
EFEITO DA FADIGA MUSCULAR LOCAL NA PROPRIOCEPÇÃO DO JOELHO

Effect of local muscular fatigue in the knee joint proprioception

Fernando Ribeiro¹, José Oliveira²

¹ Mestre. Centro de Investigação em Atividades Físicas, Saúde e Laser. Faculdade de Desporto da Universidade do Porto. Portugal, e-mail: fernando.silva.ribeiro@gmail.com

² Ph.D. Centro de Investigação em Atividades Físicas, Saúde e Laser. Faculdade de Desporto da Universidade do Porto. Portugal, e-mail: joliveira@fade.up.pt

Resumo

O exercício físico intenso indutor de fadiga neuromuscular estará associado a alterações da propriocepção articular, aumentando o risco de lesão. O presente artigo revê o estado actual do conhecimento acerca do efeito deletério da fadiga muscular local induzida pelo exercício intenso e/ou exaustivo na propriocepção articular. Na revisão efectuada, para melhor compreensão do tema central, descrevem-se sucintamente a etiologia e os mecanismos da fadiga muscular, os mecanismos da propriocepção articular e formas de avaliação. A parte fundamental da revisão incide sobre os mecanismos fisiológicos que explicam os efeitos deletérios da fadiga muscular local na propriocepção articular, incluindo o papel dos receptores articulares e musculares na mediação desses efeitos. É dado especial enfoque à revisão de estudos efectuados na articulação do joelho.

Palavras-chave: Propriocepção; Fadiga muscular local; Joelho.

Abstract

Neuromuscular fatigue induced by intense physical exercise is associated to joint proprioception alterations, leading to a higher injury risk. This paper reviews the current knowledge concerning the deleterious effect of local muscle fatigue induced by intense and/or exhaustive exercise in the joint proprioception. In this review, for a better understanding of the central topic, it is shortly described the etiology and the mechanisms of the muscular fatigue, together with the joint proprioception mechanisms and assessment procedures. The main part of this review is dedicated to the physiological mechanisms which explain the deleterious effects of the local muscle fatigue in the joint position sense, including the role of the joint and muscular receptors in the mediating process of these effects. Special approach is given to the studies conducted in the knee joint.

Keywords: Proprioception; Local muscle fatigue; Knee.

INTRODUÇÃO

A tentativa de explicação dos efeitos da fadiga muscular local na propriocepção começou a dar os primeiros passos nos anos oitenta, tendo o interesse sobre o tema crescido nas últimas décadas. Esse interesse crescente parece estar ligado ao aumento da participação em actividades desportivas e ao concomitante aumento de incidência de lesões relacionadas com o desporto e à sua importância socioeconómica. A alta incidência de lesões que ocorrem perto do final da competição ou da sessão de actividade física de recreação sugere que a fadiga contribui para a alteração do controlo neuromuscular através da indução de alterações na propriocepção (1).

A articulação do joelho é uma das articulações com maior incidência de lesões relacionadas com o desporto, sendo a deterioração da propriocepção em resultado da fadiga física ou mental um factor de risco de lesão ligamentar (2, 3, 4). Estudos em atletas sugerem que a fadiga pode induzir declínio da propriocepção do joelho, tornando-se desta forma factor de risco de lesão ligamentar (5, 6). A capacidade da articulação para detectar alterações no meio que rodeia as suas estruturas e para mediar apropriadamente a resposta muscular a essas alterações de forma a promover estabilização dinâmica é essencial para a sua estabilidade funcional.

Este artigo revê a evidência experimental da indução de deficits proprioceptivos pela fadiga muscular local, procurando estabelecer o padrão de conhecimento actual sobre a matéria e tentando levantar novos campos de investigação. É dado especial enfoque aos estudos efectuados na articulação do joelho, pela complexidade e grave implicação socioeconómica/desportiva que apresentam as suas lesões.

A presente revisão baseia-se numa pesquisa computadorizada efectuada nas bases de dados *Cochrane Central*, *Pubmed/Medline* e *PEDro* para identificar estudos versando a temática da fadiga muscular local e da propriocepção do joelho, publicados entre 1970 e agosto de 2007. A pesquisa foi efectuada com as palavras-chave *proprioception*, *muscle fatigue* e *knee*, usando operadores booleanos (AND, OR). Foram incluídos na presente revisão estudos publicados em revistas/actas de encontros científicos com sistema *peer-reviewed*. A pesquisa foi completada pela consulta de obras citadas nos artigos localizados nas bases de dados.

PROPRIOCEPÇÃO

A propriocepção foi originalmente definida por Sherrington em 1906 como “a percepção do movimento articular ou do corpo bem como a posição do corpo, ou dos segmentos, no espaço”. Esta é geralmente dividida em dois elementos: sensação de posição articular (SPA) e sensação de movimento articular ou cinestesia (7).

A propriocepção resulta de um processo através do qual o sistema nervoso central recebe *input* de diversas fontes de estímulo que integra para definir o movimento ou a posição articular. Estímulos visuais, auditivos, vestibulares, cutâneos, articulares e musculares providenciam informação a 3 níveis distintos do controlo motor: medula espinal, células do tronco cerebral e centros superiores (cerebelo, gânglios basais e córtex motor) (7). Contudo, o *input* proprioceptivo não é necessariamente percebido conscientemente (informação do fuso muscular e das aferências articulares interferem com os reflexos do medula espinal).

