Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Provas de Agregação

Lição

Alterações fisiológicas e cognitivas decorrentes do envelhecimento

José Pedro Arieiro Gonçalves Bezerra

Lição sobre um tema dentro do âmbito do ramo do conhecimento em Ciências do Desporto e especialidade de Atividade Física em Populações Especiais, nos termos da alínea c) do artigo 5º do Decreto-Lei nº 239/2007.

Maio 2021

Alterações fisiológicas e cognitivas decorrentes do envelhecimento

Pedro Bezerra

Lição sobre um tema dentro do âmbito do ramo do conhecimento em Ciências do Desporto e especialidade de Atividade Física em Populações Especiais, nos termos da alínea c) do artigo 5º do Decreto-Lei nº 239/2007

Enquadramento da aula

A aula selecionada para apresentar nestas provas de agregação refere-se ao suporte inicial do bloco *Enquadramento do idoso na sociedade atual vs passado; determinantes do processo de envelhecimento; doenças crónicas associadas ao envelhecimento e condicionantes à qualidade de vida*, apresentado nos conteúdos programáticos da disciplina. Sob a denominação de *Alterações fisiológicas e cognitivas decorrentes do envelhecimento*, pretende-se situar o aluno no contexto demográfico atual, no alcance e importância deste segmento da população nas sociedades futuras e no seu potencial no mercado de trabalho. A identificação das grandes alterações na fisiologia e cognição do indivíduo, na transição da vida ativa para a reforma ou na passagem da vida adulta para a vida sénior, é a base de conhecimento que suportará o planeamento, prescrição e intervenção especializado e especial, junto desta população. No confronto de ideias, vivências e indicadores de referência, aos alunos vai ser solicitada a análise crítica, a identificação de situação (possivelmente no seu contexto familiar) e a relação causa:efeito que a intervenção sistemática e estruturada pode ter no sénior.

A perspectiva sobre o envelhecimento deve ser sempre holística e de dinâmica inter áreas do conhecimento. Em contexto de classe, a ténue separação das áreas de saberes tem apenas um efeito didático, e nunca encerrando cada uma em si mesmo. Assim, a dimensão saúde, bem-estar e social são tópicos que estão inerentes a este bloco. No entanto, as limitações temporais desta lição não dão espaço ao seu necessário desenvolvimento e enquadramento.

No presente documento, o tema é apresentando sempre suportado pelo diapositivo criado para acompanhar a ideia e evidência que se pretende transmitir.

Sumário

A abordagem ao tema desta aula, e das seguintes, passa por situar o aluno no contexto das perdas e declínio das capacidades físicas e cognitivas do idoso, os desafios que se colocam a esta população e perspectivar um potencial de oportunidade de trabalho futuro, rumo à saúde e qualidade de vida.

Para tal, apresenta-se uma revisão de evidências científicas e, inclusive, uma relação causa:efeito de tais evidências no conhecimento, ao longo dos últimos anos. Em termos de estudo e melhor percepção desta temática, os conteúdos serão desenvolvidos por áreas de conhecimento, mas sempre na perspectiva holística do público alvo – o idoso.

Desenvolvimento da aula

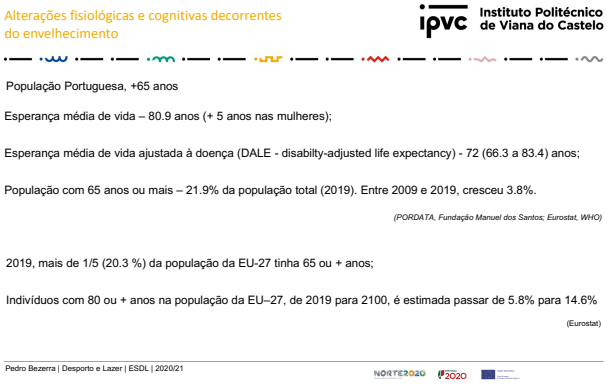
O enquadramento do idoso e da sociedade envelhecida é um tema que está na linha da frente quer a nível decisório político, quer a nível de investigação. Investe-se, questiona-se e promovem-se planos de intervenção para qualidade de vida deste segmento de população.

As projeções de crescimento percentual dos maiores, a médio e longo prazo, em relação à população ativa é enorme e demonstra a importância crescente que este segmento da população irá ter no futuro. Assim, a área Geron é uma aposta e uma oportunidade no conhecimento e na profissão especializada. Por um lado, a ciência para a longevidade, por outro a qualificação profissional para a qualidade de vida.

Segundo os dados demográficos atuais para Portugal, a população com mais de 65 anos representa 21,9% do total da população; a esperança média de vida situa-se nos 80,9 anos e o índice DALE, esperança média de vida ajustada à doença, nos 72 anos (para detalhe, consulta

https://www.who.int/data/gho/publications; https://www.who.int/data/gho/publications/world-health-statistics).

