

ÍNDICE DE CALIDAD MUSCULAR EN PERSONAS MAYORES CON OSTEOARTRITIS DE CADERA

MUSCLE QUALITY INDEX IN OLDER ADULTS WITH HIP OSTEOARTHRITIS

Daniel Jerez-Mayorga^{1,2}; Ramón Machado Payer¹; Guido Contreras Díaz^{1,3}; Luis Javier Chiroso¹

¹ Strength & Conditioning Laboratory, CTS-642 Research Group, Department Physical Education and Sports, Faculty of Sport Sciences, University of Granada, Granada, Spain.

² Exercise and Rehabilitation Sciences Institute, School of Physical Therapy, Faculty of Rehabilitation Sciences, Universidad Andres Bello, Santiago, 7591538, Chile.

³ Department of Health, Universidad de los Lagos, Puerto Montt.

djerezmayorga@ugr.es

RESUMEN

Introducción: La pérdida progresiva de la función neuromuscular va a conllevar a grados de discapacidad y disminución de la independencia en la realización de actividades de la vida diaria y fuerza muscular. El propósito de la investigación fue determinar el comportamiento del índice de calidad muscular (MQI) en sujetos con osteoartritis de cadera (OA) (Grupo OA) y comparar las manifestaciones de la fuerza y variables antropométricas con adultos mayores sanos (Grupo AMS). **Método:** Treinta y dos sujetos (4 hombres y 28 mujeres, 66.2 ± 5.2 años, 159.2 ± 7.5 cm, 71.5 ± 11.7 kg) participaron en este estudio. 14 sujetos obesos con OA de cadera unilateral grupo OA, $IMC 31.71 \pm 4.33$ y 18 adultos grupo AMS, $IMC 25.69 \pm 0.86$, pareados por edad y por género. Se determinó: Composición corporal, sit-stand test, índice de calidad muscular y contracción isométrica voluntaria máxima en flexión y extensión de cadera. **Resultados:** El grupo OA presentaba obesidad ($p=0,037$). El MQI del grupo OA correlacionó con el peso ($p=0,776^{**}$), con pico de fuerza máximo en flexión ($p=0,552^*$) y con la media de la fuerza máxima ($p=0,574^*$). En el grupo AMS el MQI correlacionó con: peso ($p=0,689^{**}$), perímetro muscular ($p=0,571^*$), pico de fuerza máximo en extensión ($p=0,534^*$), pico de fuerza medio en extensión ($p = 0,523^*$), media de la fuerza máxima en extensión ($p=0,509^*$) e impulso máximo en extensión ($p=0,508^*$). **Conclusiones:** Los sujetos con OA de cadera presentan un índice de calidad muscular y niveles de fuerza isométrica inferiores comparados con adultos mayores sanos

Palabras clave: Fuerza muscular; osteoartritis; adultos mayores; obesidad, dinamometría.

ABSTRACT

Introduction: The progressive loss of neuromuscular function will lead to degrees of disability and decreased independence in the performance of activities of daily living and muscle strength. The purpose of the research was to determine the behavior of the muscle quality index (MQI) in subjects with hip osteoarthritis (OA) (Group OA) and to compare the manifestations of strength and anthropometric variables with healthy older adults (AMS Group). **Method:** Thirty-two subjects (4 men and 28 women, 66.2 ± 5.2 years, 159.2 ± 7.5 cm, 71.5 ± 11.7 kg) participated in this study. 14 obese subjects with unilateral hip OA

group OA, BMI 31.71 ± 4.33 and 18 adults AMS group, BMI 25.69 ± 0.86 , matched by age and gender. The following was determined: Body composition, sit-stand test, muscular quality index and maximum voluntary isometric contraction in hip flexion and extension. **Results:** The OA group presented obesity ($p = 0.037$). The MQI of the OA group correlated with the weight ($p = 0,776 **$), with peak of maximum force in flexion ($p = 0,552 *$) and with the average of the maximum force ($p = 0,574 *$). In the AMS group, the MQI correlated with: weight ($p = 0.689 **$), muscle perimeter ($p = 0.571 *$), maximum strength peak in extension ($p = 0.534 *$), average strength peak in extension ($p = 0.523 *$), average of the maximum force in extension ($p = 0.509 *$) and maximum impulse in extension ($p = 0.508 *$). **Conclusion:** Subjects with hip OA have a lower muscle quality index and isometric strength levels compared to healthy older adults.