Mais recentemente a propriocepção foi definida como o *input* neural cumulativo para o sistema nervoso central proveniente de terminações nervosas especializadas chamadas mecanorreceptores. Estes mecanorreceptores (receptores sensoriais para a propriocepção) estão localizados na pele, ventre muscular, tendões, cápsula articular e ligamentos (8, 9, 10). Os mecanorreceptores articulares podem ser classificados em terminações de Ruffini, localizadas na cápsula articular, terminações de Golgi, localizadas nos ligamentos articulares, terminações encapsuladas de Pacini, localizadas no periósteo fibroso próximo das fixações articulares e em terminações livres. Foram identificados quatro tipos de receptores cutâneos, dois de adaptação rápida, o corpúsculo de Meissner e o corpúsculo paciniano, e dois de adaptação lenta, as células de Merkel e as terminações de Ruffini. Os mecanorreceptores musculares são constituídos pelo

fuso muscular (aferências Ia), órgão tendinoso de Golgi (aferências Ib) e aferências musculares de pequeno diâmetro (aferências grupo III e IV) (11, 12, 13). O sistema proprioceptivo recebe informações de todos estes receptores e utiliza esses estímulos sensoriais para localizar os nossos membros no espaço, para determinar a amplitude e a velocidade de movimento. Contudo, o papel dos diferentes receptores na construção da propriocepção articular é diferente. Os receptores musculares parecem ser a fonte predominante de informação proprioceptiva, contudo os receptores cutâneos e articulares também contribuem para a construção da propriocepção. Os receptores musculares, articulares e cutâneos contribuem para a sensação de movimento, enquanto a sensação de posição é principalmente sinalizada pelos receptores cutâneos de adaptação lenta e pelas aferências do fuso muscular (13, 14).

Os mecanorreceptores funcionam como conversores, convertem as cargas mecânicas impostas à articulação em impulsos aferentes. Esta informação é integrada na programação motora requerida para movimentos de precisão e contribui para a contracção muscular reflexa, providenciando estabilidade dinâmica à articulação (9). É um facto que o controlo do movimento depende consideravelmente da qualidade da informação aferente originada nos vários sistemas somatosensoriais envolvidos na propriocepção.

Presentemente, é de consenso geral que a propriocepção é uma entidade complexa que engloba diversas submodalidades diferentes, a sensação de posição, velocidade, a detecção do movimento e força, e que o sinal aferente que dá origem a estas diferentes sensações tem origem predominante em diferentes tipos de receptores. Tem sido dada mais importância à SPA porque esta é fundamental para inúmeras actividades da vida diária uma vez que o *timing* e a coordenação muscular dependem dela.

A SPA pode ser definida funcionalmente como a consciência da posição da articulação e é tradicionalmente assinalada pelos fusos musculares (13, 14, 15, 16, 17) e pelos receptores cutâneos de adaptação lenta (13, 14). Contudo, para movimentos multiarticulares, Proske (17), em artigo de revisão, indica que a contribuição dos receptores cutâneos e articulares não pode ser menosprezada.

Especificamente em relação ao joelho, a maioria das suas estruturas estáticas e dinâmicas contribui para a propriocepção. Os tendões e músculos periarticulares, os ligamentos cruzados e colaterais, os meniscos e a cápsula articular, todos eles apresentam aferências proprioceptivas (18). No entanto, a propriocepção do joelho é providenciada primariamente pelos mecanorreceptores articulares (terminações de Ruffini, corpúsculos de Paccini) e aferências musculares (fusos musculares e órgãos tendinosos de Golgi) (7).

Formas de avaliação da propriocepção

Os métodos clássicos para avaliar a propriocepção envolvem (a) o uso de métodos similares aos usados por Goldscheider (no século passado, Goldscheider mediu sistematicamente e comparou os pequenos movimentos de rotação que podiam ser detectados em nove articulações do corpo humano, quantificando deste modo a orientação e posição dos segmentos, que posteriormente Sherrington definiu como “propriocepção”) para determinar o limite de detecção do movimento articular, e (b) o uso de métodos para determinar a SPA (19).

A propriocepção e o controlo neuromuscular podem ser avaliados por meio da medição das vias aferentes e eferentes. A via aferente é avaliada pela medição da cinestesia articular e da SPA, que fornecem dados acerca da apreciação consciente do movimento e da posição articular. A cinestesia articular é determinada pelo estabelecimento do limite de detecção do movimento passivo, avaliando deste modo a capacidade de detectar movimento passivo lento. A SPA determina a capacidade do sujeito compreender um determinado ângulo articular que depois de removido será activa ou passivamente reproduzido pelo sujeito. A via eferente é avaliada por meio da medição do equilíbrio e da actividade muscular, o que determina directamente a resposta eferente à estimulação aferente (7).

A generalidade de estudos sobre a propriocepção consciente em humanos envolveu a avaliação desta através da reprodução activa ou passiva de um ângulo (SPA), ou através da detecção do movimento passivo do membro (cinestesia). Estes testes são convencionalmente realizados com limitação dos estímulos externos, tais como os visuais ou cutâneos. Recentemente, variáveis como a direcção do movimento (20), posicionamento activo *versus* passivo (21) e sustentação de carga (22) têm demonstrado influenciar os resultados destes testes.

Barrett et al. (23) e Lephart et al. (9) sugerem que os testes passivos podem ser usados para avaliar os mecanorreceptores articulares e os testes activos para avaliar os mecanorreceptores musculares. No entanto, não é razoável esperar que os testes activos isolem a actividade dos receptores musculares, ou que os testes passivos isolem a actividade dos receptores articulares. A análise crítica às investigações revistas e utilizadas como referência para a concepção deste artigo permite afirmar que para determinado modo de teste existe predomínio de determinado tipo de mecanorreceptor, contudo sem exclusão dos restantes. A natureza complexa da propriocepção impede a exclusão, por menor que seja a sua participação, de qualquer tipo de mecanorreceptor na construção das diversas submodalidades incorporadas na propriocepção. Para além da complexidade da propriocepção, um conjunto de variáveis intrínsecas à natureza do teste podem potenciar a maior ou menor expressão aferente de um tipo de mecanorreceptor. Por exemplo, uma das variáveis é o arco de movimento no qual o teste é realizado, uma vez que independentemente da natureza activa ou passiva do teste, pode potenciar a activação de um determinado tipo de receptor em detrimento de outro, porque os fusos musculares e os órgãos tendinosos de Golgi são activados na região intermédia do arco de movimento, enquanto que os receptores articulares são activados no limite do movimento (24). Também as características adaptativas dos mecanorreceptores e os resultados de Lee et al. (25) permitem levantar a hipótese de que a velocidade de execução do teste potencia diferentes mecanorreceptores. Testes de velocidade lenta (0,5°/s) estimulam predominantemente receptores articulares, enquanto que velocidades mais elevadas (2°/s) envolvem principalmente receptores musculares.

