

ARTICULO DE REVISIÓN

DOI: <http://dx.doi.org/10.14482/sun.36.2.618.97>

Cambios morfofisiológicos y riesgo de caídas en el adulto mayor: una revisión de la literatura

Morphophysiological changes and fall risk in the older adult: a review of the literature

YENY CONCHA-CISTERNAS^{1,2} <https://orcid.org/0000-0001-7013-3894>

RODRIGO VARGAS-VITORIA³ <https://orcid.org/0000-0002-7554-9589>

CARLOS CELIS-MORALES^{4,5} <https://orcid.org/0000-0003-2612-3917>

¹ Kinesiólogo, MSc. Escuela de Kinesiología, Facultad de Salud, Universidad Santo Tomás, Chile.

² Pedagogía en Educación Física, Facultad de Educación, Universidad Autónoma de Chile.

³ Profesor de educación física. Ph.D. Departamento de Ciencias de la Actividad Física, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad Católica del Maule, Chile.

⁴ Profesor de educación física. Ph.D. Centro de Investigación en Fisiología del Ejercicio (CIFE), Universidad Mayor, Santiago (Chile).

⁵ Instituto de Investigación en Enfermedades Cardiovasculares y Ciencias Médicas, Universidad of Glasgow, Glasgow (Reino Unido).

Correspondencia: Yeny Concha Cisternas. yenyconchaci@santotomas.cl - Código postal: 3460000.

■ RESUMEN

El envejecimiento es un proceso universal, irreversible e individual que provoca cambios morfofisiológicos en los sistemas músculo-esquelético, sistema nervioso central y los sistemas sensoriales (visual, vestibular y propiocepción), ocasionando mayor riesgo de caídas. Las caídas tienen una alta prevalencia y se han transformado en un importante problema de salud pública debido a los altos costos económicos y funcionales que representan en el adulto mayor. Para evitar estos eventos es importante conocer los cambios morfofisiológicos asociados al envejecimiento y planear estrategias de salud en las que se incorpore estimulación ósea, muscular, somatosensorial (propioceptiva) y cognitiva con el propósito de evitar el deterioro funcional y la discapacidad. En base a lo anterior, el objetivo de esta revisión es exponer el conocimiento actual de los cambios morfofisiológicos involucrados en el riesgo de caídas del adulto mayor.

Palabras clave: envejecimiento, adulto mayor, capacidad funcional, caídas, sarcopenia, fuerza muscular.

■ ABSTRACT

Aging is a universal, irreversible and individual process that causes morphophysiological changes in the musculoskeletal system, central nervous system and sensory systems (visual, vestibular and proprioception), increasing the risk of experiencing a falls. Falls have a high prevalence in older adults and have become an important public health concern due to the high economic and health-related costs that they represent. To address the increment of falls in older adults, it is important to know the anatomophysiological changes associated with aging and to plan health strategies where bone, muscular, somatosensory (proprioceptive) and cognitive stimulation is incorporated with the purpose of avoiding functional deterioration and disability. Based on the foregoing, the objective of this review is to describe how morphophysiological changes during the ageing process are associated with a higher risk of falls in older adults.

Keywords: ageing, elderly, falls, physical capability, sarcopenia, muscle strength.

INTRODUCCIÓN

El envejecimiento es un proceso biológico, universal, individual, asincrónico y natural que provoca cambios morfofisiológicos en los sistemas corporales. Se ha señalado que modificaciones en los sistemas músculo-esquelético, nervioso y sensorial (visual, vestibular y propiocepción) provocan importantes modificaciones sobre habilidades motoras necesarias para la ejecución de actividades funcionales como el equilibrio y la marcha (1, 2). Estos cambios y sus consecuencias han sido fuertemente asociados con un aumento en el riesgo de sufrir caídas (3). Una caída se define como un evento súbito e inesperado que precipita al individuo al suelo en contra de su voluntad, transformándose en un importante problema de salud pública por su alta frecuencia en la población mayor (4). Las caídas representan altos costos económicos para los países, y provocan importantes consecuencias en salud, como aumento del número de hospitalizaciones, fracturas, discapacidad, deterioro funcional e incluso la muerte (5). Alrededor de un tercio de los adultos mayores sufre al menos una caída cada año, y la incidencia se incrementa con el aumento de la edad (5). Además, las caídas tienen un impacto a nivel psicológico y social, pues provocan miedo a caer, pérdida de confianza, restricción de las actividades de la vida diaria (5) y deterioro en la calidad de vida (6). Por lo tanto, el entendimiento de los cambios morfofisiológicos que sufre el adulto mayor por el envejecimiento son de relevancia para la planificación de programas de prevención y promoción de la salud integral en esta población.

CAMBIOS MÚSCULO-ESQUELÉTICOS

Como uno de los órganos más grande del cuerpo, que comprende aproximadamente el 40 % del peso corporal, el músculo-esquelético es esencial para todas las actividades de la vida diaria (7). La capacidad de los adultos mayores para mantener la funcionalidad depende en gran medida de su función muscular (fuerza y potencia muscular) (8). La masa y fuerza muscular disminuyen significativamente con la edad (9, 10), si bien ambas condiciones están estrechamente relacionadas, los conceptos actualmente utilizados para explicar cada uno de estos fenómenos son diferentes.

DINAPENIA

En 2008 se propuso el término “dinapenia” para referirse a la pérdida de fuerza y potencia muscular relacionada con la edad (11). Estudios muestran que la dinapenia se relaciona con aumento en el riesgo de discapacidad física, bajo rendimiento físico e incluso la muerte en adultos mayores (11-13).

La fuerza muscular alcanza su punto máximo durante la tercera década de vida, sin embargo, a partir de los 40 años se observa un acentuado descenso en mujeres y hombres, respectivamente (14). Estudios previos han reportado que el descenso de la fuerza ocurre principalmente en musculatura antigravitatoria como extensores de rodilla y plantiflexores de tobillo (15), músculos que intervienen directamente en la ejecución de actividades motrices básicas como mantener la posición bípeda y el equilibrio frente a perturbaciones (3, 16).

El deterioro de la fuerza se ha asociado con cambios específicos en el funcionamiento y morfología de la fibra muscular (9). Investigaciones reportan modificaciones en el ángulo de penación (ángulo de la fibra en relación con el eje de generación de fuerza) determinando torques musculares ineficientes que afectan negativamente el rendimiento muscular durante la contracción (17, 18). Por otra parte, la edad avanzada se asocia con una expresión reducida de proteínas reguladoras como la tropomiosina y troponina, lo cual podría afectar, por lo tanto, la generación de fuerza muscular, induciendo mayor riesgo de caídas y peor equilibrio (19).

