

MANEXO DO PACIENTE XERIÁTRICO CON DETERIORACIÓN DO EQUILIBRIO

Dra. Raquel Leirós Rodríguez
Universidade de Vigo

Dr. Vicente Romo Pérez
Profesor Titular da Universidade de Vigo

Dr. José Luis García Soidán
Profesor Titular da Universidade de Vigo

Dra. Anxela Soto Rodríguez
Axudante Doutora da Universidad San Jorge de Zaragoza

Universidade de Vigo

Servizo de Publicacións

2018

Edición

Servizo de Publicacións da Universidade de Vigo

Edificio da Biblioteca Central

Campus de Vigo

36310 Vigo

© Servizo de Publicacións da Universidade de Vigo, 2018

© Raquel Leirós Rodríguez, Vicente Romo Pérez, José Luis García Soidán e Anxela Soto Rodríguez

ISBN: 978-84-8158-776-0

D.L.: VG 274-2018

Maquetación e impresión: Tórculo Comunicación Gráfica, S.A.

Reservados todos os dereitos. Nin a totalidade nin parte deste libro pode reproducirse ou transmitirse por ningún procedemento electrónico ou mecánico, incluídos fotocopia, gravación magnética ou calquera almacenamento de información e sistema de recuperación, sen o permiso escrito do Servizo de Publicacións da Universidade de Vigo.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| Limiar | 7 |
| INTRODUCCIÓN | 9 |
| Introdución..... | 11 |
| Bibliografía..... | 14 |
| | |
| CAPÍTULO I: FISIOPATOLOXÍA DO EQUILIBRIO DURANTE O ENVELLECIMENTO | 17 |
| 1. Control motor, control postural e envellecemento | 19 |
| 1.1. Fisiopatoloxía do equilibrio durante o envellecemento | 20 |
| 1.1.1. Estratexias biomecánicas..... | 22 |
| 1.1.2. Estratexias de movemento | 22 |
| 1.1.3. Estratexias sensoriais: sistemas somato-sensorial e visual | 23 |
| 1.1.4. Orientación no espazo: sistema vestibular | 25 |
| 1.1.5 Control dinámico | 25 |
| 1.1.6. Procesamento cognitivo | 26 |
| 1.2. Causas principais de caída durante o envellecemento | 27 |
| 1.3. Bibliografía..... | 28 |
| | |
| CAPÍTULO II: AVALIACIÓN DO EQUILIBRIO | 37 |
| 2. Avaliación do equilibrio | 39 |
| 2.1. Avaliación clínica do equilibrio | 39 |
| 2.2. Avaliación instrumental do equilibrio..... | 50 |
| 2.2.1. Avaliación instrumental do equilibrio estático..... | 50 |

| | |
|---|----|
| 2.2.2. Avaliación instrumental da marcha..... | 52 |
| 2.3. Os acelerómetros como ferramenta de avaliación clínica | 54 |
| 2.3.1. Avaliación acelerométrica do equilibrio estático..... | 56 |
| 2.3.2. Avaliación acelerométrica da marcha..... | 58 |
| 2.4. Conclusións | 62 |
| 2.5. Bibliografía..... | 63 |

CAPÍTULO III: TRATAMENTO FISIOTERÁPICO DO EQUILIBRIO79

| | |
|--|----|
| 3. Tratamento dos trastornos do equilibrio | 81 |
| 3.1. Programas de adestramento da forza dos membros inferiores..... | 81 |
| 3.2. Programas de adestramento da forza da musculatura do tronco e da pelve..... | 82 |
| 3.3. Programas de adestramento somato-sensorial e en multitarefa..... | 84 |
| 3.4. Tratamento con desestabilizacións | 85 |
| 3.5. Tratamento de Facilitación Neuromuscular Propioceptiva..... | 86 |
| 3.6. Tratamento hidroterápico..... | 87 |
| 3.7. Recomendacións xerais..... | 88 |
| 3.8. Bibliografía..... | 89 |

CAPÍTULO IV: CONCLUSIÓN S97

| | |
|------------------------|-----|
| 4. Conclusións | 99 |
| 4.1. Bibliografía..... | 101 |

LIMIAR

Este manual está baseado na abordaxe de tratamento moderno e actualizado de pacientes xeriátricos con déficit do equilibrio. Esta deterioración do equilibrio é un proceso fisiolóxico que, de xeito natural (e con maior ou menor intensidade), se produce durante o envellecemento. Esta guía é de particular interese para os profesionais que se se confrontan na súa práctica clínica diaria ou traballo, á inestabilidade postural e ó alto risco de caer das persoas maiores, como: médicos, fisioterapeutas, enfermeiros, terapeutas e outros profesionais do exercicio.

As alteración do equilibrio, como se explicará ó longo destas páxinas representan un problema crecente para saúde pública porque afecta a un de cada tres adultos con máis de 65 anos e a un de cada dous maiores de 80 anos. As caídas causan lesións moderadas e severas no 30% dos casos; o que, para os maiores, implica fracturas, incapacidade funcional, redución dos niveis de actividade física e a entrada prematura en institucións de coidados residenciais. Este fenómeno esixe a divulgación da fisiopatoloxía subxacente a este problema e a sensibilización dos profesionais da saúde para o seu correcto tratamento e, por riba de todo, para a súa detección precoz que é a clave para evitar caídas.

Identificar os factores que afectan á estabilidade postural é esencial no deseño de intervencións específicas para manter a independencia e mobilidade das persoas maiores. Todos estes aspectos desenvólvense nas seguintes páxinas onde o estudante ou o profesional da saúde atopará a xustificación fisiolóxica das distintas causas do déficit do equilibrio, as ferramentas técnicas e clínicas de avaliación dispoñibles actualmente e os principais métodos de tratamento con máis apoio teórico e evidencia científica que os avalen.

Os autores.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

No ano 2015, a Organización das Nacións Unidas (ONU) previu que nos próximos tres anos, o número de persoas con máis de 60 anos vai medrar nun 56% en todo o mundo; e en 2050, estimou que o tamaño desta poboación dobrarase. En Europa, estas proxeccións estiman que as persoas con máis de 60 anos representarán o 25% da poboación total. No mesmo informe, tamén sinalaron a maior esperanza de vida das mulleres en relación aos homes (cunha media de 4,5 anos máis). Ante estes datos, a ONU afirma que: “Os cambios son necesarios en todo o mundo para adaptar os sistemas de saúde para ofrecer mellores niveis de saúde e benestar para as persoas maiores. A Organización Mundial da Saúde (OMS) salienta que estes cambios non teñen que implicar aumentos exorbitantes nos orzamentos gobernamentais dedicados á saúde. De feito, para a boa xestión dos gastos en saúde os cambios máis importantes están relacionados co uso adecuado da tecnoloxía, e co cambio de hábitos e actitudes en relación ós cuidados de saúde que o propio envellecemento da poboación” (United Nations Department of Economic and Social Affairs Population Division, 2015).

Ó mesmo tempo, na última década, a OMS identificou as caídas como un gran problema de saúde pública. Esta institución atopa tales accidentes como a segunda causa de morte por lesións non intencionais. As maiores taxas de mortalidade por esta causa son para persoas con máis de 60 anos; e, en caso de que estes accidentes non resultan en morte, son causa directa e indirecta de morbilidade e unha maior probabilidade de admisión nunha institución de cuidados (World Health Organization, 2008). As caídas causan lesións de moderada a graves no 30% dos casos, o que para os maiores resulta en fracturas, incapacidade funcional, redución dos niveis de actividade física, maior grao de dependencia, medo a caer, e mesmo a morte (Finlayson & Peterson, 2010; Maki et al., 2011).