Key words: Muscle Strength; Osteoarthritis; elderly; obesity; dynamometry

INTRODUCCIÓN

La evolución demográfica y la proporción de adultos mayores aumentan a un ritmo sin precedentes y genera un impacto profundo en la salud pública mundial (1). A su vez, la pérdida progresiva de la función neuromuscular va a conllevar a grados de discapacidad y disminución de la independencia en la realización de actividades de la vida diaria (2), menor bienestar, fragilidad (3), riesgo de caídas (4), condición física (5), e incluso la presencia de patologías de cadera como la osteoartritis (6). Es así como una reducción en la producción de fuerza muscular se ha asociado a pérdida de la funcionalidad en actividades de la vida diaria como por ejemplo, la marcha (7).

Sujetos con osteoartritis (OA) presentan bajos niveles de fuerza isométrica de cadera comparado con sujetos sanos, esto influiría en un aumento del dolor y reducción del tamaño muscular de la cadera (6, 8), disminución en los niveles de

rendimiento físico (9) y una menor fuerza isométrica de los abductores de cadera en sujetos con OA (10). En este contexto el entrenamiento de la fuerza juega un rol fundamental en prevenir y tratar el deterioro producido por la inactividad física en sujetos mayores (11).

Una reciente revisión demostró que el ejercicio físico incluyendo ejercicios de resistencia muscular resultaría efectivo en disminuir la fragilidad de los adultos mayores y aumentar su función física (12), a su vez solo 6 semanas de ejercicios de resistencia muscular inducirían cambios en la fuerza, funcionalidad y retraso en la aparición de fatiga en adultos mayores (13). Por otra parte, 12 semanas de ejercicios de resistencia muscular de la articulación de cadera induciría aumentos en el pico de torque isométrico de cadera en sujetos con osteoartritis (14).

Es así como los cambios intramusculares asociados con el rendimiento y la sarcopenia durante el envejecimiento, han llevado a generar

estrategias de medición de los índices de calidad muscular (MQI) en este tipo de población (15-17).

En este contexto Takai et al. (18), plantea un índice de evaluación de la potencia de la musculatura extensora de la rodilla en sujetos adultos mayores que deriva de tres variables; masa corporal, longitud de la extremidad inferior y el tiempo en ejecución del sit-stand test. Sujetos con valores menores en la medición del índice de calidad muscular presentarían una mayor mortalidad, este sería un indicio de que los sujetos con mayor calidad muscular tendrían una mayor expectativa de vida (19). A su vez, la capacidad de transferirse desde la posición sentada a la de pie es un requisito previo a la independencia funcional de ahí su importancia de ser evaluada (20). En relación a esto, no hay evidencia en la utilización del MQI en sujetos adultos mayores afectados por alguna patología degenerativa y no está claro qué relación existe entre las diferentes manifestaciones de la fuerza y variables antropométricas.

Por los antecedentes anteriormente mencionados, el objetivo de esta investigación fue determinar el comportamiento del MQI en sujetos con osteoartritis y comparar las manifestaciones de la fuerza y variables antropométricas con adultos mayores sanos. La presente investigación analizó dos programas de entrenamiento con sobrecargas para determinar cuál produce mayores ganancias de masa muscular y fuerza en miembros

MÉTODO

Participantes

Treinta y dos sujetos (4 hombres y 28 mujeres, 66.2 ± 5.2 años, 159.2 ± 7.5 cm, 71.5 ± 11.7 kg) participaron en este estudio. Las medias (\pm sd) de edad, altura y peso fueron, 66 ± 2.4 años, 165 ± 14.3 cm, y 80.7 ± 12.4 kg en hombres y 68.5 ± 13.2 años, 163.4 ± 26.9 m, y 72.9 ± 19.5 kg en mujeres. 14 sujetos obesos con oa de cadera unilateral (grupo oa), imc 31.71 ± 4.33 y 18 adultos mayores sanos (grupo ams), imc 25.69 ± 0.86 , pareados por edad y por género. Los participantes se incluyeron en el cohorte oa si habían confirmado radiológicamente la oa unilateral de cadera de al menos grado 2 (21) y previa derivación médica, además de no tener ninguna otra comorbilidad ortopédica o reemplazo articular reconstructivo, así como enfermedades neuromusculares, complicaciones neurológicas y dolor lumbar que pudieran afectar la marcha. Los participantes del grupo (ams) fueron aquellos que no presentaban evidencia radiológica de oa de cadera. Los protocolos estuvieron de acuerdo a la declaración de helsinki 2013. Cada sujeto fue informado de la finalidad y de los procedimientos de este estudio y los posibles riesgos de las mediciones. Se obtuvo de cada sujeto el consentimiento informado de forma escrita.

