

ARTIGO DE REVISÃO

Métodos de avaliação dos movimentos escapulares durante a elevação dos membros superiores: uma revisão crítica da literatura

Methods of Assessment of Scapular Movements during Upper Limb Elevations: Literature Review

Cristina Danielli Coelho de Moraes Faria, Helen Cristina Penido, Luci Fuscaldi Teixeira-Salmela

RESUMO

Objetivo: Realizar uma revisão crítica da literatura sobre os métodos utilizados para avaliar os movimentos escapulares durante a elevação dos membros superiores (MMSS) e apontar as vantagens, desvantagens e limitações associadas a cada um deles. **Método:** Foram realizadas buscas nas bases de dados *MEDLINE*, *SCIELO*, *LILACS* e *PEDro* com combinação de palavras-chave relacionadas ao assunto. Os critérios de inclusão para os estudos foram: estar publicado nos idiomas português/espanhol/inglês/francês até o último dia do ano de 2005 e realizar a avaliação dos movimentos escapulares durante a elevação dos MMSS. Foi considerado como critério de exclusão a avaliação dos movimentos escapulares na posição de decúbito. **Resultados:** Foram encontrados 181 estudos diferentes e, após a verificação dos critérios estabelecidos, selecionaram-se 29 para análise, os quais foram agrupados em 4 categorias distintas: medidas bidimensionais estáticas, bidimensionais dinâmicas, tridimensionais estáticas e tridimensionais dinâmicas. Apesar da diversidade de métodos empregados na avaliação dos movimentos escapulares, ainda não existe um que tenha aplicabilidade clínica e seja capaz de fornecer medidas relacionadas à real cinemática escapular. Outro problema encontrado foi a ausência de padronização na nomenclatura utilizada para descrever os movimentos, planos e eixos. Além disso, os métodos tridimensionais dinâmicos com aplicabilidade em estudos científicos ainda apresentam importantes limitações, como elevado custo, treinamento de pessoal e erros de medidas que podem ser significativos na determinação de alterações da cinemática escapular. **Conclusão:** é essencial a padronização da nomenclatura dos movimentos e dos planos e eixos em que eles ocorrem e o desenvolvimento de métodos de análises funcionais completas com aplicabilidade clínica, confiáveis e válidos.

PALAVRAS-CHAVE

técnicas de diagnóstico e procedimentos, biomecânica, cinemática, membros superiores, ombro, escápula

ABSTRACT

Objective: To carry out a literature review on methods to assess scapular movements during upper limb elevation and point out their advantages, disadvantages, and limitations. **Methods:** The search was performed assessing *MEDLINE*, *SCIELO*, *LILACS* e *PEDro* databases with key words related to the subject. To be included, the studies would have to be published in Portuguese/English/Spanish/French until the last day of 2005 and have assessed scapular movement during upper limb elevation. The exclusion criterion included assessments in the decubitus position. **Results:** one hundred eighty-one different studies were found and after the verification of the established criteria, 29 were selected for the analysis, which were divided into four groups: bidimensional static, bidimensional dynamic, three-dimensional static and three-dimensional dynamic assessment methods. Despite the variety of assessment techniques, a method that shows clinical applicability and is able to carry out measurements related to the functional movements of the scapula is yet to be developed. Another problem found was the lack of standardization of the terminology regarding movements, planes and axes. Furthermore, the three-dimensional methods applicable to scientific studies showed important limitations, such as high cost, need for specialized human resources, and measurement errors, which could be significant when determining changes in scapular kinematics. **Conclusion:** It is essential to standardize the terminology used to describe scapular movements, planes and axes and to develop complete functional assessment methods with clinical applicability, reliability and validity.

KEYWORDS

diagnostic techniques and procedures, biomechanics, kinematics, upper limbs, shoulder, scapula

INTRODUÇÃO

A relação cinemática entre as articulações do complexo do ombro apresenta grande importância na função dos membros superiores (MMSS) e, por isso, é cada vez mais investigada e descrita, principalmente entre as articulações glenoumeral e escapulotorácica durante a elevação dos MMSS^{1,2,3}, relação classicamente denominada ritmo escapuloumeral^{2,4}. Além de colaborar com a grande amplitude de movimento (ADM) e permitir o mínimo de comprometimento da estabilidade dinâmica dos MMSS³, a movimentação da articulação escapulotorácica é considerada a melhor forma de analisar os movimentos que ocorrem nas articulações esternoclavicular e acromioclavicular³.

Observações clínicas sugerem que a maior parte das síndromes envolvendo o complexo do ombro surge de alterações da coordenação do movimento escapular⁵. Esses transtornos estão associados a diversas situações incapacitantes e podem levar a inatividade⁶ e comprometimento da qualidade de vida dos indivíduos⁷.