Aproximadamente o 30% das persoas por riba de 65 anos caen cada ano e esta porcentaxe pode aumentar ata un 50% en persoas con máis de 80 anos. Estas porcentaxes aumentan cando se refire a persoas maiores institucionalizadas en residencias (Bischoff-Ferrari et al., 2015; Tromp et al., 2001). Polo tanto, a idade é un dos principais factores de risco para as caídas.

As persoas maiores están en maior risco de morte ou lesión grave por caída e, este risco aumenta coa idade. A magnitude do risco pode ser debido, polo menos en parte, a deficiencias físicas, sensoriais e/ou cognitivas asociadas ó envellecemento, así como á falta de adaptación do ambiente ás necesidades da poboación anciá. Ambos os sexos están en risco de caer en todos os grupos de idade e todos os países. Con todo, nalgúns países, tense observado que os homes son máis propensos a sufrir caídas mortais, mentres que as mulleres sofren máis caídas non fatais. No mesmo informe de 2008, a OMS declarou: “As estratexias de prevención de caídas deben ser amplas e multifactoriais; priorizar iniciativas de investigación e de saúde pública para definir aínda máis a carga orzamentaria, explotar os factores de risco e utilizar estratexias eficaces de prevención; políticas de apoio que creen ambientes máis seguros e reducir factores de risco; promover medidas técnicas para eliminar os factores que provocan caídas; promover a formación de profesionais sanitarios en estratexias de prevención baseadas en datos científicos e promover a educación individual e comunitaria de cara á sensibilización. Os programas eficaces de prevención de caídas pretenden reducir o número de persoas que as sofren, reducir a súa frecuencia e reducir a gravidade das feridas que producen” (World Health Organization, 2008).

O equilibrio e, en consecuencia, o control da postura, é unha habilidade complexa baseada na interacción de procesos sensorio-motrices, cuxo principal obxectivo é o mantemento da orientación da postura desexada polo individuo resistindo en equilibrio a forza da gravidade que actúa sobre o corpo. Esta habilidade, na práctica, normalmente implica, sobre todo, a verticalidade do tronco e a horizontalidade da mirada en relación á gravidade e á superficie apoio (Karnath, Ferber, & Dichgans, 2000a). Isto faise a través da integración de información somato-sensorial, o que inclúe a función coordinada e integrada da información propioceptiva, visual e vestibular (Horak, Kluzik, & Hlavacka, 2016; Ting, 2007).

O mantemento do equilibrio postural implica a coordinación de estratexias motoras para estabilizar o centro de gravidade (CG) durante os movementos efectuados polo propio individuo e/ou perturbacións externas da estabilidade (Honeine & Schieppati, 2014; Horak, 2006). Como son coordinadas e que estratexias son desenvolvidas para cada caso particular, dependerá do movemento que estaba sendo realizado, o trastorno percibido, as experiencias previas e expectativas de movemento do individuo. Ademais, o mantemento do equilibrio inclúe axustes posturais anticipatorios, inconscientes e automáticos que se producen antes e durante o movemento voluntario servindo para compensar as forzas desestabilizadoras asociadas ó movemento dos membros e

do tronco (Mohapatra, Krishnan, & Aruin, 2012; Varghese, Merino, Beyer, & McIlroy, 2016). Isto implica un proceso cognitivo complexo que depende da dificultade da tarefa e do estado funcional dos individuo (Honeine & Schieppati, 2014; Lacour, Bernard-Demanze, & Dumitrescu, 2008a).

Así, manter o equilibrio e o control postural, ó implicar moitos sistemas integrados e habilidades, é unha función que pode estar afectada por diferentes enfermidades ou limitacións subclínicas. Por tanto, a prevención da deterioración do equilibrio require a comprensión dos diversos mecanismos subxacentes ó control postural e, de ser o caso, un tratamento eficaz para mellorar a mobilidade e sensibilidade (Horak, 2006; Matsuda, Verrall, Finlayson, Molton, & Jensen, 2015).

Para facilitar a incorporación das persoas maiores a programas de mellora do equilibrio e para avaliar a eficacia de tales programas, xa sexan preventivos ou de tratamento da inestabilidade, son necesarios métodos de diagnóstico precoz. É dicir, métodos que sexan sensibles a pequenos cambios no funcionamento dos sistemas de control postural. Pero, a natureza multifactorial do equilibrio dificulta enormemente a avaliación cuantitativa, global e fiable desta habilidade na práctica clínica. En tal ambiente, a avaliación da deficiencia do equilibrio realizouse sempre a través de probas de equilibrio estático e tests funcionais de comprobada validez e fiabilidade (Freitas, Wiczorek, Marchetti, & Duarte, 2005; Isles, Choy, Steer, & Nitz, 2004). Pero as tarefas que normalmente son avaliadas son moi simples e é común que o individuo acadase altas puntuacións neles. Na práctica, isto quere dicir que as limitacións son detectadas cando o individuo xa manifestou un descenso significativo no control postural (Blum & Korner-Bitensky, 2008; Boulgarides, McGinty, Willett, & Barnes, 2003; Paul et al., 2013). De xeito que, na contorna ambulatoria, non hai ningún procedemento que permita a detección precoz de pequenos cambios causados polo proceso de envellecemento, melloras no desenvolvemento dos axustes posturais froito de programas de adestramento e rehabilitación ou o declive somato-sensorial asociado a enfermidades dexenerativas. Polo tanto, a transición cara a un novo modelo de diagnóstico obxectivo e preciso significará unha mellora substancial na detección precoz da diminución do equilibrio.

Como se mencionou antes, o control da postura está relacionado co CG e, segundo Mapelli et al. (2014), a fisioloxía do equilibrio é resultado da interacción multisegmentaria. Isto é, a concepción do corpo como un sistema de corpos ríxidos cuxo CG é a media de todos os centros de masa dos referidos segmentos, esta definición segue a liña teórica proposta por Hogdes et al. (2002a).

Ferramentas cinemáticas como os acelerómetros permiten o estudo obxectivo do equilibrio, a través da análise do CG sen un gran investimento financeiro en dispositivos ou complexos procesos de procesamento e análise dos datos (Yang & Hsu, 2010). Con todo, non existen estudos suficientes para soportar a validez de protocolos baseados en acelerometrías.

Unha vez temos en conta as dificultades inherentes ó proceso de diagnóstico da deterioración do equilibrio, na contorna clínica de rehabilitación e fisioterapia é necesario cubrir a necesidade de tratamento dos pacientes maiores con perda do control postural e equilibrio. Este tratamento, sendo consecuentes coa orixe multifactorial do problema, debe ser específico ós fenómenos fisiolóxicos que estean provocando a sintomatoloxía.

Por todo o exposto, propónse esta guía, a fin de recoller o coñecemento científico dispoñible ata agora sobre a abordaxe clínica do paciente maior con inestabilidade postural e perda do equilibrio.