Instrumentos

Parámetros antropométricos

La composición corporal se determinó por medio del peso corporal con una balanza calibrada con tallímetro, graduada, marca seca®. El índice de masa corporal (imc) se calculó para estimar el grado de obesidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)(22).

El perímetro muscular y longitud de pierna se midió de forma manual, aplicando el protocolo de medición antropométrico basado en las recomendaciones validadas internacionalmente (23), para ello se utilizó una cinta métrica marca seca®. Se midió el perímetro del muslo no dominante, con el sujeto parado erecto con los pies ligeramente separados y el peso corporal distribuido entre ambos miembros inferiores, equilibradamente. La cinta se ubicó a 1-2 cm debajo del pliegue glúteo o en una zona arbitraria de continuidad entre el glúteo y muslo en el caso de no existir el pliegue. Con respecto a la longitud de pierna se definió como la distancia (en metros) desde el trocánter mayor del fémur hasta el maléolo lateral.

Fuerza muscular isométrica

La máxima contracción voluntaria isométrica fue medida en el lado no dominante (24). Antes de la prueba, cada sujeto realizó un calentamiento adecuado, consistente en realizar 2 a 3 veces contracciones sub-máximas para familiarizarse con el procedimiento de la prueba. Cada sujeto

realizó una contracción isométrica voluntaria máxima de 4 a 6 segundos, tres veces, con al menos un minuto de descanso entre los ensayos para evitar efectos de fatiga. Se evaluaron los movimientos de flexión y extensión.

La flexión de cadera se evaluó de la siguiente manera; el sujeto se acomodó en posición supino en una camilla, con las rodillas por fuera en 90°. Se estabilizó la cadera con un cinturón alrededor de la camilla. El eje de la articulación de la cadera estaba alineado con el eje de la polea del dinamómetro electromecánico funcional (demf)(25). El muslo estaba firmemente sujeto con una correa conectado a la polea del dispositivo.

Para la extensión de cadera, se midió con el sujeto tumbado en posición prono en una camilla, con las rodillas por fuera en 0°. Se utilizó el mismo protocolo que en la flexión para las demás directrices.

Para la medición se utilizó un demf para el control cinético-tónico del movimiento (0,10-1,5 m/s), el cual también permite la evaluación isométrica de la fuerza (5-3000n) con procesador para la frecuencia de muestra de 1ghz (dynamometer, symotech. Madrid, España). El demf facilitó de cada repetición: el pico de fuerza (pf), la media de la fuerza en la repetición y el impulso (imp). Agrupando las tres repeticiones se obtuvo de cada movimiento: pico de fuerza máximo (pfmáx), pico de fuerza medio (pfmed), fuerza media

máxima (fmed_máx), fuerza media de las medias (fmed_med), impulso máximo (impmáx) e impulso medio (impmed).

Índice de calidad muscular (MQI)

Se utilizó una silla (0,40 m de altura y 0,36 m de profundidad) para realizar el sit-stand test. Se pidió a los sujetos que se pusieran de pie desde una posición sentada y luego se sentaran 10 veces lo más rápido posible. El tiempo se registró usando un cronómetro a la décima de segundo más cercano. La prueba comenzó cuando el examinador dijo "ya" y se detuvo cuando el sujeto se levantó completamente en la décima repetición. Antes de las mediciones, se realizaron ensayos prácticos con esfuerzo submáximo para posicionar y aprender la tarea. Las mediciones se realizaron dos veces con un intervalo de 1 minuto de descanso entre los ensayos. El tiempo más rápido fue adoptado para los datos individuales.

El mqi se midió de acuerdo con los métodos ideados por takai et al. (18). Mqi utiliza el tiempo de la prueba sit & stand, la masa corporal individual, y la longitud de la pierna para calcular un índice de potencia expresado en vatios (w). La validez y la fiabilidad de la medida mqi se ha informado previamente (17).