Pelos motivos apresentados, vários estudos sobre o posicionamento e a movimentação escapular durante a elevação dos MMSS, em diferentes condições clínicas, foram realizados^{1,8-12}. Neles, utilizaram-se métodos diversificados de avaliação do posicionamento e deslocamento escapular durante a elevação dos MMSS. Entretanto, devido a complexidade relacionada a essa avaliação, como a forma da escápula e a dificuldade de palpação das suas estruturas ósseas¹³, a sua ampla mobilidade de rotação e translação¹⁴ (diferentes direções, planos e eixos de movimento)¹³ e o seu movimento abaixo da pele, os resultados descritos são conflitantes. Para alguns, muitos desses estudos estão comprometidos devido às limitações dos instrumentos e métodos em atender toda a complexidade relacionada à análise. Tudo isso gera uma grande discussão na literatura sobre o assunto, e conseqüentemente, resulta em uma ausência de consenso², o que compromete a tomada de decisão clínica e o progresso científico da área.

OBJETIVO

Considerando: a) a relevância do completo entendimento do movimento funcional humano associado ao complexo do ombro para a elaboração do diagnóstico e da tomada de decisões clínicas⁵, principalmente no processo de reabilitação dos MMSS; b) a importância dos movimentos escapulares para a manutenção da integralidade desse complexo e para o desempenho funcional dos MMSS; e c) a diversidade e as particularidades dos métodos utilizados para a avaliação desses movimentos, os objetivos deste estudo foram: realizar uma revisão crítica da literatura sobre os métodos utilizados para avaliar os movimentos escapulares durante a elevação dos MMSS e apontar as vantagens, desvantagens e limitações associadas a cada um dos métodos descritos.

MÉTODO

Foram realizadas pesquisas nas bases de dados *MEDLINE*, *SCIELO*, *LILACS* e *PEDro*, com a finalidade de encontrar estudos

que utilizaram métodos de avaliação dos movimentos escapulares durante o movimento de elevação dos MMSS. Foi elaborada uma estratégia de busca para cada uma das bases de dados utilizando as seguintes palavras chaves combinadas: escápula (*scapula*) ou ritmo escapuloumeral (*scapulohumeral rhythm*) ou movimento escapuloumeral (*scapulohumeral motion*) ou movimento escapulotorácico (*scapulothoracic motion*) e cinemática (*kinematics*) ou biomecânica (*biomechanics*) ou movimento (*movement, motion*), ou análise (*analysis*) ou avaliação (*assessment or evaluation*) ou instrumentação (*instrumentation*).

Os critérios de inclusão dos estudos foram: ter sido encontrado pela estratégia de busca elaborada, estar publicado nos idiomas português, espanhol, inglês ou francês até o último dia do ano de 2005 e ter realizado a avaliação dos movimentos escapulares durante a elevação dos MMSS. Foi considerado como critério de exclusão a avaliação dos movimentos escapulares na posição de decúbito.

Para fazer a seleção dos estudos, segundo os critérios estabelecidos, foram utilizadas cinco etapas. A primeira consistiu de busca nas bases de dados selecionadas. Em seguida, foi realizada a segunda etapa, constituída pela seleção de todos os estudos publicados nos idiomas português, espanhol, inglês e francês. Na terceira etapa, foi realizada a leitura do título de todos os estudos selecionados na primeira por dois avaliadores independentes, determinados considerando dois critérios: ser fisioterapeuta e estar envolvido com pesquisas relacionadas aos movimentos escapulares durante a elevação dos membros superiores. Os avaliadores foram selecionados por conveniência e orientados a selecionar todos os artigos relacionados à avaliação dos movimentos escapulares. Todos os estudos selecionados por cada um dos avaliadores foram incluídos para a análise da quarta etapa, que consistiu da leitura dos resumos dos respectivos estudos pelas mesmas pessoas. A quinta e última etapa consistiu de leitura completa dos estudos selecionados na etapa anterior pelos mesmos examinadores, instruídos a descartar aqueles que realizaram a avaliação dos movimentos escapulares em posições de decúbito.

RESULTADOS

A pesquisa realizada retornou 181 estudos diferentes. Na segunda etapa da seleção, foram excluídos 34, na terceira etapa 106, restando, portanto, 41 estudos para leitura dos resumos. Após essa etapa, foram excluídos 3 estudos, restando, portanto, 38 para leitura completa e análise. Desses, seis estudos foram excluídos por não avaliarem movimentos escapulares durante a elevação dos MMSS, dois por realizarem a avaliação com o indivíduo posicionado em decúbito dorsal e um por não estar disponível por nenhum método de acesso disponível no Brasil até o desenvolvimento deste estudo. Dessa forma, esta revisão foi realizada com 29 estudos, os quais foram agrupados em quatro diferentes categorias: medidas bidimensionais estáticas (seis estudos), medidas bidimensionais dinâmicas (2), medidas tridimensionais estáticas (13) e medidas tridimensionais dinâmicas (10). Como em dois estudos foram utilizados dois métodos diferentes de avaliação, o total de estudos nas categorias foi de 31 (Quadro 1).

Quadro 1
Estudos Seleccionados para Análise.