A detecção do movimento é mais precisa e reprodutível do que a SPA e os seus resultados apresentam maior poder e sensibilidade para detectar diferenças significativas se elas realmente existirem (26). No entanto, a avaliação da SPA aproxima-se mais da função do sistema proprioceptivo no dia-a-dia. Proske et al. (13) sugeriram a avaliação da SPA por reposição articular activa em detrimento da passiva, porque esta revela-se mais precisa e é o modo no qual o fuso muscular mais activamente sinaliza a sensação de posição.

Especificamente em relação à SPA do joelho, existem várias formas de avaliação: teste (posicionamento) activo com reposicionamento activo ipsilateral; teste activo com reposicionamento activo contralateral; teste passivo com reposicionamento passivo ipsilateral e teste activo-assistido com reposicionamento ipsilateral. Contudo, a evidência indica que a SPA do joelho deve ser avaliada por posicionamento activo seguido por resposta activa ipsilateral. A avaliação da SPA deve ser feita com determinação do ângulo alvo no membro a avaliar (ipsilateral), porque quando o reposicionamento é feito com o membro contralateral, o erro de medida pode ser o resultado da combinação dos erros dos dois membros e este facto impossibilita a determinação do membro que é a fonte de erro (26). Da mesma forma, Paillard and Brouchon (27) e Pickard et al. (28) reportaram que a contracção muscular prévia ao reposicionamento possibilita maior precisão na SPA, sugerindo que o reposicionamento articular activo deve ser escolhido em detrimento do reposicionamento articular passivo. O teste activo também reflecte a influência dos receptores musculares localizados nos músculos extensores e flexores do joelho e dá aos resultados maior relevância funcional (29). O teste activo-assistido é útil quando o indivíduo avaliado não apresenta força muscular suficiente para executar de forma estável e controlada o teste de avaliação.

Usualmente a avaliação da SPA do joelho é feita com o indivíduo na posição de sentado, contudo esta posição de teste apresenta um problema específico em posições próximas à extensão total do joelho, decorrente do aumento da resistência oferecida pelos músculos isquiotibiais. Desta forma, a avaliação nas condições anteriormente referidas deverá ser realizada com inclinação posterior do tronco, para, desse modo, diminuir a resistência oferecida pelos isquiotibiais. Ribot-Ciscar and Roll (30) acreditam que o fuso muscular dos músculos antagonistas são a chave da percepção da posição e movimento articular, o que poderá explicar a alteração induzida na propriocepção por diferentes posições de tensão passiva dos isquiotibiais. Recentemente, resultados de um estudo conduzido pelo nosso grupo comparando a contribuição relativa dos músculos agonistas e antagonistas do movimento de reposicionamento para a alteração da SPA do joelho após a realização de exercício fatigante indicaram que a fadiga muscular dos agonistas do movimento tem mais impacto na SPA do joelho do que a fadiga dos músculos antagonistas do movimento (31).

Quando se avalia a SPA qual a posição angular alvo de teste? Existem duas formas lógicas de escolha da posição-alvo. Escolher várias posições de teste dentro da amplitude de movimento disponível e avaliar cada posição uma vez, ou avaliar uma única posição várias vezes. A escolha da posição de teste deve respeitar a amplitude de movimento disponível não dolorosa.

Quando se pretende avaliar posições extremas, deve-se ter em consideração a possibilidade de o indivíduo sobre-estimar a posição-alvo, deste modo a posição-alvo deverá estar localizada suficientemente longe do final da amplitude de movimento disponível, para desta forma permitir a avaliação de erros por sobre-estimação. A avaliação de uma única posição de teste várias vezes é a todos os níveis preferível, porque a fiabilidade e precisão da SPA é diferente em diferentes posições de teste. Apesar do incompleto e inconsistente entendimento dos vários factores que influenciam a fiabilidade e precisão da SPA em diferentes posições de teste, em articulações normais ou patológicas, Clark et al. (32) reportaram que a avaliação passiva da sensação de posição em articulações normais é menos precisa, mas mais fiável perto do limite de movimento articular.

Outros investigadores reportaram que a sensação de posição do joelho é mais precisa perto do limite de extensão do joelho, quer em avaliação passiva (33, 34, 35) quer em avaliação activa (36, 37). Mais recentemente, Remedios et al. (38) registaram, na articulação do joelho, erros de variação mais elevados, mas sem alteração na precisão, em posições próximas do final da amplitude quando comparadas com amplitudes intermédias. Olsson et al. (39) recomendam a avaliação da SPA do joelho no terço médio da amplitude de movimento (entre 40° e 80° de flexão). Para além de diferenças na fiabilidade e precisão em diferentes posições do arco de movimento, a fonte de informação aferente predominante também varia com o arco de movimento. Dessa forma, o uso de um tipo de avaliação para todo o arco de movimento não parece ser o procedimento metodológico mais válido.

FADIGA MUSCULAR

A fadiga é definida como uma incapacidade aguda na *performance* acompanhada por um aumento do esforço percebido para exercer uma força desejável e uma eventual incapacidade para produzir essa força. É um fenómeno inevitável associado ao trabalho muscular. A força muscular, a taxa de produção de força, a potência e a velocidade de encurtamento estão diminuídas durante a fadiga (40). Estas alterações afectam necessariamente a *performance* muscular dos músculos fatigados, causando deficiente *performance* motora (41).

