

Sistema sensório–motor articular: revisão da literatura

Joint sensorimotor system: a literature review

Marisa de Cássia Registro Fonseca¹, Aline Miranda Ferreira², Amira Mohamede Hussein³

¹ Fisioterapeuta; Profa. Dra. do do Curso de Fisioterapia do Depto. de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da FMRP/USP (Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo)

² Fisioterapeuta; aprimoranda do Programa de Aprimoramento Profissional em Fisioterapia em Ortopedia e Traumatologia do HC (Hospital de Clínicas) da FMRP/USP

³ Fisioterapeuta da Seção de Fisioterapia do HCFMRP/USP

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA

Marisa C. R. Fonseca
Depto. de Biomecânica,
Medicina e Reabilitação do
Aparelho Locomotor / FMRP
Av. Bandeirantes 3900 Monte
Alegre
14049-900 Ribeirão Preto SP
e-mail: marisa@fmrp.usp.br

Bolsa FUNDAP

APRESENTAÇÃO

ago. 2005

ACEITO PARA PUBLICAÇÃO

out. 2006

RESUMO: Tradicionalmente, a estabilidade articular é considerada como a perfeita congruência entre ossos durante o movimento, sendo que muitas vezes os componentes atribuídos para esta estabilidade se resumem aos ligamentos e músculos envolvidos na articulação. Embora estas estruturas sejam os maiores estabilizadores de uma articulação, a integridade sensório-motora é primordial para uma estabilidade articular eficaz. Nos últimos anos, estudos têm demonstrado grande quantidade de proprioceptores nos componentes articulares, que fornecem informações aferentes periféricas e se relacionam com níveis do sistema nervoso central envolvidos no controle motor, para manter a estabilidade articular. O objetivo desta revisão, feita nas bases de dados Medline e Lilacs, foi identificar as estruturas e a fisiologia do sistema sensório-motor articular, bem como dos níveis de controle motor da propriocepção articular, e definir o papel do sistema sensório-motor na estabilidade da articulação. Concluímos que, apesar do grande número de pesquisas, os caminhos exatos onde o sistema sensório-motor atua na estabilidade articular permanecem incertos. O acompanhamento fisioterapêutico é pouco relatado nas pesquisas, sem uma demonstração clara de sua contribuição para a recuperação da capacidade proprioceptiva da articulação lesionada ou submetida à cirurgia.

DESCRIPTORES: Estabilidade articular; Literatura de revisão; Mecanorreceptores/fisiologia; Propriocepção

ABSTRACT: Joint stability is traditionally defined as the perfect congruence among bones during movement; the components of such stability are often limited to related ligaments and muscles. Although these structures are the greatest joint stabilizers, motor-sensory integrity is fundamental for an efficient joint stability. In the last few years, studies have shown many proprioceptors in joint components that supply afferent peripheral information and are connected to the central nervous system levels involved in motor control, so as to maintain joint stability. The present review – of book chapters and articles found in Medline and Lilacs databases – sought to identify structures and the physiology of the joint motor-sensory system, as well as the levels of joint proprioception motor control, so as to define the role of the motor-sensory system in joint stability. In spite of a large number of studies, it is still uncertain how and where the motor-sensory system exactly acts in joint stability. Physical therapy is scarcely reported by studies and there is not a clear demonstration of its contribution to joint proprioceptive capacity recovery when joint is injured or undergoes surgery.

KEY WORDS: Joint stability; Mechanoreceptors/physiology; Proprioception; Review literature

INTRODUÇÃO

Nossa capacidade de saber (conscientemente ou inconscientemente) onde nossos membros se encontram no espaço quando são movimentados, bem como de conhecer as forças geradas pelos músculos, provém de receptores localizados nos músculos, pele e nas articulações. Essas percepções sensoriais, Juntas, são conhecidas como capacidade proprioceptiva.

A palavra propriocepção foi introduzida por Sherrington¹. Deriva do latim proprius, significando “de si mesmo”, e refere-se aos processos sensoriais envolvidos na apreciação da postura e do movimento.

Para Riemann e Lephart², a propriocepção predomina como o termo mais errôneo no âmbito do sistema sensório-motor. Tem sido incorretamente usado como sinônimo dos termos cinestesia, sentido de posição articular, somatossensação, equilíbrio e estabilidade articular reflexa. Esses pesquisadores consideram o termo somatossensorial mais global, pois inclui todos os mecanorreceptores, termorreceptores e informações dolorosas da periferia. A apreciação consciente da informação somatossensorial leva à sensação de dor, temperatura, tato e às sensações conscientes das submodalidades de propriocepção.

Sherrington¹ traduz a propriocepção como um termo usado para a regulação da postura total (equilíbrio postural) e postura segmentar (estabilidade articular), como também para o início de muitas sensações periféricas conscientes (sentidos musculares). Portanto, a propriocepção corretamente descreve a informação aferente originada de áreas periféricas internas do corpo, que contribuem para o controle postural e estabilidade articular.

Nos últimos anos, estudos têm demonstrado grande quantidade de proprioceptores nos componentes estáticos e dinâmicos, que fornecem informações aferentes periféricas relacionadas à direção do movimento,

velocidade e posição articular para o sistema nervoso central (SNC), o qual por sua vez converte essas informações em comandos musculares adequados à execução das tarefas motoras.

Este estudo consiste na revisão da literatura acerca das estruturas e da fisiologia envolvidas no sistema sensório-motor articular e da discussão de seu papel para a estabilidade articular.

METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão de livros e artigos indexados nas bases de dados Pubmed/ Medline e Lilacs, nos idiomas inglês e português. Para a busca foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: propriocepção (*proprioception*), mecanorreceptores (*mechanoreceptors*), sistema sensório-motor (*sensorimotor system*) ou controle motor (*motor control*). Foram selecionados 31 artigos e 10 capítulos de livros que caracterizassem e/ou discutissem o sistema sensório-motor articular.