BIBLIOGRAFÍA

- Bischoff-Ferrari, H., Orav, J., Kanis, J., Rizzoli, R., Schlögl, M., Staehelin, H., . . . Dawson-Hughes, B. (2015). Comparative performance of current definitions of sarcopenia against the prospective incidence of falls among community-dwelling seniors age 65 and older. *Osteoporosis International*, 26(12), 2793-2802.
- Blum, L., & Korner-Bitensky, N. (2008). Usefulness of the berg balance scale in stroke rehabilitation: A systematic review. *Physical Therapy*, 88(5), 559-566.
- Boulgarides, L. K., McGinty, S. M., Willett, J. A., & Barnes, C. W. (2003). Use of clinical and impairment-based tests to predict falls by community-dwelling older adults. *Physical Therapy*, 83(4), 328-339.
- Finlayson, M. L., & Peterson, E. W. (2010). Falls, aging, and disability. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 21(2), 357-373.
- Freitas, S. M., Wiczorek, S. A., Marchetti, P. H., & Duarte, M. (2005). Age-related changes in human postural control of prolonged standing. *Gait & Posture*, 22(4), 322-330.

- Hodges, P., Gurfinkel, V., Brumagne, S., Smith, T., & Cordo, P. (2002). Coexistence of stability and mobility in postural control: Evidence from postural compensation for respiration. *Experimental Brain Research*, 144(3), 293-302.
- Honeine, J. L., & Schieppati, M. (2014). Time-interval for integration of stabilizing haptic and visual information in subjects balancing under static and dynamic conditions. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8, 190.
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, 35 Suppl 2, ii7-ii11.
- Horak, F. B., Kluzik, J., & Hlavacka, F. (2016). Velocity dependence of vestibular information for postural control on tilting surfaces. *Journal of Neurophysiology*, 116(3), 1468-1479.
- Isles, R. C., Choy, N. L., Steer, M., & Nitz, J. C. (2004). Normal values of balance tests in women aged 20–80. *Journal of the American Geriatrics Society*, 52(8), 1367-1372.
- Karnath, H. O., Ferber, S., & Dichgans, J. (2000). The neural representation of postural control in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(25), 13931-13936.
- Lacour, M., Bernard-Demanze, L., & Dumitrescu, M. (2008). Posture control, aging, and attention resources: Models and posture-analysis methods. *Neurophysiologie Clinique*, 38(6), 411-421.
- Maki, B. E., Sibley, K. M., Jaglal, S. B., Bayley, M., Brooks, D., Fernie, G. R., . . . McIlroy, W. E. (2011). Reducing fall risk by improving balance control: Development, evaluation and knowledge-translation of new approaches. *Journal of Safety Research*, 42(6), 473-485.
- Mapelli, A., Zago, M., Fusini, L., Galante, D., Colombo, A., & Sforza, C. (2014). Validation of a protocol for the estimation of three-dimensional body center of mass kinematics in sport. *Gait & Posture*, 39(1), 460-465.

- Matsuda, P. N., Verrall, A. M., Finlayson, M. L., Molton, I. R., & Jensen, M. P. (2015). Falls among adults aging with disability. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(3), 464-471.
- Mohapatra, S., Krishnan, V., & Aruin, A. S. (2012). Postural control in response to an external perturbation: Effect of altered proprioceptive information. *Experimental Brain Research*, 217(2), 197-208.
- Paul, S. S., Canning, C. G., Sherrington, C., Lord, S. R., Close, J. C., & Fung, V. S. (2013). Three simple clinical tests to accurately predict falls in people with parkinson's disease. *Movement Disorders*, 28(5), 655-662.
- Ting, L. H. (2007). Dimensional reduction in sensorimotor systems: A framework for understanding muscle coordination of posture. *Progress in Brain Research*, 165, 299-321.
- Tromp, A., Pluijm, S., Smit, J., Deeg, D., Bouter, L., & Lips, P. (2001). Fall-risk screening test: A prospective study on predictors for falls in community-dwelling elderly. *Journal of Clinical Epidemiology*, 54(8), 837-844.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs Population Division. (2015). In United Nations (Ed.), *World population ageing 2015*. New York.
- Varghese, J., Merino, D., Beyer, K., & McIlroy, W. (2016). Cortical control of anticipatory postural adjustments prior to stepping. *Neuroscience*, 313, 99-109.
- World Health Organization. Ageing, & Life Course Unit. (2008). *WHO global report on falls prevention in older age World Health Organization*. New York.
- Yang, C., & Hsu, Y. (2010). A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring. *Sensors*, 10(8), 7772-7788.

CAPÍTULO I:
FISIOPATOLOGÍA DO EQUILIBRIO DURANTE O
ENVELLECIMIENTO

1. CONTROL MOTOR, CONTROL POSTURAL E ENVELLECIMIENTO

O control motor inclúe tódolos procesos sensorio-motrices e cognitivos, a través dos que se coordina a actividade neuro-muscular empregada nun movemento coordinado. Trátase de integrar toda a información sensorial, tanto interna como a procedente do medio ambiente, para aplicar a combinación correcta de solicitation muscular que resulte no movemento desexado. Isto require a interacción coordinada do sistema nervioso e músculo-esquelético e é crítica para a interacción entre o individuo co seu contorno xa que, en adición a unha acción voluntaria, é crucial para manter o control da postura e o equilibrio (Rose & Christina, 2006; Shumway-Cook & Woollacott, 1995).

As persoas maiores amosan déficits no control motor, fundamentalmente pola dexe-neración dos sistemas nervioso (central e periférico) e neuromuscular. Eses déficits inclúen a perda de coordinación, a ralentización dos movementos e a dificultade para manter o equilibrio estático e a marcha. A perda de coordinación é máis pronunciada canto máis complexo sexa o movemento e a máis articulacións comprometa. Por outra banda, a ralentización dos movementos pode ser unha estratexia para gañar en precisión anque tamén poder ser involuntaria e produto dun procesamento dende o Sistema Nervioso Central (SNC) máis lento (Seidler, Alberts, & Stelmach, 2002; Seidler et al., 2010). Os movementos tamén se fan menos harmónicos espacial e temporalmente, polas modificacións do sistema neuromuscular a nivel periférico (Faulkner, Larkin, Claflin, & Brooks, 2007). Todo isto reduce a funcionalidade dos anciáns no seu día a día (Alexander, Rivara, & Wolf, 1992).

O control postural é unha habilidade complexa baseada na interacción de procesos sensorio-motrices, que ten como obxectivo principal manter a orientación postural desexada polo individuo resistindo en equilibrio a forza de gravidade que está a actuar sobre o seu corpo (Karnath, Ferber, & Dichgans, 2000b).

Para conseguilo é necesaria a integración da información somato-sensorial, o que inclúe a función coordinada e integrada da información propioceptiva, o órgano da

visión e o sistema vestibular (Horak et al., 2016; Ting, 2007). O sistema de control postural ten dúas funcións principais: construí-la postura contra gravidade asegurando o mantemento do equilibrio e orienta-la posición dos segmentos corporais que permita a correcta percepción dos estímulos ambientais simultaneamente á realización de tarefas voluntarias (Massion, 1994). Funcionalmente, o control da postura inclúe compoñentes motrices, como a coordinación de patróns de axuste postural, o tempo de latencia das respostas de axuste postural, a resposta ó estímulo postural, a aprendizaxe motora e a biomecánica corporal; e, a nivel sensorial inclúe: a detección de estímulos sensoriais periféricos, a selección e ponderación de información sensorial a través do SNC, a percepción dos límites de estabilidade e a integración sensorio-motriz (Horak, Shupert, & Mirka, 1989).