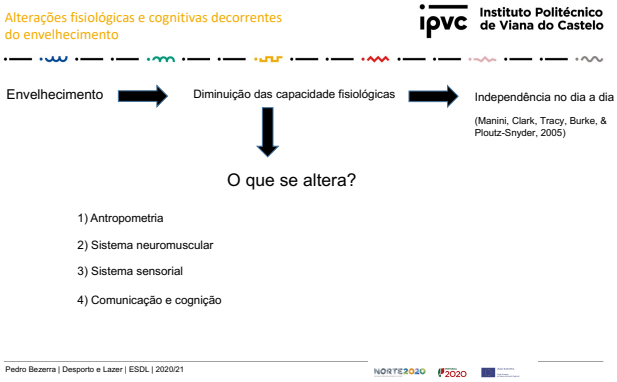
Por outro lado, na Comunidade Europeia, em 2019, os indivíduos com mais de 65 anos representam 20,3% da população total e o segmento com 80 ou mais anos representa 5,8%, estimando-se que em 2100 atinja os 14.6%. É um segmento de população importante na sociedade atual e com um espaço que se prevê cada vez maior.



O envelhecimento conduz inevitavelmente a uma diminuição das capacidades fisiológicas e cognitivas. Esta situação trás consequências para a independência motora, funcional e relacional no dia a dia do idoso. Desde as tarefas de higiene diária, passando pela deslocação à rua para compra do jornal, até à “simples” tarefa de calçar o sapato, meter a chave na porta ou subir uma escada, tudo pode passar a ser uma dificuldade acrescida. Destas, e porque é um tópico muito sensível na investigação atual, uma das principais causas de comorbilidade e um enorme peso na economia da saúde, o controle postural e a prevenção de quedas surgem como objeto fundamental em intervenções no idoso.

Com efeito, a diminuição das capacidades fisiológicas centra-se na antropometria e composição corporal, ao nível do sistema muscular e da capacidade de produção de força nas suas várias expressões, no sistema sensorial e na capacidade cognitiva relativa ao tratamento de informação e tomada de decisão motora, entre outras. O controle postural tem uma relação direta com estes sistemas e qualquer intervenção deverá ter em atenção esta nova realidade do idoso.

Nesta aula, as alterações fisiológicas e cognitivas são abordadas, por motivos didáticos, por áreas do saber mas tendo sempre como referência o todo, o indivíduo.



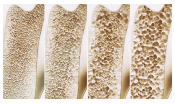
Com a idade avançada, três variáveis antropométricas são fortemente alteradas – a estatura, o peso e a composição corporal. Com efeito, a estatura do indivíduo sofre uma diminuição evidente devido, essencialmente, ao achatar dos discos vertebrais que são um material esponjoso e perdem a sua capacidade elástica de achatar e descomprimir. Aliás, este é um fenómeno comum ao ser humano adulto que no seu dia a dia perde estatura da manhã (ao sair da cama com a descompressão dos discos) para a noite (após um dia ativo onde a coluna vertebral sobre a pressão da cabeça e objetos transportados). Se reparem, no vosso quotidiano, de manhã ajustam sempre o espelho retrovisor do carro relativamente à posição em que ele ficou do dia anterior. Apenas no idoso a capacidade de descompressão dos discos vertebrais é menor ou não existente. O peso, regista evidentes alterações com a alteração da composição corporal. Por um lado, há uma perda, atrofia, da massa muscular, que é mais pesada que as outras tipologias de massa corporal, por alterações hormonais, medicamentação e diminuição a atividade da vida diária. Por outro lado, há um aumento da gordura corporal e uma diminuição da densidade óssea (processo de desmineralização óssea). Ora estas evidências podem tornar o indivíduo exteriormente com a mesma imagem, mas em termos de composição corporal muito diferente e eventualmente mais leve. Contudo, a alteração da composição corporal tem implicações quer no IMC (índice de massa corporal) quer no WHR (rácio cintura anca), indicadores muito usados na avaliação do estado de saúde.

Alterações fisiológicas e cognitivas decorrentes do envelhecimento

Instituto Politécnico de Viana do Castelo

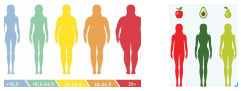
Antropometria

	Efeitos
Estatura	Diminuição (achatar de disco vertebrais)
Peso e composição corporal	- Atrofia muscular; - Diminuição na massa livre de gordura; - Diminuição da densidade óssea.



(Matsudo, S.M., Matsudo, V.K.R. et al., 2000).

Implicação direta no IMC e WHR



Pedro Bezerra | Desporto e Lazer | ESDL | 2020/21

Alterações fisiológicas e cognitivas decorrentes do envelhecimento

Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Sistema neuromuscular

	Efeitos/causas
Massa muscular esquelética	- Diminuição em tamanho e número de fibras musculares: diminuição na área da secção transversa das fibras musculares; diminuição no número total de fibras musculares (± 39%, aos 70 anos); diminuição seletiva no tamanho das fibras muscular do tipo II (contração rápida) (± 26% aos 70 anos). - Sarcopenia Perda de força muscular; - Incidência das fibras musculares no ponto de inserção (Pennation): Eficácia mecânica da contração muscular.