RESULTADOS

Os estudos selecionados são apresentados segundo sua abordagem focalize as bases fisiológicas, os níveis de controle motor do sistema sensório-motor articular e o papel da propriocepção na estabilidade articular.

Bases fisiológicas do sistema sensório-motor articular

Considerando a percepção consciente da propriocepção, esta pode ser subdividida em dois tipos: (1) sentido de posição estática, que significa a percepção consciente da orientação das diferentes partes do corpo, umas em relação às outras; e (2) o sentido da velocidade do movimento, também chamado de cinestesia ou de propriocepção dinâmica³. Os dois termos são muitas vezes tratados como sinônimos e são usados freqüentemente para cobrir todos os aspectos dessa percepção, quer estática quer dinâmica⁴.

A avaliação da propriocepção consciente tem conduzido, incontestavelmente, à maioria das confusões a respeito da interpretação desse tipo de propriocepção em indivíduos suspeitos de terem decréscimo da informação proprioceptiva, originada de fontes articulares, seguida de lesão ortopédica e traumatológica. É necessário ter cautela para diferenciar entre as fontes de propriocepção (musculares, cutâneas ou articulares) e as sensações conscientes de propriocepção².

As informações proprioceptivas inconsciente são críticas para os ajustes dos movimentos articulares⁵. Essas informações servem para que certas áreas do SNC atuem nos movimentos que estão acontecendo e em seu planejamento, para ajustar o tônus, força muscular e a amplitude dos movimentos⁶.

Os sinais proprioceptivos são gerados em vários tipos de receptores sensitivos que residem nos músculos, tendões, fâscias, articulações (cápsula e ligamentos) e pele em resposta aos movimentos do corpo e à tensão nessas estruturas^{4,7}.

Esses receptores sensitivos, denominados mecanorreceptores, funcionam como transdutores biológicos, capazes de converter a energia mecânica da deformação física em potenciais de ação nervosos que geram informações proprioceptivas⁸. Um aumento da deformação é codificado por um aumento na descarga aferente ou pelo aumento do número de receptores ativados. Esses sinais fornecem informações sensoriais sobre as forças internas e externas que estão atuando na articulação, nos músculos e tendões⁹.

Embora a descarga dos receptores varie de acordo com a distorção mecânica, os mecanorreceptores também podem basear-se em sua velocidade de descarga. Os receptores de adaptação rápida param de enviar descargas logo após o início do estímulo, ao passo que os receptores de adaptação lenta continuam a emitir descarga enquanto o estímulo estiver presente. Uma vez estimulados, os mecanorre-

ceptores são capazes de se adaptar. Com a estimulação constante, a frequência dos impulsos neurais diminui⁸.

Os mecanorreceptores das articulações respondem à deformação mecânica da cápsula e dos ligamentos. As terminações de Ruffini, encontradas na cápsula articular, são ativadas em todas as posições articulares, mesmo em repouso, sendo mais sensíveis à movimentação passiva que ativa. São consideradas receptores estático e dinâmico, segundo suas características de baixo limiar e adaptação lenta. Os corpúsculos pacinianos respondem ao movimento dinâmico, pois são inativos no repouso, mas ativos assim que iniciado o movimento. São receptores de baixo limiar e adaptação rápida. Os receptores do ligamento são semelhantes aos órgãos tendinosos de Golgi, sinalizando tensão. Têm moderado limiar mecânico e adaptação lenta. Terminações nervosas livres são estimuladas mais frequentemente por estímulos nocivos, sendo receptores de adaptação lenta e moderado limiar mecânico^{2,4,7}. Os aferentes associados aos receptores articulares são:

- receptores dos ligamentos – fibras nervosas Ib;
- terminações de Ruffini e Pacini – fibras nervosas II;
- terminações nervosas livres – fibras nervosas Ad e C.

A distribuição desses receptores não é uniforme numa articulação, podendo refletir a localização de pressões durante o movimento. Alguns pesquisadores consideram que a maioria dos receptores articulares são ativados próximo à amplitude completa do movimento e, por essa razão, não produzem um sinal inteligível relacionado à posição da articulação e cinestesia^{1,6}. Essas propriedades da resposta sugerem que os receptores articulares podem funcionar como detectores de limite, cujo papel é sinalizar posições de extrema amplitude da articulação e, ao fazerem isso, previnem a lesão articular¹⁰. Essas afirmações contradizem algumas técnicas

de avaliação proprioceptiva do joelho após a ruptura ou cirurgia para reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA), já que estas avaliam a sensibilidade de posição articular em toda sua amplitude de movimento.

Outros pesquisadores^{6,11} relatam que muitos receptores articulares individuais são ativados em toda amplitude de movimento; assim, essas informações aferentes sobem até o córtex cerebral e contribuem para a percepção da posição articular no espaço.

Adachi *et al.*¹² relataram a contribuição dos mecanorreceptores LCA para o senso de posição articular. Os autores avaliaram o senso de posição articular em sujeitos com lesão LCA três dias antes da cirurgia de reconstrução ligamentar. Durante a cirurgia, recolheram o retalho remanescente do LCA e posteriormente fizeram uma análise histológica. Os resultados demonstraram que os sujeitos com uma população maior de mecanorreceptores no retalho do LCA tiveram melhor percepção da posição articular.

