Garrido ND, Machado Reis V, Raineh I, Vilaça JM, Gama de Matos D. Effects of resistance training on the physical condition of people with multiple sclerosis. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017 Sep 22. [Epub ahead of print]
- American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(7):1334-59.
- Andreoli A, Saczo G, Masala S, Tarantino U, Guglielmi G. Body composition assessment by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *Radiol Med*. 2009;114(2):286-300.
- Barbat-Artigas S, Rolland Y, Vellas B, Aubertin-Leheudre M. Muscle quantity is not synonymous with muscle quality. *J Am Med Dir Assoc*. 2013;14(11):852.e1-7.
- Barbat-Artigas S, Rolland Y, Zambon, M, Aubertin-Leheudre M. How to assess functional status: a new muscle quality index. *J Nutr Health Aging*. 2012;16(1):67-77.
- Bean JF, Kiely DK, Herman S, Leveille SG, Mizer K, Frontera WR, Fielding RA. The relationship between leg power and physical performance in mobility-limited older people. *J Am Geriatr Soc*. 2002;50(3):461-67.
- Beier M, Bombardier C, Hartoonian N, Motl R, Kraft G. Improved physical fitness correlates with improved cognition in MS. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014;95:1328-1334.
- Berg HE, Tesch A. A gravity-independent ergometer to be used for resistance training in space. *Aviat Space Environ Med*. 1994;65(8):752-6.
- Berg HE, Tesch PA. Force and power characteristics of a resistive exercise device for use in space. *Acta Astronaut*. 1998;42(1-8):219-230.
- Bottaro M, Machado SN, Nogueira W, Scales R, Veloso J. Effect of high *versus* low-velocity resistance training on muscular fitness and functional performance in older men. *Eur J Appl Physiol*. 2007;99(3):257-64.
- Bove R, Chitnis T. Sexual disparities in the incidence and course of MS. *Clinical Immunology*. 2013;149,201-210.
- Brady AO, Straight CR, Evans EM. Body composition, muscle capacity, and physical function in older adults: an integrated conceptual model. *J Aging Phys Act*. 2014;22(3):441-52.

Brandenburg JP, Docherty D. The effects of accentuated eccentric loading on strength, muscle hypertrophy, and neural adaptations in trained individuals. *J Strength Cond Res.* 2002;16(1):25-32.

Brandt C, Pedersen BK. The role of exercise-induced myokines in muscle homeostasis and the defense against chronic diseases. *J Biomed Biotechnol.* 2010; 2010:520258.

Bridgeman LA, McGuigan MR, Gill ND, Dulson DK. The Effects of Accentuated Eccentric Loading on the Drop Jump Exercise and the Subsequent Postactivation Potentiation Response. *J Strength Cond Res.* 2017;31(6):1620-1626.

Broekmans T, Roelants M, Feys P, Alders G, Gijbels D, Hanssen I, Stinissen P, Eijnde BO. Effects of long-term resistance training and simultaneous electro-stimulation on muscle strength and functional mobility in multiple sclerosis. *Mult Scler.* 2011; 17(4):468-77.

Brown LE, Wier JP. ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. *J Exerc Physiol* 2001;4(3):1-21.

Brzenczek-Owczarzak W, Naczka M, Arlet J, Forjasz J, Jedrzejczak T, Adach Z. Estimation of the efficacy of inertial training in older women. *J Aging Phys Act.* 2013;21(4):433-43.

Cadore EL, Casas-Herrero A, Zambom-Ferraresi F, Idoate F, Millor N, Gómez M, Rodríguez-Mañas L, Izquierdo M. Multicomponent exercises including muscle power training enhance muscle mass, power output, and functional outcomes in institutionalized frail nonagenarians. *Age (Dordr).* 2014;36(2):773-85.

Çakıt BD, Nacir B, Genç H, Saraçoğlu M, Karagöz A, Erdem HR, Ergün U. Cycling progressive resistance training for people with multiple sclerosis: A randomized controlled study. *Am J Phys Med Rehabil* 2010;89:446–457.

Callahan D, Phillips E, Carabello R, Frontera WR, Fielding RA. Assessment of lower extremity muscle power in functionally-limited elders. *Aging Clin Exp Res.* 2007;19(3):194-9.

Candia-Luján R. Efectos sobre la masa muscular y las manifestaciones de la fuerza, del entrenamiento unilateral excéntrico vs concéntrico. Tesis Doctoral. Universidad de León. 2014.

Caruso JF, Hernandez DA, Saito K, Cho M, Nelson NM. Inclusion of eccentric actions on net caloric cost resulting from isoinertial resistance exercise. *J Strength Cond Res.* 2003;17(3):549-555.

- Caserotti P, Aagaard P, Larsen JB, Puggaard L. Explosive heavy-resistance training in old and very old adults: Changes in rapid muscle force, strength and power. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18(6):773-82.
- Casillas JM, Besson D, Hannequin A, Gremeaux V, Morisset C, Tordi N, Laurent Y, Laroche D. Effects of an eccentric training personalized by a low rate of perceived exertion on the maximal capacities in chronic heart failure. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2016;52(2):159-68
- Cavanaugh JT, Gappmaier VO, Dibble LE, Gappmaier E. Ambulatory activity in individuals with multiple sclerosis. *J Neurol Phys Ther*. 2011;35(1):26-33.
- Chung LH, Remelius JG, Van Emmerik RE, Kent-Braun JA. Leg power asymmetry and postural control in women with multiple sclerosis. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(10):1717-24.
- Colliander EB, Tesch PA. Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiol Scand*. 1990;140(1):31-39.
- Compston A, Coles A. Multiple sclerosis. *Lancet*. 2008;372(9648):1502-17.
- Coratella G, Chemello A, Schena F. Muscle damage and repeated bout effect induced by enhanced eccentric squats. *J Sports Med Phys Fitness*. 2016;56(12):1540-1546.
- Correa CS, Baroni BM, Radaelli R, Lanferdini FJ, Cunha Gdos S, Reischak-Oliveira Á, Vaz MA, Pinto RS. Effects of strength training and detraining on knee extensor strength, muscle volume and muscle quality in elderly women. *Age* 2013;35(5):1899-904.
- Creighton DL, Morgan AL, Boardley D, Brolinson PG. Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *J Appl Physiol* 2001;90:565-70.
- Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, Martin FC, Michel JP, Rolland Y, Schneider SM, Topinková E, Vandewoude M, Zamboni M. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing*. 2010;39(4):412-423.
- Cvijetić S, Grazio S, Gomzi M, Krapac L, Nemčić T, Uremović M, Bobić J. Muscle strength and bone density in patients with different rheumatic conditions: cross-sectional study. *Croat Med J*. 2011; 52(2): 164–170.
- Dalgas U, Stenager E, Jakobsen J, Petersen T, Hansen HJ, Knudsen C, Overgaard K, Ingemann-Hansen T. Resistance training improves muscle strength and functional capacity in multiple sclerosis. *Neurology*. 2009;73(18):1478-84.
- Dalgas U, Stenager E, Jakobsen J, Petersen T, Overgaard K, Ingemann-Hansen T. Muscle fiber size increases following resistance training in multiple sclerosis. *Mult Scler*. 2010;16(11):1367-76.

Dalgas U, Stenager E, Lund C, Rasmussen C, Petersen T, Sørensen H, Ingemann-Hansen T, Overgaard K. Neural drive increases following resistance training in patients with multiple sclerosis. *J Neurol*. 2013;260(7):1822-32.

Dalgas, U, Stenager, E. Exercise and disease progression in multiple sclerosis: can exercise slow down the progression of multiple sclerosis? *Ther Adv Neurol Disord*. 2012; 5(2):81-95.

Davies T, Orr R, Halaki M, Hackett D. Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2016;46(4):487–502.

Davies TB, Kuang K, Orr R, Halaki M, Hackett D. Effect of Movement Velocity During Resistance Training on Dynamic Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*. 2017;47(8):1603-1617.

De Haan A, de Ruitter CJ, van Der Woude LH, Jongen PJ. Contractile properties and fatigue of quadriceps muscles in multiple sclerosis. *Muscle Nerve*. 2000;23(10):1534-41.

De Souza-Teixeira F, Costilla S, Ayán C, García-López D, González-Gallego J, De Paz JA. Effects of Resistance Training in Multiple Sclerosis. *Int J Sports Med*. 2009;30:245-250.

Delmonico MJ, Kostek MC, Johns J, Hurley BF, Conway JM. Can dual energy X-ray absorptiometry provide a valid assessment of changes in thigh muscle mass with strength training in older adults? *Eur J Clin Nutr* 2008;62(12):1372-8

Denninson L, Moss-Morris R, Chalder T. A review of psychological correlates of adjustment in patients with multiple sclerosis. *Clinical Psychology Review*. 2009; 29:141-153.

Dibble LE, Hale TF, Marcus RL, Droge J, Gerber JP, LaStayo PC. High-intensity resistance training amplifies muscle hypertrophy and functional gains in persons with Parkinson's disease. *Mov Disord*. 2006;21(9):1444-52.

Dodd KJ, Taylor NF, Shields N, Prasad D, McDonald E, Gillon A. Progressive resistance training did not improve walking but can improve muscle performance, quality of life and fatigue in adults with multiple sclerosis: a randomized controlled trial. *Mult Scler*. 2011;17(11):1362-74.

Dudley GA, Miller BJ, Buchanan P, Tesch PA. Importance of eccentric actions in performance adaptations of resistance training. *Aviat Space Environ Med* 1991a;62 (6)543-550.