La fuerza máxima de los músculos flexores de los dedos, músculos de la zona tenar e hipotenar de la mano disminuyen con la edad, afectando la fuerza de prensión manual (20, 21). En general, a partir de los 40 años y, por cada 5 años de incremento en la edad, la fuerza de prensión manual disminuye 1.4 y 1.2 Kg en hombres y mujeres respectivamente (figura 1). La fuerza de prensión manual hoy en día se considera un indicador de la fuerza general y óptimo desempeño en el desarrollo de las actividades de la vida diaria, como la marcha y el equilibrio (22, 23).

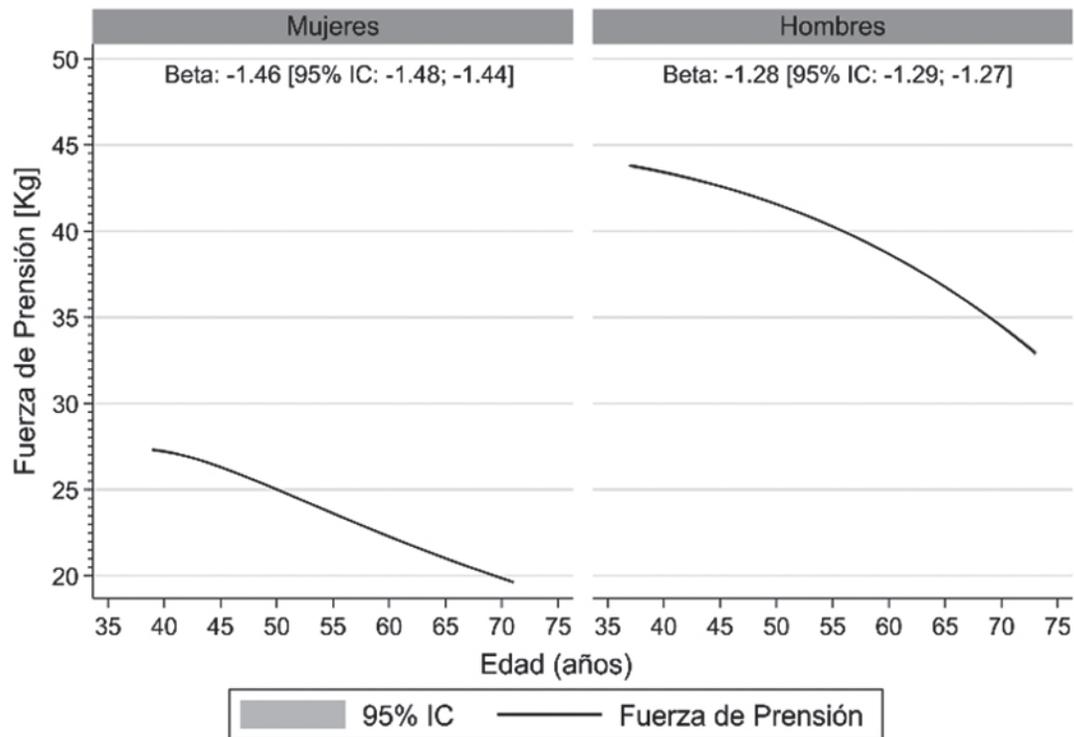


Figura 1. Cambios en fuerza de prensión manual a través del proceso de envejecimiento

Datos presentados como promedio (línea negra) y sus intervalos de confianza del 95% (95% IC) (área gris). El valor beta es el promedio estimado de reducción de la fuerza de prensión manual por cada 5 años de incremento en edad en mujeres y hombres. Figura elaborada en base a datos extraídos de UK Biobank; base de datos que incluye más de 500 000 personas (21).

SARCOPENIA

La sarcopenia ha sido definida por el Grupo de Trabajo Europeo sobre Sarcopenia en Personas Mayores (EWGSOP) en 2010 como un síndrome geriátrico caracterizado por una progresiva y generalizada pérdida de masa muscular asociada a la edad, lo que provoca aumento en el riesgo de padecer discapacidad, deterioro en la calidad de vida y muerte (24, 25). Desde 2016 fue recono-

cida como una enfermedad muscular con un código diagnóstico (26, 27), mientras que en 2018, nuevamente a través de una actualización de los conceptos el EWGSOP-2 determinó la evaluación y detección de la sarcopenia mediante un algoritmo basado en criterios diagnósticos, entre los que están la disminución en la velocidad de la marcha, la fuerza de prensión manual y la disminución de la masa muscular apendicular (28, 29).

La prevalencia de sarcopenia aumenta más drásticamente en mujeres que en hombres (figura 2), lo cual se explica por las marcadas diferencias que existen en la fuerza muscular y, particularmente en la masa libre de grasa (figura 3).

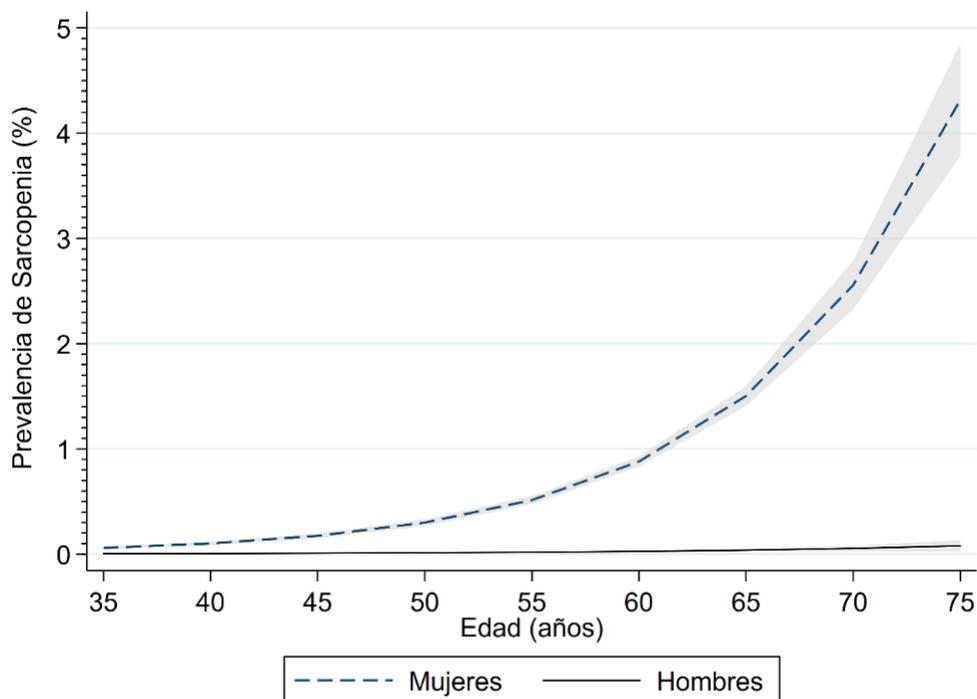


Figura 2. Prevalencia de sarcopenia en hombres y mujeres durante el proceso de envejecimiento

Datos presentados como prevalencia (%). Figura elaborada en base a datos extraídos de UK Biobank; base de datos que incluye más de 500.000 personas (21). La prevalencia de sarcopenia se incrementa conforme avanza la edad en ambos géneros.