Análisis estadísticos

Los datos estadísticos descriptivos fueron la media y la desviación estándar (sd). Se comprobó la normalidad de las variables con el test de shapiro-wilk y además el test de levene para comprobar la igualdad de varianzas. Se llevaron a cabo pruebas t de muestra independiente para evaluar las diferencias basales entre los grupos. Las diferencias en las medidas funcionales se analizaron utilizando inferencias basadas en magnitud, calculadas a partir de intervalos de confianza del 90%, como describió hopkins et al. (26). Los valores que reflejan el estado de la funcionalidad se analizaron usando el valor p ($< 0,05$) de las pruebas t independientes. Las relaciones entre variables fueron analizadas usando el coeficiente de correlación (r) de pearson. Después del ajuste por patología, la masa corporal y longitud de pierna, se usó un coeficiente de correlación parcial para probar la asociación entre el tiempo del test sit & stand, mqi, perímetro muscular y todas las variables de fuerza. Todos los análisis se realizaron con el programa spss, versión 23.0. Se utilizó un margen de error del 5% ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Las características descriptivas basales y las medidas de la función física de los participantes del estudio se muestran en las Tablas I y II, respectivamente. Los grupos fueron similares en edad y antropometría, con la excepción de peso

donde el grupo OA presentaba obesidad ($p = 0,037$).

Tabla I. Características antropométricas de los sujetos participantes del estudio.

Tabla I. Características antropométricas de los sujetos participantes del estudio.

| | Grupo OA (N=14) | Grupo AMS (N=18) |
|--------------------|------------------|------------------|
| Edad | 65,64 ± 3,05 | 66,61 ± 6,5 |
| Peso | 76,35 ± 10,71 kg | 67,8 ± 11,25 kg |
| IMC | 31,71 ± 4,33 | 25,69 ± 0,86 |
| Longitud de Pierna | 0,77 ± 0,006 m | 0,81 ± 0,04 m |
| Perímetro Muscular | 0,50 ± 0,07 m | 0,50 ± 0,03 m |

Los valores representan media y desviación estándar. IMC: Índice de masa corporal; OA: Osteoartritis; AMS: Grupo Adultos mayores sanos.

Se observaron interacciones significativas entre los grupos para el tiempo de sit-stand test ($p = 0,014$), impulso máximo en flexión ($p = 0,049$), impulso medio en flexión ($p = 0,006$), pico de fuerza media en extensión ($p = 0,045$), media máxima en extensión ($p = 0,046$), media de las medias en extensión ($p = 0,017$), impulso máximo en extensión ($p = 0,022$) e impulso medio en extensión ($p = 0,003$) (Tabla II).

Tabla II. Diferencias en las medidas funcionales físicas durante la evaluación.

| | Grupo OA (N=14) | Grupo AMS (N=18) |
|-----------------|------------------|------------------|
| Tsit-stand | 12,88 ± 2,53 | 10,95 ± 1,63 |
| MQI | 232,95 ± 81,57 | 262,23 ± 75,12 |
| PFmax_flex | 278,57 ± 96,22 | 324,98 ± 125,47 |
| PFmed_flex | 226,38 ± 73,95 | 297,17 ± 117,22 |
| Fmed_max_flex | 235,46 ± 90,52 | 278,34 ± 110,24 |
| Fmed_media_flex | 190,83 ± 68,85 | 250,10 ± 105,84 |
| IMPmax_flex | 1322,34 ± 437,17 | 1686,00 ± 670,95 |
| IMPmed_flex | 1045,72 ± 349,11 | 1512,44 ± 642,91 |
| PFmax_ext | 193,78 ± 52,99 | 227,29 ± 56,78 |
| PFmedia_ext | 170,02 ± 51,32 | 209,12 ± 53,30 |
| Fmed_max_ext | 145,24 ± 54,55 | 185,76 ± 54,66 |
| Fmed_med_ext | 122,62 ± 50,48 | 168,17 ± 51,03 |
| IMPmax_ext | 816,45 ± 384,39 | 1121,57 ± 330,01 |
| IMPmed_ext | 645,95 ± 326,54 | 1017,17 ± 307,85 |