(Hortobagyi & De Vita 1999, *Enoka 1999* , *Ng & Kent-Braun 1999, Aagaard et al 2002 Narici, 2003)*

Pedro Bezerra | Desporto e Lazer | ESDL | 2020/21

As alterações neuromusculares podem ser analisadas em termos de massa muscular esquelética e neurológicas.

O sistema muscular-esquelético será talvez dos que mais alterações evidência, com impacto direto no dia a dia. O músculo e a eficiência mecânica dependem muito da sua composição, em termos da tipologia, número e tamanho das fibras e alinhamento do sarcómeros (pennation/inclinação).

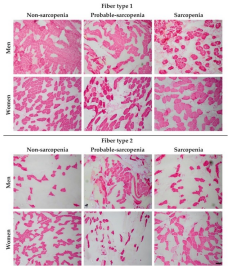
Com a idade, assistimos a um fenómeno de perda de força muscular, degradação, em toda essa máquina do movimento, a que chamamos Sarcopenia. Ou seja, as fibras musculares perdem em secção transversal, tamanho e número, especialmente as fibras tipo II. Com efeito, as fibras tipo II ficam inativas, morrem ou convertem-se em fibras tipo I.

Alterações fisiológicas e cognitivas decorrentes do envelhecimento

Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Sistema neuromuscular

	Efeitos/causas
Massa muscular esquelética	- Diminuição em tamanho e número de fibras musculares: diminuição na área da secção transversa das fibras musculares; diminuição no número total de fibras musculares (± 39%, aos 70 anos); diminuição seletiva no tamanho das fibras muscular do tipo II (contração rápida) (± 26% aos 70 anos). - Sarcopenia



Tanganelli, F., et all, 2021

Pedro Bezerra | Desporto e Lazer | ESDL | 2020/21

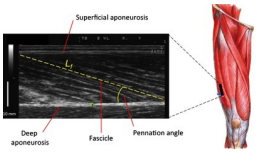
O ângulo entre o eixo longitudinal do músculo e as suas fibras, chamada pennation, é menor, mais achatado, com redução evidente da eficácia mecânica do trabalho da fibra muscular.

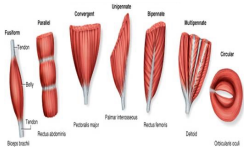
Alterações fisiológicas e cognitivas decorrentes do envelhecimento

Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Sistema neuromuscular

	Efeitos/causas
Massa muscular esquelética	Incidência das fibras musculares no ponto de inserção (Pennation): Eficácia mecânica da contração muscular.





Pedro Bezerra | Desporto e Lazer | ESDL | 2020/21

Associada às alterações mecânicas e estruturais do músculo, a atividade neural que dá a ignição à ação/movimento, tem também importantes alterações. Com efeito, a inervação muscular e limiares de excitabilidade da fibra muscular são agora diferentes. Há uma degeneração de axónios e motoneurónios alfa, essencialmente nas fibras tipo II e redução em número mas aumento em tamanho de UM.

Alterações fisiológicas e cognitivas decorrentes do envelhecimento

Instituto Politécnico de Viana do Castelo

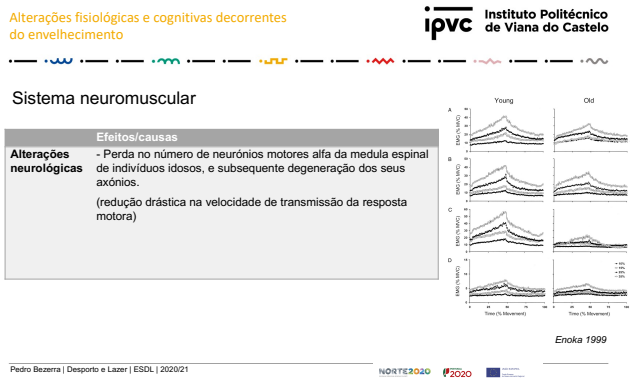
Sistema neuromuscular

	Efeitos/causas
Alterações neurológicas	- Diminuição no número de unidades motoras (UM) ativas (aumento concomitante no tamanho das unidades de baixo limiar); (implicações na execução de movimentos de precisão, steadiness muscular); - Perda no número de neurónios motores alfa da medula espinal de indivíduos idosos, e subsequente degeneração dos seus axónios. (redução drástica na velocidade de transmissão da resposta motora) Diminuição das fibras rápidas (tipo II). *(Overend et al 1992; Bottinelli, 1996, Narici, 2003)*

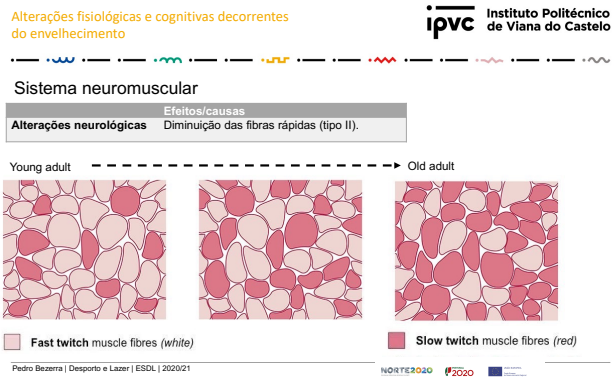
(Hortobagyi & De Vita 1999, *Enoka 1999* , *Ng & Kent-Braun 1999, Aagaard et al 2002)*

Pedro Bezerra | Desporto e Lazer | ESDL | 2020/21

A degeneração de axónios e motoneurónios alfa tem implicação direta na diminuição de velocidade na condução da resposta motora ao músculo (eficiência neural) e como tal na velocidade de execução.