O envellecemento compromete a capacidade de estabilización postural (Shkuratova, Morris, & Huxham, 2004). Os adultos máis maiores amosan un aumento da oscilación postural na posición estática bipodal e dificultade para facer movementos que impliquen a modificación da base de apoio (Maki & McIlroy, 1996). Estes cambios no control da postura co envellecemento son, polo tanto, consecuencia de alteracións dexenerativas do SNC a nivel estrutural (tal como a deformación e atrofia da masa cerebral e a perda de materias gris e branca), bioquímico (alteración dos niveis de colina e dopamina) e na solicitation funcional (cambios na participación das diferentes áreas do cerebro na programación dos esquemas de movemento) (Seidler et al., 2010).

1.1. Fisiopatoloxía do equilibrio durante o envellecemento

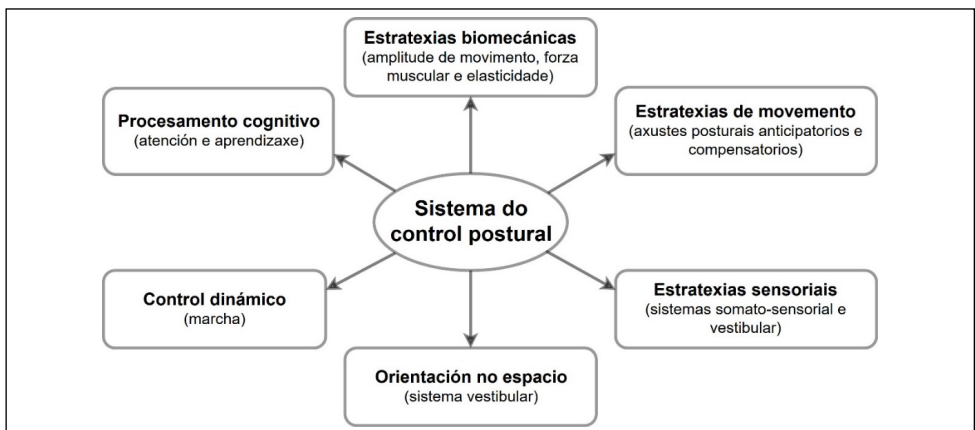
O mantemento do equilibrio postural implica a coordinación de estratexias motrices para estabilizar o centro de gravidade (CG) durante os movementos efectuados polo propio individuo e/ou trastornos externos da estabilidade (Honeine & Schieppati, 2014; Horak, 2006). O CG é un punto de referencia do corpo humano (e de calquera obxecto) no espazo. É o produto da masa do corpo coa forza da gravidade; por exemplo, se unha persoa ten unha masa de 80 kg, os 80 kg polo efecto da aceleración da gravidade producen unha forza (peso) concentrada nese punto. O centro de gravidade do corpo humano, é a media do CG de cada segmento que compón e o seu control é pasivo, produto da actividade do sistema de control postural (Winter, 1995a).

Que estratexias son desenvolvidas e como sexan coordinadas para estabiliza-lo CG en cada caso concreto, dependerá do movemento que se estivese realizando, do trastorno sufrido, das experiencias e expectativas de movemento do individuo. Ademais, o mantemento do equilibrio inclúe axustes posturais anticipatorios, inconscientes e automáticos que se producen antes e durante o movemento voluntario e que serven para compensar

as forzas desestabilizadoras asociadas ó movemento dos membros e do tronco (Mohapatra et al., 2012; Varghese et al., 2016). Todo isto implica un proceso cognitivo complexo que depende da dificultade da tarefa e do estado funcional do individuo (Honeine & Schieppati, 2014; Lacour, Bernard-Demanze, & Dumitrescu, 2008b).

Así, manter o equilibrio e o control postural, ó implicar o funcionamento integrado de moitos sistemas e aptitudes, é unha función que pode verse afectada por diferentes enfermidades ou limitacións subclínicas. O dano estrutural e/ou funcional de calquera dos sistemas e aparatos implicados no mantemento do control postural poden causar diferentes graos e tipos de inestabilidade e de desequilibrio (Damián, Pastor-Barriuso, Valderrama-Gama, & de Pedro-Cuesta, 2013; Vieira, Tappen, Engstrom, & da Costa, 2015). Horak (2006) desenvolveu parte do corpo teórico vixente actualmente sobre a fisioloxía do equilibrio e do control postural segundo o que o SNC emprega seis tipos de estratexias para controla-lo equilibrio (Imaxe n°1). Entender estas estratexias, os sistemas fisiolóxicos que as realizan e como contribúen coordinadamente permite analizar sistematicamente os trastornos do equilibrio, e prever o risco de caída para cada individuo especificamente.

Este epígrafe refírese a aspectos relacionados co sistema músculo-esquelético: a amplitude de movemento, forza muscular e elasticidade. Durante o envellecemento ocorre unha perda inevitable de masa muscular que comeza preto dos 50 anos e segue de xeito que, ó chegar ós 80 anos, aproximadamente o 50 por cento das fibras musculares dos membros están atrofiadas. Aínda que estes datos son altamente variables dependendo de patoloxías concomitantes ou do nivel de actividade física para manter o individuo (Faulkner et al., 2007).



Imaxe n°1. Sistema do control postural

1.1.1. *Estratexias biomecánicas*

A orixe destas limitacións está na redución da síntese de proteína asociada ó envellecemento, que provoca a diminución da masa muscular e a capacidade para xerar forza (sarcopenia). Isto ocorre sempre, en maior ou menor medida ante o proceso natural de envellecemento, pero un estilo de vida activo é esencial para ralentiza-la decadencia mitocondrial. Pola súa banda, as substancias inflamatorias que están presentes nos procesos de apoptose muscular relaciónanse coa progresión de enfermidades dexenerativas (síndromes metabólicas, cancro, enfermidade de Alzheimer e enfermidade de Parkinson, entre outras) (Demontis, Piccirillo, Goldberg, & Perrimon, 2013; Johnson, Robinson, & Nair, 2013; Schiaffino, Dyar, Ciciliot, Blaauw, & Sandri, 2013).

Estes cambios na composición corporal causan cambios na mobilidade diaria das persoas maiores, facendo que actividades diarias como camiñar ou subir escaleiras teñan que face-lo nun ritmo máis lento e a través de patróns de movemento modificados polas maiores esixencias dos músculos proximais. É dicir, realizan a propulsión dos membros inferiores cos músculos da cadeira, no canto de face-lo dende o nocello, de xeito que estase a aumentar o risco de caída a nivel case imperceptible inexpresivo e contribuír ao aumento do risco de caída (Bertucco & Cesari, 2009; Hausdorff, Rios, & Edelberg, 2001). Ademais, nos anciáns é común a aparición de trastornos músculo-esqueléticos que implican dor nas articulacións, inchazón, limitación no movemento e perda de forza, como son a artrose, a artrite reumatoide e a fibromialxia. Estas patoloxías, cando desenvolven a súa sintomatoloxía nas articulacións dos membros inferiores e da columna vertebral provocan un aumento do risco de caída (Brenton-Rule, Dalbeth, Menz, Bassett, & Rome, 2016; Góes et al., 2015; Leveille et al., 2002).

En concreto, as limitacións biomecánicas relacionadas co pé e co nocello son consideradas as máis importantes neste subsistema, porque determinan a calidade da base de apoio de todo o corpo. As reaccións do equilibrio teñen como obxectivo manter controlado o CG do corpo en relación a súa base de apoio (Hess, Woollacott, & Shivitz, 2006). Deste xeito, as limitacións na amplitude de movemento e na forza das articulacións dos membros inferiores, reduce a capacidade de control do GC en relación ós pés (Chaiwanichsiri, Janchai, & Tantisiriwat, 2009).