Los valores representan media y desviación estándar. *Valor de $p < 0,05$ fueron considerados estadísticamente significativos. **OA:** Osteoartritis; **CON:** Grupo Control. **Tsit-stand:** Tiempo en segundos del test sit and stand; **MQI:** Índice de calidad muscular; **PFmax_flex:** Pico Fuerza Máxima Flexión de Cadera; **PFmed_flex:** Pico Fuerza media flexion de cadera; **Fmed_max_flex:** Fuerza media máxima flexión de cadera; **Fmed_media_flex:** fuerza media de la media flexión de cadera; **IMPmax_flex:** Impulso máximo en flexión de cadera; **IMPmed_flex:** Impulso medio en flexión de cadera; **PFmax_ext:** Pico fuerza máximo en extensión de cadera; **PFmedia_ext:** Pico Fuerza media en extensión de cadera; **Fmed_max_ext:** Fuerza media máxima en extensión de cadera; **Fmed_med_ext:** Fuerza media de la media en extensión de cadera; **IMPmax_ext:** Impulso máximo en extensión de cadera; **IMPmed_ext:** Impulso medio en extensión de cadera.

Los coeficientes de correlación entre tiempo en el test sit-stand, MQI y las variables de medición se muestran en la Tabla III, en función del grupo. En el grupo con OA el tiempo de sit-stand correlacionó sólo y de forma negativa con el MQI ($p = -0,761^{**}$). Sin embargo, el MQI correlacionó además con el peso ($p = 0,776^{**}$), con PF máximo en flexión ($p = 0,552^*$) y con la media de la F máxima ($p = 0,574^*$).

como indicadores del estado de la enfermedad de OA (31). Aunque la inversión del movimiento y la limitación de la extensión máxima de la cadera no son equivalentes, ambos están potencialmente relacionados con la incapacidad de extender la cadera debido a los cambios relacionados con la OA (32). La reducción de la extensión máxima de la cadera en sujetos con ligera a moderada OA de cadera es un hallazgo común y puede desempeñar un papel en la patomecánica de la enfermedad.

El MQI, es una evaluación clínica de la función física, que se presenta mayor en el grupo AMS, el MQI correlaciona con el perímetro muscular y las variables de fuerza en extensión, mientras que en el grupo OA correlaciona con estas variables en flexión de cadera (PFmax, Fmed_max). Por su parte, Takai et al.(18) correlaciona el MQI con el perímetro muscular y con la fuerza isométrica máxima en una extensión de rodilla, en personas adultas mayores sin patología. Anteriormente, se ha demostrado que la antropometría altera la relación entre el rendimiento de la elevación de la silla y la fuerza de la pierna (18). El MQI incorpora las dimensiones del cuerpo en su cálculo; por lo tanto, puede ser una medida más informativa a pesar de la diversidad del tamaño corporal observada en las poblaciones humanas. En nuestro estudio se detectaron cambios significativos en la masa corporal y en el

perímetro muscular, por lo que la inclusión de antropometría hace del MQI sea una medida comparativa relativa entre individuos de diferentes tamaños corporales, especialmente hombres y mujeres. Como limitación de nuestro estudio con respecto al de Takai et al. (18), fue que no se tuvo acceso a un dispositivo de resonancia magnética para determinar el perímetro muscular, este se realizó de forma manual siguiendo las normas estandarizadas.

Por otra parte, el tiempo del sit-stand no se correlacionó significativamente con el perímetro muscular ni con ninguna variable de fuerza tanto en flexión como en extensión en el presente estudio, como sucedía también en el estudio de Takai et al. (18). Visser et al. (33) observó que la menor atenuación muscular, indicativo de una mayor infiltración de grasa en el músculo, se asoció con un rendimiento de las extremidades inferiores más pobre. Se desconoce si la grasa en el músculo puede afectar directamente a la contractilidad muscular, el reclutamiento de las fibras musculares o el metabolismo muscular, afectando así a la fuerza muscular y la capacidad física. Por lo que sugieren que la pérdida de masa muscular y la mayor infiltración de grasa en el músculo con el envejecimiento pueden contribuir a un rendimiento físico deficiente y a la consiguiente discapacidad. Además se ha demostrado que los sujetos obesos presentan

debilidad no sólo en la fuerza isométrica del extensor de la rodilla, sino también en fuerza prensil y extensión de tronco (34). Esta debilidad generalizada se ha atribuido a la poca fuerza de voluntad ante un esfuerzo, es decir, el fracaso del sujeto a sobrecargarse durante la actividad física. Dekker et al. (35) han planteado la hipótesis de que la debilidad muscular sirve como un factor mediador entre el afecto negativo, el dolor y la discapacidad de las articulaciones en sujetos con OA.