Riemann e Lephart¹⁰, em 2002, numa revisão de literatura sobre esse tópico, encontraram estudos com modelos animais mostrando que os mecanorreceptores localizados na cápsula articular não parecem ser suficientemente estimulados através dos quadrantes de movimento para contribuírem substancialmente para a informação proprioceptiva consciente, especialmente se comparados aos impulsos originados de receptores musculares. Mas os autores alertam que essas evidências foram coletadas durante movimentos passivos, e pesquisas têm reportado aumento na taxa de trabalho dos receptores articulares durante movimentos ativos. Para Riemann e Lephart¹⁰, a demonstração da existência de projeções para áreas corticais sensoriais e a percepção consciente depois de uma estimulação direta no receptor é necessária na determinação da fonte predominante da propriocepção consciente.

Desse modo, a fonte predominante ou as fontes que contribuem para a propriocepção consciente permane-

cem abertas para debate. Parte da controvérsia pode residir nos diferentes métodos usados pelos pesquisadores. Contudo, a plena propriocepção depende dos fusos musculares, dos receptores articulares e dos mecanorreceptores cutâneos. Essa redundância reflete, provavelmente, a importância da propriocepção para o controle do movimento.

Níveis de controle motor da propriocepção articular

Os componentes do sistema somatossensorial que contribuem para a estabilidade dinâmica articular correspondem às áreas que modulam o controle motor do corpo inteiro. Esses componentes consistem em um eixo central e se dividem em três níveis de controle motor – medula espinhal, tronco cerebral, córtex cerebral – e duas áreas associativas – cerebelo e núcleos da base –, responsáveis pela modulação dos comandos motores².

As áreas do eixo central são organizadas de forma hierárquica e em paralelo. A organização hierárquica segue a área motora mais baixa no controle automático de atividades motoras comuns, enquanto os centros superiores podem ativar meios para controlar as atividades motoras precisas e ágeis. Além disso, os níveis superiores podem regular a informação aferente, influenciando-as por meio de controles inibitórios e facilitatórios sobre os núcleos sensoriais supridos^{1,2,5}.

A ativação de neurônios motores pode ocorrer em resposta direta a impulsos sensoriais periféricos (reflexos) ou comandos descendentes iniciados no tronco cerebral ou no córtex, ou ambos. Independente da fonte inicial, a ativação muscular ocorre pela convergência de sinais de neurônios motores localizados na coluna ventral da medula^{2,5}. Hierarquicamente, o nível medular opera com um papel integrativo no controle motor².

Um estudo de Solomonow e Krogsgaard¹³ mostra que a inervação

ascendente e espinhal dos mecanorreceptores nas várias estruturas do joelho termina na medula espinhal. Conexões sinápticas são amplas para interneurônios na coluna dorsal da medula com conexão sináptica final para os neurônios motores associados com a musculatura. Esse arranjo anatômico permite aos mecanorreceptores elicitar vários reflexos¹³.

Shumway-Cook e Woollacott⁶ relatam uma pesquisa de Griller em 1960, que conduziu experimentos nos quais se seccionaram as raízes dorsais da medula espinhal de gatos, a fim de eliminar as informações aferentes da periferia. A medula espinhal foi estimulada e conseguiram ativar o padrão neural locomotor. Essa pesquisa demonstrou que baixos índices de estimulação repetitiva produzem a marcha; índices mais altos, um trote; e os máximos, um galope. Isso sugere que movimentos complexos, como a locomoção, podem ser produzidos no nível da medula espinhal sem as influências ou as informações aferentes supra-espinais.

Em adição aos reflexos medulares, há projeções ascendentes que trafegam em paralelo à medula e terminam sobre várias estruturas do tronco e córtex cerebral¹³. As informações sensoriais chegam às estruturas supra-espinais, alcançando o nível consciente. Essas vias foram demonstradas experimentalmente pelo uso de microestimulação de aferentes individuais em humanos¹⁴. Através desse arranjo em paralelo, cada centro de controle motor pode diretamente emitir contribuição independente aos comandos motores descendentes, diretamente sobre os motoneurônios^{2,6}.

As áreas do tronco encefálico regulam e modulam diretamente a atividade motora com base na integração da informação sensorial das fontes visuais, vestibular e somatossensorial. Através dos tratos medial e lateral, levam informação descendente para a medula espinhal². O tronco encefálico desempenha uma função importante para o controle postural. Um exemplo seriam as reações geradas

quando um forte som é produzido atrás de alguém: mesmo antes de se tornar consciente esse estímulo, os olhos e a face se voltam para o som e os ajustes posturais sustentam esse movimento¹⁵.

O córtex cerebral é responsável pela interpretação do estímulo sensorio, início e controle dos movimentos voluntários. O córtex somatossentivo é uma área importante de processamento para todas as modalidades somatossentivas e marca o início da consciência do movimento articular. No córtex somatossentivo são integradas as informações dos receptores articulares, dos fusos musculares e dos receptores cutâneos, para nos dar informações sobre o movimento em uma determinada área do corpo⁶.

As diferentes áreas do córtex motor são especializadas no desempenho de diferentes funções¹⁶. O córtex motor primário recebe informações aferentes sensoriais de muitas vias e é responsável pelo processamento de informações cinéticas, ou seja, pela ativação e força muscular, e também pela velocidade necessária para desempenhar o movimento desejado. A área pré-motora também recebe impulsos sensoriais; entretanto, está mais envolvida com a organização e preparação do comando motor. A área suplementar tem um papel importante no planejamento de seqüências complexas de movimentos que envolvem vários grupos musculares^{2,6,16}. Então, podemos supor que essas áreas do córtex motor participam do planejamento e comando motor, convertendo informações sensoriais relacionadas à direção do movimento, velocidade e posição articular para estabelecer comandos musculares adequados à execução das tarefas motoras.

Duas outras áreas associativas do centro superior do controle motor, apesar de não poderem iniciar de forma independente a atividade motora, são essenciais para a execução coordenada do controle motor. A percepção final do que está ocorrendo no ambiente que nos rodeia é atingida depois que todas essas sensações são integradas e interpretadas pelas áreas

de associação adjacentes e várias áreas sensoriais ligadas aos diferentes tipos de aferências sensoriais⁸.

