

ANÁLISE DO DESEMPENHO FUNCIONAL PARA ESTIMAR CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DO TECIDO MUSCULAR ESQUELÉTICO DE SUJEITOS ADULTOS

MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ADULT SKELETAL MUSCULAR TISSUE
ESTIMATED BY ANALYZING ITS FUNCTIONAL PERFORMANCE

Priscila Cação Benedini de Oliveira¹, Cláudio Gregório Nuernberg Back², Ana Cláudia Mattiello-Sverzut³

¹Pós-graduanda, ²Mestre, Programa de Pós-graduação em Ortopedia, Traumatologia e Reabilitação; ³Docente, Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor. Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto - USP.

CORRESPONDÊNCIA: Prof^ª Dr^ª Ana Cláudia Mattiello Sverzut. Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor. Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – USP. Av. Bandeirantes, 3900. Ribeirão Preto – SP. CEP 14049-900. acms@fmrp.usp.br

Oliveira PCB, Back CGN, Mattiello-Sverzut AC. Análise do desempenho funcional para estimar características morfológicas do tecido muscular esquelético de sujeitos adultos. Medicina (Ribeirão Preto) 2008; 41 (2): 143-52.

RESUMO: Esta breve revisão aborda a capacidade da análise funcional, através da dinamometria isocinética, em inferir características contráteis das fibras musculares em indivíduos normais sedentários, atletas, idosos e nas alterações musculares (atrofia e miopatia). A análise dos estudos aqui abordados demonstrou que a análise funcional isocinética, em contraste com a realizada *in vitro*, quantifica o desempenho muscular em condições próximas das atividades de vida diária ou esportiva dos sujeitos. Portanto, é possível determinar mais precisamente a influência das adaptações musculares na realização destas atividades e, além disso, como a função muscular se comporta em condições clínicas adversas como desuso, atrofia muscular, envelhecimento e miopatias. As diferentes variáveis funcionais (índice de fadiga, torque, trabalho e potência) apresentam fortes relações com diferentes tipos de fibras, com destaque para a fibra de contração rápida do tipo 2. A consolidação do dinamômetro como instrumento de medida e/ou diagnóstico das diferentes condições musculares é de grande relevância para a prática terapêutica e merece tornar-se mais evidente para os profissionais da saúde.

Descritores: Morfologia. Músculo Esquelético. Reabilitação. Força Muscular.

1- INTRODUÇÃO

O músculo esquelético é um tecido maleável capaz de alterar o tipo e montante de proteína em resposta ao rompimento de sua homeostase celular. O processo de adaptação induzido pelo exercício físico ou pelo desuso envolve uma série de mecanismos celulares e moleculares que culminam em modificação do seu desempenho funcional.

A capacidade de adaptação muscular está relacionada às características contráteis de seus dife-

rentes tipos de fibras e capacidade genética de expressar diferentes isoformas da cadeia pesada de miosina (MHC). O músculo esquelético adulto expressa pelo menos quatro tipos específicos de MHC: lento tipo 1, rápido tipo 2a, rápido tipo 2b e rápido tipo 2c. No entanto, a classificação dessas fibras, e consequentemente a análise de variáveis associadas (área, proporção de fibras, densidade capilar, dentre outras), ocorre somente mediante estudos enzimológicos, imunohistoquímicos ou desnaturação protéica em gel de eletroforese.

A dinamometria isocinética representa um sistema de mensuração da função muscular *in vivo* e permite avaliar variáveis como torque em velocidades de movimentos controlados. Como característica o equipamento oferece máxima resistência durante toda a excursão da amplitude de movimento.

Diversos estudos têm correlacionado variáveis como pico de torque, potência e trabalho em diferentes velocidades de teste isocinético com as diferentes distribuições de fibras, principalmente as do tipo 2 e seus subtipos, de músculo esquelético de indivíduos normais e de atletas¹⁻⁸.

Variáveis funcionais obtidas através de estudos *in vivo* apresentam interessante correlação com os achados morfológicos a partir de biópsias musculares^{6,9-13}. Muito utilizada na prática médica, a biópsia muscular é um procedimento cirúrgico que auxilia o estabelecimento do diagnóstico de doenças e alterações musculares. Em paralelo, pesquisas clínicas têm utilizado a biópsia de agulha em músculos de indivíduos ativos, sedentários e atletas na busca de incrementar informações sobre os múltiplos estágios morfofuncionais que acometem os seres humanos. Da análise histopatológica, pode-se obter achados como alteração do volume celular (atrofia e hipertrofia), variação na proporção e agrupamento de fibras musculares tipo 1, tipo 2 e seus subtipos, acúmulo de tecido conjuntivo perimisial e indicadores de estados degenerativos, necróticos e regenerativos. Esses achados possibilitam a quantificação das características intrínsecas do músculo avaliado e ainda podem indicar alterações decorrentes de doenças.

Na prática fisioterapêutica, o conhecimento da morfologia do grupo muscular alvo da reabilitação é de grande relevância, visto que a prática terapêutica a ser adotada poderia ser individualizada para cada paciente de acordo com a doença de base e características inerentes de cada caso. Portanto, a busca por recursos científicos investigatórios eficientes que avaliem a função muscular *in vivo* e, ao mesmo tempo, demonstrem características das fibras de determinados grupos musculares representam o avanço do próprio status profissional.

O objetivo desta breve revisão é abordar o potencial da análise funcional, através da dinamometria isocinética, em inferir características sobre as fibras de determinado grupo muscular em indivíduos normais sedentários, atletas e em algumas anomalias musculares.