Dudley GA, Tesch P, Harris R, Golden C, Buchanan P. Influence of eccentric actions on the metabolic cost of resistance exercise. *Aviat Space Environ Med* 1991b;62(7)678-682.

- Duncan PW, Chandler JM, Cavanaugh DK, Johnson KR, Buehler AG. Mode and speed specificity of eccentric and concentric exercise training. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1989;11(2):70-5.
- Elmer SJ, Danvind J, Holmberg HC. Development of a novel eccentric arm cycle ergometer for training the upper body. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(1):206-11.
- English KL, Loehr JA, Lee SM, Smith SM. Early-phase musculoskeletal adaptations to different levels of eccentric resistance after 8 weeks of lower body training. *Eur J Appl Physiol.* 2014;114(11):2263-80.
- Enoka RM. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol.* 1996;81(6):2339-2346.
- Enoka RM. Muscle strength and its development: New perspectives. *Sports Med.* 1988; (6): 146-168.
- Enoka RM. Neural adaptations with chronic physical activity. *Journal of Biomechanics.* 1997; (30): 447-455.
- Fang Y, Siemionow V, Sahgal V, Xiong F, Yue GH. Greater movement related cortical potential during human eccentric *versus* concentric muscle contractions. *J Neurophysiol.* 2001; 86:1764-1772.
- Febbraio MA, Pedersen BK. Contraction-induced myokine production and release: Is skeletal muscle an organ? *Exerc Sport Sci Rev.* 2005;33(3):114-119.
- Fernández O, Fernández VE, Guerrero M. Esclerosis múltiple. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado.* 2015;11(77):4610-4621.
- Fernández-Gonzalo R, Bresciani G, de Souza-Teixeira F, Hernandez-Murua JA, Jimenez-Jimenez R, González-Gallego J, de Paz JA. Effects of a 4-week eccentric training program on the repeated bout effect in Young active women. *JSSM.* 2011;10(4):692-699.
- Fernández-Gonzalo R, Fernández-Gonzalo S, Turon M, Prieto C, Tesch PA, García-Carreira Mdel C. Muscle, functional and cognitive adaptations after flywheel resistance training in stroke patients: a pilot randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2016;13:37.
- Fernández-Gonzalo R, Nissemark C, Åslund B, Tesch PA, Sojka P. Chronic stroke patients show early and robust improvements in muscle and functional performance in response to eccentric-overload flywheel resistance training: a pilot study. *J Neuroeng Rehabil.* 2014;11:150.
- Fimland MS, Helgerud J, Gruber M, Leivseth G, Hoff J. Enhanced neural drive after maximal strength training in multiple sclerosis patients. *Eur J Appl Physiol.* 2010; 110(2):435-43.

FitzGerald SJ, Barlow CE, Kampert JB, Morrow JR, Jackson AW, Blair SN. Muscular fitness and all-cause mortality: prospective observations. *J Phys Act Health*. 2004;1(1):7-18.

Flachenecker P. Clinical Implications of Neuroplasticity – The Role of Rehabilitation in Multiple Sclerosis. *Front Neurol*. 2015;6(36):1-4.

Foldvari M, Clark M, Laviolette LC, Bernstein MA, Kaliton D, Castaneda C, Pu CT, Hausdorff JM, Fielding RA, Singh MA. Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2000;55(4):M192-99.

Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*. 2007;37(2):145-68.

Franco SAA. Efectos de un entrenamiento con sobrecarga excéntrica sobre la fuerza, la capacidad funcional y la masa muscular en personas mayores de 65 años. Tesis Doctoral. Universidad de León. 2014.

Frau J, Coghe G, Loreface L, Fenu G, Cadeddu B, Marrosu MG, Cocco E. Attitude towards physical activity in patients with multiple sclerosis: a cohort study. *Neurol Sci*. 2015;36(6):889-93.

Frohm A, Halvorsen K, Thorstensson A. A new device for controlled eccentric overloading in training and rehabilitation. *Eur J Appl Physiol*. 2005;94(1-2):168-74. Epub 2005 Feb 18.

Gabriel DA, Kamen G, Frost G. Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med*. 2006;36(2):133-49.

García-López D, Cuevas MJ, Almar M, Lima E, De Paz JA, González-Gallego J. Effects of eccentric exercise on NF- κ B activation in blood mononuclear cells. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(4):653-664.

García-López D. El entrenamiento excéntrico. Fundamentos y aplicaciones con población general y deportista En: Jiménez A, coord. Nuevas dimensiones en el entrenamiento de fuerza: aplicación de nuevos métodos, recursos y tecnologías. INDE Publicaciones, 2008;75-102.

Garner DJ, Widrick JJ. Cross-bridge mechanisms of muscle weakness in multiple sclerosis. *Muscle Nerve*. 2003;27(4):456-64.

Gearhart, JR, RF, Lagally KM, Riechman SE, Andrews RD, Robertson RJ. Safety of using the adult Omni resistance exercise scale to determine 1-rm in older men and women. *Perceptual and Motor Skills*. 2011;113(2):671-676.

- Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, Greis PE, Burks RT, LaStayo PC. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle structure after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(3):559-70.
- Giesser B, Beres-Jones J, Budovitch A, Herlihy E, Harkema S. Locomotor training using body weight support on a treadmill improves mobility in persons with MS. *Mult Scler.* 2007;13:224-231.
- Giesser BS. Exercise in the management of persons with multiple sclerosis. *Ther Adv Neurol Disord.* 2015;8(3):123-30.
- Gillies EM, Putman CT, Bell GJ. The effect of varying the time of concentric and eccentric muscle actions during resistance training on skeletal muscle adaptations in women. *Eur J Appl Physiol.* 2006;97(4):443-53.
- Gluchowski A, Harris N, Dulson D, Cronin J. Chronic Eccentric Exercise and the Older Adult. *Sports Med.* 2015;45(10):1413-30.
- González N, Moreno-Villegas Z, González-Bris A, Egido J, Lorenzo Ó. Regulation of visceral and epicardial adipose tissue for preventing cardiovascular injuries associated to obesity and diabetes. *Cardiovasc Diabetol.* 2017; 4;16(1):44.
- González-Badillo JJ, Gorostiaga-Ayestarán E. *Fundamentos del Entrenamiento de la Fuerza: Aplicación al Alto Rendimiento Deportivo.* 3 ed. INDE Publicaciones. Barcelona, España. 2002.
- Gorianovas G, Skurvydas A, Streckis V, Brazaitis M, Kamandulis S, McHugh MP. Repeated bout effect was more expressed in young adult males than in elderly males and boys. *Biomed Res Int.* 2013; art.nº:218970:1-10.
- Guglielmi G, Ponti F, Agostini M, Amadori M, Battista G, Bazzocchi A. The role of DXA in sarcopenia. *Aging Clin Exp Res.* 2016;28(6):1047-1060.
- Güner S, Haghari S, Inanıcı F, Alsancak S, Aytekin G. Knee muscle strength in multiple sclerosis: relationship with gait characteristics. *J Phys Ther Sci.* 2015;27(3):809-13.
- Gunn H, Creanor S, Haas B, Marsden J, Freeman J. Frequency, characteristics, and consequences of falls in multiple sclerosis: Findings from a cohort study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014;95(3):538-45.
- Hairi NN, Cumming RG, Naganathan V, Handelsman DJ, Le Couteur DG, Creasey H, Waite LM, Seibel MJ, Sambrook PN. Loss of muscle strength, mass (sarcopenia), and quality (specific force) and its relationship with functional limitation and physical disability: the Concord Health and Ageing in Men Project. *J Am Geriatr Soc.* 2010; 58(11):2055-2062.

- Halabchi F, Alizadeh Z, Sahraian MA, Abolhasani M. Exercise prescription for patients with multiple sclerosis; potential benefits and practical recommendations. *BMC Neurol.* 2017;17(1):185.
- Hather BM, Tesch PA, Buchanan P, Dudley GA. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand.* 1991;143(2):177-185.
- Hawkins SA, Schroeder T, Wiswel RA, Jaque SV, Marcell TJ, Costa K. Eccentric muscle action increases site specific osteogenic response. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1287-92.
- Hayes HA, Gappmaier E, LaStayo PC. Effects of high-intensity resistance training on strength, mobility, balance, and fatigue in individuals with multiple sclerosis: a randomized controlled trial. *J Neurol Phys Ther.* 2011;35(1):2-10.
- Heyward V. ASEP Methods Recommendation: Body Composition Assessment. *JEPonline.* 2001;4(4):1-12.
- Hollander DB, Kraemer RR, Kilpatrick MW, Ramadan ZG, Reeves GV, Francois M, Hebert EP, Tryniecki JL. Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between Young men and women for dynamic resistance exercise. *J Strength Cond Res.* 2007;21(1):34-40.
- Hortobágyi T, Dempsey L, Fraser D, Zheng D, Hamilton G, Lambert J, Dohm L. Changes in muscle strength, muscle fibre size and myofibrillar gene expression after immobilization and retraining in humans. *J Physiol.* 2000; 524 (1): 293-304.
- Hortobágyi T, Devita P, Money J, Barrier J. Effects of standard and eccentric overload strength training in Young women. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(7):1206-1212.
- Hortobágyi T, Hill JP, Houmard JA, Fraser DD, Lambert NJ, Israel RG. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J Appl Physiol.* 1996;80(3): 765-772.
- Hunter SF. Overview and diagnosis of multiple sclerosis. *Am J Manag Care.* 2016 Jun;22(6 Suppl):s141-50.
- Jiménez-Jiménez R, Cuevas MJ, Almar M, Lima E, García-López D, De Paz JA, González-Gallego J. Eccentric training impairs NF-kappaB activation and over-expression of inflammation-related genes induced by acute eccentric exercise in the elderly. *Mech Ageing Dev.* 2008;129(6):313-321.
- Karussis D. The diagnosis of multiple sclerosis and the various related demyelinating syndromes: a critical review. *J Autoimmun.* 2014;48-49:134-42.
- Katz Sand I. Classification, diagnosis, and differential diagnosis of multiple sclerosis. *Curr Opin Neurol.* 2015;28(3):193-205.