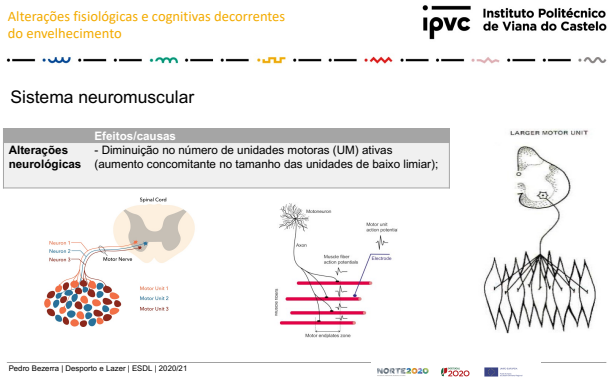


O efeito do envelhecimento nas UM das fibras tipo II leva à sua morte/desativação ou reconversão em UM tipo I, como já foi referido. Como consequência teremos uma diminuição na capacidade de produção de força muscular não só devida à sarcopenia mas também pela reduzida capacidade de recrutamento de fibras - reduzido limiar de excitabilidade da fibra e limitado gradiente de produção de força. Ora, juntando ao que antes foi referido, não só há uma diminuição na velocidade de condução da resposta motora como também há menor capacidade de produzir força e, eventualmente, dar a resposta adequada.



Existem agora menos e maiores UM, um motoneurónio inerva mais fibras musculares. A variabilidade de UM perde-se, o potencial de ação fica reduzido a UM compostas por fibras tipo I. O controle da contração e ação sobre as fibras musculares perde em força máxima, em gradiente de força produzida e em

diferenciação na solicitação de fibras musculares. No fundo é como tocar uma sinfonia mas em que o número de notas musicais disponível é reduzido. O efeito evidente deste contexto será o condicionamento negativo em movimentos de precisão, no descer escadas ou no controle postural.

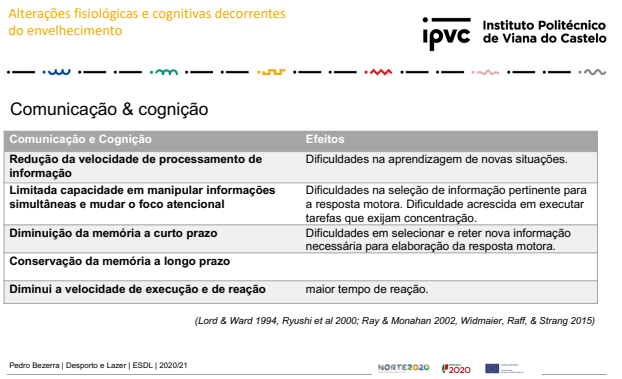


Os sistemas sensoriais, nomeadamente, o vestibular, visual, e táctil-proprioceptivo, têm evidente degradação com a idade, tanto a nível estrutural como funcional. Os sistemas sensoriais são responsáveis pela captação de informação que nos permite integrar e ajustar o nosso corpo ao meio envolvente.

O sistema vestibular informa-nos da nossa posição do corpo, sobretudo a posição e movimentos angulares da cabeça. Uma informação imprecisa deste sistema pode resultar em tonturas ou desequilíbrio. É decisivo em ambiente sem luminosidade. O sistema visual fornece informação como distâncias entre mim e o meio – profundidade de campo, luminosidade, cor, forma e movimento exterior a mim próprio. Estes dois sistemas trabalham muito próximo e a sua informação completa-se mutuamente. Aliás, situações de enjoo, por exemplo em viagem de carro ou avião, resultam de informação recolhida pelo sistema visual que não vai ao encontro, ou entra em conflito, com a do sistema vestibular, e vice versa. O sistema táctil-proprioceptivo inclui vários “sensores” das articulações, músculos e sobretudo mecano-receptores, ou sensores de pressão, da planta dos pés. Esta informação é importante no ajustamento corporal e posição dos segmentos. Informação errada, por exemplo, dos receptores da planta dos pés, pode levar a situações potenciais de queda. Toda esta informação é recolhida e tratada nos centros cognitivos para melhor nos colocarmos e situarmos no meio. Qualquer perda de informação, informação inadequada ou informação tardia, fora de

tempo, pode comprometer o processo de elaboração de resposta motora à situação.

