

Normalização da força e torque muscular em crianças e adolescentes

Normalization of muscle strength and torque in children and adolescents

Giovani dos Santos Cunha^{1,2}
Marco Aurélio Vaz¹
Álvaro Reischak de Oliveira¹

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Escola de Educação Física. Laboratório de Pesquisa do Exercício.
Porto Alegre, RS, Brasil

2 Faculdade Sogipa de Educação Física. Porto Alegre, RS, Brasil

Recebido em 15/02/11
Revisado em 13/05/11
Aprovado em 15/06/11



Licença: Creative Commons

Resumo - Os métodos tradicionais de normalização dos dados de força muscular (FM) e torque muscular (TM) têm sido considerados inadequados para ajustar apropriadamente os efeitos da massa corporal em crianças e adultos. A alometria tem demonstrado ser o método mais eficiente para comparar indivíduos de diferentes dimensões corporais. Entretanto, os valores que o expoente alométrico pode assumir para FM e TM ainda são controversos e dependem de diversos fatores relacionados à composição corporal, sexo, idade, tipo de contração e modalidade esportiva. O volume muscular (VM), atualmente, tem demonstrado ser a variável emergente para a normalização dos dados de FM e TM.

Palavras-chave: Crianças; Força muscular; Torque.

Abstract - Traditional methods of normalization of muscle strength (MS) and muscle torque (MT) have been considered inadequate to properly adjust the effects of body mass in children and adults. Allometry has proved to be the most efficient method to compare individuals of different body dimensions. However, the values that the allometric exponent may show for MS and MT are still controversial and depend on many factors related to body composition, sex, age, type of contraction, and type of sport. Muscle volume (MV) has been suggested as the emerging variable for normalization of MS and MT.

Key words: Muscle strength; School children; Torque.

INTRODUÇÃO

O treinamento de força tem sido considerado efetivo e seguro para o desenvolvimento da força muscular (FM) em crianças e adolescentes¹. Testes de FM têm sido extensivamente utilizados no esporte e na educação física com o objetivo de fornecer valores normativos (perfil atlético), detecção de talentos, distinção entre diferentes níveis de desempenho ou avaliar adaptações ao treinamento². A FM tem um papel importante para o desempenho esportivo, pois melhora a velocidade de execução de habilidades técnicas específicas e também é importante para estabilizar as articulações em diversas situações esportivas, auxiliando na prevenção de lesões².

Durante a infância e a adolescência, a FM absoluta apresenta um aumento progressivo^{3,4}. Esse aumento é atribuído, principalmente, a mecanismos neurais, como o aumento no recrutamento e na frequência de ativação de unidades motoras¹. Contudo, durante o processo de maturação biológica, modificações no tamanho, massa e composição corporal influenciam esse comportamento da FM⁴⁻⁶. Por esse motivo, tem sido postulado que o melhor período para o treinamento e desenvolvimento da FM seria durante o processo maturacional. Especificamente, o melhor período para o desenvolvimento da FM seria de 12-18 meses após o pico de velocidade da estatura para meninos e, imediatamente após a menarca, para meninas⁷.

Entretanto, essa teoria deve ser interpretada com cautela, pois quando mensuramos a FM na população pediátrica, a idade, o sexo, a maturação biológica e o tamanho corporal são variáveis intervinientes. Assim, esse aumento da FM observado durante o processo maturacional poderia ser um efeito de escala, resultado de uma incorreta normalização dos dados. Desta forma, é extremamente importante que o efeito do tamanho corporal sobre os dados de FM e torque muscular (TM) seja devidamente normalizado. Caso contrário, não será possível definir se as alterações na FM e TM são devidas ao crescimento, à maturação biológica, ao treinamento, à composição corporal ou a uma interação entre esses fatores.

Historicamente, esse efeito do tamanho corporal sobre a FM e TM tem sido controlado por uma simples divisão do valor da FM absoluta pela massa corporal (MC) em quilogramas (kg), conhecida como expressão padrão (FM/MC). A MC foi escolhida como variável de normalização porque geralmente apresenta altos valores de correlação com a FM e TM. Entretanto, nos últimos anos,

esse método de normalização tem sido extensamente criticado, pois a relação entre MC e FM não tem demonstrado ser linear, com os valores de FM aumentando em uma menor proporção do que a MC⁸⁻¹¹. Caso esse comportamento seja observado, a expressão padrão torna-se inapropriada para ajustar adequadamente os efeitos da MC sobre a FM e TM.

Na tentativa de realizar comparações adequadas entre indivíduos heterogêneos em tamanho corporal, outras variáveis de normalização da FM e TM têm sido propostas, como a utilização do índice de massa corporal (IMC), massa livre de gordura (MLG), área de secção transversa (AST) e volume muscular (VM)^{3,12-14}. Adicionalmente, muitos estudos têm indicado a alometria como método mais apropriado para ajustar os efeitos da MC sobre a FM¹⁵⁻¹⁸ ou TM¹⁹⁻²⁴. Essa metodologia é baseada na aplicação da equação alométrica ($Y=aX^b$), que estabelece um índice que permite comparar indivíduos heterogêneos em tamanho e composição corporal.