2- O MÚSCULO E SEUS TIPOS DE FIBRAS CONTRÁTEIS

As fibras musculares apresentam diferentes comportamentos mecânicos, metabólicos e fisiológicos. Dentre os critérios de classificação estão os métodos histológicos, sensibilidade diferencial ao cálcio e a separação por eletroforese em gel da cadeia pesada da miosina (*myosin heavy chain – MHC*)¹⁴.

Histologicamente a classificação das fibras é dada de acordo com o músculo analisado. Por exemplo, a análise histológica do músculo bíceps braquial aponta para as fibras do tipo 1 (FT1), tipo 2a (FT2a), tipo 2ab (FT2ab) e tipo 2b (FT2b). No músculo masseter podem ser observadas as FT1, FT2c, FT2a, FT2ab e FT2b¹⁵. Na avaliação do músculo vasto lateral são encontradas as FT1, FT2a e FT2b¹⁴. Sucintamente, as FT1 possuem baixa velocidade de encurtamento, baixa produção de força, resistência à fadiga e metabolismo oxidativo. As fibras do tipo 2a possuem rápida velocidade de encurtamento, moderada produção de força, relativa resistência à fadiga devido às vias aeróbias e anaeróbias. As fibras do tipo 2b possuem rápida velocidade de contração, alta produção de força, sensibilidade à fadiga e metabolismo anaeróbio.

A especificidade das isoformas da MHC¹⁶ contribuem para essas diferenças através da atividade da ATPase miofibrilar (mATPase) via hidrólise do ATP. Desta forma, as diferentes isoformas de MHC estão intimamente relacionadas à velocidade de encurtamento das fibras musculares¹⁷⁻²¹. As fibras que apresentam alta atividade da ATPase miofibrilar possuirão alta velocidade de encurtamento. As FT2b podem apresentar velocidade cinco a seis vezes maior que as do tipo 1, enquanto as tipo 2a apresentam velocidades intermediárias¹⁹.

De acordo com as diferenças na velocidade de encurtamento, as FT2 apresentam maior produção de torque e potência em altas velocidades de contração do que as fibras tipo 1. E ainda, a tensão isométrica das FT2 é 20% maior¹⁴ podendo produzir um incremento na potência dez vezes maior que as FT1. Já para os subtipos de FT2, as fibras do tipo 2b apresentam valores de pico de potência duas vezes maior que as fibras do tipo 2a²².

Ainda assim, o tipo de atividade funcional realizado recrutará um tipo preferencial de fibra muscular. Numa atividade que envolva curta duração, alta intensidade e baixa repetição, as fibras tipo 2 serão mais recrutadas, já as tipo 1 serão mais utilizadas

nas atividades de longa duração, baixa intensidade e alta repetição²³.

A área de secção transversa das fibras influencia a produção do torque e correlaciona-se de forma direta com a habilidade de gerar força²⁴. O comportamento mecânico dos diferentes músculos do corpo humano é determinado pela média da performance de suas fibras²⁵. Quando a área de todas as fibras de um determinado tipo (1, 2a e 2b) for predominante aos demais, o músculo terá característica funcional do tipo cuja área for mais representativa. A função muscular, portanto, é dependente, entre outros fatores, do número e da área transversa dos diferentes tipos de fibras que compõe o músculo analisado.

3- ANÁLISE DA FUNÇÃO MUSCULAR PELA DINAMOMETRIA

A dinamometria isocinética foi introduzida na prática clínica no final da década de 60. Ela é composta por instrumentos de medida que proporcionam informações quanto à performance estática (isométrica) e dinâmica dos grupos musculares, baseados no desenvolvimento do torque máximo durante toda a amplitude de movimento (para revisão ver DVIR, 2002)²⁶. Embora o torque seja máximo, é sabido que este será variável durante a amplitude de movimento. Com isso, o teste isocinético estabelece o comportamento do torque durante o movimento articular. A partir deste comportamento, são estabelecidas todas as variáveis da performance muscular, tais como pico de torque, torque médio, trabalho e potência²⁶.

A análise objetiva da performance muscular tem sido feita através da aplicação de protocolos específicos que consideram o tipo de contração e a velocidade de movimento nos dinamômetros isocinéticos. Este tipo de teste é reprodutível²⁶⁻²⁹ e caracteriza melhor a capacidade funcional que a prova de força muscular manual^{26,30-32}.

Diferentes variáveis podem ser mensuradas e manuseadas no teste isocinético de acordo com o objetivo da avaliação. Entre elas podem ser destacadas: o tipo de contração muscular (concêntrica, excêntrica e isométrica), a velocidade em graus que o teste será realizado (de 15 a 241°/s), o número de repetições, a amplitude de movimento e a articulação para medição da performance. E ainda, o teste funcional permite o “isolamento” de um músculo alvo responsável por subsidiar uma determinada função.

4- CORRELAÇÃO ENTRE MORFOLOGIA MUSCULAR E ACHADOS FUNCIONAIS

Estudos que combinam a análise de achados morfológicos e dados funcionais permitem inferir resultados consistentes que podem favorecer a prática clínica. O músculo vasto lateral (VL) tem sido alvo de avaliação de muitos estudos, os quais realizam a análise de sua citoarquitetura, através da biópsia muscular, e avaliam-no funcionalmente através de movimentos de extensão do joelho. Na população sedentária e ativa, características das fibras do tipo 2 do músculo VL mostraram relação importante com variáveis do teste isocinético. No estudo de Thorstensson e Karlsson (1976)¹³, homens ativos com idade média de 30 anos foram submetidos ao teste funcional de 50 repetições na velocidade de 180°/s. Correlação diretamente proporcional ($r=0,86$, $p<0,01$) foi encontrada entre a fadiga muscular e porcentagem de fibra tipo 2. Já Ryushi e Fukunaga (1986)⁶ abordaram homens sedentários com idade entre 18 a 21 anos em teste de três repetições nas velocidades 30, 60, 120, 180°/s. O pico de torque e a porcentagem e área das fibras tipo 2a demonstraram uma correlação importante nesse estudo. Ressalta-se que a velocidade de obtenção desses achados foi de 180°/s, para ambos os estudos, e os autores sugerem um maior recrutamento das fibras 2 em velocidades altas durante a extensão do joelho.