Estudo – Método de avaliação
Medidas bidimensionais estáticas (seis estudos)
T'Jonck et al (1996) ¹⁸ – Medidas lineares – fita métrica
Doddy et al (1970) ¹⁷ – Goniometria
Endo et al (2001) ¹⁴ – Radiografia digitalizada
Johnson et al (2001) ¹⁵ – Inclínômetro digital modificado
Mandalidis et al (1999) ¹⁶ – Fluoroscopia digital
Bagg & Forrest (1988) ¹ – Filmagem de marcas ósseas em vídeo
Medidas bidimensionais dinâmicas (dois estudos)
Talkhani & Cormac (2001) ¹³ – Fluoroscopia em imagens de vídeo
Michiels & Grevenstein (1995) ¹⁹ – Radiografias dinâmicas
Medidas tridimensionais estáticas (treze estudos)
Warner et al (1992) ²⁰ – Técnica de Moiré
Ludewig et al (1996) ²¹ – Sistema eletromecânico
Barnett et al (1999) ²² – Sistema eletromagnético (Isotrak®)
Kebaetse et al (1999) ²³ – Sistema eletromecânico (Metrecom®)
Lukasiewicz et al (1999) ¹¹ – Sistema eletromecânico (Metrecom®)
Meskers et al (1999) ²⁴ – Sistema eletromagnético (Flock of Birds®)
Wang et al (1999) ²⁵ – Sistema eletromecânico (Metrecom®)
Price et al (2000) ²⁶ – Sistema eletromagnético (Polhemus®)
Hébert et al (2000) ²⁷ – Marcadores infravermelhos (Optotrak®)
de Groot & Brand (2001) ²⁸ – Imagem digitalizada (não cita o sistema)
Price et al (2001) ²⁹ – Sistema eletromagnético (Isotrak®)
Hébert et al (2002) ³⁰ – Marcadores infravermelhos (Optotrak®)
Vermeulen et al (2002) ³¹ – Sistema eletromagnético (Flock of Birds®)
Medidas tridimensionais dinâmicas (dez estudos)
Warner et al (1992) ²⁰ – Técnica de Moiré
Johnson et al (2001) ¹⁵ – Sistema eletromagnético (Polhemus FasTrak®)
McQuade et al (1998) ⁴ – Sistema eletromagnético (Polhemus FasTrak®)
McQuade & Smidt (1998) ² – Sistema eletromagnético (Polhemus FasTrak®)
Karduna et al (2000) ³² – Sistema eletromagnético (Polhemus FasTrak®)
Ludewig et al (2000) ¹⁰ – Sistema eletromagnético (Polhemus FasTrak®)
Borstad & Ludewig (2002) ³ – Sistema eletromagnético (Polhemus FasTrak®)
McClure et al (2004) ³³ – Sistema eletromagnético (Polhemus FasTrak®)
Borstad et al Ludewig (2005) ³⁴ – Sistema eletromagnético (Flock of Birds®)
Ebaugh et al (2005) ⁷ – Sistema eletromagnético (Polhemus FasTrak®)

Medidas bidimensionais estáticas

Na revisão realizada, foram encontrados seis estudos^{1,14-17} que utilizaram métodos de medidas bidimensionais do posicionamento escapular em determinadas amplitudes do movimento de elevação dos MMSS. Um método simples de avaliação do movimento de abdução escapular foi aplicado no estudo de T'Jonck *et al*¹⁸. Utilizando-se de uma fita métrica, a abdução escapular foi determinada pela razão entre a distância linear do processo inferior do acrômio à terceira vértebra torácica e a distância linear do processo inferior do acrômio à borda medial da escápula. Todas as medidas foram realizadas com o indivíduo assentado e o membro superior mantido a 0°, 45° e 90°. A confiabilidade intra-examinador do método foi maior para as posições de 0 e 45° (CCI entre 0,78 e 0,90) e menor para a posição de 90° (CCI entre 0,3 e 0,55). A confiabilidade in-

ter-examinador foi, na sua maioria, baixa, com valores moderados para a posição de 45° (CCI entre 0,53 e 0,65)¹⁸.

O goniômetro foi utilizado em um estudo e permitiu a determinação simultânea de ângulos escapulares e glenoumerais¹⁷. O movimento escapular avaliado não foi relatado, mas pudemos inferir que foi determinado o ângulo de rotação superior da escápula.

Endo *et al*¹⁴ avaliaram os movimentos de rotação superior e rotação axial da escápula pelo uso de radiografias no plano ântero-posterior (AP) seguido de digitalização das imagens dos filmes de raio-x, em um computador, com a utilização de um *scanner*.

Johnson *et al*¹⁵ modificaram um inclinômetro digital para obter medidas bidimensionais do movimento de rotação superior da escápula. Mandalidis *et al*¹⁶ utilizaram a fluoroscopia digital, conectada a um processador e a um *scanner*, sendo os ângulos de elevação de interesse determinados pela utilização de um goniômetro universal. Não foi reportado o movimento escapular especificamente avaliado, mas pela interpretação das medidas reportadas, pudemos inferir que foi determinado o ângulo de rotação superior.