1.1.2. *Estratexias de movemento*

O SNC emprega estratexias anticipatorias e compensatorias para manter o equilibrio e restaura-la estabilidade ante un movemento desequilibrante. Os axustes posturais anticipatorios representan un mecanismo de *feedback* positivo para controla-la activi-

dade muscular. Estes axustes posturais anticipatorios están baseados en experiencias anteriores e axudan a minimizar os desequilibrios que poidan desencadear unha caída potencial (Aruin & Latash, 1995). As estratexias de movemento máis importantes supoñen movementos do nocello (onde o corpo é reequilibrado desde a súa base de apoio como un péndulo invertido e flexible), movementos de cadeira (como reacción que permite o axuste rápido de posición do CG no espazo) e dar un o varios pasos (cando non é unha prioridade mante-la base de apoio) (Horak, 2006; McIlroy & Maki, 1996).

Os axustes posturais compensatorios representan un mecanismo de control que é activado por unha alteración do equilibrio real, axudando a restaurar o equilibrio tras unha perturbación. Os axustes compensatorios son activados por sistemas de control sensitivo (Alexandrov, Frolov, Horak, Carlson-Kuhta, & Park, 2005).

Este subsistema do control postural, ante unha perturbación inesperada da postura, desencadea axustes compensatorios como única ferramenta. Con todo, cando a perturbación é previsible, axustes anticipatorios actúan como primeira liña de defensa para preparar ó corpo para o desequilibrio inminente e son seguidos inmediatamente por axustes compensatorios para axudan a completar o proceso de restauración do equilibrio. O uso de axustes anticipatorios reduce significativamente a necesidade de axustes posteriores compensatorios e son un sinal de maior estabilidade postural (Santos, Kanekar, & Aruin, 2010). Tense observado que, durante o envellecemento, prodúcese a deterioración no desenvolvemento destas estratexias. A capacidade de solicitar músculos con antelación parece manterse durante o envellecemento natural (carente de enfermidades neurodexenerativas), pero o tempo necesario para realiza-lo aumenta coa idade, de xeito que estes axustes preventivos perden a súa eficacia (Kanekar & Aruin, 2014). Outra modificación deste subsistema durante o envellecemento implica o desenvolvemento de movementos de cadeira ou a realización de pasos no canto de axustes compensatorios de nocello, para para manter a estabilidade postural (Maki, Edmondstone, & McIlroy, 2000).

1.1.3. Estratexias sensoriais: sistemas somato-sensorial e visual

O SNC integra e pondera información de tres subsistemas: o somato-sensorial, visual e vestibular. Os dous primeiros son definidos a continuación; o terceiro, debido á súa importancia, ten un epígrafe propio e diferenciado.

O sistema somato-sensorial consta das vías propioceptivas e táctiles. Por unha banda, os mecanorreceptores (fusos neuro-musculares e órganos tendinosos de Golgi)

proporcionan información valiosa para o SNC sobre a lonxitude e velocidade da contracción muscular, o que dota a cada individuo de capacidade para identificar o movemento e a posición articular de todo o corpo, mesmo en ausencia de información visual (Shaffer & Harrison, 2007).

O sistema visual, á súa vez, emprega tres compoñentes:

- A visión central ten como obxectivo a percepción do movemento e o recoñecemento de obxectos.
- A visión periférica capta o escenario e a percepción do movemento do propio corpo.
- O desprazamento da retina relaciónase coa percepción do desprazamento do corpo respecto á contorna.

As dúas últimas, visión periférica e desprazamento da retina, desempeñan un papel esencial no mantemento do equilibrio estático e dinámico, respectivamente (Grace Gaerlan, Alpert, Cross, Louis, & Kowalski, 2012; Guerraz & Bronstein, 2008).

Durante o envellecemento fisiolóxico, a achega visual faise protagonista, sobre todo durante equilibrio estático. Isto é porque, a velocidade de procesamento das sinais aferentes somato-estésicas vestibulares diminúe, resultando nun aumento da importancia da información proporcionada pola vista para o correcto control postural (Doyle, Dugan, Humphries, & Newton, 2004; Guerraz, Sakellari, Burchill, & Bronstein, 2000; Matheron, Yang, Delpit-Baraut, Dailly, & Kapoula, 2016).

Dependendo do contexto, a importancia relativa de cada un destes sistemas varía. Por exemplo, nun ambiente ben iluminado e sobre unha superficie de apoio estable, unha persoa saudable basea o seu control postural principalmente na información somato-sensorial, que complementa coa información visual. Sobre unha superficie inestable, esta xerarquía cambia e a información visual pasa a ser a máis empregada xa que a información somato-sensorial procedente dunha superficie de apoio inestable non é útil (Grace Gaerlan et al., 2012).

As persoas con neuropatía periférica ou perda visual periférica, teñen maior risco de caer, por alteración destes subsistemas. Os pacientes con enfermidades neurodexenerativas, como a enfermidade de Alzheimer tamén teñen maior risco de caída porque a

capacidade do SNC para integrar e pondera-la información procedente das distintas vías sensoriais pérdese (Colnat-Coulbois et al., 2011; Paillard, Noé, Bru, Couderc, & Debove, 2016).

1.1.4. Orientación no espazo: sistema vestibular

O SNC, en condicións normais, integra automaticamente a orientación de tódalas partes do corpo respecto á forza da gravidade, a superficie de apoio e as referencias da contorna a partir dos sistemas visuais e vestibular. Tras o proceso de integración, organiza a resposta axeitada a fin de manter a verticalidade do corpo de xeito transversal á superficie de apoio e, indirectamente, a horizontalidade dos ollos.

Neste contexto, o sistema vestibular informa da posición da cabeza en relación á gravidade e ás aceleracións de tipo lineal e angular (rotacións). É dicir, este sistema sensitivo constitúe a base do marco espacial de referencia e da postura erecta humana (Klingner, Axer, Brodoehl, & Witte, 2016). O sistema vestibular axuda ós sistemas somato-sensorial e vestibular dándolles información para a cognición espacial. En paralelo, colabora na construción da representación mental do corpo (Mast, Preuss, Hartmann, & Grabherr, 2014).

É dicir, hai unha representación interna da verticalidade, independente da información visual. Unha representación interna inclinada da verticalidade causará un aliñamento postural non coincidente coa gravidade nin transversal á superficie de apoio, é dicir, desemboca nunha inestabilidade (Karnath et al., 2000b). Foi observado que máis dun terzo das persoas con máis de 70 anos teñen algún tipo de alteración vestibular.

As vías aferentes que conducen ó cerebelo a información vestibular son alteradas co envellecemento natural (Pothula, Chew, Lesser, & Sharma, 2004): sofren unha redución das células ciliadas e neuronais. Dita redución ocorre xeralmente simultaneamente e é coñecida como hipofunción vestibular; pero patoloxicamente, pódese producir de xeito asimétrico (Herdman, Blatt, Schubert, & Tusa, 2000).