Aagaard e Andersen (1998)¹¹ investigaram a relação entre a composição da cadeia pesada da miosina (MHC) e a força de contração máxima do músculo quadríceps femoral de atletas. Foi realizada biópsia do músculo VL para a obtenção da porcentagem de MHC da fibra tipo 2 através da eletroforese. Sete sujeitos ativos realizaram o teste funcional muscular do quadríceps femoral quando a variável pico de torque foi obtida nas velocidades 30, 120 e 240°/s. Similar aos achados anteriores, a porcentagem de MHC do tipo 2 (rápida) correlacionou-se positivamente com a força concêntrica máxima do quadríceps obtida em velocidades altas de 120 e 240°/s ($r=0,61-0,93$; $p<0,05$).

Variáveis funcionais como pico de torque, potência, índice de fadiga e torque relativo foram utilizadas por Suter et al. (1993)¹² para distinguir as propriedades básicas das fibras tipo 2 e tipo 1. Para isso avaliaram diferentes distribuições destas fibras em fragmentos do músculo vasto lateral através da ATPase miofibrilar. Para medir a performance muscular da

extensão do joelho, foi realizada a quantificação do torque e potência em nove diferentes velocidades isocinéticas (60 a 300°/s) e o índice de fadiga foi determinado a partir de 60 contrações na velocidade 90°/s. Valores maiores de pico de torque e potência foram obtidos nas velocidades acima de 200°/s e menores torques relativos foram observados perto da trigésima contração no teste de fadiga nos sujeitos que apresentaram maiores proporções de fibra tipo 2 (>60%, N=8) em relação aos sujeitos com menores proporções deste tipo de fibra (<45%, N=9).

Na busca pela relação entre potência e proporção de fibras, Terzis et al. (2003)¹⁰ avaliaram diferentes distribuições das fibras musculares de fragmentos do tríceps braquial de 13 estudantes de educação física. Para quantificação morfológica foi utilizada a técnica histoquímica ATPase miofibrilar. A performance muscular isométrica foi avaliada em seis velocidades com uso do dinamômetro isocinético (30-240°/s). A potência, observada nas velocidades isocinéticas mais altas, e a área da fibra tipo 2 demonstraram correlação positiva ($r=0,7$, $p<0,01$).

Por outro lado, alguns autores não encontraram correlações significativas entre achados morfológicos e funcionais. Fugl-Meyer, Sjöström e Wahlby (1979)³³ e Trappe et al. (2001)³⁴ não encontraram correlação entre o pico torque da flexão plantar e a porcentagem de fibra tipo 2 dos músculos gastrocnêmio e sóleo. O primeiro grupo avaliou, em homens sedentários com idade média de 31,4 anos, o pico de torque nas velocidades 30, 60, 120 e 180°/s e o segundo, o pico de torque isométrico nas posições 80, 90, 100° em homens e mulheres com níveis de atividade física diversa e idades variando entre 23 e 51 anos. Ambos realizaram análise morfológica pela mATPase para identificação dos diferentes tipos de fibras, sendo que Trappe et al. (2001)³⁴ também utilizaram a ressonância magnética para análise morfológica.

Estes autores não obtiveram uma correlação positiva talvez por terem avaliado apenas a porcentagem e não a área relativa das fibras. Segundo Schilling et al. (2005b)³⁵ a área relativa dos tipos de fibras promove uma melhor estimativa da possível influência funcional do tipo de fibra do que simplesmente seu número relativo.

Portanto, a literatura tem apontado uma forte relação entre o torque obtido em altas velocidades e as variáveis morfométricas das fibras tipo 2.

5- TREINAMENTO FÍSICO – DINAMOMETRIA E MORFOLOGIA

As adaptações musculares encontradas nas biópsias musculares dos indivíduos que realizaram atividade física e treinamentos específicos podem indicar variações nos parâmetros obtidos na análise do dinamômetro isocinético.

Através da correlação entre dados de fragmentos do músculo vasto lateral e teste de força e potência do movimento de agachamento, avaliado pelo dinamômetro isocinético em diferentes velocidades (0,20; 0,82; e 1,43 m/s), Fry et al. (2003)¹ concluíram que a performance de indivíduos treinados (levantadores de peso) não é dependente das fibras tipo 2b, porém obtiveram correlação positiva com as do tipo 2a. Jurimae et al. (1997)² correlacionaram, entre outras variáveis, a área de secção transversa das fibras tipo 2b obtida a partir de fragmentos de músculo tríceps braquial de halterofilistas, praticantes, não profissionais e de grupo controle, com o pico de torque isométrico à 30° (0°= extensão total do cotovelo) e a 300°/s obtidos em dinamômetro isocinético. Estes autores não observaram associação entre estas variáveis, mas, para as fibras tipo 2a, notaram correlação positiva com todas as medidas de força analisadas (isoinercial, isométrica e isocinética).

Gür et al. (2003)³⁶ estudaram a correlação entre a força muscular em diferentes velocidades de movimento isocinético e a expressão da MHC. Trinta e quatro homens e mulheres corredores de diferentes modalidades: curta, média e longa distâncias foram avaliados. A performance muscular foi quantificada através do torque médio, torque relativo (torque a 240°/s dividido pelo torque a 30°/s) e o torque absoluto. A morfologia foi avaliada através do músculo vasto lateral e a partir de técnicas histoenzimológicas e eletroforética. Foi obtida correlação significativa entre o torque e a área relativa da fibra tipo 2 e a isoforma tipo 2 de MHC para os homens ($r=0,74$; $p<0,001$) e para as mulheres ($r=0,81$; $p<0,05$).