Finalmente, Bagg & Forrest¹ utilizaram um método de filmagem de marcas ósseas. A cada posição, marcas anatômicas foram cuidadosamente localizadas, marcadas e filmadas. A análise do filme foi realizada pela digitalização das imagens em um analisador de movimentos seguida de processamento dos dados em um programa de computador¹.

Medidas bidimensionais dinâmicas

As medidas bidimensionais dos movimentos escapulares também foram realizadas dinamicamente por métodos que utilizaram a emissão de radiação^{13,19}. Talkhani & Cormac¹³ aplicaram a fluoroscopia, exibida e gravada em vídeo em tempo real, durante o movimento de elevação completa. As imagens de vídeos foram capturadas e editadas com o auxílio de um programa computacional, o que permitiu a utilização de seqüências de imagens estáticas para os cálculos dos movimentos de interesse. Os autores não especificaram o movimento escapular avaliado e determinaram a angulação do movimento a partir da diferença entre o ângulo escapular no início e no final da fase de elevação¹³, o que nos levou a inferir medida de rotação superior da escápula. Michiels & Grevenstein¹⁹ utilizaram uma seqüência de raios-x do complexo do ombro, obtida durante o movimento de elevação, associada a um sistema de processamento e digitalização da imagem em tempo real. O estudo não especificou o movimento escapular específico que foi avaliado, porém pudemos inferir a avaliação do movimento de rotação superior pela forma como foi descrita a análise dos ângulos.

Medidas tridimensionais estáticas

Foram encontrados 13 estudos^{11,20-31} que aplicaram métodos de medidas tridimensionais da posição escapular, em determinadas amplitudes do movimento de elevação dos MMSS. Todos utilizaram imagens digitalizadas das referências anatômicas.

Desses estudos, quatro empregaram um sistema digitalizador eletromecânico tri-dimensional, computadorizado. Basicamente, as

etapas seguidas para a coleta dos dados foram: estabelecimento do sistema de referência global, palpação e digitalização das marcas anatômicas selecionadas nos momentos de interesse. Os dados foram gravados em um computador para posterior determinação dos ângulos em três dimensões. O sistema *Metrecom*® foi usado em três estudos^{11,23,25} e consiste de braços articulados com potenciômetros conectados a um computador com um programa capaz de converter as medidas obtidas em coordenadas X, Y e Z, definindo, assim a posição dos pontos digitalizados. Para a realização do estudo de Ludwig *et al*²¹, foi fabricado um instrumento, com funcionamento baseado na digitalização eletromecânica tri-dimensional, a partir de informações fornecidas por um potenciômetro em pêndulo. A conversão dos dados também foi realizada por um programa computacional, desenvolvido para a realização do estudo²¹.

Sistemas com tecnologia eletromagnética para capturar os movimentos escapulares em três dimensões durante posições mantidas foram utilizados por sete estudos. Esses sistemas consistiram, basicamente, de sensores cujas posições foram captadas no campo eletromagnético emitido por um transmissor. Posteriormente, as coordenadas tridimensionais desses sensores foram calculadas por um programa computacional. A coleta dos dados compreendeu a definição das marcas ósseas utilizadas, o posicionamento dos sensores nos pontos anatômicos para calibração do sistema de coordenadas locais e para a coleta dos dados nas posições desejadas. Um dos sistemas empregados foi o *Flock of Birds*®, cujos sensores foram acoplados a um equipamento de forma triangular para facilitar a localização das referências ósseas escapulares estabelecidas previamente^{24,31}. Outro sistema utilizado foi o *IsotrakII*®, cujos sensores foram posicionados no *Scapular Locator System*, instrumento triangular fornecido pelo fabricante especificamente para permitir a palpação e determinação fixa das estruturas ósseas da escápula^{22,29}. Além desses, um terceiro sistema eletromagnético foi utilizado por um dos estudos, o *Polhemus*®, que também apresenta um *Locator*²⁶.

De Groot & Brand²⁸ utilizaram um sistema digitalizador de imagens referentes a marcas ósseas. Entretanto, os autores não especificaram as características desse sistema.

Dois estudos realizados por Hébert *et al*^{27,30} no qual utilizaram imagens digitalizadas de pontos anatômicos obtidas com o sistema *Optotrak*®. Marcadores infravermelhos foram posicionados em pontos anatômicos específicos e as imagens capturadas nos momentos de interesse foram digitalizadas e processadas em um computador. Para guiar a localização dos pontos escapulares a serem marcados, foi utilizado um aparato triangular com braços fixos, desenvolvido para a realização dos estudos.

A outra metodologia utilizada para a análise tri-dimensional estática dos movimentos escapulares foi baseada na biostereometria: a técnica de topografia de Moiré. Consistiu de um efeito ótico produzido quando o indivíduo foi posicionado atrás de uma grade com linhas horizontais e iluminado por uma fonte de luz. A linha sombreada foi projetada pela grade, segundo a topografia do indivíduo, formando padrões de franjas que apareceram como linhas de contorno, as quais refletiam a assimetria da área escapulotorácica. As áreas assimétricas foram identificadas pela inspeção visual e

as diferenças entre os pontos das franjas opostas, equidistantes da linha média, foram determinadas por comparação²⁰.