Por todo o exposto, a presente revisão tem como objetivo apresentar uma revisão crítica em relação aos métodos de normalização dos dados de FM e TM em crianças e adolescentes, bem como sugerir recomendações para a normalização dessas variáveis.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os artigos dessa revisão foram selecionados a partir das bases de dados PubMed e Scopus. Foram incluídos artigos publicados na íntegra, no período entre 1980 e 2011, que apresentavam as palavras chave *allometric*, *strength*, *torque*, *children*, *normalizing*, *biological maturation* e suas possíveis combinações. Fontes adicionais foram obtidas através das referências encontradas nos artigos primários.

VARIÁVEIS TRADICIONAIS DE NORMALIZAÇÃO DA FM E TM

A FM tem sido definida como a força máxima (N) ou o torque máximo (Nm) desenvolvido durante uma contração voluntária máxima (CVM) em dada condição¹⁸.

Diversos fatores afetam os resultados de FM e TM. Entre eles, podemos citar fatores relacionados aos participantes (sexo, idade, estágio maturacional, composição corporal e nível de condicionamento físico)^{5,6}, à arquitetura muscular (ângulo de penação, comprimento do fascículo, espessura muscular e VM)^{13,14}, a aspectos metodológicos (tipo de contra-

ção muscular, estabilidade, correção da gravidade e sequência do protocolo de teste)^{5,18}, a fatores neuromusculares (ativação e coativação de agonistas e antagonistas)^{5,12}, e outros relacionados à inconsistência das variáveis utilizadas para a normalização dos dados (MC, IMC, MLG, AST e VM)^{3,12-14}.

Embora os efeitos do tamanho e da composição corporal sobre os valores de FM e TM sejam conhecidos, a normalização dos dados tem sido inconsistente. Por exemplo, alguns estudos têm apresentado dados de FM não normalizados pelo tamanho corporal^{25,26}, normalizados por expressões padrões (FM/estatura, FM/IMC, FM/MLG) ou normalizados por vários métodos diferentes para a mesma série de dados (MC, MLG, AST e VM)^{12,27}.

Outras maneiras de normalizar os dados de FM e TM têm sido baseadas na teoria da similaridade geométrica, em que se afirma que o corpo humano tem a mesma forma, variando somente em tamanho corporal. Dessa forma, a FM deveria ser proporcional à estatura ao quadrado (E^2). Assim, qualquer área de um objeto geometricamente similar é, em princípio, proporcional ao volume corporal ou a MC elevados na potência de dois terços ($V^{2/3}$, $MC^{2/3}$)¹⁹. Entretanto, as descobertas dessa teoria, que foram baseadas a partir de um músculo hipotético, têm sido estendidas diretamente para a normalização dos dados de FM e TM, o que dificulta ainda mais a comparação dos resultados de diferentes estudos.

Por muitos anos tem sido postulado que a produção de FM é diretamente dependente da AST e, por esse motivo, a normalização da FM pela AST (FM/AST) tem sido considerada o método padrão ouro^{12,28,29}. Entretanto, a normalização FM/AST também tem demonstrado ser inconsistente. Algumas justificativas poderiam ser atribuídas aos diferentes métodos de determinação da AST, ao sexo, à idade e ao nível de condicionamento físico, mas, principalmente, porque essa relação direta entre FM e AST muitas vezes não tem sido observada^{16,29}. Para exemplificar essa inconsistência, Maughan et al.³⁰ compararam a FM/AST nos extensores do joelho em dois grupos de atletas de elite (velocistas e maratonistas) e um grupo controle. Os resultados revelaram que os velocistas ($9,9 \pm 0,9$ N/cm²) eram significativamente ($p < 0,01$) mais fortes do que os maratonistas ($8,8 \pm 0,5$ N/cm²) e semelhantes ao grupo controle ($9,5 \pm 1,4$ N/cm²), não existindo diferenças na AST entre os grupos. O resultado mais curioso foi que os sujeitos do grupo controle apresentaram maiores valores individuais de FM/AST do que o grupo de atletas ($13,6$ N/cm² vs $11,4$ N/cm²). Especificamente

em crianças, a AST não tem demonstrado ser uma variável explicativa da FM³, além de não aumentar na mesma proporção que a FM⁵.

Na tentativa de encontrar um método que permita comparar adequadamente indivíduos de diferentes idades, sexo e composição corporal, diversos estudos têm indicado a alometria como método de normalização mais adequado para os dados de FM e TM^{10,18,21,23}. O quadro 1 apresenta, em resumo, os principais estudos que utilizaram a alometria para normalização os dados de FM e TM.

UTILIZAÇÃO DA ALOMETRIA PARA NORMALIZAÇÃO DE DADOS BIOLÓGICOS

A alometria é o método matemático que expressa a medida à qual uma variável (seja anatômica, fisiológica, física ou temporal) é relacionada com uma unidade de tamanho corporal⁴.