O estudo de Clarkson et al. (1982)⁸ comparou o pico de torque nas velocidades 60 e 180°/s e o índice de fadiga da flexão do cotovelo e extensão do joelho com a porcentagem de fibras tipo 2 dos músculos: bíceps braquial e vasto lateral. Os indivíduos avaliados eram homens e mulheres altamente treinados (competidores olímpicos de canoagem e caiaque)

com idade variando entre 19 e 34 anos. Para provocar a fadiga muscular foi utilizado o mesmo procedimento de Thorstensson e Karlsson (1976)¹³. Para o estudo morfológico foi utilizado o processamento pela mATPase. Nenhuma correlação foi encontrada. No entanto, estes autores observaram relação entre o desempenho muscular e os dados antropométricos, como a área de secção transversa da perna³³, o peso corporal e a circunferência do membro⁸.

Comparação entre os efeitos do treinamento físico a partir da facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP) e do treino isocinético foi realizada por Kofotolis et al. (2004)³⁷. O estudo avaliou as alterações na distribuição e área seccional de fibras musculares. Vinte e quatro estudantes foram divididos em dois grupos de treinamento com frequência de três vezes por semana durante oito semanas. Um dos grupos realizava 30 repetições de movimentos de FNP com os membros inferiores e o outro consistia em 30 repetições de flexão/extensão de joelho a 90 e 180°/s. A biópsia do músculo vasto lateral foi obtida antes e após o treinamento. Os autores encontraram no grupo de FNP diminuição da média de porcentagem da área da fibra 2b ($p < 0.01$) e aumento significativo da fibra tipo 2a ($p < 0.05$). No treino isocinético, as fibras 2ab apresentaram aumento da média de porcentagem da área ($p < 0.01$) acompanhado de redução da fibra tipo 2a ($p < 0.05$). A distribuição da porcentagem dos tipos de fibras exibiu padrão similar. Os autores sugeriram que o modelo de atividade física realizada afeta o predomínio de fibras musculares, nesse caso a transição de fibras rápidas para lentas ocorreu no grupo treinado pelo FNP e a transição inversa esteve presente no grupo do isocinético. Os dois modelos de treinamentos provocaram alterações nas fibras musculares com destaque para o subgrupo de fibras tipo 2.

O trabalho de Charteris (1999)³⁸ avaliou variáveis no teste isocinético da musculatura flexora/extensora do cotovelo e joelho de vinte e sete homens atletas. Variáveis como torque, trabalho e potência foram obtidas a partir de velocidades de 30 e 180°/s para determinar como essas influenciam as relações agonista e antagonista, flexora, extensora ou ambas combinadas. A coleta das variáveis foi realizada na extremidade superior e inferior e simularam estágios precoces de reabilitação. Os resultados mostraram que a extremidade superior apresentou achados de torque, trabalho e potência equivalentes entre a musculatura flexora e extensora ($p > 0.05$). Contrariamente na extremidade inferior, as mesmas variáveis mostra-

ram-se significativamente menores nos flexores quando comparados aos extensores. Para ambas as extremidades superior e inferior, os valores médios de trabalho e potência não foram afetados pela velocidade. Os autores ressaltaram a importância de se conhecer a resposta dos membros superiores e inferiores ao trabalho e potência para o fortalecimento muscular após a lesão.

As variáveis obtidas no teste isocinético após protocolos de treinamento tem fornecido indicadores precisos das características morfológicas das fibras de contração rápida, muitas vezes até relacionadas aos subtipos ou estados transicionais das fibras.

6- ALTERAÇÕES MUSCULARES E DINAMOMETRIA

Inúmeras disfunções crônicas são responsáveis por acarretar alterações musculares importantes no decorrer da vida do indivíduo. O avançar da idade e chegada da senescência podem contribuir para grandes transformações no tecido muscular, que podem ser visualizadas através do teste funcional.

A queda na produção de força muscular em indivíduos idosos tem demonstrado relação com a redução da área de secção transversal do músculo e a atrofia muscular³⁹, alterações no recrutamento de fibras⁴⁰, nas propriedades celulares como o tipo de fibra^{41,42,43} ou nos mecanismos contráteis⁴¹.

A correlação entre a proporção dos tipos de fibras, através da análise das isoformas da miosina em indivíduos idosos (65 e 80 anos), e o declínio na produção de força foi avaliada por Jubrias et al. (1997)⁴⁴. Observou-se correlação inversa entre MHC tipo 1 e o desenvolvimento de força a 120°/s. Os autores não observaram uma correlação direta entre desenvolvimento de força e MHC tipo 2a ou tipo 2b.

O efeito da senescência nas propriedades funcionais do músculo foi avaliado em homens e mulheres por Akima et al. (2001)⁴⁵. O teste isocinético (0, 60, 180, 300°/s) foi realizado para obter o pico de torque extensor e flexor do joelho e o exame de ressonância magnética mostrou a área de secção transversa (AST) do músculo quadríceps femoral. Significativa correlação foi encontrada entre a AST do quadríceps e o pico de torque isométrico em homens e mulheres. Os autores também demonstraram relação inversa entre idade e pico de torque extensor e flexor. Quando obteve-se a relação força/AST, foi observada uma redução dessa variável em homens no decor-

rer da idade, enquanto o mesmo claramente não aconteceu com as mulheres. Os achados do estudo sugeriram que o declínio da força muscular em ambos os sexos deve-se a perda de massa muscular e, ainda, a queda da função muscular observada em homens pode apresentar alterações de caráter neural como o recrutamento muscular.