O cerebelo, que opera inteiramente num nível subconsciente, tem o maior papel no planejamento e modificação das atividades motoras, comparando o movimento pretendido com o movimento realizado^{2,6}. No cerebelo, os estímulos proprioceptivos chegam através do trato espinocerebelar, que emite informações sobre o comprimento muscular, a velocidade de estiramento, força aplicada, formando a sensibilidade proprioceptiva inconsciente. Por outro lado, outras duas vias espinocerebelares são especializadas para fornecer ao cerebelo retroalimentação (feedback) sobre a atividade nos interneurônios espinhais e nos tratos motores descendentes. Essas vias do trato espinocerebelar nunca alcançam o córtex sensorial, sendo portanto subconscientes. O cerebelo utiliza informação proprioceptiva na manutenção e coordenação do movimento, elicitando reflexos e facilitando a precisão e controle muscular^{5,13}.

Os gânglios da base conectam-se com o córtex pelo tálamo. Esses núcleos não recebem somente impulsos do córtex motor e sensorial, mas sim de todo o córtex². Os gânglios da base participam da comparação entre a informação proprioceptiva e os comandos para o movimento, para definir a seqüência do movimento e para regulação do tônus e da força muscular. Hallet¹⁵ propôs que a função dos gânglios da base seria de inibir sinergias motoras específicas pela via direta da circuitaria, enquanto a via indireta inibiria outras sinergias.

Papel da propriocepção no controle motor para estabilidade articular

As informações sobre a posição, velocidade e direção dos movimentos das articulações e do corpo são importantes fatores para manter o controle postural¹⁷.

O processo de manutenção da estabilidade articular é realizado pela

relação complementar entre os componentes estáticos e dinâmicos. Ligamentos, cápsula articular, cartilagem, atrito e geometria óssea dentro da articulação compõem os elementos estáticos. A contribuição dinâmica resulta dos controles de antecipação (feedforward) e retroalimentação (feedback) sobre os músculos que atravessam a articulação. A eficácia das restrições dinâmicas não só se caracteriza pelas propriedades físicas e biomecânicas da articulação, que incluem força, resistência (endurance) e alongamento muscular, mas também pelo sistema sensorio-motor intacto².

O controle neuromuscular é a base para todas as atividades motoras, especialmente em relação à eficácia das restrições dinâmicas na contribuição do desempenho ao se realizar uma determinada ação. Riemann e Lephart², na perspectiva da estabilidade articular, definem o controle neuromuscular como a ativação inconsciente das restrições dinâmicas que ocorrem na preparação e na resposta ao movimento e sobrecarga articular, com o propósito de manter e restaurar a estabilidade articular. Lephart *et al.*⁹ o definem como sendo a resposta eferente do músculo, que transforma informações neurais em energia física.

A informação proprioceptiva disparada pelos receptores articulares e musculares desempenha um papel integrante no controle neuromuscular que, numa tarefa simples, sofre constantes revisões e modificações, baseadas na integração e análise do impulso sensorial, comando motor eferente, resultando assim, nos movimentos².

Porém, “apesar do avanço científico e tecnológico de que atualmente dispomos para analisar o comportamento motor, muitas dúvidas ainda permanecem sem respostas, frente à complexidade que constitui a ação motora”¹⁷.

Durante o ato de se aproximar de um objeto ou, por exemplo, levantar uma caixa enquanto se caminha, uma grande quantidade de variáveis são geradas. Correspondem à velocidade

linear da extremidade que se move, trajetória linear, velocidade angular de cada articulação envolvida no ato, torque muscular gerado em cada articulação, torque de interação, entre outras¹⁷. Para ajustar o plano motor, provisões devem ser feitas para a marcha quando ocorrem alterações no ambiente externo (por exemplo, piso irregular) e no ambiente interno (mudanças no centro de massa devido à carga adicional). Essas provisões, que são estimuladas pelos receptores sensoriais, ocorrem em feedback – os mecanorreceptores detectam a alteração da superfície de apoio – e em *feedforward* – mudança precoce do centro de gravidade a partir de experiências prévias^{9,10}.

Misailidis¹⁷ sugere que, durante a execução de movimentos multiarticulares, devemos considerar a participação das forças de interação geradas pelos movimentos de uma articulação (focal) sobre a outra (não-focal), quando elas são interligadas no mesmo segmento corporal. Essas forças acabam gerando torques de interação, que tendem a perturbar o movimento articular das articulações não-focais. Dessa maneira, de algum modo esses torques devem ser compensados ou integrados durante um ato motor.

Essas perturbações dos movimentos articulares são percebidas pelos receptores sensoriais envolvidos na articulação, que fornecem informações ao SNC. Este último apresenta estruturas que participam do controle motor articular, como já descrito, convertendo as informações sensoriais em respostas dinâmicas para proteção articular e conseqüente melhor destreza nos movimentos.

Noble e Prentice¹⁸ realizaram um estudo sobre as adaptações dos membros inferiores submetidos a alterações mecânicas durante a marcha. O objetivo do estudo foi avaliar as alterações cinemáticas e cinéticas unilaterais dos membros inferiores de sujeitos saudáveis, quando foram adicionados, e posteriormente retirados, dois quilos na coxa dos sujeitos durante a marcha. Observaram que adição e retirada da

massa requerem um período de adaptação, até que a cinemática articular se normalize durante a marcha. Notaram que essa adaptação cinemática foi devida a alterações dos torques musculares dos músculos da coxa, joelho e tornozelo. Os autores concluíram que essas mudanças caracterizam uma resposta consistente para adaptar as alterações mecânicas durante a marcha e garantir a integridade da locomoção, para prevenir eventuais tropeços e quedas.