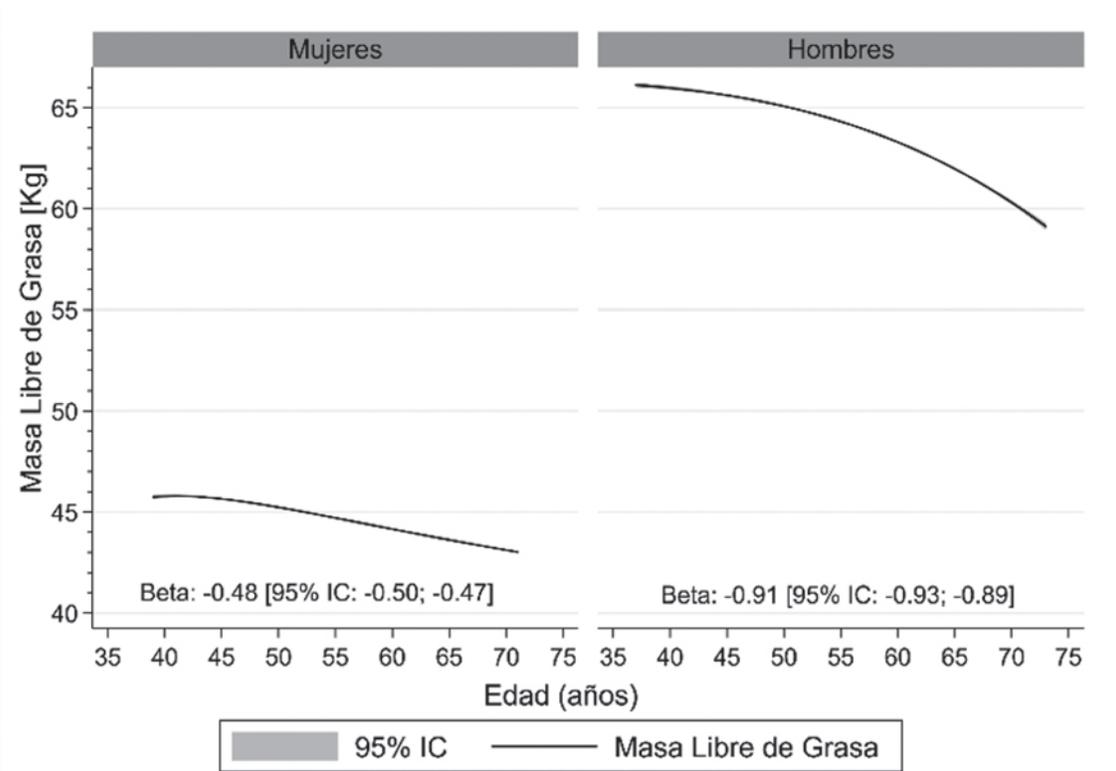


Figura 3. Cambios en la Masa libre de grasa debido al envejecimiento

Datos presentados como promedio (línea negra) y sus intervalos de confianza del 95% (95% IC) (área gris). El valor beta es el promedio estimado de reducción de la masa libre de grasa por cada 5 años de incremento en edad en mujeres y hombres. Figura elaborada en base a datos extraídos de UK Biobank; base de datos que incluye más de 500 000 personas (21).

Originalmente se pensó que la sarcopenia explicaba en gran medida la dinapenia observada en adultos mayores, sin embargo, datos longitudinales han sugerido que otros factores fisiológicos juegan un papel importante en la debilidad muscular (11, 30, 31).

En general, la masa muscular disminuye en promedio de 0,4-0,8 kg por década después de los 30 años, siendo mayor esta pérdida en hombres (1 %) que en mujeres (0,5 %) (32). Además existe una disminución de aproximadamente un 40 % en el área de sección transversal muscular entre los 20 y 80 años (33). No obstante, esta reducción se acompaña de un aumento e infiltración de estructuras no contráctiles como grasa y tejido conectivo (34, 35).

Estudios realizados en el músculo soleo de ratas envejecidas y en los músculos recto femoral y bíceps braquial de adultas mayores mostraron disminución en la masa y tamaño de fibras tipo II, específicamente en el tipo IIb (36, 37). Funcionalmente, las fibras tipo II se clasifican como fibras de contracción rápida, adaptadas para realizar metabolismo anaeróbico y con baja capacidad de resistencia a la fatiga, por lo que su reducción en músculos de personas mayores podría ocasionar respuestas más lentas y menor capacidad de realizar actividades funcionales de larga duración, propiciando una caída (9). Se ha observado también que la longitud de la fibra muscular es más corta en adultos mayores, lo cual altera las relaciones longitud-tensión y fuerza-velocidad específicas del músculo (38).

Finalmente, otro parámetro que disminuye drásticamente con la edad es la calidad muscular (figura 4).