A condição clínica frequentemente encontrada na prática da saúde é a imobilização de um segmento do corpo empregada para a adequada reabilitação do mesmo. O desuso gerado por esse quadro também é responsável por adaptações das fibras musculares e conseqüentes perdas funcionais.

Estudo conduzido por Miles et al. (1994)⁴⁶ avaliou a relação entre a imobilização do cotovelo por nove dias e atitude de suspensão parcial com a função muscular do cotovelo. Os autores demonstraram que a redução da força isométrica e concêntrica para flexão e extensão do cotovelo foi maior e mais significativa que a redução da área de secção transversal do antebraço. Os autores sugeriram uma redução da densidade de proteínas contráteis ou de fatores neurais não identificados, ambos provocados pela imobilização e suspensão. E ainda, o estudo propõe um modelo de recrutamento relacionado à ação muscular envolvida nas atividades de vida diária, porém não justificaram os achados através de alterações tróficas das fibras.

Os efeitos da imobilização do membro inferior em indivíduos saudáveis submetidos à utilização de talas extensoras por quatro semanas foram avaliadas por tomografia computadorizada para definir área de secção transversal do quadríceps (incluindo estruturas contráteis e não-contráteis com exceção do fêmur) e biópsia do músculo vasto lateral⁴⁷. Os autores observaram redução de 21% na área de secção transversal, 16% no diâmetro das fibras e 53% no pico de torque extensor do joelho. Portanto, a imobilização do joelho demonstrou ser um importante fator no desenvolvimento da atrofia muscular da coxa em pacientes que necessitam ser submetidos a essa intervenção e, assim, deve ser empregada o mínimo possível.

Lorentzon et al. (1989)⁴⁸ buscaram correlacionar a estrutura e função da musculatura de pacientes com lesão crônica do ligamento cruzado anterior do joelho. Não observaram correlação entre performance isocinética e tamanho muscular ou dados morfométricos, sugerindo que a redução do desenvolvimento de força não poderia ser justificada pela atrofia das fibras musculares. Ressalta-se que os autores identificaram em 61% dos pacientes morfologia normal do

músculo vasto lateral, 33% dos pacientes apresentaram alterações leves e que somente 6% (um paciente) apresentou alterações moderadas na arquitetura das fibras.

A partir dos estudos acima descritos pode ser observado um número restrito de estudos e, ainda, as metodologias empregadas não apontaram para alterações significativas do trofismo das fibras (hipotrofia). A análise morfológica de grupos musculares como o vasto lateral, quando realizada através de pequenos fragmentos, pode limitar a representatividade do músculo como um todo e não inferir achados teciduais precisos. Além disso, é possível observar que o impacto da atrofia sobre a performance muscular não está claramente definido pois os resultados entre os estudos foram contraditórios.

Desuso e senescência são condições frequentes da prática clínica e apresentam fisiopatologias bem documentadas na literatura. Dentre os estudos que relacionam as alterações musculares e dinamometria isocinética existem aqueles que abordam as doenças que afetam primariamente o tecido muscular e suas conseqüências funcionais. Esse grupo de doenças é denominado miopatias e pode provocar alterações distintas na fibra muscular, de origem genética ou adquirida. As miopatias podem provocar modificações específicas na área de secção transversal, como atrofia ou hipertrofia, e na proporção dos tipos de fibras 1 e 2 e seus subtipos⁴⁹.

De acordo com a doença de base, condições neuromusculares, hormonais e metabólicas podem gerar alteração preferencial de um tipo de fibra. As mudanças na área e na proporção das fibras musculares dos sujeitos com miopatia podem ser qualificadas e quantificadas pela análise dos fragmentos musculares obtidos através das biópsias teciduais.

A avaliação do desempenho muscular com o uso do dinamômetro isocinético tem sido muito empregada por diversos autores, em pacientes miopáticos e portadores de neuropatias periféricas, para avaliar a efetividade de aplicação de variados protocolos de treino de resistência máxima e submáxima, medindo pico de torque e resistência à fadiga, comparando-os com um grupo controle, e apresentando resultados que suportaram ou invalidaram seus protocolos^{50,51,52}. Todavia, a comparação entre os achados funcionais e as alterações morfológicas musculares tem sido pouco explorada.

Tajsharghi et al. (2004)⁵³ recentemente descreveram uma nova miopatia autossômica dominante as-

sociada a mutação gene IIa da MHC, que codifica isoforma de miosina rápida expressada na fibra tipo 2a. Com o objetivo de alterar a expressão da isoforma da MHC em sujeitos com mutação MYH2, os autores aplicaram um programa de exercícios de resistência aeróbia, de oito semanas, em seis pacientes. Avaliação da MHC foi realizada a partir da obtenção e processamento de fragmentos do músculo vasto lateral. Os resultados apontaram modificação da expressão de MHC rápida para a lenta e aparecimento de fibras híbridas. Todos pacientes apresentaram aumento na carga máxima de trabalho, porém sem mudança significativa na força isométrica. Concluíram que o treino de resistência aeróbia em sujeitos com miopatia com mutação da miosina pode ser importante para alterar a expressão defeituosa da isoforma de MHC.

Estudos conduzidos por Laroche et al. (2002)⁵⁴ avaliaram pacientes com cifose na coluna lombar, provavelmente secundária a uma distrofia muscular tardia, comparando a tomografia computadorizada dos músculos espinhais com o torque, potência e fadiga medidos por testes isocinéticos. Neste estudo não foi realizada a biópsia muscular. Os pacientes apresentaram baixa densidade muscular (avaliada tomograficamente) e diminuição do trabalho dos músculos paravertebrais após contrações repetidas. Estes achados foram compatíveis com as alterações vistas em alguns pacientes, em que estes podiam ficar na posição ereta logo após acordarem, porém durante o dia, adotavam a posição cifótica, indicando baixa resistência da musculatura paravertebral.