Medidas tridimensionais dinâmicas

Foram encontrados 10 estudos^{2,4,8-10,15,20,32-34} que utilizaram métodos capazes de fornecer informações em três dimensões dos movimentos escapulares durante a elevação dinâmica dos MMSS. Desses, nove utilizaram sistemas com tecnologia eletromagnética.

O sistema mais utilizado (oito estudos) foi o *Polhemus Fas-Trak*®^{2,4,8-10,15,32,33}, um digitalizador e receptor de movimentos em três dimensões, com seis graus de liberdade, capaz de computar, em tempo real, as posições e as orientações de pequenos receptores localizados no espaço, os quais captavam sinais eletromagnéticos emitidos por um transmissor, geralmente colocado em uma base estacionária^{2,4,8-10,15,32,33}.

O outro sistema com tecnologia eletromagnética utilizado por um dos estudos foi o *Flock of Birds*®, descrito anteriormente, acrescido de sensores *miniBird*®³⁴, com seis graus de liberdade, capazes de fazer captura instantânea da posição e orientação do movimento, em três dimensões, a partir de sinais eletromagnéticos emitidos por um transmissor.

A outra tecnologia utilizada para a análise tridimensional dinâmica dos movimentos escapulares foi baseada na técnica de topografia de Moiré, descrita no tópico anterior, com a obtenção de uma foto das franjas formadas no momento de interesse para posterior descrição²⁰.

DISCUSSÃO

Diferentes métodos foram apresentados na literatura para avaliação dos movimentos escapulares durante a elevação dos MMSS. A primeira grande diferença entre esses métodos está relacionada à quantidade de informações que são fornecidas: os métodos bidimensionais não descrevem todos os movimentos que ocorrem na escápula durante a elevação dos MMSS. Se por um lado já está estabelecido que esses movimentos são tridimensionais e, portanto, a sua análise completa deve ser realizada quando o objetivo é avaliação funcional dos MMSS durante a elevação, por outro, grandes dificuldades, discutidas anteriormente, são encontradas na realização dessa avaliação. Por isso, alguns estudos ainda apresentam resultados de avaliações bidimensionais, sendo observados esforços para o estabelecimento de validade e confiabilidade desses métodos.

A segunda grande diferença entre esses métodos está relacionada a forma de descrição: informações de posicionamento estático ou de deslocamento dinâmico. Condições mantidas estaticamente, que podem ocorrer durante atividades funcionais realizadas com o ombro em posições estáticas²⁵, não representam um padrão de movimento funcional contínuo¹¹, e, portanto, resultados de avaliações estáticas não podem ser generalizadas para atividades dinâmicas³⁰, apesar de alguns autores afirmarem que, em determinadas situações, como na elevação dos MMSS sem carga¹⁷, inferências podem ser

feitas, sem grandes problemas, sobre padrões dinâmicos a partir de avaliações estáticas^{11,17}.

Um dos instrumentos mais simples e de grande aplicabilidade clínica para avaliação dos movimentos articulares é o goniômetro. Apesar de a validade e a confiabilidade da técnica goniométrica serem descritas na literatura³⁵, o único estudo encontrado utilizando esse instrumento¹⁷ não citou essas propriedades para as medidas escapulares, o que gera uma outra limitação para o método, além do fato de ser uma análise bidimensional e estática. Por outro lado, um instrumento, de simplicidade similar e de fácil aplicação clínica, a fita métrica, foi aplicado em um estudo e se apresentou com confiabilidade intra-examinador satisfatória para a maior parte das medidas¹⁸. Entretanto, a validade do método não foi investigada. Além disso, as medidas são estáticas e fornecem informações apenas da abdução escapular.¹⁸

O inclinômetro, um instrumento de mão utilizado para medir a inclinação de segmentos com referência ao plano horizontal¹⁵, também muito utilizado na prática clínica^{36,37}, foi empregado em um dos estudos para avaliar os movimentos escapulares¹⁵. Com o objetivo de validar um método de medida bi-dimensional dos movimentos escapulares, clinicamente aplicável, Johnson *et al* adaptaram um inclinômetro digital designado para ter acurácia de 0,1°, e compararam as suas medidas estáticas com as medidas, tanto estáticas quanto dinâmicas, fornecidas por um equipamento eletromagnético de captura de movimento com validade descrita na literatura. A confiabilidade intra-examinador (3,1) das medidas fornecidas pelo inclinômetro variou entre 0,89 e 0,96, aumentando com maior elevação umeral, e foi demonstrada boa validade de critério, sendo, esta, melhor para as medidas estáticas do equipamento eletromagnético ($r=0,59-0,92$) do que para as medidas dinâmicas ($r=0,59-0,73$), com o erro padrão de medida menor que 3°¹⁵. Apesar de ter sido o primeiro estudo a comparar um método bidimensional, aplicável clinicamente, a um método tri-dimensional¹⁵, os resultados se restringiram ao movimento de rotação superior da escápula.