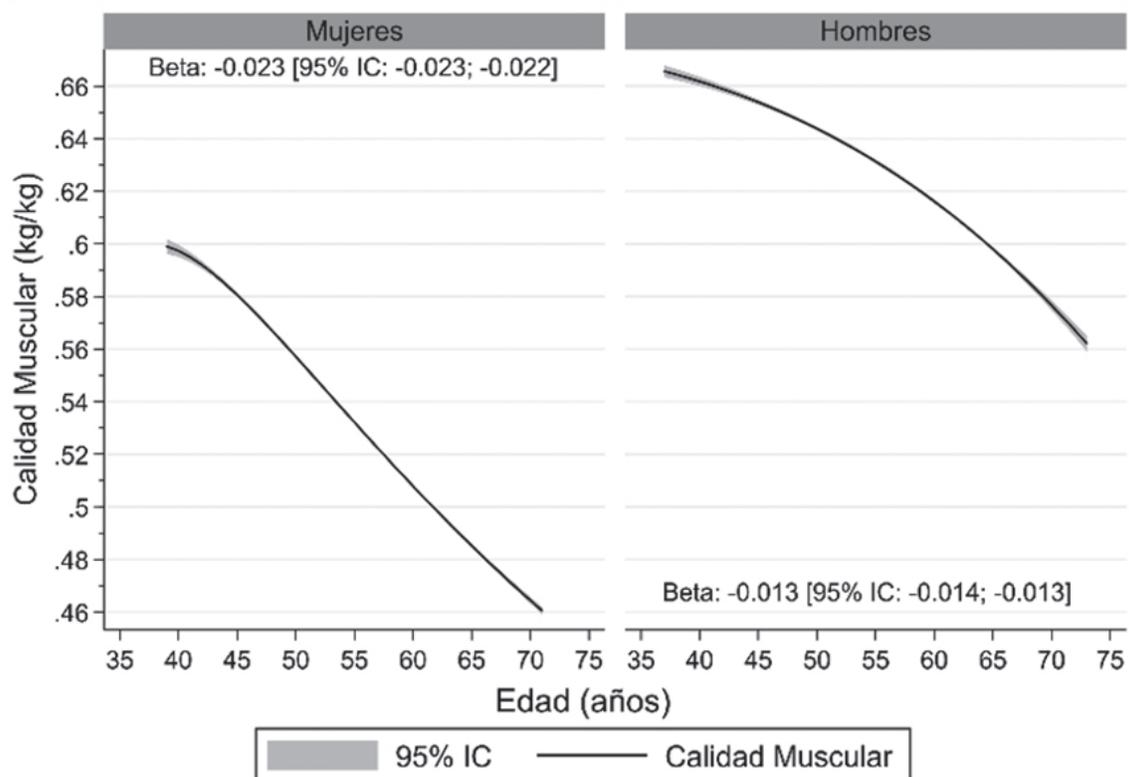


Figura 4. Cambios en la calidad muscular con el envejecimiento

Datos presentados como promedio (línea negra) y sus intervalos de confianza del 95% (95% IC) (área gris). El valor beta es el promedio estimado de reducción de la calidad muscular por cada 5 años de incremento en edad. Figura elaborada con datos extraídos de UK Biobank; base de datos que incluye más de 500 000 personas (21).

Este término se ha utilizado para describir aspectos micro y macroscópicos de la arquitectura y composición muscular (21). La calidad muscular se determina como la razón entre la fuerza muscular y masa libre de grasa; siendo una de las formas más comunes de expresarla dividir la fuerza de prensión manual por la masa libre de grasa (21). Este indicador se ha relacionado con efectos adversos para la salud de los adultos mayores, tales como aumento del riesgo de fracturas, caídas, limitación funcional y muerte prematura (39-41).

OTROS CAMBIOS MÚSCULO-ESQUELÉTICOS

La capilarización de las fibras musculares esqueléticas disminuye conforme aumenta la edad, lo que podría ocasionar un menor aporte de oxígeno y nutrientes hacia músculos periféricos, además de una menor capacidad oxidativa (42). Todo lo mencionado se traduce en una desventaja muscular para aprovechar el oxígeno suministrado, lo que conlleva a una fatiga anticipada y, por lo tanto, a un menor control muscular voluntario.

A nivel neurofisiológico, se ha informado una reducción de la excitabilidad cortical y espinal, mientras que las unidades motoras disminuyen alrededor de un 30 % entre los 60 y 70 años (43). Con el envejecimiento, las unidades motoras experimentan ciclos de desnervación - reinervación, lo cual genera alteraciones en los componentes pre y postsinápticos de la unión neuromuscular, con consecuentes modificaciones de los receptores postsinápticos de acetilcolina, y por lo tanto, alteración de la secuencia funcional del proceso de contracción muscular (44, 45). Todos los cambios, finalmente, se traducen en la pérdida de fuerza muscular y en un impulso nervioso perturbado capaz de ocasionar deterioro de la movilidad, pérdida de equilibrio y caídas (46).

Con respecto al tejido conectivo, el envejecimiento ha mostrado cambios en su estructura asociados preferentemente a factores degenerativos. Se ha observado que los tendones de sujetos de edad avanzada presentan una mayor rigidez, y con ello, menor capacidad elástica, principalmente debido a disminución en la cantidad de colágeno, lo que se traduce en modificaciones de

la función biomecánica de las articulaciones (47, 48). Estudios realizados en el tendón calcáneo sugieren que con el envejecimiento se reduce su capacidad de deformación, pudiendo provocar modificaciones en la articulación de tobillo y en el patrón de la marcha (49).

Desde hace décadas el envejecimiento se ha asociado con fragilidad ósea, principalmente debido a los cambios generados en la arquitectura trabecular y porosidad cortical (25). Las osteonas presentes en la corteza ósea disminuyen con la edad, induciendo fragilidad, osteoporosis, caídas y fracturas (50). En el adulto mayor la fractura más frecuente ocurre en la articulación coxofemoral, debido a variaciones en las propiedades histológicas del cuello femoral, tales como adelgazamiento cortical y pérdida de hueso esponjoso (51, 52), ocasionando un alto nivel de morbilidad, mortalidad y discapacidad (51). También se ha reportado que el envejecimiento se acompaña de disminución en la modulación osteoblástica, lo que influye negativamente sobre la densidad mineral ósea y explica las altas tasas de fracturas ocurridas por caídas en el adulto mayor (52).

CAMBIOS EN EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

Las estructura y función de células y componentes cerebrales muestran un fuerte descenso funcional con el envejecimiento (53). Los cambios generados en el sistema nervioso central podrían asociarse a la aparición de déficit cognitivos y motores, los cuales han mostrado una fuerte asociación con la capacidad funcional de los adultos mayores (53).

Uno de los principales cambios en el sistema nervioso asociados al envejecimiento es la disminución en la neurogénesis (54). Dicho proceso se ha observado principalmente en el giro dentado y región ventricular en estudios *post mortem* practicados en ratas, primates y humanos adultos mayores (54). A su vez, también se ha reportado disminución evidente en otras áreas cerebrales, como el núcleo estriado, hipotálamo y corteza cerebral, lo que puede ocasionar aparición de enfermedades neurodegenerativas, que influyen directamente sobre la habilidad de mantener el control postural, equilibrio y velocidad de la marcha (55).

Estudios imagenológicos han señalado que el volumen cerebral se reduce con la edad, mostrando una disminución de un 16 % del volumen cerebral total (56). La literatura ha establecido una relación entre volumen cerebral y deterioro del rendimiento físico debido principalmente al rol de la corteza motora primaria, la que producto del envejecimiento ocasiona enlentecimiento y desaceleración de

los movimientos voluntarios que a diario realiza el adulto mayor (57). Así también, la atrofia del área somatosensorial puede estar relacionada con un menor equilibrio y un aumento de las caídas (58).