Estudo desenvolvido em nosso laboratório hipotetizou a correlação entre achados de desempenho funcional com o tipo predominante de fibra expresso no músculo bíceps braquial de sujeitos com hipótese clínica de miopatia (HCM)⁹. A proporção das fibras tipo 2 (FT2) foi correlacionada com picos de torque isométrico e isocinético de flexão do cotovelo obtidos de sete sujeitos com HCM e idade média de 38 anos. Pela técnica histoquímica de mATPase foi realizada análise de proporção das fibras musculares. O teste de força isométrica e isocinética concêntrica de flexão e extensão do cotovelo foi realizado em dinamômetro isocinético. Avaliou-se o pico de torque (PT) isométrico a 90°s⁻¹ e 180°s⁻¹ e calculou-se o torque relativo 90 (TR90) e 180 (TR180). A proporção de FT2 se correlacionou positivamente com TR180 (r=0,89, p=0,01), enquanto uma moderada correlação foi encontrada entre FT2 e TR90 (r=0,75, p=0,05). Os resultados sugerem que o comportamento contrátil das

FT2 não foi modificado nestes sujeitos. O dinamômetro isocinético mostrou ser um instrumento que pode avaliar, de forma não invasiva, a predominância do tipo de fibra muscular.

Tollback et al. (1992)⁵⁵ avaliaram pacientes que fizeram uso excessivo da musculatura dorsiflexora do pé devido a uma paralisia infantil ou lesão da raiz nervosa L5 prévia, comparando-os com um grupo controle que apresentava características antropométricas semelhantes. Neste estudo foi medido o pico de torque nas velocidades 30, 180 e 240°/s e avaliada a proporção de fibras do músculo tibial anterior com mATPase. No grupo controle foi encontrado uma relação inversamente proporcional entre o torque relativo e a proporção de fibra tipo 1. Nos pacientes esta relação não foi encontrada, embora a proporção e a área destas fibras fossem significativamente maiores que o controle. Estes autores concluíram, então, que as fibras tipo 1 devido ao uso excessivo mudam suas propriedades contráteis.

Krivickas et al. (2002)⁵⁶ avaliaram sujeitos com esclerose lateral amiotrófica (ELA) comparando-os com um grupo controle. O músculo biopsiado foi o vasto lateral, com análise da proporção de fibra tipo 2 através da MHC. As medidas do desempenho muscular foram realizadas isocineticamente. Estes autores encontraram uma maior velocidade de contração das fibras tipo 1 no grupo com ELA que no controle.

Neste tópico pode-se observar que o sistema de análise isocinético pode trazer informações relevantes quanto à função muscular segmentar e, conseqüentemente, favorecer a eleição de um tratamento de reabilitação. No entanto, observa-se também que poucos estudos investigatórios se referem às doenças que acometem o sistema músculo-esquelético. A maioria deles busca subsidiar a eficácia do protocolo terapêutico adotado, indicando uma lacuna de investigação científica que deve ser explorada pelos pesquisadores ligados a essa área.

7- CONCLUSÃO

A avaliação isocinética em contraste com a realizada *in vitro* mede o desempenho muscular em condições próximas das atividades de vida diária ou esportiva dos sujeitos, por isso é possível determinar de forma mais objetiva como as adaptações musculares interferem na realização destas atividades. Algumas destas adaptações musculares ocorridas no treinamento físico, desuso e atrofia muscular, envelheci-

mento e doenças musculares podem ser inferidas pela adoção de testes isocinéticos, devido às diferentes respostas ao índice de fadiga, torque trabalho e potência. Apesar disso, mais estudos são necessários asso-

ciando as adaptações musculares e as variáveis funcionais para que o dinamômetro isocinético se consolide como instrumento de medida e/ou diagnóstico das diferentes condições musculares.

Oliveira PCB, Back CGN, Mattiello-Sverzut AC. Morphological characteristics of adult skeletal muscular tissue estimated by analyzing its functional performance. *Medicina (Ribeirão Preto)* 2008; 41 (2): 143-52.

ABSTRACT: This short review aims to analyze the capacity of functional analysis, through isokinetic dynamometry, to gather information on muscle fiber contractile characteristics in normal sedentary individuals, athletes, elderly people and in muscular alterations (atrophy and myopathy). The studies, here reported, demonstrated that by kinetic functional analysis, in contrast to the *in vitro* one, muscular performance in individuals may be quantified in conditions close to their daily or sportive activities. Thus, it is possible to precisely determine the influence of muscular adaptations in conducting these activities and, in addition, verify how muscular contraction functions in adverse clinical conditions like, lack of use, muscular atrophy, aging and myopathy. Different functional variables (fatigue index, torque, potency and work) are strongly related with different types of fibers, particularly with type 2 fast contraction fiber. Consolidation of the dynamometer as an instrument for measuring and/or diagnostic of various muscular conditions is highly relevant to therapeutic practice and merits emphasizing to health professionals.

Keywords: Morphology. Skeletal Muscle. Rehabilitation. Muscle Strength.