- Kenney WL, Wilmore J, Costill D. *Physiology of Sport and Exercise*. 6th Edition. Champaign, IL: Human Kinetics; 2015.
- Kent-Braun JA, Sharma KR, Weiner MW, Miller RG. Effects of exercise on muscle activation and metabolism in multiple sclerosis. *Muscle Nerve*. 1994;17(10):1162-9.
- Kim JE, O'Connor LE, Sands LP, Slobodnik MB, Campbell WW. Effects of dietary protein intake on body composition changes after weight loss in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Nutr Rev*. 2016;74(3):210-24.
- Kjølhede T, Vissing K, de Place L, Pedersen BG, Ringgaard S, Stenager E, Petersen T, Dalgas U. Neuromuscular adaptations to long-term progressive resistance training translates to improved functional capacity for people with multiple sclerosis and is maintained at follow-up. *Mult Scler*. 2015;21(5):599-611.
- Kjølhede T, Vissing, K, Dalgas U. MS and progressive resistance training: a systematic review. *Mult Scler J*. 2012;18(9):215-1228.
- Knuttgén HG, Komi PV. Basic considerations for exercise. In: Komi PV, editor. *Strength and power in sport*. Oxford: Blackwell scientific publications, 2003;3-7.
- Kraemer WJ, Ratamess NA, French DN. Resistance training for health and performance. *Curr Sports Med Rep*. 2002;1(3):165-171.
- Kraemer WJ, Vingren JL. Muscle Anatomy. In: Brown LE, editor. *Strength Training*. Champaign: Human Kinetics. 2007;3-28.
- Kurtzke JF. Rating neurologic impairment in multiple sclerosis: an expanded disability status scale (EDSS). *Neurology*. 1983;33:1444-1452.
- Lambert CP, Archer RL, Evans WJ. Muscle strength and fatigue during isokinetic exercise in individuals with multiple sclerosis. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(10):1613-19.
- Landi F, Calvani R, Cesari M, Tosato M, Martone AM, Ortolani E, Saveria G, Salini S, Sisto AN, Picca A, Marzetti E. Sarcopenia: an overview on current definitions, diagnosis and treatment. *Curr Protein Pept Sci*. 2017 Jun 6. [Epub ahead of print]
- LaStayo PC, Ewy GA, Pierotti D, Johns RK, Lindstedt S. The positive effects of negative work: increased muscle strength and decreased fall risk in a frail elderly population. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2003;58(5):M419-M424.
- LaStayo PC, Larsen S, Smith S, Dibble L, Marcus R. The feasibility and efficacy of eccentric with older cancer survivors: a preliminary study. *J Geriatr Phys Ther*. 2010;33(3):135-140.

- LaStayo PC, Pierotti DJ, Pifer J, Hoppeler H, Lindstedt SL. Eccentric erdometry: increases in locomotor muscle size and strength at low training intensities. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2000; 278 (5): R1282-R1288.
- LaStayo PC, Reich TE, Urquhart M, Hoppeler H, Lisndstedt SL. Chronic eccentric exercise: improvements in muscle strenght can occur with Little demand for oxygen. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 1999; 276(2): R611-R615.
- Lindstedt SL, LaStayo PC, Reich TE. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *New Physiol Sci.* 2001;16(6):256-261.
- Lublin FD, Reingold SC, Cohen JA, Cutter GR, Sørensen PS, Thompson AJ, Wolinsky JS, Balcer LJ, Banwell B, Barkhof F, Bebo B Jr, Calabresi PA, Clanet M, Comi G, Fox RJ, Freedman MS, Goodman AD, Inglese M, Kappos L, Kieseier BC, Lincoln JA, Lubetzki C, Miller AE, Montalban X, O'Connor PW, Petkau J, Pozzilli C, Rudick RA, Sormani MP, Stüve O, Waubant E, Polman CH. Defining the clinical course of multiple sclerosis: the 2013 revisions. *Neurology.* 2014;15;83(3):278-86.
- Lynch NA, Metter E J, Lindle RS, Fozard JL, Tobin J D, Roy TA, Fleg JL, Hurley BF. Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. *J Appl Physiol (1985).* 1999;86(1):188-194.
- Manca A, Dvir Z, Dragone D, Mureddu G, Bua G, Deriu F. Time course of strength adaptations following high-intensity resistance training in individuals with multiple sclerosis. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(4):731-743.
- Marcus RL, Smith S, Morrell G, Addison O, Dibble LE, Wahoff-Stice D, Lastayo PC. Comparison of combined aerobic and high-force eccentric resistance exercise with aerobic exercise only for people with type 2 diabetes mellitus. *Phys Ther.* 2008;88(11):1345-54.
- Maroto-Izquierdo S, García-López D, Fernandez-Gonzalo R, Moreira OC, González-Gallego J, de Paz JA. Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2017;20(10):943-951.
- Marques MC, Izquierdo M, Pereira A. High-Speed Resistance Training in Elderly People: A New Approach Toward Counteracting Age-Related Functional Capacity Loss. *Strength Cond J.* 2013; 35(2): 23-29.
- McHugh MP. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports.* 2003;13(2):88-97.

- McKinnon NB, Connelly DM, Rice CL, Hunter SW, Doherty TJ. Neuromuscular contributions to the age-related reduction in muscle power: Mechanisms and potential role of high velocity power training. *Ageing Res Rev.* 2017;35:147-154.
- Medina-Perez C, de Souza-Teixeira F, Fernandez-Gonzalo R, de Paz-Fernandez JA. Effects of a resistance training program and subsequent detraining on muscle strength and muscle power in multiple sclerosis patients. *NeuroRehabilitation.* 2014;34(3):523-30.
- Medina-Pérez C, de Souza-Teixeira F, Fernandez-Gonzalo R, Hernandez-Murua JA, Antonio de Paz-Fernandez J. Effects of high-speed power training on muscle strength and power in patients with multiple sclerosis. *J Rehabil Res Dev.* 2016;53(3):359-68.
- Medina-Pérez C. Evaluación de la fuerza muscular y de los efectos sobre la misma de un programa de entrenamiento y de desentrenamiento en afectados por Esclerosis Múltiple de Castilla y León. Tesis Doctoral. Universidad de León. 2012.
- Meylan C, Cronin J, Nosaka K. Isoinertial assessment of eccentric muscular strength. *Strength Cond J.* 2008;30(2):56-64.
- Misic MM, Rosengren KS, Woods JA, Evans EM. Muscle quality, aerobic fitness and fat mass predict lower-extremity physical function in community-dwelling older adults. *Gerontology.* 2007;53(5):260-266.
- Moore AZ, Caturegli G, Metter EJ, Makrogiannis S, Resnick SM, Harris TB, Ferrucci L. Difference in muscle quality over the adult life span and biological correlates in the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *J Am Geriatr Soc.* 2014;62(2):230-236.
- Moradi M, Sahraian MA, Aghsaie A, Kordi MR, Meysamie A, Abolhasani M, Sobhani V. Effects of Eight-week Resistance Training Program in Men With Multiple Sclerosis. *Asian J Sports Med.* 2015;6(2):e22838.
- Moreira OC, Oliveira CEP, Cándia-Luján R, Romero-Pérez EM, Paz-Fernández JA. Métodos de evaluación de la masa muscular: una revisión sistemática de ensayos controlados aleatorios. *Nutr Hosp.* 2015;32(3).
- Moritani T, DeVries HA. Neural factors *versus* hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med.* 1979;58(3):115-30.
- Motl R, Gappmeier E, Nelson K, Benedict R. Physical activity and cognitive function in MS. *J Sport Exerc Psychol.* 2011;33(5):734-741.
- Motl RW, Sandroff BM, Kwakkel G, Dalgas U, Feinstein A, Heesen C, Feys P, Thompson AJ. Exercise in patients with multiple sclerosis. *Lancet Neurol.* 2017;16(10):848-856.
- Motl RW, Sandroff BM. Benefits of Exercise Training in Multiple Sclerosis. *Curr Neurol Neurosci Rep.* 2015;15(9):62.

Ng AV, Miller RG, Gelinas D, Kent-Braun JA. Functional relationships of central and peripheral muscle alterations in multiple sclerosis. *Muscle Nerve*. 2004;29(6):843-52.

Nielsen JF. Frequency-dependent conduction delay of motor-evoked potentials in multiple sclerosis. *Muscle Nerve*. 1997;20(10):1264-74.

NINDS, National Institute of Neurological Disorders and Stroke. Esclerosis múltiple: Esperanza en la investigación. NIH Publication. 2012;12-75s.

Norrbrand L, Fluckey JD, Pozzo M, Tesch PA. Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol*. 2008;102(3):271-81.