Sumado a lo anterior, al estudiar la activación de la corteza cerebral en respuesta a actividades motoras simples y complejas, se ha encontrado que los adultos mayores presentan mayor activación de estructuras como el tálamo, cerebelo, corteza motora y área somatosensorial (59). Estos cambios estructurales y neurobioquímicos podrían representar mecanismos compensatorios debidos a la necesidad de cumplir y ejecutar las actividades que se demandan. Del mismo modo, se ha descrito que al instante de ejecutar una tarea motora, los adultos mayores activarían conjuntamente más estructuras corticales y subcorticales, como el lóbulo cerebeloso anterior y la corteza premotora (60), mostrando por lo tanto que, pueden realizar actividades motoras, pero requieren una actividad cerebral adicional para desempeñar gestos motores de igual magnitud que los adultos jóvenes.

En relación a la sustancia gris, su volumen disminuye en áreas motoras, sensoriomotoras, ganglios basales (globo pálido principalmente), cerebelo y corteza prefrontal (58, 61). Este hallazgo se ha asociado con deterioro de características espaciales y temporales de la marcha (amplitud, velocidad del paso y cadencia) y el equilibrio, lo que provoca deterioro en habilidades motoras básicas que propician una caída (58).

Se ha observado que la sustancia blanca también se modifica con la edad, disminuyendo su volumen de manera más acelerada que la sustancia gris; esto, principalmente, por el deterioro de la milenina y axones mielinizados (61, 62). La estructura subcortical más afectada por los cambios en la vaina de mielina es el cuerpo caloso, lo que provoca déficit en la eficiencia de la comunicación interhemisférica, y enlentecimiento del impulso nervioso, aumentando de este modo la dificultad para realizar actividades que requieren coordinación bilateral como la marcha y la mantención del equilibrio (63).

El cerebelo también sufre modificaciones asociadas al envejecimiento. La corteza cerebelosa disminuye en un 28 %, acompañada de reducciones de la sustancia gris y sustancia blanca (12 y 26%, respectivamente) (63, 64). Anatómicamente, el cerebelo se compone del lóbulo anterior, posterior y floculonodular; de estos, el lóbulo anterior ha mostrado reducciones significativas (cerca al 40 %) en su volumen y espesor celular al ser el principal encargado de la mantención del control motor, tono muscular y la marcha, por lo que sus alteraciones también podrían ocasionar pérdidas de equilibrio y caídas (64).

Finalmente, el envejecimiento ocasionaría cambios en la fisiología cerebral, con consecuente disminución en la cantidad de neurotransmisores liberados, principalmente la acetilcolina, serotonina y norepinefrina (53, 65), neurotransmisores asociados con efectos directos sobre funciones motoras y aprendizaje motor. Se ha reportado además reducción en la liberación de dopamina por el cuerpo estriado, lo cual se asocia con mayores oscilaciones antero-posteriores del cuerpo, lo que altera el equilibrio y aumentan el riesgo de padecer una caída (66).

CAMBIOS EN LOS SISTEMAS SENSORIALES

El envejecimiento se ha asociado a un deterioro progresivo de los sistemas sensoriales que contribuyen en el control postural (sistema visual, vestibular y propioceptivo) (67).

SISTEMA VISUAL

Diversos autores señalan que el sistema más solicitado por el adulto mayor para controlar la postura es la visión (68). La función visual empeora progresivamente después de los 50 años, ocasionando hipersensibilidad al contraste de colores, pérdida de agudeza visual, mayor tendencia a deslumbramientos, déficit en la percepción de profundidad y acomodación del cristalino (69).

Además de los cambios refractivos relacionados con la edad, las personas mayores son particularmente susceptibles a desarrollar patologías oculares como cataratas (50-60 %), glaucoma (10-15 %) y degeneración macular (5-8 %) (67, 70). Esto conlleva a deficiencia visual y pobre *feedback* del medio circundante, lo que disminuye la habilidad para evitar obstáculos. Se ha mostrado que los adultos mayores evidencian un deterioro en la capacidad para percibir profundidades, lo que se transforma en importantes factores de riesgo intrínsecos para sufrir una caída, principalmente por el deterioro en la capacidad de percibir elementos presentes en el piso, tales como alfombras, escaleras o desniveles (69, 71).

SISTEMA VESTIBULAR

Generalmente, las disfunciones del sistema vestibular son asociadas a cambios fisiológicos producto del envejecimiento (72,73). El sistema vestibular detecta la posición y movimientos que realiza la cabeza en relación con el cuerpo y el espacio (74). Se encuentra constituido por utrículo, el sáculo y los conductos semicirculares. Los primeros son estructuras encargadas de detectar

la posición lineal de la cabeza con respecto a la gravedad, mientras los conductos semicirculares otorgan información de los cambios angulares que se ejecutan (74). Estudios anatómicos en adultos mayores mostraron depósitos de carbonato de calcio en los canales semicirculares y desgaste uni- y bilateral de las células ciliadas del laberinto (75). Asimismo, se ha observado que los individuos de mayor edad muestran disfunción coclear y sacular (76). Estos cambios se han asociado fuertemente a padecimiento de caídas, debido a la estrecha relación del sistema vestibular con la mantención del equilibrio y la aparición de vértigo (57, 58).

PROPIOCEPCIÓN

Con el aumento de la edad se produce un deterioro de la actividad propioceptiva, que se relaciona con la pérdida del control postural (3). La cinestesia (sensación de movimiento), posición articular y control de la fuerza son los aspectos que componen las funciones de la propiocepción, y conjuntamente son de gran importancia en el desarrollo de actividades motoras funcionales en el adulto mayor (67, 77). Con la edad se ha descrito un déficit en la cinestesia y, particularmente, en la posición articular, la cual se perturba en ciertas articulaciones, como tobillo, rodilla y cadera, provocando disminución de la estabilidad postural y contribuyendo al aumento del riesgo de caídas (78, 79).

Se reconocen tres tipos de propioceptores: a) los husos musculares, ubicados dentro del músculo; b) el órgano tendinoso de Golgi (OTG), ubicado dentro de los tendones; c) mecanorreceptores, ubicados en las articulaciones y en tejidos conectivos periféricos (80). En relación al OTG existe escasa literatura actualizada que señale las modificaciones que sufre debido al envejecimiento, sin embargo, se ha documentado un descenso en el número de receptores, lo cual se traduce en una errada interpretación de la tensión generada por el tendón al momento de realizar contracción muscular (81). Esta sensación distorsionada que asciende al sistema nervioso central provoca un mal procesamiento de la información y, por lo tanto, una respuesta muscular ineficiente, condicionando actos motores inestables. Además, estos cambios provocan un bajo desempeño motor que limita la funcionalidad del adulto mayor (82).