Para Lephart *et al.*⁹, o mecanismo de antecipação (*feedforward*) ou pré-ativação muscular, que prepara a articulação para movimentos e cargas que lhe serão impostas, vem se destacando quanto aos mecanismos envolvidos no controle motor. Afirmam que a pré-ativação muscular exerce diversas funções que contribuem para o sistema de estabilização dinâmica, por aumentarem os níveis de ativação muscular e, assim, a rigidez de toda a unidade musculotendínea. Esses aumentos na ativação e na rigidez muscular podem acentuar drasticamente a sensibilidade ao estiramento do sistema dos fusos musculares, enquanto reduz o retardo eletromecânico necessário para desenvolver a tensão muscular. O aumento da sensibilidade ao alongamento e da rigidez pode melhorar as capacidades reativas do músculo, por proporcionar retroalimentação adicional e por sobrepor os reflexos de estiramento aos comandos motores descendentes.

DISCUSSÃO

Muitos estudos têm demonstrado a importância dos mecanorreceptores no controle motor para a estabilidade articular. Com relação à articulação do joelho, para Solomonow e Krosgaard¹³ há evidências diretas de que os ligamentos também servem como um órgão sensorio-dinâmico, que dispara ou inicia atividade sinérgica muscular, em adição ao seu papel passivo de limitação do movimento dentro do alcance da estabilidade articular, prevenindo subluxação.

Em 1966, Freeman e Wyke¹⁹ já evidenciavam a importância dos receptores articulares. Realizaram um experimento onde seccionaram cirurgicamente os nervos articulares mediais ou posteriores dos gatos, causando uma desafereciação da articulação do joelho sem o desarranjo da estabilidade dinâmica. Após a cirurgia, os animais exibiam mudanças do plano motor supra-espinhal no controle dos movimentos voluntários. Dessa maneira, puderam constatar o quanto os mecanorreceptores localizados na articulação têm um papel fundamental no controle motor para o desempenho de uma atividade.

Têm surgido evidências da existência de reflexos musculoligamentares, através da estimulação elétrica e mecânica do LCA em joelho de animais e humanos²⁰⁻²⁶. A maioria dos estudos sugere que esse reflexo exista com a finalidade de aumentar a estabilidade articular, por meio das restrições dinâmicas, quando a articulação do joelho é exposta a sobrecargas, evitando assim lesão da articulação.

Solomonow e Krogsgaard¹³ exemplificaram esse mecanismo de regulação da estabilidade da articulação do joelho. Se o LCA é sujeito a grandes forças onde há um deslizamento anterior da tibia, além do limite fisiológico do ligamento, os receptores deste dispararão contração dos isquiotibiais, os quais o assistirão, prevenindo o citado deslizamento anterior e, por contração, puxam a tibia posteriormente.

Duhre-Poulsen e Krogsgaard²⁰ estudaram a atividade dos músculos da coxa em humanos após estimulação elétrica do LCA. Dos oitos pacientes avaliados, sete apresentaram visível contração dos músculos isquiotibiais. Para tanto, foram necessários no mínimo dois estímulos para evocar qualquer contração visível dos músculos isquiotibiais, pois um só estímulo não provocou qualquer resposta. Quando os músculos flexores do joelho foram isometricamente contraídos por ativação voluntária, as respostas mu-

daram para uma total inibição da atividade dos músculos isquiotibiais em todos os oito pacientes. A discussão dessa pesquisa baseou-se nas evidências de ambas influências, facilitatória e inibitória, sobre a atividade dos a-motoneurônios. A latência das respostas variou entre 65 e 95 ms, indicando que as respostas foram de origem reflexa e não voluntária. O fato de que no mínimo duas estimulações foram necessárias para produzir uma excitação ou inibição, quanto à longa latência, sugere que os reflexos foram polissinápticos, fornecendo ao SNC abundantes possibilidades para modular a atividade muscular. No repouso, impulsos elicitados no LCA produziram ativação dos músculos isquiotibiais, suportando a hipótese de uma automática sinergia LCA-isquiotibiais. Contudo, com estímulo de amplitudes de dois tempos do limiar sensorio, como usado no experimento, essa sinergia só foi presente durante o repouso, mudando para uma inibição durante a atividade motora.

A importância desse arco reflexo também é explicada por Johansson *et al.*¹¹, comparando a translação tibial anterior quando um sujeito realiza máxima contração isométrica dos músculos da coxa e quando os mesmos músculos estão relaxados. A contração causa aumento na estabilidade articular, sendo a translação tibial anterior bem menor se comparada à dos músculos relaxados. Porém, esses autores descrevem que esse arco reflexo é direcionado à trajetória do motoneurônio gama, contribuindo para a pré-programação do tônus dos músculos ao redor da articulação do joelho e assim, também, para a regulação da estabilidade articular.

Holm *et al.*²⁷ encontraram que os aferentes sensoriais dos tecidos viscoelásticos espinhais, como ligamentos, cápsula articular e disco intervertebral, são capazes de monitorar as informações proprioceptivas e cinestésicas. Seus estímulos são capazes de desencadear a contração reflexa dos músculos múltiplo e longíssimo espinhal para a estabilização articular local.

Entretanto, a aplicabilidade desses achados na fisiologia normal permanece especulativa e incerta. Em relação à estimulação mecânica, esta tem sido criticada como carga além da fisiológica. Contudo, mesmo assumindo que o reflexo musculoligamentar exista, uma questão é sua eficiência e contribuição à proteção articular, devido ao tempo de latência e à magnitude de resposta ineficaz, especialmente em comparação com os reflexos dos fusos musculares¹⁰.