Técnicas com emissão de radiação foram aplicadas para análises bidimensionais tanto estáticas^{14,16} quanto dinâmicas^{13,19}. Endo *et al*¹⁴ afirmaram ter desenvolvido um método simples e acurado para avaliar movimentos escapulares bidimensionais baseado em radiografias digitalizadas em um computador. A análise da confiabilidade intra-examinador demonstrou boa reprodutibilidade do método e as medidas obtidas foram comparáveis¹⁴ a de um outro estudo¹¹ que utilizou análise tri-dimensional estática com equipamento eletromecânico. Michiels & Grevenstein¹⁹ utilizaram um equipamento de raio-x. acoplado a um sistema de processamento e digitalização de imagens em tempo real, o que permitiu análise bi-dimensional dinâmica do movimento, mas não mencionaram as propriedades psicométricas do método. A fluoroscopia digital, uma outra forma de radiação, foi empregada tanto para análise bi-dimensional estática¹⁶ quanto dinâmica¹³. Uma das suas vantagens, quando comparada ao raio-x, é o baixo nível de radiação¹³. A técnica aplicada estaticamente demonstrou ser acurada e confiável¹⁶, mas, para a aplicação dinâmica, não foram relatadas as propriedades psicométricas: os autores apenas afirmaram que o método é seguro e aplicável clinicamente¹³. Considerando a radiação, é preciso ressaltar duas de suas

grandes desvantagens: a exposição a qual o indivíduo é submetido e a necessidade de aquisição e treinamento nos equipamentos, além de serem restritos à análise bi-dimensional.

Com o objetivo de descrever completamente os movimentos escapulares durante a elevação dos MMSS, métodos de análise tri-dimensional, tanto estáticos quanto dinâmicos, foram propostos. Equipamentos eletromecânicos foram empregados para a análise estática^{11,21,23,25}, apresentando confiabilidade adequada para todos os movimentos escapulares (0,72 a 0,99)^{11,21}, erro padrão de medida variando entre 2° e 3°^{11,21}, com os piores valores de linearidade resultante, histerese, reprodutibilidade e acurácia de 1mm, 2mm, 2mm e 4mm, respectivamente²¹. A tecnologia eletromagnética foi empregada tanto para a análise estática quanto dinâmica. Nas análises estáticas, o método apresentou boa confiabilidade inter e intra-examinador²⁹, com valores de pico de variância entre os examinadores menor que 0,5% para a maior parte dos movimentos escapulares²², erro sistemático de medida em faixas aceitáveis²⁹, sendo necessário treinamento adequado para que esse nível de acurácia seja alcançado²⁹. É importante ressaltar que distorções do campo eletromagnético podem alterar as medidas, a amplificação do sinal pode ser modificada de acordo com equipamento digitalizador utilizado e a sua acurácia é dependente da calibração realizada inicialmente, podendo os erros sistemáticos estar associados a esse processo²⁴.

Marcadores infravermelhos digitalizados e cálculo de rotação baseado em matriz foi uma outra proposta apresentada para avaliação tri-dimensional estática^{27,30}. A acurácia desse método foi demonstrada, sendo os valores maiores quando somente uma direção de movimento escapular foi imposta, válido e confiável²⁷, com erros médios de medida menor que 2°³⁰.

A análise tri-dimensional dinâmica da escápula é comumente realizada com equipamentos eletromagnéticos^{2,4,8-10,15,32-34}. O método vem sendo adaptado e utilizado em pesquisas biomédicas⁹ inclusive para análise da cinemática tri-dimensional da escápula.^{2,4,8-10,15,32-34}. Apresentou validade quando seus resultados foram comparados a medidas feitas por pinos inseridos diretamente na escápula, com média de erro de 5°^{12,38}. Além disso, o posicionamento das marcas superficiais, quando comparado a imagens de raio-x, mostrou resultados excelentes, com uma acurácia geral de 1,3mm, de 1,3° para a orientação angular, e erros referentes a deslizamento dos sensores colocado sobre a pele da região escapular iguais a 4,2mm. Foi encontrada uma boa associação entre as medidas angulares obtidas pelo raio-x e os ângulos calculados pelo sistema ($r^2=0,94$) e reprodutibilidade adequada, sendo estes valores diferentes entre os estudos: McQuade & Smidt² encontraram índices de correlação intra-classe para as medidas intra-examinadores variando entre 0,94 e 0,98² e McClure *et al*³³ entre 0,69 e 0,95, dependendo do movimento escapular analisado. Os possíveis erros que podem acontecer quando o sistema é utilizado estão relacionados ao processo de fixação manual dos receptores, à quantidade de receptores utilizados e à digitalização das marcas ósseas³². Além disso, o sistema é validado para medidas até 120° de elevação umeral, ponto a partir do qual ocorrem os maiores erros⁹, o que limita as análises a essa amplitude de movimento³⁴.