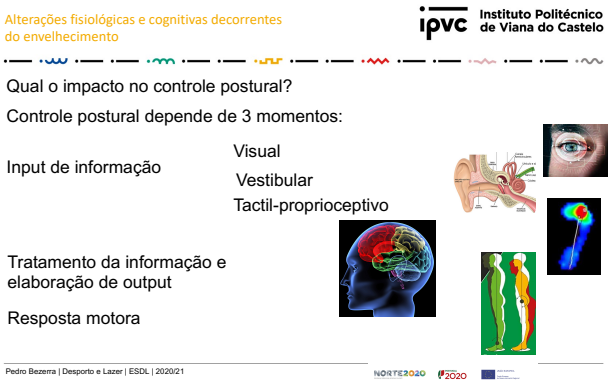
A informação recolhida pelos sistemas sensoriais segue agora para os nossos centros de tratamento de informação, cognição e elaboração de resposta motora à situação. A degradação anatómica e funcional dos sistemas sensoriais, como a perda de acuidade visual e a rigidez e redução de sensibilidade do ouvido interno, levam uma redução dramática da velocidade transmissão de informação aos centros de decisão para processamento da mesma. Aí, o processo de envelhecimento promove dificuldades na seleção da informação útil à situação (recordo a integração da informação visual e vestibular), reduzida velocidade processamento da mesma (variação do foco atencional e seleção de informação pertinente) e uma memória a curto prazo seriamente comprometida (reter nova informação). Este novo estado de processamento de informação e elaboração de resposta motora leva a um atraso na efetiva resposta à situação com inevitáveis consequências como é o aumento do potencial risco de queda, em situações imprevistas.



Face ao exposto até ao momento, importa agora identificar as repercussões que esta nova realidade fisiológica tem no controle postural.

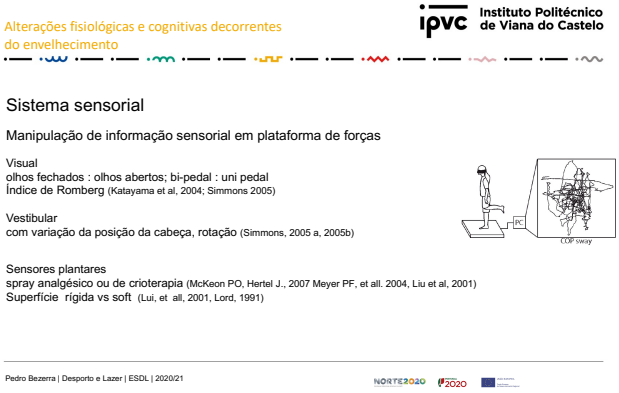
A posição em pé é instável. Qualquer variação angular dessa posição é detetada pelo sistema sensorial e a informação destes recetores é usada para desenvolver movimentos de correção que vão compensar as perturbações. Este é um processo contínuo de correção, essencialmente devido à ação da gravidade, baseado num modelo chamado pêndulo invertido (Winter, Patla, Rietdyk, & Ishac, 2001).

Com efeito, o controle postural depende basicamente de três momentos – input da informação – essencialmente visual, vestibular e táctil-proprioceptiva, tratamento da informação a nível central e resposta motora de ajustamento corporal.

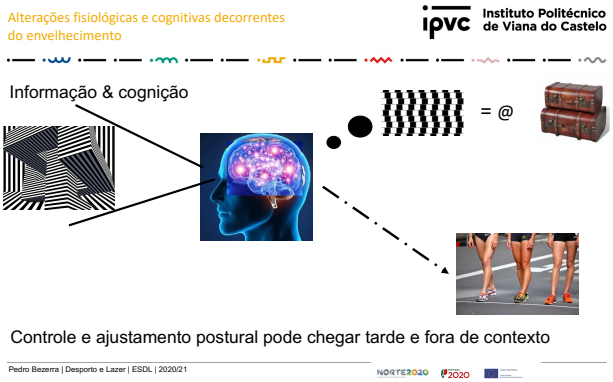


A importância e papel da informação sensorial no controle postural tem vindo a ser amplamente investigada e as suas evidências tem impacto forte na definição de planos de intervenção junto da população idosa. De facto, a capacidade em controlar a postura tem sido avaliada com testes de manipulação sensório motora. Estes incluem o "jogo" de avaliação com olhos abertos ou fechados para manipulação das informações visual e vestibulares e perceber o contributo de cada sistema no controle postural. Do diferencial entre eles resulta o Índice de Romberg; o recurso de superfície rígida ou soft (colchão de 25 mm de espessura e densidade 44.1 Kg/m^3) para reduzir o input propriocetivo do tornozelo, anca e planta do pé; o uso de crioterapia ou spray analgésico para anular a informação dos sensores plantares; a posição postural bi e uni pedal para promover maior ou menos desafio no controle postural.

As avaliações são normalmente feitas com a deteção do movimento do centro de pressão do corpo (COP), segundo dois eixos – antero-posterior e medial lateral, em termos de distância percorrida, velocidade de deslocamento e área coberta do COP. Os resultados e interpretação desta informação pode ser útil em futuras intervenções e correções no controle postural.