Na prática clínica, a investigação da condição sensorio-motora de uma articulação lesionada ou tratada cirurgicamente tem sido realizada pela avaliação cinestésica ou do senso de posição articular²⁸⁻³⁴. Iwasa *et al.*²⁸ analisaram as alterações do senso de posição articular do joelho de pacientes submetidos à reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA), tendo-os avaliado antes e depois da cirurgia. Houve um decréscimo significativo do senso de posição articular antes da cirurgia, que permaneceu até seis meses de pós-operatório. Nas avaliações 18, 21 e 24 meses depois da cirurgia o senso de posição articular melhorou significativamente, concluindo que a restauração cirúrgica do LCA melhora a função proprioceptiva consciente da articulação do joelho. Mesmas conclusões obtiveram Birmingham *et al.*²⁹ e Barret³⁰ em seus respectivos estudos. Contudo, MacDonald *et al.*³¹, que avaliaram seus pacientes numa média de 24 meses de pós-operatório, e Newberg²¹, que avaliou numa média de 15 meses de pós-operatório, não encontraram em seus pacientes qualquer melhora do senso de posição articular nos joelhos com LCA reconstruído, usando como controle o joelho contralateral.

Barden *et al.*³² avaliaram, por meio de vídeo tridimensional, a capacidade de elevação do membro superior em indivíduos com instabilidade multidirecional do ombro, comparando-os com um grupo controle. Observaram que sujeitos com instabilidade multidirecional do ombro parecem ter reduzida a capacidade proprioceptiva para

refinar e controlar a ação motora de elevação do membro superior, quando comparados ao grupo-controle.

Pötzel *et al.*³³ estudaram a capacidade proprioceptiva do senso de posição articular pré e pós-operatória (de no mínimo 5 anos) de sujeitos com instabilidade anterior de ombro e grupo-controle. Seus resultados mostraram que após uma média de 5,9 anos, o senso de posição articular melhorou significativamente na flexão, abdução e rotação externa.

Cuomo *et al.*³⁴ avaliaram a propriocepção consciente, senso de posição articular e cinestesia em sujeitos com osteoartrite severa e artroplastia de ombro. Observaram que sujeitos com osteoartrite severa apresentavam grande deficit na propriocepção do membro, quando comparado ao contralateral e ao do grupo controle, e que seis meses após a artroplastia os resultados foram melhores, sem alteração da propriocepção.

A propriocepção na articulação do ombro também foi avaliada por Suprak *et al.*³⁵, que analisaram o senso de posição articular na flexão e elevação no plano escapular em ombros de sujeitos sem história de patologias nessa articulação. Os resultados não revelaram qualquer diferença na propriocepção entre os planos. A acuidade do senso de posição articular melhorou linearmente entre os ângulos de 30° e 90°, e entre 90° e 110° diminuiu. Os autores sugerem que o senso de posição articular pode melhorar com o aumento da atividade muscular.

Alterações no controle postural também foram investigadas em sujeitos com lesão do LCA. Bonfim e Barela³⁶ avaliaram a manutenção da postura ereta com apoio bipodal e unipodal, sobre uma plataforma de força, em sujeitos submetidos à reconstrução do LCA com tempo médio pós-cirúrgico de 19,6 meses. Os resultados revelaram uma alteração no equilíbrio postural no apoio unipodal sobre o membro submetido a reconstrução, comparados ao grupo controle. Concluíram que a

substituição do LCA por enxerto tem efeito sobre o controle postural em atividades de apoio unipodal sobre o membro acometido, o que parece ocorrer pela redução das informações somatossensoriais do joelho.

Henriksson e colaboradores³⁷ não tiveram os mesmos resultados em seus estudos. Avaliaram o controle postural de sujeitos com reconstrução do LCA, que se mostrou normal, comparado ao do grupo controle. Os sujeitos avaliados tinham uma média de 36 meses de pós-cirúrgico e todos passaram por um processo de reabilitação que incluía exercícios de estimulação proprioceptiva e treino de agilidade. Os autores concluíram que esses exercícios são importantes componentes na restauração da estabilidade funcional de joelho com ligamento reconstruído.

Estudos com teste de potencial evocado somatossensorial têm sido propostos para avaliar as projeções do sistema nervoso periférico e central quando os mecanorreceptores articulares são estimulados externamente^{38,39}. Em 1999, Valeriani *et al.*³⁸ avaliaram as anormalidades clínicas e neurofisiológicas antes e após a reconstrução do LCA. Usaram testes de senso da posição articular do joelho e potenciais evocados somatossensoriais com estimulação do nervo peroneal comum. Os resultados demonstraram que, antes da cirurgia os sujeitos apresentavam um deficit no senso de posição articular e ausência do potencial evocado cortical P27. Após a cirurgia (tempo mínimo de dois anos de pós-operatório) esses resultados se mantiveram. Os autores sugerem que a ausência do potencial P27 provavelmente indica reorganização do SNC pela perda dos inputs aferentes proprioceptivos. Entretanto essa reorganização do SNC não foi compensada por outras estruturas, já que o senso de posição articular não apresentou melhora.

Courtney *et al.*³⁹, em 2005, avaliaram as mudanças somatossensoriais centrais, por meio de teste de potencial

evocado somatossensorial, alterações na sinergia dos músculos da coxa e a cinestesia em sujeitos com lesão do LCA durante a marcha. Os sujeitos foram divididos em dois grupos, os que praticavam atividade física e os "adaptados" que não praticavam, mas mantinham boa força muscular. Nos resultados, observaram que os sujeitos que praticavam atividade física apresentavam alterações no potencial evocado somatossensorial (perda do potencial P27) e alterações no padrão de ativação neuromuscular (precoce ativação dos isquiotibiais e gastrocnêmio), quando comparados ao membro contralateral. Na conclusão, os autores sugerem que essas mudanças e o uso do membro em situações que provocam instabilidade da articulação pode capacitar a aprendizagem de uma alternada sinergia para minimizar a instabilidade e otimizar o nível de função.