Apesar de permitir medidas tridimensionais dinâmicas, algumas desvantagens podem ser associadas ao método. Primeiro, a necessidade de aquisição e treinamento no sistema que realiza as medidas. Segundo, a ausência de padronização na descrição dos movimentos escapulares entre os diferentes fabricantes desses sistemas, o que dificulta a comparação dos resultados entre os estudos e o estabelecimento de um consenso científico.

De todos os métodos apresentados, a técnica de Moiré se destacou pela diferença de informação que é fornecida. As descrições são tridimensionais e podem ser interpretadas tanto estática quanto dinamicamente. Apesar de ser simples e de fácil aplicação na prática clínica²⁰, o método possibilita apenas a comparação de assimetrias entre as escápulas, estando, portanto, restrito a esse tipo de informação. Além disso, não são apresentados dados sobre as suas propriedades psicométricas e não foram encontrados outros estudos que o utilizou.

CONCLUSÕES

Os métodos utilizados para avaliar os movimentos escapulares durante a elevação do MMSS no plano escapular foram consideravelmente diversificados, utilizando equipamentos dos mais simples, como a fita métrica e o goniômetro universal, aos mais sofisticados, como os sistemas eletromagnéticos.

Esses métodos foram, basicamente, classificados em bi ou tridimensionais, segundo o número de planos analisados, e em estáticos ou dinâmicos, segundo a forma de coleta das informações. Dentre todos os métodos encontrados, os sistemas eletromagnéticos (tridimensionais dinâmicos) se destacaram pela quantidade de informações que podem fornecer, por realizarem medidas dinâmicas e terem validade comprovada. Entretanto, eles também apresentaram limitações, como erros de medidas, que podem ser significativos na determinação de importantes alterações da cinemática escapular, e limitação de análises acuradas até a amplitude de 120° de elevação. Além disso, apresentam um custo elevado e necessitam de profissionais treinados para obtenção e processamento dos dados fornecidos.

A ausência de padronização na nomenclatura dos movimentos e dos planos e eixos em que eles ocorrem e de métodos de análises funcionais completas, que sejam confiáveis e válidos, e que possam ser facilmente empregados na clínica, ainda são importantes limitações relacionadas à avaliação dos movimentos escapulares durante a elevação dos MMSS. Provavelmente, um estudo desenvolvido com o objetivo de revisar a nomenclatura utilizada para descrever os movimentos escapulares durante a elevação dos MMSS, assim como os planos e eixos em que eles ocorrem, permita uma discussão mais aprofundada desse assunto e, conseqüentemente, o estabelecimento de um consenso a cerca da nomenclatura mais adequada. Entretanto, as limitações intrinsecamente associadas aos métodos de avaliação necessitarão de grande investimento técnico-científico para serem solucionadas.

REFERÊNCIAS

1. Bagg SD, Forrest WJ. A biomechanical analysis of scapular rotation during arm abduction in the scapular plane. *Am J Phys Med Rehabil.* 1988;67(6):238-45.
2. McQuade KJ, Smidt GL. Dynamic scapulohumeral rhythm: the effects of external resistance during elevation of the arm in the scapular plane. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;27(2):125-33.
3. Hamill J, Knutzen KM. Membros superiores. In: Hamill J, Knutzen KM, editor. Bases biomecânicas do movimento humano. São Paulo: Manole; 1999.
4. McQuade KJ, Dawson J, Smidt GL. Scapulothoracic muscle fatigue associated with alterations in scapulohumeral rhythm kinematics during maximum resistive shoulder elevation. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;28(2):74-80.
5. Sahrmann SA. Movement impairment syndromes of the hip. In: Sahrmann SA, editor. Diagnosis and treatment impairment syndromes. St. Louis: Mosby; 2002.
6. Doukas WC, Speer KP. Anatomy, pathophysiology, and biomechanics of shoulder instability. 1: *Orthop Clin North Am.* 2001;32(3):381-91, vii.
7. MacDermid JC, Ramos J, Drosdowech D, Faber K, Patterson S. The impact of rotator cuff pathology on isometric and isokinetic strength, function, and quality of life. *J Shoulder Elbow Surg.* 2004;13(6):593-8.
8. Borstad JD, Ludewig PM. Comparison of scapular kinematics between elevation and lowering of the arm in the scapular plane. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2002;17(9-10):650-9.
9. Ebaugh DD, McClure PW, Karduna AR. Three-dimensional scapulothoracic motion during active and passive arm elevation. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2005;20(7):700-9.
10. Ludewig PM, Cook TM. Alterations in shoulder kinematics and associated muscle activity in people with symptoms of shoulder impingement. *Phys Ther.* 2000;80(3):276-91.
11. Lukasiewicz AC, McClure P, Michener L, Pratt N, Sennett B. Comparison of 3-dimensional scapular position and orientation between subjects with and without shoulder impingement. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1999;29(10):574-86.
12. McClure PW, Michener LA, Sennett BJ, Karduna AR. Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo. *J Shoulder Elbow Surg.* 2001;10(3):269-77.
13. Talkhani IS, Kelly CP. Movement analysis of asymptomatic normal shoulders: a preliminary study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2001;10(6):580-4.
14. Endo K, Ikata T, Katoh S, Takeda Y. Radiographic assessment of scapular rotational tilt in chronic shoulder impingement syndrome. *J Orthop Sci.* 2001;6(1):3-10.
15. Johnson MP, McClure PW, Karduna AR. New method to assess scapular upward rotation in subjects with shoulder pathology. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31(2):81-9.
16. Mandalidis DG, Mc Glone BS, Quigley RF, McInerney D, O'Brien M. Digital fluoroscopic assessment of the scapulohumeral rhythm. *Surg Radiol Anat.* 1999;21(4):241-6.
17. Doody SG, Freedman L, Waterland JC. Shoulder movements during abduction in the scapular plane. *Arch Phys Med Rehabil.* 1970;51(10):595-604.
18. T'Jonck L, Lysens R, Grasse G. Measurements of scapular position and rotation: a reliability study. *Physiother Res Int.* 1996;1(3):148-58.
19. Michiels I, Grevenstein J. Kinematics of shoulder abduction in the scapular plane. On the influence of abduction velocity and external load. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1995;10(3):137-43.
20. Warner JJ, Micheli LJ, Arslanian LE, Kennedy J, Kennedy R. Scapulothoracic motion in normal shoulders and shoulders with glenohumeral instability and impingement syndrome. A study using Moire topographic analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 1992;(285):191-9.
21. Ludewig PM, Cook TM, Nawoczenski DA. Three-dimensional scapular orientation and muscle activity at selected positions of humeral elevation. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1996;24(2):57-65.
22. Barnett ND, Duncan RD, Johnson GR. The measurement of three dimensional scapulohumeral kinematics: a study of reliability. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1999;14(4):287-90.
23. Kebaetse M, McClure P, Pratt NA. Thoracic position effect on shoulder range of motion, strength, and three-dimensional scapular kinematics. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80(8):945-50.