Um aspeto decisivo da resposta motora ao controle postural é a parte cognitiva na elaboração da resposta motora adequada à situação. Com efeito, o indivíduo recebe a informação complexa oriunda dos vários sistemas e trata-a a nível central. O processamento, no idoso, devido às alterações no sistema cognitivo, nomeadamente, a dificuldade em manipular múltipla informação e a reduzida memória a curto prazo, vai perder uma parte substancial dela que poderá ser essencial na elaboração da resposta motora. Além disso, a identificação da nova situação e comparação com a experiência motora passada fica comprometida por escassez de informação disponível. A resposta motora definida segue depois para o sistema efetor. Contudo, a resposta motora além de poder não ser a mais apropriada, demora mais tempo a chegar devido à deterioração dos motoneurónios alfa e degeneração dos seus axónios, e as UM solicitadas são, com fibras tipo I e de limiar de excitabilidade baixo. Como resultado a resposta motora poderá não ser precisa, levar mais tempo a desenvolver e ficar desajustada, fora de contexto.



A resposta motora em si própria, considerando agora o sistema neuromuscular ou a parte dele envolvida no controle postural, será dada dentro dos constrangimentos do novo "motor".

Com efeito, a força e a capacidade de desenvolver força rapidamente são importantes fatores no controle postural, na caminhada e na prevenção de quedas. No entanto, se por um lado, depois dos 50 anos, existe uma perda de massa muscular, perda e achatamento das fibras musculares, em tamanho e número, sobretudo as fibras tipo II – chamada sarcopenia, por outro, o aumento de tamanho das UM, a limitada capacidade de recrutamento e eficiência neural e a débil sincronização e co-ativação agonista/antagonista, comprometem a resposta motora à momentânea perturbação, quer no tempo de resposta quer na resposta em si mesma – desajustada e potencial risco de queda.

Outro fator decisivo no controle postural é a alteração das estruturas morfológicas do corpo. Com efeito, a perda de densidade óssea, conhecida por osteoporose, e de elasticidade ligamentar e tendinosa, promove adaptações corporais muito evidentes nesta população. Salienta-se o aumento das

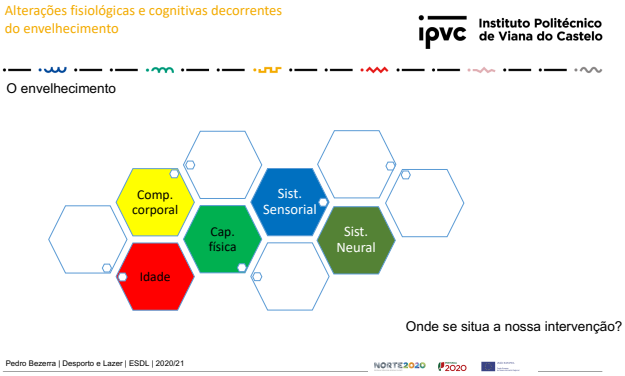
curvaturas da coluna vertebral, a perda de amplitude movimento, a flexão dos joelhos e a inevitável projeção do centro de gravidade para frente. Este novo alinhamento procura estabilidade dentro de um contexto de fragilidade e limitação de movimentos.

A estratégia de controle postural segue um modelo de pêndulo invertido. Existem dois modelos – a estratégia com fulcro no tornozelo (ankle strategy) e a estratégia com fulcro na anca (Hip strategy), em função com a articulação a partir da qual o movimento de ajustamento ocorre. Os movimentos com base na ankle strategy são amplos e deslocam o COP para a frente e para trás. Nesta estratégia, a amplitude de movimento é limitada aos graus de liberdade e constrangimentos mecânicos da articulação do tornozelo (cerca de 12 graus) e a frequência de movimento é baixa dado que o momento inercial do corpo a partir desta articulação é ampla. Ou seja, a deteção e correção de alterações posturais é feita a limiares de excitabilidade muito baixos. Relativamente à Hip strategy, o controle postural centra-se na rotação oposta de anca e tornozelo. Esta estratégia não consegue manter a oscilação frente:trás ou dar amplitude de movimento ao COP porque usa movimentos inerciais transitórios (seja com fulcro no tornozelo seja com fulcro na anca) para controlar o COP. A Hip estrategy move o COP rapidamente e é mais eficaz no controle postural em superfícies reduzidas ou quando o COP está perto dos limites de estabilidade (Nashner, et al., 1989). Veja-se a estratégia que um trapezista usa quando está em ação numa corda.

Em função das condições até agora apresentadas, o idoso vai alterar a sua estratégia de controle postura. Com efeito, o idoso vai adotar uma estratégia

centra na anca (Hip strategy) o que implica uma diferente organização mecânica e uma diferente solicitação de grupos musculares. Esta nova estratégia vai solicitar maior atividade aos músculos flexores e extensores da coxa com prejuízo nos movimentos de caminhar, transpor obstáculos ou descer escadas, por exemplo, mas sobretudo no caminhar para trás e no alinhamento dos joelhos. A consequência imediata será que, para garantir estabilidade e confiança, o indivíduo perde capacidade de movimento e de resposta a situações inesperadas.