Oliveira CEP, Moreira OC, Medina-Perez C, Romero-Perez EM, Paz JA. Efeito de 12 semanas de treinamento reforçado excentricamente sobre indicadores de capacidade funcional em pessoas com Esclerose Múltipla: um estudo piloto. En: 1º Congresso Ibero Americano: Desporto, Educação, Atividade Física e Saúde, 2015, Lisboa. *Gymnasium Revista: Educação Física, Desporto e Saúde*. Lisboa: Faculdade de Educação Física e Desporto: Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Cofac, 2015; 2015: 31-2.

Oreja-Guevara C, Lubrini G. Deterioro cognitivo en esclerosis múltiple. *Revista Española de Esclerosis Múltiple*. 2009;12:9-16.

Ortiz-Moncada R, Alvarez-Dardet C, Miralles-Bueno JJ, Ruíz-Cantero MT, Dal Re-Saavedra MA, Villar-Villalba C, Pérez-Farinós N, Serra-Majem L. Social determinants of overweight and obesity in Spain in 2006. *Med Clin (Barc)*. 2011;137(15):678-84.

Ortona E, Pierdominici M, Maselli A, Veroni C, Aloisi F, Shoenfeld Y. Sex-based differences in autoimmune diseases. *Ann Ist Super Sanita*. 2016;52(2):205-12.

Paschalis V, Nikolaidis MG, Theodorou AA, Deli CK, Raso V, Jamurtas AZ, Giakas G, Koutedakis Y. The effects of eccentric exercise on muscle function and proprioception of individuals being overweight and underweight. *J Strength Cond Res*. 2013;27(9):2542-51.

Pau M, Corona F, Coghe G, Marongiu E, Loi A, Crisafulli A, Concu A, Galli M, Marrosu MG, Cocco E. Quantitative assessment of the effects of 6 months of adapted physical activity on gait in people with multiple sclerosis: a randomized controlled trial. *Disabil Rehabil*. 2017;13:1-11.

Paulsen GK, Cramer R, Benestad HB, Fjeld JG, Morkrid L, Hallen, J, Raastad T. Time course of leukocyte accumulation in human muscle after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(1):75-85.

- Pearson M, Dieberg G, Smart N. Exercise as a therapy for improvement of walking ability in adults with multiple sclerosis: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2015;96(7):1339-1348.e7.
- Pedersen BK, Bruunsgaard H, Ostrowski K, Krabbe K, Hansen H, Krzywkowski k, Toft A, Søndergaard SR, Tetersen EW, Ibfelt T, Schjerling P. Cytokines in aging and exercise. *Int J Sports Med.* 2000;21(Sup.1):S4-S9.
- Pedersen BK, Febbraio MA. Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. *Ohysiol Rev.* 2008;88(4):1379-406.
- Pedersen BK. Muscles and their myokines. *J Exp Biol.* 2011; 214(2):337-346.
- Petajan J, Gappmeier E, White A, Spencer M, Mino L, Hicks R. Impact of aerobic training on fitness and QOL in MS. *Ann Neurol.* 1996;39:432-441.
- Petersen AM, Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise. *J Appl Physiol.* 2005;98(4):1154-1162.
- Pilutti L, Greenlee T, Motl R, Nickrent N, Petrezello S. Effects of exercise training on fatigue in MS: a meta-analysis. *Psychosom Med.* 2013;75:575-580.
- Pinto RS, Correa CS, Radaelli R, Cadore EL, Brown LE, Bottaro M. Short-term strength training improves muscle quality and functional capacity of elderly women. *Age (Dordr).* 2014;36(1):365-72.
- Pollock ML, Gaesser GA, Butcher JD, Després JP, Dishman RK, Franklin BA, Garber CE. ACSM position stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(6):975-991.
- Ponichtera JA, Rodgers MM, Glaser RM, Mathews TA, Camaione DN. Concentric and eccentric isokinetic lower extremity strength in persons with multiple sclerosis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1992;16(3):114-22.
- Ratamess NA. ACSM's foundations of strength training and conditioning. Wolters KlumerHealth/Lippincott Williams & Wilkins; 2012.
- Reeves ND, Maganaris CN, Longo S, Narici MV. Differential adaptations to eccentric *versus* conventional resistance training in older humans. *Exp Physiol.* 2009;94(7):825-833.
- Reid KF, Fielding RA. Skeletal muscle power: a critical determinant of physical functioning in older adults. *Exerc Sport Sci Rev.* 2012;40(1):4-12.
- Ribom E, Ljunggren O, Piehl-Aulin K, Ljunghall S, Bratteby Lf, Smuelson G, Mallmin H. Muscle strength correlates with total body bone mineral density in young women but not in men. *Scand J Med Sci Sports* 2004;14: 24-9.

Rice CL, Vollmer TL, Bigland-Ritchie B. Neuromuscular responses of patients with multiple sclerosis. *Muscle Nerve*. 1992;15(10):1123-32.

Rikli RE, Jones CJ. *Senior Fitness Test Manual*. Champaign: Human Kinetics; 2001.
 Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, Reid WD. The effects of eccentric *versus* concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2009;43(8):556-68.

Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, Reid WD. The effects of eccentric *versus* concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2009;43(8):556-68.

Roig M, Ranson C. Eccentric muscle actions: implications for injury prevention and rehabilitation. *Phys Ther Sport*. 2007;8(2):88-97.

Roig M, Shadgan B, Reid WD. Eccentric exercise in patients with chronic health conditions: a systematic review. *Physiother Can*. 2008;60(2):146-160.

Romberg A, Virtanen A, Ruutiainen J, Aunola S, Karppi SL, Vaara M, Surakka J, Pohjolainen T, Seppänen A. Effects of a 6-month exercise program on patients with multiple sclerosis: a randomized study. *Neurology*. 2004;63:2034-2038.

Ryan AS, Ivey FM, Hurlbut DE, Martel GF, Lemmer JT, Sorkin JD, et al. Regional bone mineral density after resistive training in young and older men and women. *J Appl Physiol* 2004;14:16-23.

Sarmiento S., Rodríguez-Matoso D., Henríquez del Pino Y., Álvarez-Piñera L., García-Manso J. M., Rodríguez-Ruiz D. Effects of flywheel resistance training for gait improvement in female Alzheimer's patients. *J. Strength Cond. Res*. 2014; 28, Suppl. 1,48.

Sayers SP, Gibson K. High-speed power training in older adults: A shift of the external resistance at which peak power is produced. *J Strength Cond Res*. 2014;28(3):616-21.

Schaap LA, Koster A, Visser M. Adiposity, muscle mass, and muscle strength in relation to functional decline in older persons. *Epidemiol Rev*. 2013;35:51-65.

Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Krieger JW. Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2015;45(4):577-85.

Schousboe JT, Shepherd JA, Bilezikian JP, Baim S. Executive Summary of the 2013 ISCD Position Development Conference on Bone Densitometry. *JCD*. 2013;16(4):455-467.

Scott D, Seibel M, Cumming R, Naganathan V, Blyth F, Le Couteur DG, Handelsman DJ, Waite LM, Hirani V. Sarcopenic Obesity and Its Temporal Associations With

Changes in Bone Mineral Density, Incident Falls, and Fractures in Older Men: The Concord Health and Ageing in Men Project. *J Bone Miner Res.* 2017;32(3):575-583.

Scott SM, Hughes AR, Galloway SD, Hunter AM. Surface EMG characteristics of people with multiple sclerosis during static contractions of the knee extensors. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2011;31(1):11-17.

Sharma KR, Kent-Braun J, Mynhier MA, Weiner MW, Miller RG. Evidence of an abnormal intramuscular component of fatigue in multiple sclerosis. *Muscle Nerve.* 1995;18(12):1403-11.

Shevil EBA, Johansson S, Ytterberg C, Bergström J, von Koch L. How are cognitive impairment, fatigue and signs of depression related to participation in daily life among persons with multiple sclerosis? *Disabil Rehabil.* 2014;36(23):2012-8.

Sistiaga A, Castillo-Triviño T, Aliri J, Gaztañaga M, Acha J, Arruti M, Otaegui D, Olascoaga J. Rendimiento cognitivo y calidad de vida de la esclerosis múltiple en Gipuzkoa. *Rev Neurol* 2014;58:337-44.

Stroud NM, Minahan CL. The impact of regular physical activity on fatigue, depression and quality of life in persons with multiple sclerosis. *Health Qual Life Outcomes.* 2009;7:68.

Suzuki T, Bean JF, Fielding RA. Muscle power of the ankle flexors predicts functional performance in community-dwelling older women. *J Am Geriatr Soc.* 2001;49(9):1161-67.

Takahashi T, Sugie M, Nara M, Koyama T, Obuchi SP, Harada K, Kyo S, Ito H. Femoral muscle mass relates to physical frailty components in community-dwelling older people. *Geriatr Gerontol Int.* 2017;17(10):1636-1641.

Tarakci E, Yeldan I, Huseyinsnoglu B, Zenginier Y, Eraksoy M. Group exercise training for balance, functional status, fatigue and quality of life in MS: a randomized controlled trial. *Clin Rehab.* 2013;27:813-822.

Tejera-Alhambra M, Casrouge A, de Andrés C, Seyfferth A, Ramos-Medina R, Alonso B, Vega J, Fernández-Paredes L, Albert ML, Sánchez-Ramón S. Plasma Biomarkers Discriminate Clinical Forms of Multiple Sclerosis. *PLoS ONE* 2015;10(6):e0128952.