REFERÊNCIAS

- 1 - Fry AC, Schilling BK, Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, Through JT. Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic-style weightlifters. *J strength cond res* 2003; 17: 746-54.
- 2 - Jurimae J, Abernethy PJ, Quiqley BM, Blake K McEniery MT. Differences in muscle contractile characteristics among bodybuilders, endurance trainers and control subjects. *J Appl Physiol* 1997; 75: 357-62.
- 3 - Froese EA, Houston ME. Torque-velocity characteristics and muscle fiber type in human vastus lateralis. *J Appl Physiol* 1985; 59: 309-14.
- 4 - Johansson C, Lorentzon R, Sjostrom M, Fagerlund M, Fugl-Meyer AR. Sprinters and marathon runners. Does isokinetic knee extensor performance reflect muscle size and structure? *Acta Physiol Scand*, Stockholm 1987; 130: 663-9.
- 5 - Nygaard E, Houston M, Suzuki Y, Jorgensen K, Saltin B. Morphology of the brachial biceps muscle and elbow flexion in man. *Acta physiol scand* 1983; 117: 287-92.
- 6 - Ryushi T, Fukunaga T. Influence of Subtypes of Fast-Twitch Fibers on Isokinetic Strength in Untrained Men. *Int j sports med* 1986; 7: 250-3.
- 7 - Yates J.W, Kamon E. A comparison of peak and constant angle torque-velocity curves in fast and slow-twitch populations. *Eur j appl physiol* 1983; 51: 67-74.
- 8 - Clarkson PM, Kroll W, Melchionda AM. Isokinetic Strength, Endurance, and Fiber Type Composition in Elite American Paddlers. *Eur j appl physiol* 1982; 48: 67-76.
- 9 - Back CGN, Benedini PCO, Mattiello-Rosa SMG, Sobreira CFR, Martinez EZ, Mattiello-Sverzut AC. Correlação entre a proporção de fibras rápidas do músculo bíceps braquial e o torque relativo da flexão do antebraço em sujeitos com hipótese clínica de miopatia. *Revista Brasileira de Fisioterapia*. Em publicação 2008.
- 10 - Terzis G, Georgiadis G, Vassiliadou E, Manta P. Relationship between shot put performance and triceps brachii fiber type composition and power production. *Eur j appl physiol* 2003; 90: 10-5.
- 11 - Aagaard P, Andersen JL. Correlation between contractile strength and myosin heavy chain isoform composition in human skeletal muscle. *Med sci sports exerc* 1998; 30: 1217-22.
- 12 - Suter E, Herzog W, Sokolosky J, Wiley JP, Macintosh BR. Muscle fiber type distribution as estimated by Cybex testing and by muscle biopsy. *Med sci sports exerc* 1993; 25: 363-70.
- 13 - Thorstensson A, Karlsson J. Fatiguability and Fibre Composition of Human Skeletal Muscle. *Acta physiol scand* 1976; 98: 318-22.
- 14 - Bottinelli R, Pellegrino MA, Canepari R, Reggiani C. Specific contributions of various muscle fibre types to human muscle performance: an in vitro study. *J electromyogr kinesiol* 1999; 9: 87-95.