También se reconoce la existencia de una serie de receptores periféricos denominados mecanorreceptores, cuya función es proporcionar un *feedback* de los cambios mecánicos y la posición que experimentan las articulaciones (82). La literatura señala que el envejecimiento disminuye la cantidad y densidad de mecanorreceptores, principalmente Meissner, Paccini y Ruffini gene-

rando una baja percepción a estímulos vibratorios (83). Esta disminución afecta directamente la función de las articulaciones e indirectamente a las respuestas musculares.

Finalmente, estudios han mostrado que el envejecimiento genera cambios sobre el huso muscular, particularmente una disminución en el diámetro y número total de fibras intrafusales, aumento del espesor capsular y disminución de la sensibilidad (84, 85). Estos cambios afectan la sensación, percepción y ejecución de los movimientos corporales, y alteran algunas funciones motrices, como el equilibrio estático y dinámico, condición que se transforma en un factor de riesgo para padecer caídas.

CONCLUSIÓN

Los adultos mayores presentan cambios morfofisiológicos producto del envejecimiento, los cual se transforman en factores determinantes en el riesgo de caídas. Entre estos cambios destacan la reducción en número y tamaño de la fibra musculares, pérdida de fuerza muscular, disminución del volumen cerebral, modificaciones en la liberación de neurotransmisores, déficit visual-vestibular y reducción del número de órganos propioceptivos como el huso muscular y mecanorreceptores, entre otros. La combinación de estas alteraciones se traduce en una mayor vulnerabilidad del adulto mayor frente a perturbaciones tanto en actividades estáticas como dinámicas. Por lo tanto, se recomienda que en las estrategias de prevención de caídas se incorporen actividades que incluyan la estimulación multicomponente con el fin de evitar el deterioro funcional e incluso la discapacidad.

Finalmente, conocer que los adultos mayores tienen factores de riesgo para sufrir caídas debido a los cambios anatomofisiológicos ayuda a los profesionales de salud a dirigir las intervenciones y planes de tratamiento, enfocándose también en la prevención y, particularmente, en la educación de factores intrínsecos, en donde dentro de estos últimos, la calidad de las viviendas y el entorno juegan un rol fundamental para disminuir la prevalencia de caídas.

Conflicto de intereses: Ninguno.

REFERENCIAS

1. Seidler RD, Alberts JL, Stelmach GE. Changes in multi-joint performance with age. *Motor control*. 2002; 6(1):19-31.

2. Ricci NA, Aratani MC, Doná F, Macedo C, Caovilla HH, Ganança FF. Revisão sistemática sobre os efeitos da reabilitação vestibular em adultos de meia-idade e idosos. *Braz. J. Phys. Ther.* 2010;14:361-71.
3. Le Mouel C, Tisserand R, Robert T, Brette R. Postural adjustments in anticipation of predictable perturbations allow elderly fallers to achieve a balance recovery performance equivalent to elderly non-fallers. *Gait & posture.* 2019;71:131-7.
4. González G, Marín PP, Pereira G. Características de las caídas en el adulto mayor que vive en la comunidad. *Rev. Med. Chile.* 2001;129(9):1021-30.
5. Ku Y-C, Liu M-E, Tsai Y-F, Liu W-C, Lin S-L, Tsai S-J. Associated Factors for Falls, Recurrent Falls, and Injurious Falls in Aged Men Living in Taiwan Veterans Homes. *Int. J. Gerontol.* 2013;7(2):80-4.
6. Noh J-W, Kim K-B, Lee JH, Lee B-H, Kwon YD, Lee SH. The elderly and falls: Factors associated with quality of life A cross-sectional study using large-scale national data in Korea. *Arch Gerontol Geriatr.* 2017;73:279-83.
7. Beudart C, Reginster J-Y, Slomian J, Buckinx F, Dardenne N, Quabron A et al. Estimation of sarcopenia prevalence using various assessment tools. *Experimental gerontology.* 2015;61:31-7.
8. Hunter SK, Pereira HM, Keenan KG. The aging neuromuscular system and motor performance. *J Appl Physiol.* 2016;121(4):982-95.
9. Perkisas S, De Cock A, Verhoeven V, Vandewoude M. Physiological and architectural changes in the ageing muscle and their relation to strength and function in sarcopenia. *Eur. Geriatr. Med.* 2016;7(3):201-6.
10. Pion CH, Barbat-Artigas S, St-Jean-Pelletier F, Chevalier S, Gaudreau P, Gouspillou G et al. Muscle strength and force development in high-and low-functioning elderly men: Influence of muscular and neural factors. *Exp. Gerontol.* 2017;96:19-28.
11. Clark BC, Manini TM. What is dynapenia? *Nutrition.* 2012;28(5):495-503.
12. Manini TM, Clark BC. Dynapenia and aging: an update. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2011;67(1):28-40.
13. Artero EG, Lee D-c, Ruiz JR, Sui X, Ortega FB, Church TS et al. A prospective study of muscular strength and all-cause mortality in men with hypertension. *J Am Coll Cardiol.* 2011;57(18):1831-7.

14. Emerson NS, Stout JR, Fukuda DH, Robinson EH, Scanlon TC, Beyer KS et al. Resistance training improves capacity to delay neuromuscular fatigue in older adults. *Arch Gerontol Geriatr.* 2015;61(1):27-32.
15. Van Kan GA. Epidemiology and consequences of sarcopenia. *JNHA-The Journal of Nutrition. Health and Aging.* 2009;13(8):708-12.
16. Visser M, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Newman AB, Nevitt M, Rubin SM et al. Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2005;60(3):324-33.
17. Rastelli F, Capodaglio P, Orgiu S, Santovito C, Caramenti M, Cadioli M et al. Effects of muscle composition and architecture on specific strength in obese older women. *Experimental physiology.* 2015;100(10):1159-67.
18. Chincisan A, Tecante K, Becker M, Magnenat-Thalmann N, Hurschler C, Choi HF. A computational approach to calculate personalized pennation angle based on MRI: effect on motion analysis. *IJCARS.* 2016;11(5):683-93.
19. Russ DW, Gregg-Cornell K, Conaway MJ, Clark BC. Evolving concepts on the age-related changes in "muscle quality". *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle.* 2012;3(2):95-109.
20. Reig F, Planas A, Rosselló L, Pifarré F, Ticó J, Sans N et al. La fuerza dinamométrica en adolescentes: revisión sistemática y percentiles normativos. *Acta Pediátrica Española.* 2019;77(7/8):E122-E9.
21. Ho FK, Celis-Morales CA, Petermann-Rocha F, Sillars A, Welsh P, Welsh C et al. The association of grip strength with health outcomes does not differ if grip strength is used in absolute or relative terms: a prospective cohort study. *Age and ageing.* 2019;48(5):684-91.
22. Amaral CA, Amaral TLM, Monteiro GTR, Vasconcellos MTL, Portela MC. Hand grip strength: Reference values for adults and elderly people of Rio Branco, Acre, Brazil. *PloS one.* 2019;14(1):e0211452.
23. Bohannon RW. Are hand-grip and knee extension strength reflective of a common construct? Perceptual and motor skills. *Sage Journal.* 2012;114(2):514-8.
24. Jentoft AJC, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F et al. Sarcopenia: consenso europeo sobre su definición y diagnóstico. Informe del Grupo europeo de trabajo sobre la sarcopenia en personas de edad avanzada Oxford University: Age and Ageing. 2010;39(4):412-23.
25. Fornelli G, Isaia G, D'Amelio P. Ageing, muscle and bone. *JGG.* 2016:75.