Tesch PA, Berg HE, Bring D, Evans HJ, Leblanc, AD. Effects of 17-day spaceflight on knee extensor muscle function and size. *Eur J Appl Physiol.* 2005;93(4):463-8.

Tesch PA, Fernandez-Gonzalo R, Lundberg TR. Clinical Applications of Iso-Inertial, Eccentric-Overload (YoYo™) Resistance Exercise. *Front Physiol.* 2017;8:241.

Thoumie P, L'Amotte D, Cantaloube S, Foucher M, Amarenco G. Motor determinants of gait in 100 ambulatory patients with MS. *Mult Scler.* 2005;11:485-491.

- Van Roie E, Verschueren SM, Boonen S, Bogaerts A, Kennis E, Coudyzer W, Delecluse C. Force-velocity characteristics of the knee extensors: An indication of the risk for physical frailty in elderly women. *Arch Phys Med Rehabil.* 2011;92(11):1827-32.
- Vikne H, Refsnes PE, Ekmark M, Medbø JI, Gundersen V, Gundersen K. Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(10):1770-81.
- Vincent KR, Braith RW. Resistance training and bone turnover in elderly men and women. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:17-23.
- Warburton DE, Gledhill N, Quinney A. Musculoskeletal fitness and health. *Can J Appl Physiol.* 2001;26(2):217-37.
- Wens I, Dalgas U, Stenager E, Eijnde BO. Risk factors related to cardiovascular diseases and the metabolic syndrome in multiple sclerosis - a systematic review. *Mult Scler.* 2013;19(12):1556-64.
- Wens I, Dalgas U, Vandenabeele F, Krekels M, Grevendonk L, Eijnde BO. Multiple sclerosis affects skeletal muscle characteristics. *PLoS One.* 2014;9(9):e108158.
- Wens I, Dalgas U, Vandenabeele F, Verboven K, Hansen D, Deckx N, Cools N, Eijnde BO. High Intensity Aerobic and Resistance Exercise Can Improve Glucose Tolerance in Persons With Multiple Sclerosis: A Randomized Controlled Trial. *Am J Phys Med Rehabil.* 2017;96(3):161-166.
- Westing SH, Creewell AG, Thorstensson A. Muscle activation during maximal voluntary eccentric and concentric knee extension, *Eur J Appl Physiol.* 1991;62(2):104-108.
- White LJ, McCoy SC, Castellano V, Gutierrez G, Stevens JE, Walter GA, Vandenborne K. Resistance training improves strength and functional capacity in persons with multiple sclerosis. *Mult Scler.* 2004;10:668-674.
- Wingo BC, Young HJ, Motl RW. Body composition differences between adults with multiple sclerosis and BMI-matched controls without MS. *Disabil Health J.* 2017; pii: S1936-6574(17)30176-0.
- Witard OC, McGlory C, Hamilton DL, Phillips SM. Growing older with health and vitality: a nexus of physical activity, exercise and nutrition. *Biogerontology.* 2016;17(3):529-46.
- World Health Organization. BMI Classification. Disponible en: http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html. Accesado en: 20 de Noviembre de 2017.

13. ANEXO



ORIGINAL RESEARCH

Effects of Classic Progressive Resistance Training Versus Eccentric-Enhanced Resistance Training in People With Multiple Sclerosis

Claudia Eliza Patrocínio de Oliveira, MSc,^{a,b} Osvaldo Costa Moreira, MSc,^{a,b}
Zoila Marilú Carrión-Yagual, MSc,^a Carlos Medina-Pérez, PhD,^c José Antonio de Paz, PhD^a

From the ^aInstitute of Biomedicine, University of Leon, Leon, Spain; ^bDepartment of Physical Education, Federal University of Viçosa, Viçosa, Brazil; and ^cUniversity Isabel I, Burgos, Spain.

Abstract

Objective: To compare the effects of classic progressive resistance training (PRT) versus eccentric strength-enhanced training (EST) on the performance of functional tests and different strength manifestations in the lower limb of people with multiple sclerosis (PwMS).

Design: Experimental trial.

Setting: Strength training program.

Participants: PwMS (N=52; 19 men, 33 women) belonging to MS associations from the Castilla y León, Spain.

Interventions: Participants were assigned to 1 of 2 groups: a control group that performed PRT or an experimental group that performed EST. In both groups, the knee extensor muscles were trained for 12 weeks.

Main Outcome Measures: Before and after 12 weeks of training, maximal voluntary isometric contraction and 1 repetition maximum (1RM) of the knee extensors were evaluated, as were the Chair Stand Test (CST) and Timed 8-Foot Up and Go (TUG) functional tests.

Results: No differences were found between the groups in the initial values for different tests. Intragroup comparisons found significant differences in CST (F=69.4; $P<.001$), TUG (F=40.0; $P<.001$), and 1RM (F=57.8; $P<.001$). For intergroup comparisons, EST presented better results than PRT in the CST (EST, $4.7\% \pm 2.8\%$; PRT, $1.9\% \pm 2.8\%$; F=13.1; $P=.001$) and TUG (EST, -2.9 ± 4.7 ; PRT, -4.1 ± 5.6 ; F=5.6; $P=.022$).

Conclusions: In PwMS, EST leads to improvements in 1RM, TUG, and CST that are similar to those of PRT. However, for patients who participated in this study, the EST seems to promote a better transfer of strength adaptations to the functional tests, which are closer to daily-living activities.

Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 2017; ■: ■ ■ ■ ■ - ■ ■ ■ ■

© 2017 by the American Congress of Rehabilitation Medicine

Multiple sclerosis (MS) is an autoimmune disease of unknown etiology that has inflammatory components and chronic degenerative effects on the central nervous system.¹ This disease is more prevalent in women² and is the main cause of nontraumatic neurologic disability in the young population (aged 25–40y). Those who are affected often present a progressive reduction in

functional capacity and a consequent increase in the degree of disability³ that has a negative impact on work, family, and social life.⁴

Regular physical exercise may lead to decreased fatigue⁵ and improvements in spasticity^{6–8} in people with MS (PwMS). This is a therapeutic complement in rehabilitation programs,⁹ which prioritize mobility, aerobic and strength exercises. However, classic progressive strength training (PRT) in PwMS is a relatively new approach.¹⁰

Research has shown that whereas healthy people manage to activate between 94% and 100% of their motor units, PwMS activate between 47% and 93%.^{11–13} Muscle strength has been

Supported by a grant from the Conserjería de Sanidad y Consumo of the Government of the Autonomous Community of Castilla y León, Spain; the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for the Ciências sem Fronteiras, and the CAPES Foundation, Ministry of Education of Brazil.

Disclosures: none.

noted to be an important determinant of gait velocity in PwMS,¹⁴ mainly because of the observable correlations between different gait parameters and quadriceps and hamstring muscle strength.¹⁵

Chronic eccentric stimuli produce rapid and important muscle adaptations¹⁶ by requiring the activation of a greater number of muscle fibers, which are the producers of more strength.¹⁷ This type of stimuli is also an effective method for reducing the muscle damage caused by an unaccustomed exercise.¹⁸

Some studies¹⁹⁻²¹ have shown the beneficial effects of eccentric strength-enhanced training (EST) in healthy adults, and given that MS is a neurologic disease, this type of training may be advantageous for eliciting a higher stimulation of the cerebral cortex and gains in muscle power and hypertrophy.²² It has also been shown that this type of training can be safely used by people with some types of chronic diseases.^{19,23,24} However, whether this type of training can produce the same benefits in PwMS has not been clarified.

Usually, studies comparing the effects of PRT versus EST are performed on people with characteristics other than MS. We hypothesized that EST would lead to more accentuated increases in muscle strength and functional capacity than PRT in PwMS with at least 1 year of experience in strength training. Thus, the objective of this investigation was to compare the effects of PRT versus EST on the performance of functional tests and different strength manifestations in the knee extensors of PwMS.

Methods

Participants

We evaluated 52 PwMS belonging to 6 MS rehabilitation centers within the region of Castilla y León, Spain, who had already been participating in a strength-training program. After a group meeting where the details of the investigation were described to the patients, including possible risks and discomfort associated with the intervention, a formal invitation to take part in the study was offered. All patients had a confirmed diagnosis of MS according to the McDonald criteria.²⁵

The inclusion criteria were walking (with or without assistance) at least 20m; ability to perform the proposed exercises; minimum experience of 1 year with strength training; and attendance at $\geq 80\%$ of the training sessions. All subjects provided written informed consent. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the institutional ethics committee.

Research design

Participants were assigned to 1 of 2 groups—a control group and an experimental group—depending on their geographic location,

List of abbreviations:

| | |
|-------------|--|
| CST | Chair Stand Test |
| EST | eccentric strength-enhanced training |
| MS | multiple sclerosis |
| MVIC | maximal voluntary isometric contraction |
| IRM | 1 repetition maximum |
| PRT | progressive resistance training |
| PwMS | patients with multiple sclerosis |
| TUG | Timed 8-Foot Up and Go |

so that they could be assigned to the training unit closer to their home. The experimental group did EST, and the control group performed PRT. We trained the knee extensor muscles in both groups. The trainings were conducted twice a week for 12 weeks, and all assessment procedures were monitored and supervised in person by a physician. The research design is showed in the figure 1.