- 15 - Monemi M, Eriksson PO, Eriksson A, Thornell LE. Adverse changes in fibre type composition of the human masseter versus biceps brachii muscle during aging. *J neurol sci* 1998; 154: 35-48.
- 16 - Larsson L, Hook P, Pircher P. Regulation of human muscle contraction at the cellular and molecular levels. *Ital J neurol Sci* 1999;20: 413-22.
- 17 - Barany M. ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. *J gen physiol* 1967; 50:197-218.
- 18 - Greaser ML, Moss RL, Reiser PJ. Variations in contractile properties of rabbit single muscle fibres in relation to troponin T isoforms and myosin light chains. *J physiol* 1988; 406: 85-98.
- 19 - Larsson L, Moss RL. Maximum velocity of shortening in relation to myosin isoform composition in single fibres from human skeletal muscles. *J physiol* 1993; 472: 595-614.
- 20 - Sweeney HL, Kushmerick MJ, Mabuchi K, Sreter FA, Gergely J. Myosin alkali light chain and heavy chain variations correlate with altered shortening velocity of isolated skeletal muscle fibers. *J biol chem* 1988;263: 9034-9.
- 21 - Edman KA, Reggiani C, Schiaffino S, Te Kronnie G. Maximum velocity of shortening related to myosin isoform composition in frog skeletal muscle fibres. *J physiol* 1988; 395: 679-94.
- 22 - Widrick JJ, Trappe SW, Costill DL, Fitts RH. Force-velocity and force-power properties of single muscle fibers from elite master runners and sedentary men. *Am j physiol* 1996;271: 676-83.
- 23 - Kirkendall DT. Mobilidade: Programas de Condicionamento. In: Gould JA, editor. *Fisioterapia na Ortopedia e na Medicina do Esporte*. São Paulo : Manole; 1993. p. 227-52.
- 24 - Fukunaga T, Miyatani M, Tachi M, Kouzaki M, Kawakami Y, Kanehisa H. Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta physiol scand* 2001; 172: 249-55.
- 25 - Gulch RW. Force-velocity relations in human skeletal muscle. *Int j sports med* 1994; 15: S2-10.
- 26 - Dvir Z. *Isocinética: Avaliações Musculares, Interpretações e Aplicações Clínicas*. 1st. ed. Barueri: Manole; 2002.
- 27 - Moffroid M, Whipple R, Hofkosh J, Lowman E, Thistle H. A study of isokinetic exercise. *Phys ther* 1969;49: 735-46.
- 28 - Mawdsley RH, Knapic JJ. Comparison of isokinetic measurements with test repetitions. *Phys ther* 1982;62: 169-72.
- 29 - Kilfoil MR, St Pierre DM. Reliability of Cybex II Isokinetic Evaluations of Torque in Post-Poliomyelitis Syndrome. *Arch phys med rehabil* 1993; 74: 730-5.
- 30 - Ploeg Van Der RJ, Oosterhuis HJGH, Reuvekamp J. Measuring muscle strength. *J neurol* 1984; 231: 200-3.
- 31 - Aitkens SG, Lord J, Bernauer E, Fowler Jr WM, Lieberman JS, Berck P. Relationship of manual muscle testing to objective strength measurement. *Muscle nerve* 1989;12: 173-7.
- 32 - Merlini L, Dell' Accio D, Granata C. Isokinetic muscle testing (IMT) in neuromuscular diseases. Preliminary report. *Neuromuscul disord*1992; 2: 201-7.
- 33 - Fugl-Meyer AR, Sjöström M, Wahlby L. Human plantar flexion strength and structure. *Acta physiol scand* 1979;107: 47-56.
- 34 - Trappe SW, Trappe TA, Lee GA, Costill DL. Calf Muscle Strength in Humans. *Int j sports med* 2001;22:186-91.
- 35 - Schilling BK, Fry AC, Chiu LZF, Weiss LW. Myosin heavy chain isoform expression and in vivo isometric performance: a regression model. *J strength cond res* 2005b;19: 270-5.
- 36 - Gür H, Gransberg L, Vandyke D, Knutsson E, Larsson L. Relationship between in vivo muscle force at different speeds of isokinetic movements and myosin isoform expression in men and women. *Eur j appl physiol* 2003; 88: 487-96.
- 37 - Kofotolis N, Vrabas IS, Vamvakoudis E, Papanikolaou A, Mandroukas K. Proprioceptive neuromuscular facilitation training induced alterations in muscle fibre type and cross sectional area. *Br j sports med* 2005; 39:e11.
- 38-Charteris J. Effects of velocity on upper to lower extremity muscular work and power output ratios of intercollegiate athletes. *Br j sports med* 1999; 33: 250-4.
- 39 - Brooks SV, Faulkner JA. Skeletal muscle weakness in old age: underlying mechanisms. *Med sci sports exerc* 1994; 26: 432-9.
- 40 - Klitgaard H, Mantoni M, Schiaffino S, Ausoni S, Gorza AL, Laurent-Winter C, Schnohr P. Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds. *Acta physiol scand* 1990; 140: 41-54.
- 41 - Bruce SA, Newton D, Woledge RC. Effect of age on voluntary force and cross-sectional area of human adductor pollicis muscle. *Q j exp physiol* 1989; 74: 359-62.
- 42 - Overend TJ, Cunningham DA, Kramer JF, Lefcoe MS, Paterson DH. Knee extensor and knee flexor strength: cross-sectional area ratios in young and elderly men. *J gerontol* 1992; 47: 204-10.
- 43 - Young A, Stokes M, Crowe M. The size and strength of the quadriceps muscles of old and young men. *Clin physiol* 1985; 5: 145-54.
- 44 - Jubrias SA, Odderson IR, Esselman PC, Conley KE. Decline in isokinetic force with age: muscle cross-sectional area and specific force. *Pflugers arch* 1997; 434: 246-53.
- 45 - Akima H, Kano Y, Enomoto Y, Ishizu M, Okada M, Oishi Y *et al*. Muscle function in 164 men and women aged 20—84 yr. *Med sci sports exerc* 2001; 33: 220-6.
- 46 - Miles MP, Clarkson PM, Bean M, Ambach K, Mulroy J, Vincent K. Muscle function at the wrist following 9 d of immobilization and suspension. *Med sci sports exerc* 1994; 26: 615-23.
- 47 - Veldhuizen JW, Verstappen FT, Vroemen JP, Kuipers H, Greep JM. Functional and morphological adaptations following four weeks of knee immobilization. *Int j sports med* 1993; 14: 283-7.
- 48 - Lorentzon R, Elmövist LG, Sjöström M, Fagerlund M, Fuglmeier AR. Thigh musculature in relation to chronic anterior cruciate ligament tear: Muscle size, morphology, and mechanical output before reconstruction. *Am j sports med* 1989;17: 423-9.

- 49 - Griggs RC, Mendell JR, Miller RG. Evaluation and treatment of myopathies. Philadelphia: F.A.Davis Company; 1995.
- 50 - Aitkens SG, McCrory MA, Kilmer DD, Bernauer EM. Moderate Resistance Exercise Program: Its effect in Slowly Progressive Neuromuscular Disease. Arch phys med 1993; 74: 711-5.
- 51 - Kilmer DD, McCrory MA, Wright NC, Aitkens SG, Bernauer EM. The effect of a High Resistance Program in Slowly Progressive Neuromuscular Disease. Arch phys med 1994; 75: 560-3.
- 52 - Lindeman E, Leffers P, Spaans F, Drukker J, Reulen J, Kerckhoffs M et al. Strength Training in Patients With Myotonic Dystrophy and Hereditary Motor Sensory Neuropathy: A Randomized Clinical Trial. Arch phys med 1995; 76: 612-20.
- 53 - Tajsharghi H, Sunnerhagen KS, Darin N, Kyllerman M, Oldfors A. Induced shift in myosin heavy chain expression in myosin myopathy by endurance training. J neurol 2004; 251: 179-83.
- 54 - Laroche M, Rico G, Delisle MB, Campech M, Marque P. Bent Spine Syndrome: Computed Tomographic Study and Isokinetic valuation. Muscle nerve 2002;2 5: 189-93.
- 55 - Tollback A, Knutsson E, Borg J, Borg K, Jakobsson F. Torque velocity relation and muscle fibre characteristics of foot dorsiflexors after long term overuse of residual muscle fibres due to prior polio or L5 root lesion. Scand j rehabil med 1992; 24: 151-6.
- 56 - Krivickas LS, Yang JI, Kim, SK, Frontera WR. Skeletal muscle fiber function and rate of disease progression in amyotrophic lateral sclerosis. Muscle nerve 2002; 26: 636-43.

Recebido para publicação em 23/04/2008.

Aprovado para publicação em 17/06/2008.