En nuestro estudio hay diferencias significativas entre grupos con respecto al peso y a las variables de fuerza, lo que sugiere una relación entre ambas variables. La pérdida de fuerza en hombres y mujeres mayores es mucho más rápida que la pérdida concomitante de masa muscular, lo que sugiere una disminución significativa en la calidad del músculo(36).

CONCLUSIONES

En conclusión, los resultados indican diferencias antropométricas y en las variables de fuerza entre los sujetos con OA y el grupo de adultos mayores sanos. El comportamiento del MQI es diferente en ambos grupos, es una herramienta útil para medir la calidad muscular en población sana pero no esta tan claro para sujetos con OA, por lo que habría que realizar estudios futuros para determinar su comportamiento en ensayos con

intervención adicionales. Curiosamente, se observaron diferencias en la musculatura flexo-extensora de cadera en ambas poblaciones. Por lo tanto, sería importante determinar si el MQI es válido para todo tipo de poblaciones. Estudios futuros son necesarios para definir si los resultados se deben a adaptaciones residuales o aumento de las capacidades funcionales traducidas a la vida diaria.

REFERENCIAS

1. Cauley JA. An Overview of Sarcopenic Obesity. *J Clin Densitom.* 2015;18(4):499-505.
2. Doherty TJ. Invited Review: Aging and sarcopenia. *J Appl Physiol.* 2003;95(4):1717-27.
3. Puts MT, Lips P, Deeg DJ. Sex differences in the risk of frailty for mortality independent of disability and chronic diseases. *J Am Geriatr Soc.* 2005;53(1):40-7.
4. Franco MR, Pereira LS, Ferreira PH. Exercise interventions for preventing falls in older people living in the community. *Br J Sports Med.* 2014;48(10):867-8.
5. Munoz AA, Vila MS, Pedrero CR, Espino L, Gusi N, Villa G, et al. Physical fitness evolution in octogenarian population and its relationship with a sedentary lifestyle. *Nutr Hosp.* 2014;29(4):894-900.
6. Arokoski MH, Arokoski JP, Haara M, Kankaanpaa M, Vesterinen M, Niemitukia LH, et al. Hip muscle strength and muscle cross sectional area in men with and without hip osteoarthritis. *J Rheumatol.* 2002;29(10):2185-95.
7. Kim J, Kuno S, Soma R, Masuda K, Adachi K, Nishijima T, et al. Relationship between reduction of hip joint and thigh muscle and