Evaluation procedures

The degree of disability was determined using the Expanded Disability Status Scale,²⁶ which was administered by a physician. The functional capacity tests were the Timed 8-Foot Up and Go (TUG) test and the Chair Stand Test (CST), which were carried out according to the Rikli and Jones²⁷ protocol.

All strength evaluations were performed on a multistation machine,^a bilaterally exercising the knee extensors.

The evaluation of maximal voluntary isometric contraction (MVIC) was performed with a strain gauge (Globus Ergometer^b) and software (Globus Ergo Tester v1.5^b). We used a 90° angle of knee flexion, as determined using a goniometer,^c following the protocol used in other studies.²⁸⁻³⁰ Two separate attempts were made, with an interval of 3 minutes between each attempt. The highest value obtained was considered the valid result.

For maximum dynamic strength evaluation, we used the 1 repetition maximum (IRM) protocol.³¹ For the 4 warm-up repetitions, a load corresponding to 50% of the MVIC was used. Under the supervision of the trained evaluator and after indicating the patient's subjective perception of the effort through the OMNI-Resistance Exercise Scale,³² the load was progressively increased between 5 and 8kg. Two repetitions were performed with each load until the patient was able to perform only a single repetition; this load mobilized only once was considered the IRM. In case of not even achieving 1 repetition, an intermediate load was placed between the one that had moved twice and the one that had not been able to move. A maximum of 5 loads was allowed, with an interval of 3 minutes between each of the loads.

Classic PRT: control group

PRT was conducted using the same multistation machine^a on which evaluation of the knee extension exercise had been performed. Simultaneously, with both legs between 90° and 180° of extension, patients were encouraged to perform the extension at maximum speed and slow braking of the load in flexion. The training was personalized and prescribed following the general recommendations of the American College of Sports Medicine³³ and according to the load obtained after the IRM evaluation. Table 1 shows the PRT program.

EST: experimental group

EST sessions were conducted on the Multi-gym flywheel device.^d In each training session, 4 sets of 8 repetitions were executed, with an interval of 2 minutes between sets. The training was performed as described by Tesch et al.³⁴ In short, the subject, from a starting position with knee flexion of 80° to 90°, pushes against a footplate with your maximal strength. Once the pushing or concentric phase has been completed at almost full knee extension (160°–170°), the Yoyo inertial flywheel machine generates a kinetic energy in the opposite direction and thus returns the footplate. In an attempt to resist the force produced by the pull of the flywheel, the subject



Fig 1 Experimental design. Abbreviation: EDSS, Expanded Disability Status Scale.

then performs an eccentric muscle action. The next cycle is initiated after the flywheel(s) has come to a stop.

Initially, the Yoyo inertial flywheel machine was adjusted such that the knee angle could not exceed 170° during extension. This individual setting was kept throughout the entire series of experiments. Any session was preceded by a standardized 5 minutes on the stationary bicycle. After, 4 sets of 8 maximal coupled concentric and eccentric actions were performed from approximately 80° to 170° knee angle using the Yoyo. Subjects were requested to perform a maximal concentric action through that range and were then asked to resist gently during the initial 20° of the subsequent eccentric action, and then aim at bringing the wheel(s) to a stop at 80° before initiating a subsequent concentric action. Two minutes of rest were allowed between each bout of 8 coupled muscle actions. All repetitions were performed with strong verbal encouragement.

Because of the peculiarities of the PwMS and to maintain their security, an adaptation was made to the original chair, by including a back on the chair for support. Training data were checked and recorded using the optical encoder (SmartCoach optical encoder[®]) and software (SmartCoach software v3.1.3.0[®]), and with each repetition the volunteers were verbally encouraged to try to use their maximum possible strength (all out).

Statistical analysis

Data analyses were performed using the statistical software.^f Data were subjected to the Kolmogorov-Smirnov with Lilliefors corrections normality test; the logarithmic transformation (base 10) was performed for dependent variables that did not show a normal distribution. The descriptive analysis was presented with both mean and SD. The baseline comparison of variables between groups was

performed using the Student *t* test for parametric variables and the Mann-Whitney *U* test for nonparametric variables. The homogeneity of variances was determined by Box's *M* test. Intragroup (pre \times post) and intergroup (PRT \times EST) comparisons were performed using general linear models multivariate analysis of covariance. This used 2 factors: the time factor for intragroup comparison and the group factor for intergroup comparison. To control a possible effect of disability degree on the analyzed variables, Expanded Disability Status Scale values were used as a covariate in the analysis. Statistical significance was set at $P < .05$.

Results

General sample characteristics can be seen in table 2. No differences in the initial values of any variables were observed between the groups. All 52 participants completed the study. Multivariate analysis of covariance (*M* value) on the primary outcomes confirmed the homogeneity of variances between the EST and PRT groups (table 3).

The results analysis of functional tests and different strength manifestations are presented in table 3. No musculoskeletal injuries or unpleasant effects were attributable to training during the intervention period in either PRT or EST. We believed that working with patients who had already participated in a strength-training program constituted a safety factor, as we were unaware of the possible adverse effects of a high-intensity (EST) workout on PwMS.

The results of multivariate test statistics are shown in table 4. It is possible to observe that the time factor and the group factor have significant influence on the functional test CST. Similarly, both factors also have significant influence on TUG. However, the 1RM is only affected by the factor time. The MVIC was not influenced by any factor (time and group).

Thus, it seems that both training types, PRT and EST, can improve the performance of PwMS in functional tests and 1RM. However, EST seems more effective than PRT in promoting gains in functional capacity, as suggested for the group comparison (see table 4). On the other hand, both training types seem to produce the same effect on 1RM and MVIC.

Discussion

Despite previous studies^{28,30,35} demonstrating that the strength of PwMS is increased after participation in a PRT program, this study was undertaken for 2 reasons: (1) findings in scientific

Table 1 Classic PRT program

| Weeks | Set 1 | | Set 2 | | Set 3 | |
|-------|--------------|-------|--------------|------|--------------|-------|
| | Load (% 1RM) | Reps | Load (% 1RM) | Reps | Load (% 1RM) | Reps |
| 1–2 | 35 | 10–12 | 50 | 8–10 | 35 | 10–12 |
| 3–4 | 40 | 10–12 | 55 | 8–10 | 40 | 10–12 |
| 5–6 | 45 | 10–12 | 60 | 8–10 | 45 | 10–12 |
| 7–8 | 50 | 10–12 | 65 | 8–10 | 50 | 10–12 |
| 9–10 | 55 | 10–12 | 70 | 8–10 | 55 | 10–12 |
| 11–12 | 55 | 10–12 | 70 | 8–10 | 55 | 10–12 |

Table 2 General sample characteristics

| Characteristics | PRT (n=21) | EST (n=31) | Normality (P) | Baseline Comparisons (P) |
|--------------------------|-----------------|----------------------|---------------|--------------------------|
| Sex (M/F) | 6/15 | 13/18 | NA | NA |
| Age (y) | 50.6±9.3 | 46.0±11.7 | .737 | .164 |
| Body weight (kg) | 65.1±11.1 | 68.8±13.3 | .754 | .269 |
| Height (m) | 1.64±0.9 | 1.67±0.9 | .499 | .141 |
| BMI (kg/m ²) | 24.0±2.9 | 24.3±4.0 | .807 | .802 |
| EDSS (AU) | 3.9±1.2 | 3.3±1.4 | .099 | .085 |
| Type of MS | 14 RR/6 CP/1 ND | 20 RR/6 PP/2 CP/3 ND | NA | NA |
| Disease duration (y) | 11.7±8.5 | 11.0±7.6 | .241 | .829 |
| CST (reps) | 14.8±4.1 | 14.2±5.0 | .181 | .667 |
| TUG (s) | 9.3±3.4 | 9.5±6.1 | .005 | .484 |
| MVIC (kg) | 79.1±27.1 | 89.4±31.8 | .496 | .234 |
| 1RM (kg) | 72.0±22.9 | 80.8±27.0 | .476 | .224 |

NOTE. Values are n, mean ± SD, or as otherwise indicated.

Abbreviations: AU, arbitrary units; BMI, body mass index; CP, chronic progressive; EDSS, Expanded Disability Status Scale; F, female; M, male; NA, not applicable; ND, not determined; PP, primary progressive; reps, repetitions; RR, relapsing-remitting.

publications show that EST improves function in patients with various conditions, such as neurologic pathologic disorders, age-induced sarcopenia, and muscle-tendinous problems³⁶⁻³⁸; and (2) there is an absence of studies verifying the effects of these 2 training systems in PwMS. Attempts have also been made to analyze the effects of PRT and EST, not only on strength, but also on functional tests such as the CST and TUG, which are similar to daily life activities and are frequently used in studies of PwMS.^{30,35,39-41}

To our knowledge, the only study that deals with work eccentrically enhanced in PwMS is that carried out by Samaei et al,³⁹ who had PwMS undergo 12 weeks of treadmill training. The individuals were divided into 2 groups, one walking with 10% positive slope (concentric group), and one walking with a 10% negative slope (eccentric group). The authors observed significant improvements in the eccentric group for fatigue, mobility, functionality, balance, and quadriceps strength, as seen in the main results for this study.

In the CST, which can be considered an indicator of lower limb strength/power⁴² in PwMS, both the time factor (pre- and post-comparisons) and the group factor (intergroup comparisons) produced significant improvements in this variable. These findings are in agreement with those of Dalgas et al,³⁵ who found that 12 weeks of PRT produced increases in the CST in PwMS. However, intergroup comparisons showed that EST induced a greater increase in CST performance than PRT. One possible explanation for this finding is that, while both training types can promote

strength gain, EST can also provide neuromuscular stimuli induced by different muscle activation strategies during eccentric exercise,⁴³ thereby promoting more pronounced adaptations and reflecting the improvements in functional capacity.