Tipicamente são definidos dois tipos de fadiga muscular: a que resulta de alterações da homeostasia no próprio musculoesquelético, independentemente da velocidade de condução do impulso neural, e designada por fadiga de origem periférica; e a que resulta de alterações do *input* neural que chega ao músculo, traduzida por uma redução progressiva da velocidade e frequência de condução do impulso voluntário aos motoneurónios durante o exercício, normalmente designada por fadiga de origem central (42).

A fadiga periférica tem sido descrita como resultado de alterações localizadas abaixo da junção neuromuscular e que envolvem o músculo e os mecanismos contrácteis. Este tipo de fadiga resulta da diminuição da eficiência das unidades contrácteis do músculo (16). Entre as principais causas para essa perda de eficiência estão as alterações do pH, da temperatura, do fluxo sanguíneo, a acumulação de produtos do metabolismo celular, particularmente os resultantes da hidrólise do adenosina trifosfato, a perda da homeostasia do ião cálcio, a lesão muscular focal, e a alteração da cinética de alguns iões nos meios intra e extracelulares nomeadamente, o potássio, sódio, cloro e magnésio (43).

EFEITO DA FADIGA MUSCULAR NA PROPRIOCEPÇÃO ARTICULAR

A fadiga é comumente associada à alteração na *performance* motora. Neste contexto, os efeitos da fadiga muscular na propriocepção são potencialmente interessantes uma vez que o *feedback* aferente proprioceptivo é um factor crucial para um controlo motor óptimo. Por isso, esta temática tem sido estudada em diversas articulações, com diversas metodologias, mas também, por vezes, com conclusões contraditórias.

Tem sido demonstrado que a fadiga muscular altera adversamente a propriocepção (2, 3, 8, 10, 14, 25, 44-48). Estudos recentes avaliando a propriocepção e o controlo muscular por via eferente demonstraram igualmente os efeitos adversos da fadiga muscular (49, 50, 51). No entanto, outros autores (52-55), ao estudarem as alterações que ocorrem na propriocepção após exercício exaustivo, encontraram resultados antagónicos. Para além disso, a contribuição dos mecanorreceptores e do sistema nervoso central na diminuição na sensação proprioceptiva não está completamente definida. No entanto, é comumente aceite que protocolos de exercício isocinético induzem fadiga local, causando disfunção dos mecanorreceptores musculares. Interessantemente, alguns dos estudos efectuados nesta área têm sugerido que nas articulações do membro superior e inferior, a fadiga muscular diminui a SPA, mas parece não afectar a sensibilidade de movimento articular (2, 25, 53, 56).

Papel dos receptores musculares e articulares nos deficits proprioceptivos

Durante décadas, a importância relativa dos mecanorreceptores articulares, musculares e cutâneos para as sensações proprioceptivas foi matéria controversa. A importância relativa de cada um tem mudado com o passar dos anos, em alguns períodos a favor dos receptores musculares, noutros a favor dos articulares ou cutâneos (57). No entanto, o debate tem-se centrado no contributo relativo dos receptores musculares *versus* receptores articulares para a propriocepção, com tradicional ênfase nos receptores musculares. Investigações recentes sugerem que os receptores musculares e articulares são componentes complementares do sistema aferente, no qual a modificação num tipo de receptores promove alteração na função do outro. Tendo por base as investigações de Eklund (58), de McCloskey (15, 59) e de McCloskey et al. (60), que usaram a desaferenciação e a vibração para estudar o *output* dos fusos musculares, é comumente aceite que a maior contribuição para a SPA e cinestesia provem dos receptores musculares, particularmente dos fusos musculares.

Relativamente aos receptores articulares, vários estudos em humanos revelam a sua importância para a propriocepção. Especialmente na articulação do joelho, foi demonstrado que quando as aferências dos receptores articulares estão diminuídas, a propriocepção apresenta-se diminuída. Joelho com artrite (61, 62), com ruptura do ligamento cruzado posterior (63, 64) e cruzado anterior (65-67), com reconstrução do ligamento cruzado anterior (68, 69, 70) e após artroplastia (71), apresenta diminuição da sensação de posição e da cinestesia.

Apesar da maior contribuição dos receptores musculares, ambos os receptores, musculares e articulares, são considerados essenciais na capacidade de sentir a posição e o movimento da articulação do joelho. O contributo relativo dos receptores articulares e musculares nos deficits proprioceptivos após protocolo de exercício para induzir fadiga também permanece controverso. Os protocolos de exercício intenso indutores de fadiga afectam, presumivelmente, o tecido muscular mais do que o tecido articular, e deste modo, a diminuição na SPA pode conceptualmente ser secundária à perda de *input* dos receptores musculares (7). Tem sido sugerido que a fadiga muscular altera a propriocepção articular através do aumento do limite de descarga dos fusos musculares e através de alterações na coactivação alfa-gama (72, 73). Particularmente, na presença de fadiga muscular local, os nociceptores são activados pelos produtos metabólicos resultantes da contração muscular incluindo a bradicinina, ácido aracnóide, prostaglandina E₂, potássio e ácido láctico. Estes metabolitos e as substâncias inflamatórias têm impacto directo no padrão de descarga dos fusos musculares, que representam o componente periférico da fadiga. Para além disso, tem sido demonstrado que as vias neuromusculares aferentes e eferentes são moduladas via reflexos originados nas aferências musculares de pequeno diâmetro (aferências grupo III e IV). Esses reflexos, originados no músculo e gerados em resposta a alterações metabólicas que são características da fadiga, podem modificar o processamento central, que representa o componente central da propriocepção.