26. Cao L, Morley JE. Sarcopenia is recognized as an independent condition by an international classification of disease, tenth revision, clinical modification (ICD-10-CM) code. *J Am Med Dir Assoc*. 2016;17(8):675-7.
27. Anker SD, Morley JE, von Haehling S. Welcome to the ICD-10 code for sarcopenia. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*. 2016;7(5):512-4.
28. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyère O, Cederholm T et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and ageing*. 2019;48(1):16-31.
29. Lera L, Angel B, Márquez C, Saguez R, Albala C. Software for the Diagnosis of Sarcopenia in Community-Dwelling Older Adults: Design and Validation Study. *JMIR Medical Informatics*. 2020;8(4):e13657.
30. Michael Newman Anne B Goodpaster Bret H. Longitudinal study of muscle strength, quality, and adipose tissue infiltration. *Am. J. Clin. Nutr.* 2009;90(6):1579-85.
31. Dodds RM, Syddall HE, Cooper R, Benzeval M, Deary IJ, Dennison EM et al. Grip strength across the life course: normative data from twelve British studies. *PloS one*. 2014;9(12).
32. Brook MS, Wilkinson DJ, Phillips BE, Perez-Schindler J, Philp A, Smith K et al. Skeletal muscle homeostasis and plasticity in youth and ageing: impact of nutrition and exercise. *Acta Physiologica*. 2016;216(1):15-41.
33. Cogley JN, Moulton PR, Burniston JG, Morton JP, Close GL. Exercise improves mitochondrial and redox-regulated stress responses in the elderly: better late than never!. *Biogerontology*. 2015;16(2):249-64.
34. Hilton TN, Tuttle LJ, Bohnert KL, Mueller MJ, Sinacore DR. Excessive adipose tissue infiltration in skeletal muscle in individuals with obesity, diabetes mellitus, and peripheral neuropathy: association with performance and function. *J. Phys Ther*. 2008;88(11):1336-44.
35. Pajoutan M, Sangachin MG, Cavuoto LA. Central and peripheral fatigue development in the shoulder muscle with obesity during an isometric endurance task. *BMC musculoskeletal disorders*. 2017;18(1):314.
36. Christie A, Kamen G. Motor unit firing behavior during prolonged 50% MVC dorsiflexion contractions in young and older adults. *J J Electromyogr Kinesiol*. 2009;19(4):543-52.
37. Bougea A, Papadimas G, Papadopoulos C, Paraskevas GP, Kalfakis N, Manta P et al. An Age-Related Morphometric Profile of Skeletal Muscle in Healthy Untrained Women. *J. Clin. Med*. 2016;5(11).

38. Melo RC, Takahashi AC, Quitério RJ, Salvini TF, Catai AM. Eccentric torque-producing capacity is influenced by muscle length in older healthy adults. *Strength Cond. Res.* 2016;30(1):259-66.
39. Bischoff-Ferrari HA, Orav J, Kanis JA, Rizzoli R, Schögl M, Staehelin H et al. Comparative performance of current definitions of sarcopenia against the prospective incidence of falls among community-dwelling seniors age 65 and older. *Osteoporos Int.* 2015;26(12):2793-802.
40. Schaap LA, Van Schoor NM, Lips P, Visser M. Associations of sarcopenia definitions, and their components, with the incidence of recurrent falling and fractures: the longitudinal aging study Amsterdam. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2018;73(9):1199-204.
41. Malmstrom TK, Miller DK, Simonsick EM, Ferrucci L, Morley JE. SARC-F: a symptom score to predict persons with sarcopenia at risk for poor functional outcomes. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle.* 2016;7(1):28-36.
42. Verdijk LB, Snijders T, Holloway TM, Van Kranenburg J, Van Loon LJC. Resistance Training Increases Skeletal Muscle Capillarization in Healthy Older Men. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(11):2157-64.
43. Brown M, Hasser EM. Complexity of age-related change in skeletal muscle. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1996;51(2):B117-B23.
44. Tudorascu I, Sfredel V, Riza AL, Miulescu RD, Ianosi SL, Danoiu S. Motor unit changes in normal aging: a brief review. *Rom J Morphol Embryol.* 2014;55(4):1295-301.
45. Hepple RT, Rice CL. Innervation and neuromuscular control in ageing skeletal muscle. *The Journal of physiology.* 2016;594(8):1965-78.
46. Samuel MA, Valdez G, Tapia JC, Lichtman JW, Sanes JR. Agrin and Synaptic Laminin Are Required to Maintain Adult Neuromuscular Junctions. *Plos One.* 2012;7(10).
47. Coupe C, Hansen P, Kongsgaard M, Kovanen V, Suetta C, Aagaard P et al. Mechanical properties and collagen cross-linking of the patellar tendon in old and young men. *J. Appl. Physiol.* 2009;107(3):880-6.
48. Kumagai J, Sarkar K, Uthoff HK, Okawara Y, Ooshima A. Immunohistochemical distribution of type-i, type-ii and type-iii collagens in the rabbit supraspinatus tendon insertion. *Journal of Anatomy.* 1994;185:279-84.
49. Franz JR, Thelen DG. Imaging and simulation of Achilles tendon dynamics: Implications for walking performance in the elderly. *J Biomech.* 2016;49(9):1403-10.