1.1.5. Control dinámico

A capacidade de realizar, de forma independente, as tarefas da vida diaria (como camiñar, subir escaleiras, facer transferencias de posición sentada á posición de pé...) redúcese co envellecemento. A realización destas tarefas esixe manter controlado o CG do corpo simultaneamente á saída deste da base de apoio durante o movemento. Andar correctamente e de xeito independente é tan importante, que a velocidade da marcha,

é un indicador clínico clave do estado funcional do paciente, do seu risco de caer e mesmo predictor da mortalidade (Cesari et al., 2005; Studenski et al., 2011). Ademais, a perda da regularidade da marcha, é dicir, a perda das características espazo-temporais harmónicas dos movementos realizados constantemente mentres se camiña é un factor de risco asociado ás caídas (Winter, 1995a). Por exemplo, a lonxitude dos pasos (a distancia entre os dous pés tras a realización dun paso) en persoas maiores con risco de caer é máis pequena e, xeralmente, é asimétrica (reflexo da diferente capacidade para xerar forza entre as dúas pernas) (Laroche, Cook, & Mackala, 2012; Perry, Carville, Smith, Rutherford, & Newham, 2007).

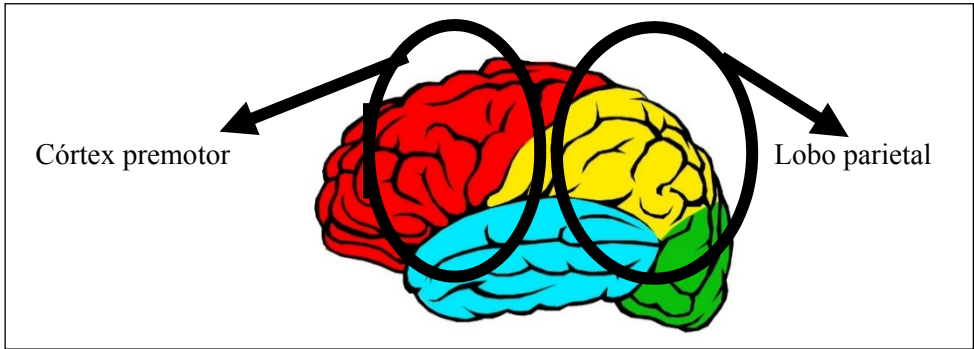
Considérase que unha velocidade de marcha dun metro por segundo é un sinal do bo estado funcional; mentres que, unha velocidade menor a 0,8 metros por segundo, sería indicativa de deterioro (Stanaway et al., 2011; Van Kan et al., 2009). Segundo avanza a idade, diminúe a forza muscular e a capacidade aerobia, isto fai que as tarefas que requiren forza máxima (como as transferencias dende a posición sentada a de pé ou o xesto de agacharse e incorporarse) ou a combinación de diferentes movementos simultaneamente (como mentres se camiña) representen un desafío para o mantemento da estabilidade postural (Sillanpää et al., 2009).

1.1.6. Procesamento cognitivo

O control postural esixe recursos cognitivos para a realización exitosa do mantemento do equilibrio. Proba disto é que os tempos de reacción ante un desequilibrio son maiores cando se está de pé, do que son cando se está sentado. Outro exemplo é que o equilibrio é desafiado cando o individuo é invitado a facer unha segunda tarefa cognitiva simultaneamente ó mantemento dunha postura complexa (de pé sobre un so pé) (Menant, Schoene, Sarofim, & Lord, 2014; Teasdale & Simoneau, 2001).

A información sensorial (proprioceptiva, visual e vestibular) debe ser debidamente integrada en diferentes áreas do cerebro (córtex premotor e lobo parietal, especialmente) (Imaxe nº2).

En consecuencia, o eficiente procesamento central, a xestión dos recursos atencionais e a estabilidade postural están intimamente relacionados (Shumway-Cook, Woollacott, Kerns, & Baldwin, 1997). Ademais, as experiencias anteriores do individuo tamén se amosaron importantes para desenvolver axeitadamente as reacción de equilibrio en situacións de desafío postural (Lacour et al., 2008b). Todo isto fai do control postural unha habilidade que se desenvolve (e deteriora) de forma individual, podéndose extraer patróns comúns, pero sempre suxeitos a variacións individuais (Adkin, Frank,



Imaxe nº2. Áreas cerebrais relacionadas co procesamento da información sensorial

Os factores psicolóxicos teñen moita importancia nas persoas maiores que, moitas veces, senten medo a caer, en especial as mulleres e, de xeito aínda máis prevalente, en persoas que teñen un antecedente de caída previa, trastornos de locomotores, depresión e/ou illamento social. Este medo fai que eles mesmos se restrinxan a actividade física e a participación en actos sociais o que, á súa vez, aumenta o medo a caer en tarefas cada vez máis simples. O medo de caer, en consecuencia, conduce a un círculo vicioso de inactividade, medo e soidade (Scheffer, Schuurmans, van Dijk, van der Hoof, & de Rooij, 2008; G. A. Zijlstra et al., 2007).

Por último, as persoas maiores que viron diminuída a súa capacidade cognitiva por enfermidades dexenerativas do SNC (como a demencia ou as enfermidades de Alzheimer, Huntington e Parkinson) teñen profundamente afectado o control postural (Camicioli, Howieson, Lehman, & Kaye, 1997; Grimbergen, Schrag, Mazibrada, Borm, & Bloem, 2013).

1.2. Causas principais de caída durante o envellecemento

Debemos ter en conta que os seis subsistemas desenvoltoos foron explicados de forma individual para a claridade do texto, aínda que a función de cada un é influenciada pola do resto. Xa que a información de cada un chega ó SNC para ser integrada e procesada e, en consecuencia, crear unha resposta específica e axeitada segundo á tarefa que se estea a realizar, o obxectivo da mesma e o contexto e contorna nos que estea realizándose. A desorde nun ou máis dos recursos fisiolóxicos do equilibrio pode producir inestabilidade postural e aumentar o risco de caída (Runge & Schacht, 2005). Polo tanto, cando se fai referencia á deterioración do equilibrio asociada ó envellecemento non é debido ó “sistema de equilibrio” como tal, se non ó deterioro ou patoloxía dos subsistemas fisiolóxicos subxacentes á complexa tarefa de manter o equilibrio.

Outra causa de caídas especialmente prevalente en persoas maiores son os síncope de orixe cardiovascular. Este tipo de caídas son particularmente importantes porque o seu carácter imprevisible e abrupto, fai que as lesións resultantes sexan máis graves. En realidade, as caídas por síncope son as que máis altas taxas de mortalidade reportan (Ungar et al., 2013).

Unha deficiencia a nivel nutricional da vitamina D, tamén foi obxecto de estudo para a prevención de caídas. Isto é porque dita deficiencia provoca a perda de mineralización ósea e de forza muscular (Pfortmueller, Lindner, & Exadaktylos, 2014).

O tratamento farmacolóxico ó que están normalmente suxeitos os maiores, tamén pode ser orixe da perda de eficacia do control postural. Fármacos antiarrítmicos, diuréticos, ansiolíticos (tales como as benzodiazepinas) e antidepresivos están asociados á perda de control postural como efecto secundario (Huang et al., 2012). Ademais, as persoas maiores sofren frecuentemente varias enfermidades simultaneamente, de xeito que a combinación de fármacos pode provocar máis efectos secundarios sobre a estabilidade postural, froito de incompatibilidades entre eles (Karlsson, Vonschewelov, Karlsson, Coster, & Rosengen, 2013).