Tem sido demonstrado que o exercício exaustivo diminui o padrão de descarga das células neurais do córtex motor e aumenta os potenciais motores evocados, verificando-se deste modo um *output* cortical inadequado na presença de fadiga (14). A alteração no *input* aferente para o motoneurónio alfa pode potencialmente alterar a função muscular, resultando numa articulação incapaz de produzir reacções de

ativação muscular protectora. Pedersen et al. (74) demonstraram, em estudo animal, a existência de impacto directo da fadiga no padrão de descarga dos fusos musculares. A explicação deste mecanismo parece residir no aumento de concentração de metabolitos e/ou substâncias inflamatórias no músculo durante a actividade e no final do exercício exaustivo (por exemplo, ácido láctico ou bradicininas). Resultados de um estudo em modelo animal sugerem a possibilidade de as aferências musculares grupo III e IV estarem associadas à fadiga pela inibição pré-sináptica dos terminais grupo Ia (75).

Em relação ao papel dos receptores articulares, o papel da fadiga neuromuscular na alteração do *input* dos receptores articulares do joelho não é claro, no entanto, alguma evidência sugere que o aumento da laxidez na articulação do joelho resultante do exercício intenso pode desempenhar um papel importante nas alterações da propriocepção. Foi demonstrado que o exercício e a fadiga aumentam a laxidez dos ligamentos do joelho, e que os sujeitos com aumento da laxidez têm pior propriocepção. É possível que o exercício e a fadiga induzam o aumento da laxidez na articulação do joelho e, assim, contribuam para alterações na propriocepção (7).

Em suma, os estudos citados sugerem que alterações no *output* aferente dos receptores articulares e musculares induzem alterações na propriocepção. No entanto, os mecanismos fisiológicos que explicam as alterações na propriocepção consciente do joelho durante a fadiga neuromuscular não são ainda totalmente claros (4). Contudo, se a fadiga neuromuscular contribui para alterações na SPA e na sensação de movimento articular, essas alterações devem ser mediadas pelos receptores articulares e musculares, pois parece plausível que ocorre durante a fadiga muscular alguma forma de desaferenciação do fuso muscular e/ou do órgão tendinoso de Golgi e/ou ocorre laxidez ligamentar.

Investigação sobre o efeito da fadiga muscular local na propriocepção do joelho

Skinner et al. (2) realizaram uma das primeiras investigações acerca do efeito da fadiga na propriocepção e demonstraram que a fadiga piora significativamente a SPA (reprodução de ângulo passivamente posicionado) enquanto que a sensibilidade do movimento articular (detecção de movimento passivo) não é afectada pela fadiga. Nesta investigação efectuada em 11 indivíduos jovens do sexo masculino altamente treinados, a propriocepção foi medida por meio da reprodução, na posição de sentado, de um ângulo previamente determinado e através do limite de detecção do movimento passivo, antes e depois de um protocolo de exercício de corrida e exercício resistido em dinamómetro isocinético. Os autores demonstraram uma diminuição estatisticamente significativa na capacidade dos sujeitos reproduzirem um ângulo articular depois do protocolo de fadiga, com a média de erro a passar de 2,90° para 3,97°. Curiosamente, os sujeitos envolvidos no estudo registaram uma melhor capacidade de detecção do movimento passivo após o protocolo de exercício, com a média a baixar de 1,20° para 0,84°, embora essa diferença não se revelou estatisticamente significativa. Os autores concluíram que a SPA é significativamente afectada pela fadiga, que os receptores musculares são fundamentais se não os principais determinantes da SPA do joelho e que os receptores articulares podem desempenhar um papel secundário.

Marks and Quinney (52) estudaram a reprodução activa angular na articulação do joelho num grupo de oito mulheres jovens, sedentárias, antes e após um protocolo de exercício que consistiu na realização de vinte contracções concêntricas/excêntricas do quadrícipete no dinamómetro isocinético a uma velocidade angular de 180°/s. A fadiga muscular foi confirmada pelo índice de fadiga que variou de 16 a 23%. Este estudo demonstrou não existirem diferenças significativas na SPA quando se compararam as avaliações efectuadas antes e depois do protocolo de exercício. Os autores concluíram que a fadiga pode não induzir deficits na SPA do joelho. Interessantemente, em contraste com esta conclusão, os autores verificaram que a acuidade e precisão da sensação de posição melhorou significativamente com a repetição do teste. Os seus resultados não corroboram o defendido por Skinner et al. (2). Contudo, no ano seguinte, Marks (76) realizou um estudo similar aumentando a amostra para 12 sujeitos e obteve resultados diferentes dos obtidos em conjunto com Quinney (52). Nesse estudo, Marks (76) encontrou diferenças significativas apontando no sentido de a fadiga muscular alterar negativamente a SPA do joelho em indivíduos saudáveis.

Lattanzio et al. (3) avaliaram a SPA do joelho de forma activa em 16 sujeitos usando um protocolo em sustentação de carga. A capacidade de reproduzir de forma activa um determinado ângulo da articulação do joelho foi medida na posição de pé usando um electrogoniómetro. Foram utilizados protocolos de exercício diferentes em ciclo ergómetro, cada um deles com intensidades ajustadas para o nível de aptidão física de cada sujeito. Estes consistiram na realização de exercício contínuo a 80% VO_{2max} e de exercício intermitente com intensidades de 120%:40% do VO_{2max} , realizados até à exaustão em ambos os casos. Os dois tipos de exercício foram realizados com um intervalo de uma semana. Ambos os protocolos de exercício induziram diminuição estatisticamente significativa da sensação de posição do joelho.

Recentemente, Ribeiro et al. (77) abriram uma nova perspectiva neste campo ao realizarem uma investigação sobre os efeitos da fadiga muscular local na sensação de posição articular do joelho em idosos. Como anteriormente referido, a deterioração da propriocepção em resulta da fadiga muscular local aumenta o risco de lesão ligamentar, contudo na população idosa o risco vai para além da lesão ligamentar. Em idosos, deficits proprioceptivos têm sido associados a problemas de equilíbrio, que por sua vez aumentam a incidência de quedas. Ribeiro et al. (77) avaliaram a SPA do joelho, em 16 idosos com $69,81 \pm 3,92$ anos de idade (intervalo de 62-77 anos) antes e depois da realização de um protocolo de fadiga composto por 30 contracções concêntricas dos flexores e extensores do joelho no dinamómetro isocinético a uma velocidade angular de $120^\circ/s$. Os autores verificaram que a fadiga muscular local dos músculos flexores e extensores do joelho apresenta efeito deletério na SPA (erro inicial: $5,6 \pm 4,21^\circ$; erro final: $8,16 \pm 4,57^\circ$).