A capacidade proprioceptiva de sujeitos com lesão ortopédica e traumatológica vem despertando cada vez mais interesse na prática clínica. Supõe-se que o treinamento proprioceptivo tem uma função positiva e deve ser incluído na recuperação de lesão ortopédica e traumatológica, tendo em vista os conceitos apresentados neste estudo, em que o sistema nervoso transforma as informações aferentes do mecanorreceptores articulares em atividade muscular sincronizada ao redor da articulação, garantindo sua estabilidade.

Em 2005, Fonseca *et al.*⁴⁰ mostraram em seu estudo que os sujeitos com lesão do LCA com boa força muscular e performance funcional não apresentavam défices na sensibilidade de posição articular, comparando tanto com o membro contralateral quanto com o grupo controle. Os autores concluíram que os mecanorreceptores localizados no LCA não contribuem efetivamente para a função proprioceptiva do joelho. Vale ressaltar que todos os sujeitos do estudo realizaram tratamento fisioterapêutico após a lesão.

Uma hipótese que pode ser levantada é a de que o tratamento fisioterapêutico com exercícios de estimulação proprioceptiva pode sensibilizar outros componentes sensoriais na articulação e músculos para suprir o *deficit* dos mecanorreceptores da estrutura lesionada, mantendo as informações necessárias para que o sistema nervoso atue na articulação sem prejuízos na performance funcional.

Numa revisão sistemática, Cooper *et al.*⁴¹ analisaram estudos que relatessem os efeitos dos exercícios de estimulação proprioceptiva em sujeitos com LCA ou no pós-cirúrgico de reconstrução desse ligamento. Foram analisados cinco estudos, sendo quatro feitos com sujeitos com lesão do LCA e um estudo em sujeitos com reconstrução. Encontraram algumas evidências de que os exercícios de estimulação proprioceptiva são eficazes em sujeitos com lesão do LCA. Os estudos analisados demonstraram melhora na sensibilidade de posição

articular, força muscular, autopercepção da função do joelho e nos testes de saltos. Contudo, os autores chamaram a atenção para o fato de que a revisão foi realizada com uma amostra pequena, pois poucos estudos abordam a intervenção desses exercícios, sugerindo a necessidade de mais pesquisas para avaliar se os exercícios de estimulação proprioceptiva são realmente benéficos.

Apesar do vasto interesse nas pesquisas em estudar o sistema sensório-motor articular, os resultados destas permanecem contraditórios, sem alcançar uma representação precisa das alterações proprioceptivas após uma lesão ou após intervenção cirúrgica. O acompanhamento fisioterapêutico é pouco relatado nas pesquisas, o que deve despertar interesse em novas pesquisas, para evidenciar se exercícios fisioterapêuticos específicos são capazes de contribuir para a recuperação da capacidade proprioceptiva da articulação lesionada ou submetida à cirurgia.

CONCLUSÃO

A presente revisão permite observar que a propriocepção articular tem um papel importante no que diz respeito ao controle motor, já que o sistema nervoso central converte as informações relacionadas à direção do movimento, velocidade e posição articular em comandos musculares adequados na execução das tarefas motoras.

O adequado funcionamento das estruturas sensório-motoras articulares deve ser objetivo de tratamento em pacientes com lesões periféricas, para possibilitar que o corpo mantenha a estabilidade estática e dinâmica necessária para que o indivíduo exerça suas atividades com o mesmo desempenho de antes da lesão, prevenindo recidivas e instalação de novas lesões.

Mais estudos devem ser incentivados para demonstrar a eficácia do tratamento fisioterapêutico para a recuperação da capacidade proprioceptiva em sujeitos com lesão ortopédica e traumatológica ou submetidos à intervenção cirúrgica.

REFERÊNCIAS

- 1 Jones L. Sentidos somáticos 3: propriocepção. In: Cohen H, editor. Neurociência para fisioterapeutas. 2ª ed. Barueri: Manole; 2001. p.111-29.
- 2 Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *J Athl Train.* 2002;37:71-9.
- 3 Guyton A, Hall J. Tratado de Fisiologia Médica. 10a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2002. p.504-15: Sensações somáticas I: organização geral; os sentidos do tato e da posição.
- 4 Smith LK, Weiss EL, Lehmkühl AD. Cinesiologia clínica de Brunnstrom. São Paulo: Manole; 1997. p.81-145: Aspectos de Fisiologia Muscular e Neurofisiologia,.
- 5 Lundy-Ekman L. Neurociência: fundamentos para a reabilitação. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2000. p.69-86: Sistema somato-sensorial.
- 6 Shumway-Cook A, Woollacott MH. Controle motor: teorias e aplicações práticas. Barueri: Manole; 2003. p.47-84: Fisiologia do controle motor.
- 7 Peccin MS, Pires L. Reeducação sensoriomotora. In: Cohen M, Abdalla RJ, editores. Lesões no esporte: diagnóstico, prevenção e tratamento. Rio de Janeiro: Revinter; 2003. p.405-8.
- 8 Voight M, Cook G. Controle neuromuscular deficiente: treinamento de reativação neuromuscular. In: Prentice WE, Voight ML. Técnicas em reabilitação musculoesquelética. Porto Alegre: Artmed; 2003. p.91-118.
- 9 Lephart SM. Como restabelecer o controle neuromuscular. In: Prentice WE, editor. Técnicas de reabilitação em medicina esportiva. 3ª ed. Barueri: Manole; 2002. p.88-106.
- 10 Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *J Athl Train.* 2002;37:80-4.
- 11 Johansson H, Sjölander P, Sojka P. A sensory role for the cruciate ligaments. *Clin Orthop.* 1991;268:161-78.
- 12 Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Iwasa J, Ryoike K, Kuriwaka M. Mechanoreceptors in the anterior cruciate ligament contribute to the joint position sense. *Acta Orthop Scand.* 2002;73:330-4.