For the TUG, which is an indicator of gait speed with change of direction, both the time and group factors produced improvements, reducing the time needed to carry out the displacement of the marked distance; however, this improvement was greater in EST. De Souza-Teixeira,³⁰ Dalgas,³⁵ and Samaei³⁹ and colleagues observed improvements in TUG results for PwMS under different types of training. In our opinion, however, lack of a significant difference in the PRT is probably due to people having previous training experience.⁴⁴ Likewise, Pearson et al⁴⁵ conducted a meta-analysis considering 4 studies that evaluated TUG after different types of training, including strength, aerobic, and combined training. The decrease in gait speed that is usually observed in PwMS may be due to a loss of muscle strength and an increase in lower limb fatigue,⁴⁶ among other factors. In this sense, the performance of strength training, whether classic or eccentrically enhanced, can lead to improvements by inducing neuromuscular adaptations that have a reflex in increasing strength levels, muscular endurance, and coordination.^{28,30,35} Therefore, PwMS who undergo a lower limb strength-training program may benefit from an improvement in their walking ability regarding muscle strength and power per incremental means.

We believe that our study sample's experience with strength training influenced all outcomes, because strength gains in already

Table 3 CST, TUG, and muscle strength pre- and posttrial and comparison of the results of the variables between PRT and EST

| Variables | PRT (n=21) | | EST (n=31) | | Homoscedasticity | | Time Factor | | Group Factor | |
|------------|------------|-----------|------------|-----------|------------------|------|-------------|-------|--------------|------|
| | Pre | Post | Pre | Post | M | P | Pre×Post | | PRT×EST | |
| | | | | | | | F | P | F | P |
| CST (reps) | 14.8±4.1 | 16.6±5.4 | 14.2±5.0 | 18.9±6.2 | 0.820 | .854 | 35.5 | <.001 | 9.3 | .004 |
| TUG (s) | 9.3±3.4 | 8.4±7.6 | 9.5±6.1 | 6.6±2.3 | 14.241 | .004 | 4.3 | .043 | 5.3 | .026 |
| MVIC (kg) | 79.1±27.1 | 79.7±28.3 | 89.4±31.8 | 95.6±31.5 | 1.712 | .652 | 2.3 | .135 | 1.7 | .192 |
| 1RM (kg) | 72.0±22.9 | 79.7±27.7 | 80.8±27.0 | 94.5±25.8 | 6.446 | .104 | 9.3 | .004 | 3.7 | .061 |

NOTE. Values are mean ± SD or as otherwise indicated.

Abbreviations: M, Box's M test value; reps, repetitions.

Table 4 Results of multivariate test statistics for MANCOVA analysis, using time and group factors

| Variables | Effect | Value | F | Hypothesis df | Error df | P | |
|-----------|--------------|--------------------|------|---------------|----------|--------|-------|
| CST | Time | Pillai's trace | .440 | 38.546 | 1.000 | 49.000 | <.001 |
| | | Wilks' lambda | .560 | 38.546 | 1.000 | 49.000 | <.001 |
| | | Hotelling's trace | .787 | 38.546 | 1.000 | 49.000 | <.001 |
| | | Roy's largest root | .787 | 38.546 | 1.000 | 49.000 | <.001 |
| | Time * Group | Pillai's trace | .160 | 9.302 | 1.000 | 49.000 | .004 |
| | | Wilks' lambda | .840 | 9.302 | 1.000 | 49.000 | .004 |
| | | Hotelling's trace | .190 | 9.302 | 1.000 | 49.000 | .004 |
| | | Roy's largest root | .190 | 9.302 | 1.000 | 49.000 | .004 |
| TUG | Time | Pillai's trace | .081 | 4.335 | 1.000 | 49.000 | .043 |
| | | Wilks' lambda | .919 | 4.335 | 1.000 | 49.000 | .043 |
| | | Hotelling's trace | .088 | 4.335 | 1.000 | 49.000 | .043 |
| | | Roy's largest root | .088 | 4.335 | 1.000 | 49.000 | .043 |
| | Time * Group | Pillai's trace | .097 | 5.261 | 1.000 | 49.000 | .026 |
| | | Wilks' lambda | .903 | 5.261 | 1.000 | 49.000 | .026 |
| | | Hotelling's trace | .107 | 5.261 | 1.000 | 49.000 | .026 |
| | | Roy's largest root | .107 | 5.261 | 1.000 | 49.000 | .026 |
| MVIC | Time | Pillai's trace | .045 | 2.305 | 1.000 | 49.000 | .135 |
| | | Wilks' lambda | .955 | 2.305 | 1.000 | 49.000 | .135 |
| | | Hotelling's trace | .047 | 2.305 | 1.000 | 49.000 | .135 |
| | | Roy's largest root | .047 | 2.305 | 1.000 | 49.000 | .135 |
| | Time * Group | Pillai's trace | .034 | 1.748 | 1.000 | 49.000 | .192 |
| | | Wilks' lambda | .966 | 1.748 | 1.000 | 49.000 | .192 |
| | | Hotelling's trace | .036 | 1.748 | 1.000 | 49.000 | .192 |
| | | Roy's largest root | .036 | 1.748 | 1.000 | 49.000 | .192 |
| 1 RM | Time | Pillai's trace | .159 | 9.261 | 1.000 | 49.000 | .004 |
| | | Wilks' lambda | .841 | 9.261 | 1.000 | 49.000 | .004 |
| | | Hotelling's trace | .189 | 9.261 | 1.000 | 49.000 | .004 |
| | | Roy's largest root | .189 | 9.261 | 1.000 | 49.000 | .004 |
| | Time * Group | Pillai's trace | .070 | 3.684 | 1.000 | 49.000 | .061 |
| | | Wilks' lambda | .930 | 3.684 | 1.000 | 49.000 | .061 |
| | | Hotelling's trace | .075 | 3.684 | 1.000 | 49.000 | .061 |
| | | Roy's largest root | .075 | 3.684 | 1.000 | 49.000 | .061 |

Abbreviations: df, degrees of freedom; MANCOVA, multivariate analysis of covariance.

trained people are smaller than in untrained individuals.⁴⁴ The 2 types of strength training used in this study improved 1RM (according to the time factor) similarly to that of other studies^{28,40,47} on PwMS. These results may be a consequence of muscle hypertrophy or the improvement of neural components, such as an improvement in the recruitment of motor units or the reduction of inhibitory impulses.⁹

No significant differences were seen in MVIC regarding both the time factor and the group factors. Other studies^{29,30,39} that evaluated the effect of PRT on MVIC found that this type of training increased isometric strength; this is inconsistent with the findings of the present study. One possible explanation for this discrepancy is that this research was developed using a sample populated by individuals with at least 1 year of experience with strength training; however, other studies that found improvements in MVIC were made with untrained subjects.

Muscle strength can be considered an independent predictor of mortality, since the hazard ratio between mortality and quadriceps strength is 1.36 for men and 1.56 for women.⁴⁸ In addition, strength loss is associated with an impairment of functional capacity by 1.86 times.⁴⁹ Thus, it is important to emphasize the clinical significance, since increases in lower limb strength in PwMS can be reflected in improved walking ability and overall

functionality. Although we did not evaluate the minimally clinically important difference, we infer from our results that both types of training should result in improvement of muscle strength. These strength gains could be related to the functional improvements, especially in the ability to walk with changes of directions.

The practical consequences of this study's findings would concern activities relating to daily life; patients with previous strength-training experience could benefit from the implementation of eccentric exercise.

Study limitations

The present findings have a few limitations that must be considered when interpreting the results. The study sample comprised PwMS who had mild to moderate disabilities, and several types of MS were present. PwMS with different clinical features may exhibit different responses to the exercise protocols used in this intervention. Other possible limitations are the lack of randomization and the different proportions of men in the groups. Moreover, the results should be cautiously generalized to other muscle groups, to other patients who are affected by this disease, or both. The participants and the supervising investigators were not blinded to the intervention. However, it is difficult to blind participants

(and trainers) to an exercise intervention because a placebo exercise intervention will be revealed by participants. Nonetheless, we conclude that supervised PRT performed in small groups of PwMS is effective in improving muscle strength and functional capacity. Therefore, future studies are needed to confirm the effects of the protocols used here in more disabled PwMS, in different muscle groups, and in those with different experience levels of strength training.

Conclusions

In PwMS, EST leads to improvements in IRM, TUG, and CST that are similar to those of PRT. However, for patients who participated in this study, EST seems to promote a better transfer of strength adaptations to the functional tests, which are closer to daily-living activities.

Suppliers

- a. BH Fitness Nevada Pro-T; Exercycle SL.
- b. Domino srl.
- c. Goniometer TEC; Sport-Tec Physio & Fitness.
- d. Multi-gym flywheel device; YoYo Technology AB (Inc).
- e. SmartCoach Europe AB.
- f. IBM SPSS version 21; IBM Corp.

Keywords

Activities of daily living; Multiple sclerosis; Muscle weakness; Rehabilitation; Resistance training

Corresponding author

Claudia Eliza Patrocínio de Oliveira, MSc, Institute of Biomedicine, University of Leon, Campus Vegazana, 24008 Leon, Spain. *E-mail address:* cpatrocinio@ufv.br.