Também em desportistas, futebolistas (78) e voleibolistas (79), estudos do nosso grupo de investigação demonstraram a existência de défices na sensação de posição do joelho após exercício indutor de fadiga. Estes estudos permitiram também verificar que independentemente da fadiga ser induzido no laboratório (protocolo no dinamómetro isocinético) (78) ou no terreno (jogo simulado de voleibol) (79) os resultados seguem o mesmo padrão.

Dos estudos analisados, apenas um concluiu pela não existência de efeitos deletérios da fadiga muscular local na propriocepção do joelho (52), no entanto o reduzido número de indivíduos que constituíram a amostra parece ser uma explicação razoável para os resultados descritos pelos autores. Como o próprio autor comprovou (76), ao replicar o estudo no ano seguinte.

Skinner et al. (2), Marks (76), Lattanzio et al. (3) e Ribeiro et al. (77) justificam os seus resultados através da alteração no *input* dos fusos musculares secundária à fadiga muscular local. Apesar das diferenças metodológicas, na indução de fadiga e na avaliação da propriocepção, que os estudos apresentam entre si, as explicações para os resultados encontrados são similares em todos eles: a disfunção do fuso muscular induzida pelo aumento da concentração de metabolitos resultantes da contracção muscular e/ou substâncias inflamatórias altera adversamente a sensação de posição do joelho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sublinhou a existência de evidência experimental da indução de deficits proprioceptivos pela fadiga muscular, no entanto o mecanismo exacto pelo qual a fadiga muscular influencia a propriocepção ainda não foi totalmente desvendado. A literatura existente sobre os efeitos da fadiga muscular induzida pelo exercício localizado na propriocepção do joelho não permite determinar rigorosamente quais os componentes na via proprioceptiva, receptores musculares, articulares e/ou o sistema nervoso central, que são preferencialmente afectadas na presença da fadiga.

Mais estudos são necessários para determinar se os efeitos da fadiga na propriocepção e as implicações que esses efeitos poderão ter na estabilidade dinâmica das articulações, na ocorrência de lesões em atletas e na ocorrência de quedas em idosos. O declínio da propriocepção com o avançar da idade parece ser um importante factor para as quedas que se verificam nos idosos, e este pode ser influenciado pela prática regular de exercício físico. Um campo que urge explorar é o estudo sobre o efeito da fadiga muscular induzida pelo exercício localizado na sensação de posição articular em idosos activos e sedentários. Também carece de esclarecimento o papel do exercício físico na preservação da propriocepção em estados de fadiga muscular local, importa compreender se o efeito benéfico crónico do exercício físico na propriocepção influencia o seu comportamento na presença de fadiga muscular local.

REFERÊNCIAS

1. Hiemstra LA, Lo IK, Fowler PJ. Effect of fatigue on knee proprioception: implications for dynamic stabilization. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31(10):598-605.
2. Skinner HB, Wyatt MP, Hodgdon JA, Conard DW, Barrack RL. Effect of fatigue on joint position sense of the knee. *J Orthop Res.* 1986;4:112-118.
3. Lattanzio PJ, Petrella RJ, Sproule JR, Fowler PJ. Effects of fatigue on knee proprioception. *Clin J Sport Med.* 1997;7:22-227.
4. Lattanzio PJ, Petrella RJ. Knee proprioception: a review of mechanisms, measurements, and implications of muscular fatigue. *Orthopedics.* 1998;21(4):463-470.
5. Zempher ED. Injury rates in a national sample of college football teams: a 2 year retrospective study. *Physician Sportsmed.* 1989;11:104-113.
6. Tuggy ML, Ong R. Injury risk factors among telemark skiers. *Am J Sports Med.* 2000; 28:83-89.
7. Rozzi S, Yuktananandan P, Pincevero D, Lephart SM. Role of fatigue on proprioception and neuromuscular control. In: Lephart SM, Fu FH, editors. *proprioception and neuromuscular control in joint stability.* Champaign, IL: Human Kinetics; 2000. p. 375-384.
8. Voight ML, Harden JA, Blackburn TA, Tippet S, Canner GC. The effect of muscle fatigue on the relationship of arm dominance to shoulder proprioception. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1996;23(6):348-352.
9. Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, Fu FH. The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am J Sports Med.* 1997;25:130-137.
10. Carpenter JE, Blasier RB, Pellizzon GG. The effects of muscle fatigue on shoulder joint position sense. *Am J Sports Med.* 1998;26(2):262-265.
11. Craig JC, Rollman GB. Somesthesia. *Annu Rev Psychol.* 1999;50:305-331.
12. Gandevia SC, Burke D. Does the nervous system depend on kinesthetic input to control natural limb movements? *Behav Brain Sci.* 1992;15:614-632.
13. Proske U, Wise AK, Gregory JE. The role of muscle receptors in the detection of movements. *Prog Neurobiol.* 2000;60:85-96.
14. Forestier N, Teasdale N, Nougier V. Alteration of the position sense at the ankle induced by muscular fatigue in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(1):117-122.
15. McCloskey DI. Kinesthetic sensibility. *Physiol Rev.* 1978;58:763-820.
16. Gandevia SC, Enoka RM, McComas AJ, Stuart DG, Thomas CK. Neurobiology of muscle fatigue. *Advances and issues. Adv Exp Med Biol.* 1995;384:515-525.
17. Proske U. What is the role of muscle receptors in proprioception? *Muscle Nerve.* 2005;31:780-787.
18. Johnston RB III, Howard ME, Cawley PW, Losse GM. Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:1702-1707.
19. Ashton-Miller JA, Wojtys EM, Huston LJ, Frywelch D. Can proprioception really be improved by exercises? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2001;9:128-136.
20. Weiler HT, Awiszus F. Influence of hysteresis on joint position sense in the human knee. *Exp Brain Res.* 2000;135:215-221.