- walking ability in elderly people. *Jpn J Phys Fitness Sports Med.* 2000;49(5):589-96.
8. Juhakoski R, Tenhonen S, Anttonen T, Kauppinen T, Arokoski JP. Factors affecting self-reported pain and physical function in patients with hip osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(6):1066-73.
 9. Dekker J, van Dijk GM, Veenhof C. Risk factors for functional decline in osteoarthritis of the hip or knee. *Curr Opin Rheumatol.* 2009;21(5):520-4.
 10. Deasy M, Leahy E, Semciw AI. Hip Strength Deficits in People With Symptomatic Knee Osteoarthritis: A Systematic Review With Meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2016;46(8):629-39.
 11. Padilla Colon CJ, Sanchez Collado P, Cuevas MJ. Benefits of strength training for the prevention and treatment of sarcopenia. *Nutr Hosp.* 2014;29(5):979-88.
 12. de Labra C, Guimaraes-Pinheiro C, Maseda A, Lorenzo T, Millan-Calenti JC. Effects of physical exercise interventions in frail older adults: a systematic review of randomized controlled trials. *BMC Geriatr.* 2015;15:154.
 13. Emerson NS, Stout JR, Fukuda DH, Robinson EH, Iv, Scanlon TC, et al. Resistance training improves capacity to delay neuromuscular fatigue in older adults. *Arch Gerontol Geriatr.* 2015;61(1):27-32.
 14. Steinhilber B, Haupt G, Miller R, Janssen P, Krauss I. Exercise therapy in patients with hip osteoarthritis: Effect on hip muscle strength and safety aspects of exercise-results of a randomized controlled trial. *Mod Rheumatol.* 2017;27(3):493-502
 15. Fragala MS, Kenny AM, Kuchel GA. Muscle quality in aging: a multi-dimensional approach to muscle functioning with applications for treatment. *Sports Med.* 2015;45(5):641-58.
 16. Fragala MS, Fukuda DH, Stout JR, Townsend JR, Emerson NS, Boone CH, et al. Muscle quality index improves with resistance exercise training in older adults. *Exp Gerontol.* 2014;53:1-6.
 17. Barbat-Artigas S, Rolland Y, Zamboni M, Aubertin-Leheudre M. How to assess functional status: a new muscle quality index. *J Nutr Health Aging.* 2012;16(1):67-77.
 18. Takai Y, Ohta M, Akagi R, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Sit-to-stand test to evaluate knee extensor muscle size and strength in the elderly: a novel approach. *J Physiol Anthropol.* 2009;28(3):123-8.
 19. Brown JC, Harhay MO, Harhay MN. The muscle quality index and mortality among males and females. *Ann Epidemiol.* 2016;26(9):648-53.
 20. van Lummel RC, Walgaard S, Maier AB, Ainsworth E, Beek PJ, van Dieën JH. The Instrumented Sit-to-Stand Test (iSTS) Has Greater Clinical Relevance than the Manually Recorded Sit-to-Stand Test in Older Adults. *PLoS ONE.* 2016;11(7):e0157968.
 21. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthrosis. *Ann Rheum Dis.* 1957;16(4):494-502.
 22. Jiang L, Rong J, Wang Y, Hu F, Bao C, Li X, et al. The relationship between body mass index and hip osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Joint, Bone, Spine.* 2011;78(2):150-5.
 23. Marfell-Jones M. International Society for the advancement of kinanthropometry. International Standards for Anthropometric Assessment: International Society for the Advancement of Kinanthropometry; 2006. 137 p.p.
 24. Van Cutsem M, Duchateau J, Hainaut K. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol.* 1998;513(1):295-305.
 25. Campos Jara CA, Bautista González IJ, Chirisa Ríos LJ, Martín Tamayo I, López Fuenzalida AE, Chirisa Ríos IJ. Validación y fiabilidad del dispositivo Haefni Health System 1.0 en la medición de la velocidad en el rango isocinético. *CPD.* 2014;14:91-8.
 26. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(1):3-13.
 27. Kumar D, Wyatt C, Chiba K, Lee S, Nardo L, Link TM, et al. Anatomic correlates of reduced hip extension during walking in individuals with mild-moderate radiographic hip

- osteoarthritis. *J Orthop Res.* 2015;33(4):527-34.
28. Steultjens MPM, Dekker J, van Baar ME, Oostendorp RAB, Bijlsma JWW. Range of joint motion and disability in patients with osteoarthritis of the knee or hip. *Rheumatology.* 2000;39(9):955-61.
29. Kubota M, Shimada S, Kobayashi S, Sasaki S, Kitade I, Matsumura M, et al. Quantitative gait analysis of patients with bilateral hip osteoarthritis excluding the influence of walking speed. *J Orthop Sci.* 2007;12(5):451-7.
30. Watelain E, Dujardin F, Babier F, Dubois D, Allard P. Pelvic and lower limb compensatory actions of subjects in an early stage of hip osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(12):1705-11.
31. Foucher KC, Schlink BR, Shakoor N, Wimmer MA. Sagittal plane hip motion reversals during walking are associated with disease severity and poorer function in subjects with hip osteoarthritis. *J Biomech.* 2012;45(8):1360-5.
32. Hurwitz DE, Hulet CH, Andriacchi TP, Rosenberg AG, Galante JO. Gait compensations in patients with osteoarthritis of the hip and their relationship to pain and passive hip motion. *J Orthop Res.* 1997;15(4):629-35.
33. Visser M, Kritchevsky SB, Goodpaster BH, Newman AB, Nevitt M, Stamm E, et al. Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study. *J Am Geriatr Soc.* 2002;50(5):897-904.
34. Kitagawa K, Miyashita M. Muscle strengths in relation to fat storage rate in young men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1978;38(3):189-96.
35. Dekker J, Tola P, Aufdemkampe G, Winckers M. Negative affect, pain and disability in osteoarthritis patients: the mediating role of muscle weakness. *Behav Res Ther.* 1993;31(2):203-6.
36. Goodpaster BH, Park SW, Harris TB, Kritchevsky SB, Nevitt M, Schwartz AV, et al. The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study. *J Gerontol A Biol Sci and Med Sci.* 2006;61(10):1059-64.