Em síntese ao que foi hoje dito, o processo de envelhecimento promove alterações fisiológicas evidentes no indivíduo. Se por um lado, na variável idade ainda não podemos intervir, por outro, no domínio da composição corporal, no sistema sensorial e neural, e nas capacidades físicas, a intervenção no sentido de retardar os efeitos do envelhecimento e melhorar a qualidade de vida do idoso, torna-se pertinente. Como? Com que meios? E, Que resultados esperamos? São matérias a abordar nas próximas sessões.



Referências Bibliográficas

Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318-1326

Amiridis, I. G., Arabatzi, F., Violaris, P., Stavropoulos, E., & Hatzitaki, V. (2005). Static balance improvement in elderly after dorsiflexors electrostimulation training. *European Journal of Applied Physiology*, 94(4), 424-433.

Blazevich, A. J., Gill, N. D., Deans, N., & Zhou, S. (2007). Lack of human muscle architectural adaptation after short-term strength training. *Muscle & Nerve*, 35(1), 78-86.

Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M. A., & Reggiani, C. (1996). Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *The Journal of physiology*, 495 (Pt 2), 573–586. https://doi.org/10.1113/jphysiol.1996.sp021617

Burnett, R. A., Laidlaw, D. H., & Enoka, R. M. (2000). Coactivation of the antagonist muscle does not covary with steadiness in old adults. Journal of *Applied Physiology*, 89(1), 61-71.

Christou, E. A., & Carlton, L. G. (2001). Old adults exhibit greater motor output variability than young adults only during rapid discrete isometric contractions. *Journals of Gerontology Series A-Biological Sciences & Medical Sciences*, 56(12), B524-532.

Collins, J. J., De Luca, C. J., Burrows, A., & Lipsitz, L. A. (1995). Age-related changes in open-loop and closed-loop postural control mechanisms. *Experimental Brain Research*, 104(3), 480-492.

Enoka, R. M., Burnett, R. A., Graves, A. E., Kornatz, K. W., & Laidlaw, D. H. (1999). Task- and age-dependent variations in steadiness. *Progress in Brain Research*, 123, 389-395.

Erim, Z., Beg, M. F., Burke, D. T., & de Luca, C. J. (1999). Effects of aging on motor-unit control properties. *Journal of Neurophysiology*, 82(5), 2081-2091.

EURSTAT (2021). Population on 1st January by age, sex and type of projection. https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=proj_19np&lang=en. Visitado em 04/03/2021.

Fujisawa, N., Masuda, T., Inaoka, Y., Fukuoka, H., Ishida, A., & Minamitani, H. (2005). Human standing posture control system depending on adopted strategies. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 43(1), 107-114Hakkinen et al 1998,

Hakkinen, K., Newton, R. U., Gordon, S. E., McCormick, M., Volek, J. S., Nindl, B. C., et al. (1998). Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *Journals of Gerontology Series A-Biological Sciences & Medical Sciences*, 53(6), B415-423.

Herrmann, Marietta et all. (2020). Interactions between Muscle and Bone—Where Physics Meets Biology. *Biomolecues*, 10(3), pp: 432. DOI: 10.3390/biom10030432.

Hortobagyi, T., & DeVita, P. (1999). Altered movement strategy increases lower extremity stiffness during stepping down in the aged. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences & Medical Sciences*, 54(2), B63-70.

Izquierdo, M., Aguado, X., Gonzalez, R., Lopez, J. L., & Hakkinen, K. (1999). Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 79(3), 260-267.

Katayama, Y., Senda, M., Hamada, M., Kataoka, M., Shintani, M., & Inoue, H. (2004). Relationship between postural balance and knee and toe muscle power in young women. *Acta Medica Okayama*, 58(4), 189-195.

Kostka, T. (2005). Quadriceps maximal power and optimal shortening velocity in 335 men aged 23-88 years. *European Journal of Applied Physiology*, 95(2-3), 140-145.

Laidlaw, D. H., Bilodeau, M., & Enoka, R. M. (2000). Steadiness is reduced and motor unit discharge is more variable in old adults. *Muscle & Nerve*, 23(4), 600-612.

Lanza, I. R., Towse, T. F., Caldwell, G. E., Wigmore, D. M., & Kent-Braun, J. A. (2003). Effects of age on human muscle torque, velocity, and power in two muscle groups. *Journal of Applied Physiology*, 95(6), 2361-2369.

Liu, Y., Higuchi, S., & Motohashi, Y. (2001). Changes in postural sway during a period of sustained wakefulness in male adults. *Occupational Medicine*, 51(8), 490-495.

Lord, S. R., & Ward, J. A. (1994). Age-associated differences in sensori-motor function and balance in community dwelling women. *Age and Ageing*, 23(6), 452-460.

Lord, S. R., Clark, R. D., & Webster, I. W. (1991). Visual acuity and contrast sensitivity in relation to falls in an elderly population. *Age and Ageing*, 20(3), 175-181.

Manini, T. M., Clark, B. C., Tracy, B. L., Burke, J., & Ploutz-Snyder, L. (2005). Resistance and functional training reduces knee extensor position fluctuations in functionally limited older adults. *European Journal of Applied Physiology*, 95(5-6), 436-446.