50. Veronesi F, Torricelli P, Borsari V, Tschon M, Rimondini L, Fini M. Mesenchymal stem cells in the aging and osteoporotic population. *Critical reviews in eukaryotic gene expression*. 2011;21(4).
51. Sharkawi MA, Zulfarina SM, Aqilah-Sn SMZ, Isa NM, Sabarul AM, Nazrun AS. Systematic Review on the Functional Status of Elderly Hip Fracture Patients using Katz Index of Activity of Daily Living (Katz ADL) Score. *Int. Medical J. Malaysia*. 2016;15(2):89-99.
52. Matsui Y, Takemura M, Harada A, Ando F, Shimokata H. Divergent significance of bone mineral density changes in aging depending on sites and sex revealed through separate analyses of bone mineral content and area. *Journal of osteoporosis*. 2012;2012.
53. Seidler RD, Bernard JA, Burutolu TB, Fling BW, Gordon MT, Gwin JT et al. Motor control and aging: Links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neurosci. Biobehav. Rev*. 2010;34(5):721-33.
54. Seib DRM, Martin-Villalba A. Neurogenesis in the Normal Ageing Hippocampus: A Mini-Review. *Gerontology*. 2015;61(4):327-35.
55. Ernst A, Alkass K, Bernard S, Salehpour M, Perl S, Tisdale J et al. Neurogenesis in the striatum of the adult human brain. *Cell*. 2014;156(5):1072-83.
56. Shan ZY, Liu JZ, Sahgal V, Wang B, Yue GH. Selective atrophy of left hemisphere and frontal lobe of the brain in old men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2005;60(2):165-74.
57. Salat DH, Buckner RL, Snyder AZ, Greve DN, Desikan RS, Busa E et al. Thinning of the cerebral cortex in aging. *Cereb. Cortex*. 2004;14(7):721-30.
58. Rosano C, Aizenstein H, Brach J, Longenberger A, Studenski S, Newman AB. Gait Measures Indicate Underlying Focal Gray Matter Atrophy in the Brain of Older Adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2008;63(12):1380-8.
59. Mattay VS, Fera F, Tessitore A, Hariri A, Das S, Callicott J et al. Neurophysiological correlates of age-related changes in human motor function. *Neurology*. 2002;58(4):630-5.
60. Wu T, Hallett M. A functional MRI study of automatic movements in patients with Parkinson's disease. *Brain*. 2005;128:2250-9.
61. Jernigan TL, Archibald SL, Fennema-Notestine C, Gamst AC, Stout JC, Bonner J et al. Effects of age on tissues and regions of the cerebrum and cerebellum. *Neurobiology of Aging*. 2001;22(4):581-94.

62. Ge Y, Grossman RI, Babb JS, Rabin ML, Mannon LJ, Kolson DL. Age-related total gray matter and white matter changes in normal adult brain. Part I: volumetric MR imaging analysis. *Am J Neuroradiol.* 2002;23(8):1327-33.
63. Holtzer R, Epstein N, Mahoney JR, Izzetoglu M, Blumen HM. Neuroimaging of Mobility in Aging: A Targeted Review. *J J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2014;69(11):1375-88.
64. Andersen BB, Gundersen HJG, Pakkenberg B. Aging of the human cerebellum: A stereological study. *J. Comp. Neurol.* 2003;466(3):356-65.
65. Sibille E, Su J, Leman S, Le Guisquet AM, Ibarguen-Vargas Y, Joeyen-Waldorf J et al. Lack of serotonin(1B) receptor expression leads to age-related motor dysfunction, early onset of brain molecular aging and reduced longevity. *J. Mol. Psychiatry.* 2007;12(11):1042-56.
66. Cham R, Perera S, Studenski SA, Bohnen NI. Striatal dopamine denervation and sensory integration for balance in middle-aged and older adults. *Gait & Posture.* 2007;26(4):516-25.
67. Singhal K, Casebolt JB. Aging and Gait. *Nutrition and Functional Foods for Healthy Aging.* 2017:65.
68. Gage WH, Frank JS, Prentice SD, Stevenson P. Organization of postural responses following a rotational support surface perturbation, after TKA: Sagittal plane rotations. *Gait & Posture.* 2007;25(1):112-20.
69. Lord SR, Dayhew J. Visual risk factors for falls in older people. *J. Am. Geriatr. Soc.* 2001;49(5):508-15.
70. Roselló Leyva A, Bernal Reyes N, Rojas Rondón I, Roselló Silva N, Lázaro Izquierdo Y. Caracterización de pacientes adultos mayores con diagnóstico de miopía degenerativa y baja visión, y su rehabilitación visual. *Revista Habanera de Ciencias Médicas.* 2015;14:599-610.
71. Lord SR. Visual risk factors for falls in older people. *Age and ageing.* 2006;35(suppl_2):42-45.
72. Ricci NA, Aratani MC, Caovilla HH, Gananca FF. Effects of conventional versus multimodal vestibular rehabilitation on functional capacity and balance control in older people with chronic dizziness from vestibular disorders: design of a randomized clinical trial. *Trials.* 2012;13.
73. Jahn K. The aging vestibular system: dizziness and imbalance in the elderly. *Vestibular Disorders.* 82: Karger Publishers; 2019. p. 143-9.
74. Concha-Cisternas Y, Guzmán-Muñoz E. Vestibular rehabilitation therapy in elderly with benign paroxysmal positional vertigo. *MOJ Gerontol Ger.* 2020;5(1):5-8.

75. Herdman SJ, Blatt P, Schubert MC, Tusa RJ. Falls in patients with vestibular deficits. *Otol. Neurotol.* 2000;21(6):847-51.
76. Zuniga MG, Dinkes RE, Davalos-Bichara M, Carey JP, Schubert MC, King WM et al. Association Between Hearing Loss and Saccular Dysfunction in Older Individuals. *Otol. Neurotol.* 2012;33(9):1586-92.
77. Goble DJ, Coxon JP, Wenderoth N, Van Impe A, Swinnen SP. Proprioceptive sensibility in the elderly: Degeneration, functional consequences and plastic-adaptive processes. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2009;33(3):271-8.
78. Wingert JR, Welder C, Foo P. Age-Related Hip Proprioception Declines: Effects on Postural Sway and Dynamic Balance. *A Arch Phys Med Rehabil.* 2014;95(2):253-61.
79. Proske U, Gandevia SC. The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiol. Rev.* 2012;92(4):1651-97.
80. Vega JA. Propioceptores articulares y musculares. Vega, José A Propioceptores articulares y musculares *Biomecánica*, 1999, vol VII, núm 13, p 79-93. 1999.
81. Aydoğ ST, Korkusuz P, Doral MN, Tetik O, Demirel HA. Decrease in the numbers of mechanoreceptors in rabbit ACL: the effects of ageing. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2006;14(4):325-9.
82. Bruyneel A-V. Evaluación de la propiocepción: pruebas de estatestesia y cinestesia. *EMC-Kinesiterapia-Medicina Física.* 2016;37(4):1-11.
83. Shaffer SW, Harrison AL. Aging of the somatosensory system: a translational perspective. *Phys ther.* 2007;87(2):193-207.
84. Kararizou E, Manta P, Kalfakis N, Vassilopoulos D. Morphometric study of the human muscle spindle. *Analytical and quantitative cytology and histology.* 2005;27(1):1-4.
85. Kim GH, Suzuki S, Kanda K. Age-related physiological and morphological changes of muscle spindles in rats. *J. Physiol.* 2007;582(2):525-38.