Acknowledgments

We thank the Multiple Sclerosis Associations of Castilla y León, Spain, that participated in the study.

References

1. Denninson L, Moss-Morris R, Chalder T. A review of psychological correlates of adjustment in patients with multiple sclerosis. *Clin Psychol Rev* 2009;29:141-53.
2. Bove R, Chitnis T. Sexual disparities in the incidence and course of MS. *Clin Immunol* 2013;149:201-10.
3. White LJ, McCoy SC, Castellano V, et al. Resistance training improves strength and functional capacity in persons with multiple sclerosis. *Mult Scler* 2004;10:668-74.
4. Flachenecker P. Clinical Implications of neuroplasticity—the role of rehabilitation in multiple sclerosis. *Front Neurol* 2015;6:36.
5. Pilutti L, Greenlee T, Motl R, Nickrent N, Petrezello S. Effects of exercise training on fatigue in MS: a meta-analysis. *Psychosom Med* 2013;75:575-80.
6. Giesser B, Beres-Jones J, Budovitch A, Herlihy E, Harkema S. Locomotor training using body weight support on a treadmill improves mobility in persons with MS. *Mult Scler* 2007;13:224-31.
7. Sosnoff J, Motl RW, Snook EM, Wynn D. Effect of a 4-week period of unloaded leg cycling exercise on spasticity in multiple sclerosis. *NeuroRehabilitation* 2009;24:327-31.
8. Tarakci E, Yeldan I, Huseyinsoglu B, Zenginier Y, Eraksoy M. Group exercise training for balance, functional status, fatigue and quality of life in MS: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2013;27:813-22.
9. Kjølshede T, Vissing K, Dalgas U. MS and progressive resistance training: a systematic review. *Mult Scler* 2012;18:1215-28.
10. Giesser BS. Exercise in the management of persons with multiple sclerosis. *Ther Adv Neurol Disord* 2015;8:123-30.
11. Rice CL, Vollmer TL, Bigland-Ritchie B. Neuromuscular responses of patients with sclerosis multiple. *Muscle Nerve* 1992;15:1123-32.
12. Sharma KR, Kent-Braun J, Mynhier MW, Miller RG. Evidence of an abnormal intramuscular component of fatigue in multiple sclerosis. *Muscle Nerve* 1995;18:1403-11.
13. Haan A, De Ruyter CJ, Van Der Woud LH, Jongen PJ. Contractile properties and fatigue of quadriceps muscles in multiple sclerosis. *Muscle Nerve* 2000;23:1534-41.
14. Thoumie P, L'Amotte D, Cantaloube S, Foucher M, Amarenco G. Motor determinants of gait in 100 ambulatory patients with MS. *Mult Scler* 2005;11:485-91.
15. Güner S, Haghari S, Inanıcı F, Alsancak S, Aytekin G. Knee muscle strength in multiple sclerosis: relationship with gait characteristics. *J Phys Ther Sci* 2015;27:809-13.
16. Lindstedt SL, LaStayo PC, Reich TE. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *News Physiol Sci* 2001;16:256-61.
17. Aagard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J, Dyhre-Poulsen P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol* (1985) 2000;89:2249-57.
18. Jiménez-Jiménez R, Cuevas MJ, Almar M, et al. Eccentric training impairs NF-kappaB activation and over-expression of inflammation-related genes induced by acute eccentric exercise in the elderly. *Mech Ageing Dev* 2008;129:313-21.
19. Roig M, Shadgan B, Reid WD. Eccentric exercise in patients with chronic health conditions: a systematic review. *Physiother Can* 2008; 60:146-60.
20. Hortobágyi T, Devita P, Money J, Barrier J. Effects of standard and eccentric overload strength training in young women. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1206-12.
21. Vikne H, Refsnes PE, Ekmark M, Medbø JJ, Gundersen V, Gundersen K. Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:1770-81.
22. Fang Y, Siemionow V, Sahgal V, Xiong F, Yue GH. Greater movement related cortical potential during human eccentric versus concentric muscle contractions. *J Neurophysiol* 2001;86:1764-72.
23. Fernandez-Gonzalo R, Nissemark C, Åslund B, Tesch PA, Sojka P. Chronic stroke patients show early and robust improvements in muscle and functional performance in response to eccentric-overload flywheel resistance training: a pilot study. *J Neuroeng Rehabil* 2014;11:150.
24. Casillas JM, Besson D, Hannequin A, et al. Effects of an eccentric training personalized by a low rate of perceived exertion on the maximal capacities in chronic heart failure. *Eur J Phys Rehabil Med* 2016;52:159-68.
25. McDonald WI, Compston A, Edan G, et al. Recommended diagnostic criteria for multiple sclerosis: guidelines from the International Panel on the Diagnosis of Multiple Sclerosis. *Ann Neurol* 2001;50:121-7.
26. Kurtzke JF. Rating neurologic impairment in multiple sclerosis: an Expanded Disability Status Scale (EDSS). *Neurology* 1983;33:1444-52.

27. Rikli RE, Jones CJ. Senior fitness test manual. Champaign: Human Kinetics; 2001.
28. Medina-Perez C, de Souza-Teixeira F, Fernandez-Gonzalo R, Hernandez-Murua J, de Paz-Fernandez JA. Effects of high-speed power training on muscle strength and power in patients with multiple sclerosis. *J Rehabil Res Dev* 2016;53:359-68.
29. Medina-Perez C, de Souza-Teixeira F, Fernandez-Gonzalo R, de Paz-Fernandez JA. Effects of a resistance training program and subsequent detraining on muscle strength and muscle power in multiple sclerosis patients. *NeuroRehabilitation* 2014;34:523-30.
30. De Souza-Teixeira F, Costilla S, Ayán C, García-López D, González-Gallego J, de Paz JA. Effects of resistance training in multiple sclerosis. *Int J Sports Med* 2009;30:245-50.
31. Kraemer WJ, Ratamess NA, French DN. Resistance training for health and performance. *Curr Sports Med Rep* 2002;1:165-71.
32. Gearhart RF Jr, Lagally KM, Riechman SE, Andrews RD, Robertson RJ. Safety of using the adult Omni resistance exercise scale to determine 1-RM in older men and women. *Percept Mot Skills* 2011;113:671-6.
33. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand: quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:1334-59.
34. Tesch PA, Berg HE, Bring D, Evans HJ, Leblanc AD. Effects of 17-day spaceflight on knee extensor muscle function and size. *Eur J Appl Physiol* 2005;93:463-8.
35. Dalgas U, Stenager E, Jakobsen J, et al. Resistance training improves muscle strength and functional capacity in multiple sclerosis. *Neurology* 2009;73:1478-84.
36. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Chronic adaptations to eccentric training: a systematic review. *Sports Med* 2017;47:917-41.
37. Tesch PA, Fernandez-Gonzalo R, Lundberg TR. Clinical applications of iso-inertial, eccentric-overload (YoYo™) resistance exercise. *Front Physiol* 2017;8:241.
38. Maroto-Izquierdo S, García-López D, Fernandez-Gonzalo R, Moreira OC, González-Gallego J, de Paz JA. Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport* 2017;20:943-51.
39. Samaei A, Bakhtiary AH, Hajihassani A, Fatemi E, Motaharinezhad F. Uphill and downhill walking in multiple sclerosis: a randomized controlled trial. *Int J MS Care* 2016;18:34-41.
40. Manca A, Cabboi MP, Dragone D, et al. Resistance training for muscle weakness in multiple sclerosis: direct versus contralateral approach in individuals with ankle dorsiflexors' disparity in strength. *Arch Phys Med Rehabil* 2017;98:1348-56.
41. Sebastião E, Sandroff BM, Learmonth YC, Motl RW. Validity of the Timed Up and Go test as a measure of functional mobility in persons with multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil* 2016;97:1072-7.
42. Eckardt N. Lower-extremity resistance training on unstable surfaces improves proxies of muscle strength, power and balance in healthy older adults: a randomised control trial. *BMC Geriatr* 2016;16:191.
43. Nie H, Arendt-Nielsen L, Kawczynski A, Madeleine P. Gender effects on trapezius surface EMG during delayed onset muscle soreness due to eccentric shoulder exercise. *J Electromyogr Kinesiol* 2007;17:401-9.
44. Kenney WL, Wilmore J, Costill D. Physiology of sport and exercise. 6th ed. Champaign: Human Kinetics; 2015.
45. Pearson M, Dieberg G, Smart N. Exercise as a therapy for improvement of walking ability in adults with multiple sclerosis: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2015;96:1339-48.
46. Motl RW, Balantrapu S, Pilutti L, Dlugonski D, Suh Y, Sandroff BM. Symptomatic correlates of six-minute walk performance in persons with multiple sclerosis. *Eur J Phys Rehabil Med* 2013;49:59-66.
47. Robineau S, Nicolas B, Gallien P, et al. Eccentric isokinetic strengthening in hamstrings of patients with multiple sclerosis. *Ann Readapt Med Phys* 2005;48:29-33.
48. Buch A, Carmeli E, Boker LK, et al. Muscle function and fat content in relation to sarcopenia, obesity and frailty of old age—an overview. *Exp Gerontol* 2016;76:25-32.
49. Brady AO, Straight CR, Evans EM. Body composition, muscle capacity, and physical function in older adults: an integrated conceptual model. *J Aging Phys Act* 2014;22:441-52.