En adición a tódolos factores internos asociados ó envellecemento, hai factores externos que deben ser tidos en conta na prevención de caídas. En numerosas ocasións, as caídas son precipitadas por elementos ambientais, tales como o mobiliario doméstico e urbano, ou mesmo aparellos ortopédicos externos, que son frecuentemente utilizados por persoas maiores como axuda durante marcha (Society, Society, Prevention, & Panel, 2001).

1.3. Bibliografía

Adkin, A. L., Frank, J. S., Carpenter, M. G., & Peysar, G. W. (2000). Postural control is scaled to level of postural threat. *Gait & Posture*, 12(2), 87-93.

Alexander, B. H., Rivara, F. P., & Wolf, M. E. (1992). The cost and frequency of hospitalization for fall-related injuries in older adults. *American Journal of Public Health*, 82(7), 1020-1023.

Alexandrov, A. V., Frolov, A. A., Horak, F., Carlson-Kuhta, P., & Park, S. (2005). Feedback equilibrium control during human standing. *Biological Cybernetics*, 93(5), 309-322.

- Aruin, A. S., & Latash, M. L. (1995). The role of motor action in anticipatory postural adjustments studied with self-induced and externally triggered perturbations. *Experimental Brain Research*, *106*(2), 291-300.
- Bertucco, M., & Cesari, P. (2009). Dimensional analysis and ground reaction forces for stair climbing: Effects of age and task difficulty. *Gait & Posture*, *29*(2), 326-331.
- Brenton-Rule, A., Dalbeth, N., Menz, H. B., Bassett, S., & Rome, K. (2016). Foot and ankle characteristics associated with falls in adults with established rheumatoid arthritis: A cross-sectional study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *17*(1), 1.
- Camicoli, R., Howieson, D., Lehman, S., & Kaye, J. (1997). Talking while walking: The effect of a dual task in aging and alzheimer's disease. *Neurology*, *48*(4), 955-958.
- Cesari, M., Kritchevsky, S. B., Penninx, B. W., Nicklas, B. J., Simonsick, E. M., Newman, A. B., . . . Bauer, D. C. (2005). Prognostic value of usual gait speed in Well-Functioning older People—Results from the health, aging and body composition study. *Journal of the American Geriatrics Society*, *53*(10), 1675-1680.
- Chaiwanichsiri, D., Janchai, S., & Tantisiriwat, N. (2009). Foot disorders and falls in older persons. *Gerontology*, *55*(3), 296-302.
- Colnat-Coulbois, S., Gauchard, G., Maillard, L., Barroche, G., Vespignani, H., Auque, J., & Perrin, P. (2011). Management of postural sensory conflict and dynamic balance control in late-stage parkinson's disease. *Neuroscience*, *193*, 363-369.
- Damián, J., Pastor-Barriuso, R., Valderrama-Gama, E., & de Pedro-Cuesta, J. (2013). Factors associated with falls among older adults living in institutions. *BMC Geriatrics*, *13*(1), 1.
- Demontis, F., Piccirillo, R., Goldberg, A. L., & Perrimon, N. (2013). The influence of skeletal muscle on systemic aging and lifespan. *Aging Cell*, *12*(6), 943-949.
- Doyle, T. L., Dugan, E. L., Humphries, B., & Newton, R. U. (2004). Discriminating between elderly and young using a fractal dimension analysis of centre of pressure. *Int J Med Sci*, *1*(1), 11-20.

- Faulkner, J. A., Larkin, L. M., Claffin, D. R., & Brooks, S. V. (2007). Age-related changes in the structure and function of skeletal muscles. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, *34*(11), 1091-1096.
- Góes, S. M., Leite, N., Stefanello, J. M., Homann, D., Lynn, S. K., & Rodacki, A. L. (2015). Ankle dorsiflexion may play an important role in falls in women with fibromyalgia. *Clinical Biomechanics*, *30*(6), 593-598.
- Grace Gaerlan, M., Alpert, P. T., Cross, C., Louis, M., & Kowalski, S. (2012). Postural balance in young adults: The role of visual, vestibular and somatosensory systems. *Journal of the American Academy of Nurse Practitioners*, *24*(6), 375-381.
- Grimbergen, Y. A., Schrag, A., Mazibrada, G., Borm, G. F., & Bloem, B. R. (2013). Impact of falls and fear of falling on health-related quality of life in patients with parkinson's disease. *Journal of Parkinson's Disease*, *3*(3), 409-413.
- Guerraz, M., & Bronstein, A. (2008). Ocular versus extraocular control of posture and equilibrium. *Neurophysiologie Clinique*, *38*(6), 391-398.
- Guerraz, M., Sakellari, V., Burchill, P., & Bronstein, A. (2000). Influence of motion parallax in the control of spontaneous body sway. *Experimental Brain Research*, *131*(2), 244-252.
- Hausdorff, J. M., Rios, D. A., & Edelberg, H. K. (2001). Gait variability and fall risk in community-living older adults: A 1-year prospective study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *82*(8), 1050-1056.
- Herdman, S. J., Blatt, P., Schubert, M. C., & Tusa, R. J. (2000). Falls in patients with vestibular deficits. *Otology & Neurotology*, *21*(6), 847-851.
- Hess, J. A., Woollacott, M., & Shivitz, N. (2006). Ankle force and rate of force production increase following high intensity strength training in frail older adults. *Aging Clinical and Experimental Research*, *18*(2), 107-115.
- Honeine, J. L., & Schieppati, M. (2014). Time-interval for integration of stabilizing haptic and visual information in subjects balancing under static and dynamic conditions. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *8*, 190.

- Horak, F. B., Shupert, C. L., & Mirka, A. (1989). Components of postural dyscontrol in the elderly: A review. *Neurobiology of Aging*, *10*(6), 727-738.
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, *35 Suppl 2*, ii7-ii11.
- Horak, F. B., Kluzik, J., & Hlavacka, F. (2016). Velocity dependence of vestibular information for postural control on tilting surfaces. *Journal of Neurophysiology*, *116*(3), 1468-1479.
- Huang, A. R., Mallet, L., Rochefort, C. M., Egualé, T., Buckeridge, D. L., & Tamblin, R. (2012). Medication-related falls in the elderly. *Drugs & Aging*, *29*(5), 359-376.
- Johnson, M. L., Robinson, M. M., & Nair, K. S. (2013). Skeletal muscle aging and the mitochondrion. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, *24*(5), 247-256.
- Kanekar, N., & Aruin, A. S. (2014). The effect of aging on anticipatory postural control. *Experimental Brain Research*, *232*(4), 1127-1136.
- Karlsson, M. K., Vonschewelov, T., Karlsson, C., Coster, M., & Rosengen, B. E. (2013). Prevention of falls in the elderly: A review. *Scandinavian Journal of Public Health*, *41*(5), 442-454.
- Karnath, H. O., Ferber, S., & Dichgans, J. (2000). The neural representation of postural control in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *97*(25).
- Klingner, C. M., Axer, H., Brodoehl, S., & Witte, O. W. (2016). Vertigo and the processing of vestibular information: A review in the context of predictive coding. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *71*. 379-387.
- Lacour, M., Bernard-Demanze, L., & Dumitrescu, M. (2008). Posture control, aging, and attention resources: Models and posture-analysis methods. *Neurophysiologie Clinique*, *38*(6), 411-421.