24. Meskers CG, Fraterman H, van der Helm FC, Vermeulen HM, Rozing PM. Calibration of the "Flock of Birds" electromagnetic tracking device and its application in shoulder motion studies. *J Biomech.* 1999;32(6):629-33.
25. Wang CH, McClure P, Pratt NE, Nobiletti R. Stretching and strengthening exercises: their effect on three-dimensional scapular kinematics. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80(8):923-9.
26. Price CI, Franklin P, Rodgers H, Curless RH, Johnson GR. Active and passive scapulo-humeral movement in healthy persons: a comparison. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000;81(1):28-31.
27. Hebert LJ, Moffet H, McFadyen BJ, St-Vincent G. A method of measuring three-dimensional scapular attitudes using the optotrak probing system. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2000;15(1):1-8.
28. de Groot JH, Brand R. A three-dimensional regression model of the shoulder rhythm. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2001;16(9):735-43.
29. Price CI, Rodgers H, Franklin P, Curless RH, Johnson GR. Glenohumeral subluxation, scapula resting position, and scapula rotation after stroke: a noninvasive evaluation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(7):955-60.
30. Moffet H, McFadyen BJ, Dionne CE. Scapular behavior in shoulder impingement syndrome. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83(1):60-9.
31. Vermeulen HM, Stokdijk M, Eilers PH, Meskers CG, Rozing PM, Vliet Vlieland TP. Measurement of three dimensional shoulder movement patterns with an electromagnetic tracking device in patients with a frozen shoulder. *Ann Rheum Dis.* 2002;61(2):115-20.
32. Karduna AR, McClure PW, Michener LA. Scapular kinematics: effects of altering the Euler angle sequence of rotations. *J Biomech.* 2000;33(9):1063-8.
33. McClure PW, Bialker J, Neff N, Williams G, Karduna A. Shoulder function and 3-dimensional kinematics in people with shoulder impingement syndrome before and after a 6-week exercise program. *Phys Ther.* 2004;84(9):832-48.
34. Borstad JD, Ludewig PM. The effect of long versus short pectoralis minor resting length on scapular kinematics in healthy individuals. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2005;35(4):227-38.
35. Balmer S, Brosseau L. Intratester and intertester reliability of the parallelogram goniometer in the measurement of hip abduction among patients: a pilot study. *Physiother. Can.* 1998;50:123-26.
36. Faria CDCM, Lima FFP, Teixeira-Salmela LF. Testes de Ober e Ober modificado: um estudo comparativo e de confiabilidade. *Fisioter mov.* 2005;18(3):31-8.
37. Melchione WE, Sullivan MS. Reliability of measurements obtained by use of an instrument designed to indirectly measure iliotibial band length. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1993;18(3):511-5.
38. Karduna AR, McClure PW, Michener LA, Sennett B. Dynamic measurements of three-dimensional scapular kinematics: a validation study. *J Biomech Eng.* 2001;123(2):184-90.