Referências (cont.)

- 13 Solomonow M, Krogsgaard M. Sensorimotor control of knee stability: a review 2001. *Scand J Med Sci Sport*. 2001;11:64-80.
- 14 Sjölander P, Johansson H, Djupsjöbacka M. Spinal and supra spinal effects of activity in ligament afferents. *J Electromyogr Kinesiol*. 2002;12:167-76.
- 15 Lundy-Ekman L. Neurociência: fundamentos para a reabilitação. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2000. p.119-38: Sistema motor.
- 16 Lundy-Ekman L. Neurociência: fundamentos para a reabilitação. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2000. p.253-72: O cérebro.
- 17 Misailidis M. Qual o papel das informações proprioceptivas no ato motor? *Fisioter Bras*. 2002;3:389-92.
- 18 Noble JW, Prentice SD. Adaptation to unilateral change in lower limb mechanical properties during human walking. *Exp Brain Res*. 2006;169:482-95.
- 19 Freeman M, Wyke B. Articular contributions to limb muscle reflex: the effects of partial neurectomy of knee-joint on posture reflex. *Br J Surg*. 1966;53:61-8.
- 20 Duhre-Poulsen P, Krogsgaard MR. Muscular reflexes elicited by electrical stimulation of the anterior cruciate ligament in humans. *J Appl Physiol*. 2000;89:2191-5.
- 21 Wojtys EM, Huston LJ. Longitudinal effects of anterior cruciate ligament injury and patellar tendon autograft reconstruction on neuromuscular performance. *Am J Sports Med*. 2000;28:336-44.
- 22 Gómez-Barrena E, Nuñez A, Ballesteros R, Martinez-Moreno E, Munuera L. Anterior cruciate ligament reconstruction affects proprioception in the cat's knee. *Acta Orthop Scand*. 1999;70:185-93.
- 23 Jennings AG, Seedhom BB. Proprioception in the knee and reflex hamstring contraction latency. *J Bone Joint Surg [Br]* 1994;76B:491-94.
- 24 Miyatsu M, Atsuta Y, Watakabe M. The physiology of mechanoreceptors in the anterior cruciate ligament: an experimental study in decerebrate-spinalised animal. *J Bone Joint Surg [Br]* 1993;75-b:653-7.
- 25 Grabiner MD, Koh TJ, Millar GF. Further evidence against a direct automatic neuromotor link the ACL and hamstring. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24:1075-9.
- 26 Raunest J, Sager M, Bürgener E. Proprioceptive mechanisms in the cruciate ligaments: an electromyographic study on reflex activity in thigh muscles. *J Trauma*. 1996;41:488-92.
- 27 Holm S, Indahl A, Solomonow M. Sensorimotor control of the spine. *J Electromyogr Kinesiol*. 2002;12:219-34.
- 28 Iwasa J, Ochi M, Adachi N, Tobita M, Katsube K, Uchio Y. Proprioceptive improvement in knees with anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res*. 2000;381:168-76.
- 29 Birmingham TB, Kramer JF, Kirkley A, Inglis JT, Spaulding SJ, Vandervoort AA. Knee bracing after ACL reconstruction: effects on postural control and proprioception. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33:1253-8.
- 30 Barret DJ. Proprioception and function after anterior cruciate reconstruction. *J Bone Joint Surg*. 1991;73B:833-83.
- 31 Macdonald PB, Hedden D, Pacin O, Sutherland K. Proprioception following anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knee. *Am J Sports Med*. 1996;24:774-8.
- 32 Barden JM, Balyk R, Raso VJ, Moreau M, Bagnall K. Dynamic upper limb proprioception in multidirectional shoulder instability. *Clin Orthop*. 2004;420:181-9.
- 33 Pötzol W, Thorwesten L, Götze C, Garmann S, Steinbeck J. Proprioception of the shoulder joint after surgical repair for instability. *Am J Sports Med*. 2004;32:425-30.
- 34 Cuomo F, Birdzell MG, Zuckerman JD. The effect of degenerative arthritis and prosthetic arthroplasty on shoulder proprioception. *J Shoulder Elbow Surg*. 2005;14:345-8.
- 35 Suprak DN, Osternig LR, Van Donkelaar P, Karduna AR. Shoulder joint position sense improves with elevation angle in a novel, unconstrained task. *J Orthop Res*. 2006;24:559-68.
- 36 Bonfim TR, Barela JA. Controle postural após a reconstrução do ligamento cruzado anterior. *Fisioter Pesq*. 2005;11:11-8.
- 37 Henriksson M, Ledin T, Good L. Postural control after anterior cruciate ligament reconstruction and functional rehabilitation. *Am J Sports Med*. 2001;29:359-66.
- 38 Valeriani M, Restuccia D, Di Lazzaro V, Franceschi F, Fabbriani C, Tonali P. Central nervous system modifications in patients with lesion of the anterior cruciate ligament of the knee. *Brain*. 1996;119:1751-62.
- 39 Courtney C, Rine RM, Kroll P. Central somatosensory changes and altered muscle synergies in subjects with anterior cruciate ligament deficiency. *Gait Posture*. 2005;22:69-74.
- 40 Fonseca ST, Ocarino JM, Silva PL, Guimarães RB, Oliveira MC, Lage CA. Proprioception in individuals with ACL-deficient knee and good muscular and functional performance. *Res Sport Med*. 2005;13:47-61.
- 41 Cooper RL, Taylor NF, Feller JA. A systematic review of the effect of proprioceptive and balance exercises on people with an injured or reconstructed anterior cruciate ligament. *Res Sports Med*. 2005;13:163-78.