- Laroche, D. P., Cook, S. B., & Mackala, K. (2012). Strength asymmetry increases gait asymmetry and variability in older women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *44*(11), 2172-2181.
- Leveille, S. G., Bean, J., Bandeen-Roche, K., Jones, R., Hochberg, M., & Guralnik, J. M. (2002). Musculoskeletal pain and risk for falls in older disabled women living in the community. *Journal of the American Geriatrics Society*, *50*(4), 671-678.
- Maki, B. E., Edmondstone, M. A., & McIlroy, W. E. (2000). Age-related differences in laterally directed compensatory stepping behavior. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *55*(5), M270-M277.
- Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (1996). Postural control in the older adult. *Clinics in Geriatric Medicine*, *12*(4), 635-658.
- Massion, J. (1994). Postural control system. *Current Opinion in Neurobiology*, *4*(6), 877-887.
- Mast, F. W., Preuss, N., Hartmann, M., & Grabherr, L. (2014). Spatial cognition, body representation and affective processes: The role of vestibular information beyond ocular reflexes and control of posture. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *8*, 44.
- Matheron, E., Yang, Q., Delpit-Baraut, V., Dailly, O., & Kapoula, Z. (2016). Active ocular vergence improves postural control in elderly as close viewing distance with or without a single cognitive task. *Neuroscience Letters*, *610*, 24-29.
- McIlroy, W. E., & Maki, B. E. (1996). Age-related changes in compensatory stepping in response to unpredictable perturbations. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *51*(6), M289-M296.
- Menant, J. C., Schoene, D., Sarofim, M., & Lord, S. R. (2014). Single and dual task tests of gait speed are equivalent in the prediction of falls in older people: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, *16*, 83-104.
- Mohapatra, S., Krishnan, V., & Aruin, A. S. (2012). Postural control in response to an external perturbation: Effect of altered proprioceptive information. *Experimental Brain Research*, *217*(2), 197-208.

- Paillard, T., Noé, F., Bru, N., Couderc, M., & Debove, L. (2016). The impact of time of day on the gait and balance control of alzheimer's patients. *Chronobiology International*, 33(2), 161-168.
- Perry, M. C., Carville, S. F., Smith, I. C. H., Rutherford, O. M., & Newham, D. J. (2007). Strength, power output and symmetry of leg muscles: Effect of age and history of falling. *European Journal of Applied Physiology*, 100(5), 553-561.
- Pfortmueller, C., Lindner, G., & Exadaktylos, A. (2014). Reducing fall risk in the elderly: Risk factors and fall prevention, a systematic review. *Minerva Med*, 105(4), 275-281.
- Pothula, V., Chew, F., Lesser, T., & Sharma, A. (2004). Falls and vestibular impairment. *Clinical Otolaryngology & Allied Sciences*, 29(2), 179-182.
- Rose, D. J., & Christina, R. W. (2006). *A multilevel approach to the study of motor control and learning*. San Francisco: Pearson Education.
- Runge, M., & Schacht, E. (2005). Multifactorial pathogenesis of falls as a basis for multifactorial interventions. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 5(2), 127.
- Santos, M. J., Kanekar, N., & Aruin, A. S. (2010). The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture: Parts I & II: Electromyographic and biomechanical analysis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(3), 388-405.
- Scheffer, A. C., Schuurmans, M. J., van Dijk, N., van der Hooft, T., & de Rooij, S. E. (2008). Fear of falling: Measurement strategy, prevalence, risk factors and consequences among older persons. *Age and Ageing*, 37(1), 19-24.
- Schiaffino, S., Dyar, K. A., Ciciliot, S., Blaauw, B., & Sandri, M. (2013). Mechanisms regulating skeletal muscle growth and atrophy. *FEBS Journal*, 280(17), 4294-4314.
- Seidler, R. D., Alberts, J. L., & Stelmach, G. E. (2002). Changes in multi-joint performance with age. *Motor Control*, 6(1), 13-19.
- Seidler, R. D., Bernard, J. A., Burutolu, T. B., Fling, B. W., Gordon, M. T., Gwin, J. T., . . . Lipps, D. B. (2010). Motor control and aging: Links to age-related brain struc-

tural, functional, and biochemical effects. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(5), 721-733.

Shaffer, S. W., & Harrison, A. L. (2007). Aging of the somatosensory system: A translational perspective. *Physical Therapy*, 87(2), 193-207.

Shkuratova, N., Morris, M. E., & Huxham, F. (2004). Effects of age on balance control during walking. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(4), 582-588.

Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (1995). *Motor control: Theory and practical applications*. Londres: Lippincott Williams & Wilkins.

Shumway-Cook, A., Woollacott, M., Kerns, K. A., & Baldwin, M. (1997). The effects of two types of cognitive tasks on postural stability in older adults with and without a history of falls. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 52(4), M232-M240.

Sillanpää, E., Laaksonen, D. E., Häkkinen, A., Karavirta, L., Jensen, B., Kraemer, W. J., . . . Häkkinen, K. (2009). Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. *European Journal of Applied Physiology*, 106(2), 285-296.

Society, A. G., Society, G., Prevention, O. F., & Panel, O. S. (2001). Guideline for the prevention of falls in older persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 49(5), 664-672.

Stanaway, F. F., Gnjjidic, D., Blyth, F. M., Le Couteur, D. G., Naganathan, V., Waite, L., . . . Cumming, R. G. (2011). How fast does the grim reaper walk? receiver operating characteristics curve analysis in healthy men aged 70 and over. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 343, d7679.

Studenski, S., Perera, S., Patel, K., Rosano, C., Faulkner, K., Inzitari, M., . . . Connor, E. B. (2011). Gait speed and survival in older adults. *Jama*, 305(1), 50-58.

Teasdale, N., & Simoneau, M. (2001). Attentional demands for postural control: The effects of aging and sensory reintegration. *Gait & Posture*, 14(3), 203-210.

- Ting, L. H. (2007). Dimensional reduction in sensorimotor systems: A framework for understanding muscle coordination of posture. *Progress in Brain Research*, 165, 299-321.
- Ungar, A., Rafanelli, M., Iacomelli, I., Brunetti, M. A., Ceccofiglio, A., Tesi, F., & Marchionni, N. (2013). Fall prevention in the elderly. *Clin Cases Miner Bone Metab*, 10(2), 91-95.
- Van Kan, G. A., Rolland, Y., Andrieu, S., Bauer, J., Beauchet, O., Bonnefoy, M., . . . Inzitari, M. (2009). Gait speed at usual pace as a predictor of adverse outcomes in community-dwelling older people an international academy on nutrition and aging (IANA) task force. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 13(10), 881-889.
- Varghese, J., Merino, D., Beyer, K., & McIlroy, W. (2016). Cortical control of anticipatory postural adjustments prior to stepping. *Neuroscience*, 313, 99-109.
- Vieira, E. R., Tappen, R., Engstrom, G., & da Costa, B. R. (2015). Rates and factors associated with falls in older european americans, afro-caribbeans, african-americans, and hispanics. *Clinical Interventions in Aging*, 10, 1705.
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, 3(4), 193-214.
- Zaback, M., Cleworth, T. W., Carpenter, M. G., & Adkin, A. L. (2015). Personality traits and individual differences predict threat-induced changes in postural control. *Human Movement Science*, 40, 393-409.
- Zijlstra, G. A., van Haastregt, J. C., van Eijk, J. T., van Rossum, E., Stalenhoef, P. A., & Kempen, G. I. (2007). Prevalence and correlates of fear of falling, and associated avoidance of activity in the general population of community-living older people. *Age and Ageing*, 36(3), 304-309.