21. Bouet V, Gahery Y. Muscular exercise improves knee position sense in humans. *Neurosci Lett*. 2000;(289):143-146.
22. Bullock-Saxton JE, Wong WJ, Hogan N. The influence of age on weight-bearing joint reposition sense of the knee. *Exp Brain Res*. 2001;136:400-406.
23. Barrett DS, Cobb AG, Bentley G. Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees. *J Bone Joint Surg*. 1991;73:53-56.
24. Docherty C, Moore J, Arnold B. Effects of strength training on strength development and joint position sense in functionally unstable ankles. *J Athl Train*. 1999;33(4):310-314.
25. Lee H-M, Liao J-J, Cheng C-K, Tan C-M, Shih J-T. Evaluation of shoulder proprioception following muscle fatigue. *Clin Biomech*. 2003;18:843-847.
26. Beynnon BD, Renstrom PA, Konradsen L, Elmquist L-G, Gottlieb D, Dirks M. Validation of techniques to measure knee proprioception. In: Lephart SM, Fu FH, editors. *Proprioception and neuromuscular control in joint stability*. Champaign, IL: Human Kinetics; 2000. p. 127-138.
27. Paillard J, Brouchon M. A proprioceptive contribution to the spatial encoding of position cued for ballistic movements. *Brain Res*. 1974;71:273-284.
28. Pickard CM, Sullivan PE, Allison GT, Singer KP. Is there a difference in hip joint position sense between young and older groups? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2003;58(7):631-635.
29. Visser J, Geuze RH. Kinaesthetic acuity in adolescent boys: a longitudinal study. *Dev Med Child Neurol*. 2000;42:93-96.
30. Ribot-Ciscar E, Roll J-P. Ago-antagonist muscle spindle inputs contribute together to joint movement coding in man. *Brain Res*. 1998;791:167-166.
31. Venâncio J, Ribeiro F, Brochado G, Carvalho J, Oliveira J. Effects of exercise-induced antagonist and agonist muscle fatigue on knee joint position sense. In: Kallio J, Komi PV, Komulainen J, Avela J, editors. *European College of Sport Science: Book of abstract of the 12th Annual Congress of the European College of Sport Science, Jyväskylä, Finland*. Jyväskylä: ECSS 2007 and LIKES Research Center; 2007. p. 571-572.
32. Clark FJ, Larwood KJ, Davis ME, Deffenbacher KA. A metric for assessing acuity in positioning joints and limbs. *Exp Brain Res*. 1995;107:73-79.
33. Lephart SM, Kocher MS, Fu FH, Borsa PA, Harner CD. Proprioception following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Rehab*. 1992;1:188-196.
34. Jerosch J, Prymka M. Proprioception and joint stability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1996;4:171-179.
35. Attfield SF, Wilton TJ, Pratt DJ, Sambatakakis A. Soft-tissue balance and recovery of proprioception after total knee replacement. *J Bone Joint Surg*. 1996;48B:540-545.
36. Rodier S, Euzet JP, Gahéry Y, Paillard J. Crossmodal versus intramodal evaluation of the knee joint angle: A normative study in a population of young adults. *Hum Mov Sci*. 1991; 10:689-712.
37. Kiefer G, Forwell L, Kramer J, Birmingham T. Comparison of sitting and standing protocols for testing knee proprioception. *Physiother Can*. 1998;50:30-34.
38. Remedios L, Morris M, Bendrups A. Reduced static proprioception of the knee joint following anterior cruciate ligament reconstruction. *Physiother Can*. 1998;50:299-308.

39. Olsson L, Lund H, Henriksen M, Rogind H, Bliddal H, Danneskiold-Samsoe, B. Test-retest reliability of a knee joint position sense measurement method in sitting and prone position. *Adv Physiother.* 2004;6(1):37-47.
40. Enoka RM, Stuart DG. Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol.* 1992;72:1631-1648.
41. Jaric S, Blesic S, Milanovic S, Radovanovic M, Ljubisavljevic M, Anastasijevic R. Changes in movement final position associated with agonist and antagonist muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol.* 1999;80:467-471.
42. Davis M, Bailey S. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(1):45-57.
43. Ascensão A, Magalhães J, Oliveira J, Duarte J, Soares J. Fisiologia da fadiga muscular. Delimitação conceptual, modelos de estudo e mecanismos de fadiga de origem central e periférica. *Rev Port Cien Desp.* 2003;3(1):108-123.
44. Blasler RB, James EC, Laura JH. Shoulder proprioception: effect of joint laxity, joint position, direction of motion, and muscle fatigue. *Orthop Rev.* 1993;23:45-50.
45. Pedersen J, Lonn J, Hellstrom F, Djupsjoback M, Johansson H. Localized muscle fatigue decreases the acuity of movement sense in the human shoulder. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(7):1047-1052.
46. Taimela S, Kankaanpaa, M, Luoto S. The effect of lumbar fatigue on the ability to sense a change in lumbar position. A controlled study. *Spine.* 1999;24:1322-1327.
47. Bjorklund M, Crenshaw AG, Djupsjobacka M, Johansson H. Position sense acuity is diminished following repetitive low-intensity work to fatigue in a simulated occupational setting. *Eur J Appl Physiol.* 2000;81:361-367.
48. Tripp BL, Boswell L, Gansneder BM, Shultz SJ. Functional fatigue decreases 3-dimensional multijoint position reproduction acuity in the overhead-throwing athlete. *J Athl Train.* 2004;39(4):316-320.
49. Vuillerme N, Danion F, Forestier N, Nougier V. Postural sway under muscle vibration and muscle fatigue in humans. *Neurosci Lett.* 2002;333:131-135.
50. Corbeil P, Blouin J-S, Bégin F, Nougier V, Teasdale N. Perturbation of the postural control system induced by muscular fatigue. *Gait Posture.* 2003;18:92-100.
51. Gribble PA, Hertel J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85:589-592.
52. Marks R, Quinney HA. Effect of fatiguing maximal isokinetic quadriceps contractions on ability to estimate knee position. *Percept Mot Skills.* 1993;77:1195-1202.
53. Sharpe MD, Miles TS. Position sense at the elbow after fatiguing contractions. *Exp Brain Res.* 1993;94:179-182.
54. Sterne RL, Pincivero DM, Lephart SM. The effects of muscular fatigue on shoulder proprioception. *Clin J Sport Med.* 1998;8:96-101.
55. Gurney B, Milani J, Pedersen ME. Role of fatigue on proprioception of the ankle. *J Exerc Physiol Online.* 2000;3(1):10.
56. Lindstrom B, Karlsson S, Gerdle B. Knee extensor performance of dominant and nondominant limb throughout repeated isokinetic contractions with special reference to peak torque and mean frequency to the EMG. *Clin Physiol.* 1995;15:275-286.