Matsudo, S.M., Matsudo, V.K.R. et al. (2000). Impacto do envelhecimento nas variáveis antropométricas, neuromotoras e metabólicas da aptidão física. *Rev. Bras. Ciên. e Mov*. 8 (4), pp: 21-32

McKeon PO, Hertel J. (2007). Diminished plantar cutaneous sensation and postural control. *Percept Mot Skills*. 104 (1) pp: 56–66.

Meyer, P. F., Oddsson, L. I. E., & De Luca, C. J. (2004). Reduced plantar sensitivity alters postural responses to lateral perturbations of balance. *Experimental Brain Research*, 157(4), 526-536.

Nashner L. M., Shupert C. L., Horak F. B., Black F. O. (1989). Organization of posture controls: an analysis of sensory and mechanical constraints. *Prog. Brain Res.* 80, 411–418.

Narici, M. V., Maganaris, C. N., Reeves, N. D., & Capodaglio, P. (2003). Effect of aging on human muscle architecture. *Journal of Applied Physiology*, 95(6), 2229-2234.

Ng, A. V., & Kent-Braun, J. A. (1999). Slowed muscle contractile properties are not associated with a decreased EMG/force relationship in older humans. *Journals of Gerontology Series A-Biological Sciences & Medical Sciences*, 54(10), B452-458.

Overend, T. J., Cunningham, D. A., Kramer, J. F., Lefcoe, M. S., & Paterson, D. H. (1992). Knee extensor and knee flexor strength: cross-sectional area ratios in young and elderly men. *Journal of Gerontology*, 47(6), M204-210.

Panchea, A. (2015). Inverse optimal control for redundant systems of biological motion. Other. *Université d'Orléans*. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01343186/.

PORDATA, Fundação Manuel dos Santos. https://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela. Visitado em 14 de fevereiro 2020.

Ray, C. A., & Monahan, K. D. (2002). Aging attenuates the vestibulosympathetic reflex in humans. *Circulation*, 105(8), 956-961.

Ryushi, T., Kumagai, K., Hayase, H., Abe, T., Shibuya, K., & Ono, A. (2000). Effect of resistive knee extension training on postural control measures in middle aged and elderly persons. *Journal of Physiological Anthropology & Applied Human Science*, 19(3), 143-149.

Saffer, M., Kiemel, T., & Jeka, J. (2008). Coherence analysis of muscle activity during quiet stance. *Experimental Brain Research*, 185(2), 215-226.

Simmons, R. W. (2005a). Neuromuscular responses of trained ballet dancers to postural perturbations. *International Journal of Neuroscience*, 115(8), 1193-1203.

Simmons, R. W. (2005b). Sensory organization determinants of postural stability in trained ballet dancers. *International Journal of Neuroscience*, 115(1), 87-97.

Sturnieks, D. L., St George, R., & Lord, S. R. (2008). Balance disorders in the elderly. *Clinical Neurophysiology*, 38(6), 467-478.

Tanganelli, F., Meinke, P., Hofmeister, F., Jarmusch, S., Baber, L., Mehaffey, S., et al. (2021). Type-2 muscle fiber atrophy is associated with sarcopenia in elderly men with hip fracture. Experimental *Gerontology*, Vol. 144, 111171. DOI: https://doi.org/10.1016/j.exger.2020.111171.

Tillin, Neale A. (2011): The influence of training and athletic performance on the neural and mechanical determinants of muscular rate of force development. *Loughborough University*. Thesis. https://hdl.handle.net/2134/8524

Tracy, B. L., Byrnes, W. C., & Enoka, R. M. (2004). Strength training reduces force fluctuations during anisometric contractions of the quadriceps femoris muscles in old adults. *Journal of Applied Physiology*, 96(4), 1530-1540.

Tracy, B. L., & Enoka, R. M. (2002). Older adults are less steady during submaximal isometric contractions with the knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 92(3), 1004-1012.

Xiang, J., et all (2010). H-reflex to S1-root stimulation improves utility for diagnosing S1 radiculopathy. *Clinical Neurophysiology*, 121(8), 1329-1335. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.03.004 .

Widmaier, E. P., Raff, H., and Strang, K. T. (2015). Human Physiology: The Mechanisms of Body Functions. *McGraw Hill*. 14th Ed.

Winter DA, Patla AE, Rietdyk S, Ishac MG. (2001). Ankle muscle stiffness in the control of balance during quiet standing. *J Neurophysiol*., 85 (6), 2630-3. doi: 10.1152/jn.2001.85.6.2630. PMID: 11387407.

Wolfson, L., Whipple, R., Derby, C. A., Amerman, P., & Nashner, L. (1994). Gender differences in the balance of healthy elderly as demonstrated by dynamic posturography. *Journal of Gerontology*, 49(4), M160-167.

World Health Organization (2021). World Health Statistics 2020. https://www.who.int/data/gho/publications/world-health-statistics. Visitado em 20/03/2021.