57. Johansson H, Pedersen J, Bergenheim M, Djupsjobacka M. Peripheral afferents of the knee: their effects on central mechanisms regulating muscle stiffness, joint stability, and proprioception and coordination. In: Lephart SM, Fu FH, editors. *Proprioception and neuromuscular control in joint stability*. Champaign, IL: Human Kinetics; 2000. p. 5-22.
58. Eklund G. Position sense and state of contraction. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1972;35:606-611.
59. McCloskey DI. Differences between the senses of movement and position shown by the effect of loading and vibration of muscles in man. *Brain Res*. 1973;61:119-131.
60. McCloskey DI, Cross MJ, Honner R, Potter EK. Sensory effects of pulling or vibrating exposed tendons in man. *Brain*. 1983;106:21-37.
61. Marks R, Quinney HA, Wessel J. Proprioceptive sensibility in women with normal and osteoarthritic knee joints. *Clin Rheumatol*. 1993;12:170-175.
62. Koralewicz LM, Engh GA. Comparison of proprioception in arthritic and age-matched normal knees. *J Bone Joint Surg Am*. 2000;82:1582-1588.
63. Clark P, McDonald PB, Sutherland K. Analysis of proprioception in the posterior cruciate ligament-deficient knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1996;4:225-227.
64. Safran MR, Allen AA, Lephart SM, Borsa PA, Fu FH, Harner CD. Proprioception in the posterior cruciate ligament deficient knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1999;7:310-317.
65. Beynon BD, Ryder SH, Konradsen L, Johnson RJ, Johnson K, Renstrom PA. The effect of anterior cruciate ligament trauma and bracing on knee proprioception. *Am J Sports Med*. 1999;27:150-155.
66. Fischer-Rasmussen T, Jensen PE. Proprioceptive sensitivity and performance in anterior cruciate ligament-deficient knee joints. *Scand J Med Sci Sports*. 2000;10:85-89.
67. Pap G, Machner A, Nebelung W, Awiszus F. Detailed analysis of proprioception in normal and ACL-deficient knees. *J Bone Joint Surg Br*. 1999;81:764-768.
68. Friden T, Roberts D, Zatterstrom R, Lindstrand A, Moritz U. Proprioception after an acute knee ligament injury: a longitudinal study on 16 consecutive patients. *J Orthop Res*. 1997;15:637-644.
69. Co FH, Skinner HB, Cannon WD. Effect of reconstruction of the anterior cruciate ligament on proprioception of the knee and the hell strike transient. *J Orthop Res*. 1993;11:696-704.
70. Ochi M, Iwasa J, Uchio Y, Adachi N, Sumen Y. The regeneration of sensory neurons in the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br*. 1999;81:902-906.
71. Skinner HB, Barrack RL, Cook SD. Joint position sense in total knee arthroplasty. *J Orthop Res*. 1984;1:276-283.
72. Balestra C, Duchateau J, Hainaut K. Effects of fatigue in the stretch reflex in a human muscle. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1992;85(1):46-52.
73. Macefield G, Gandevia SC, Burke D. Perceptual response to microstimulation of single afferents innervating joint, muscle, and skin of the human hand. *J Physiol*. 1990;429:113-129.
74. Pedersen J, Ljubisavljevic M, Bergenheim M, Johansson H. Alterations in information transmission in ensembles of primary muscle spindle afferents after muscle fatigue in heteronymous muscle. *Neuroscience*. 1998;84:953-959.

-
75. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev.* 2001;81:1725-1789.
 76. Marks R. Effect of exercise-induced fatigue on position sense of the knee. *Aust J Physiother.* 1994;40:175-1781.
 77. Ribeiro F, Mota J, Oliveira J. Effect of exercise-induced fatigue on position sense of the knee in the elderly. *Eur J Appl Physiol.* 2007;99:379-385.
 78. Francisco J, Ribeiro F, Rebelo A, Oliveira J. Effects of exercise-induced fatigue in the knee position sense of football players. In: Kallio J, Komi PV, Komulainen J, Avela J, editors. *European College of Sport Science: Book of Abstract of the 12th Annual Congress of the European College of Sport Science; 2007 July 11-14; Jyväskylä, Finland. Jyväskylä: ECSS 2007 and LIKES Research Center.* p. 568-569.
 79. Ribeiro F, Santos F, Oliveira J. Effects of a volleyball match induced-fatigue on knee joint position sense. In: Kallio J, Komi PV, Komulainen J, Avela J, editors. *European College of Sport Science: Book of Abstract of the 12th Annual Congress of the European College of Sport Science; 2007 July 11-14; Jyväskylä, Finland. Jyväskylä: ECSS 2007 and LIKES Research Center.* p. 569-570.

Recebido: 09/08/2007

Received: 08/09/2007

Aprovado: 06/03/2008

Approved: 03/06/2008