A análise alométrica pode ser descrita pela equação $Y = aX^b$, em que Y é a variável dependente e X a variável independente (geralmente MC em kg). Essa equação possui dois termos importantes, o coeficiente de proporcionalidade "a" e o expoente alométrico "b". Esses dois termos podem ser identificados por meio de uma análise de regressão linear após convertermos os valores de X e Y para logaritmo. Assim, temos a equação $\log Y = \log a + b \log X$. O coeficiente de proporcionalidade "a" pode ser utilizado para comparar a magnitude das forças. O expoente alométrico "b" indica a extensão e a direção da relação entre a variável dependente Y e a variável independente X. O expoente alométrico "b" pode apresentar diferentes valores, tanto positivos como negativos, dependendo da relação a ser observada. Além disso, caracteriza de forma descritiva a relação entre as alterações da variável dependente Y e a variável independente X³¹.

Do ponto de vista esportivo, muitos estudos têm utilizado a alometria para normalizar diversas variáveis, como o VO_2 max e limiar anaeróbio^{32,33}, FM e TM^{8,16,18,27} e efeitos da maturação biológica^{13,14,32,33}. Entretanto, poucos estudos têm examinado diretamente a aplicação dos expoentes alométricos durante o crescimento e maturação biológica de crianças, adolescentes e jovens atletas.

UTILIZAÇÃO DA ALOMETRIA PARA A NORMALIZAÇÃO DOS DADOS DE FM E TM

Algumas investigações têm indicado que a FM aumenta em uma menor proporção do que o ta-

Quadro 1. Resumo dos estudos que utilizaram a alometria para normalização dos dados de força e torque muscular.

Estudo	Participantes	Teste	Comentários
Davies et al. ³⁴	Idosos (n=148)	TM de EJ	Recomenda MLG para a normalização.
De Ste Croix et al. ³	♂ e ♀ 10-14 anos (n=41)	TM de EJ e FJ	Sem diferença ($p < 0,05$) entre ♂ e ♀ quando a MC é ajustada por alometria.
De Ste Croix et al. ³⁵	♂ e ♀ 8-9, 13-14 e 18-27 anos	TM de EJ e FJ	"b" varia com a idade, e, após a normalização, verificou-se diferenças entre os grupos.
Folland et al. ²³	♂ 18-30 anos (n=86)	TM e FM de EJ	Valores de "b" são menores para a FM e para indivíduos não-atletas.
Hullens et al. ²⁷	♀ obesas e não-obesas (n=253)	TM de EJ, FJ, tronco e FPM	A alometria verificou que ♀ não-obesas têm maiores valores de FM e TM.
Jaric et al. ⁹	♂ 22-47 anos (n=16)	FM, TM de EJ, FJ, EC, FC, EQ, FQ	Recomenda a alometria para normalizar FM ($b=0,67$) e TM ($b=1$).
Markovic et al. ²¹	♂ 18-26 anos (n=77)	FM e potência	Aplicação de diferentes "b" para normalizar FM (carga externa e interna); a potência não necessita de normalização pela MC.
Nevill et al. ¹⁰	♂ e ♀ 11-16 anos (n=453)	TM de EJ e FC	A alometria identificou efeito positivo adicional da idade cronológica sobre o TM em ♂.
Vanderburg et al. ²⁴	♂ e ♀ (n=205)	FPM	Recomenda normalizar FPM por "b"=0,54 para ♂ e "b"=0,48 para ♀.
Weir et al. ¹¹	Lutadores de 8-13 e 14-18 anos (n=258)	TM EJ e FJ	TM aumenta com a idade e não pode ser explicado somente pelo aumento da MLG.
Wisloff et al. ⁸	Futebolistas (n=29)	Levantamento de peso	Recomenda normalizar a FM por "b"=0,67.
Wren et al. ¹⁷	♂ e ♀ 4-16 anos (n=39)	TM de EJ, FJ, ADC, ABC, FPT e FDT	Normalização padrão falhou em ajustar o TM; recomenda o uso da alometria.
Zoeller et al. ¹⁶	♂ 23-26 anos (n=136)	FM isométrica de FC	Normalização alométrica removeu os efeitos da MC sobre os dados de FM isométrica ("b"=0,64).

FM= força muscular; TM= torque muscular; EJ= extensores do joelho; FJ= flexores do joelho; FC= flexores do cotovelo; EC= extensores do cotovelo; ADC= adutores da coxa; ABC= abdutores da coxa; FPT= flexores plantares do tornozelo; FDT= Flexores dorsais do tornozelo; "b"= expoente alométrico; MC= massa corporal; FPM= força de prensão manual; AST= área de secção transversa; ♂ = homens, ♀= mulheres; MLG= massa livre de gordura.

manho corporal⁸⁻¹¹. Por esse motivo, os modelos alométricos têm sido utilizados para ajustar adequadamente os efeitos do tamanho corporal sobre os dados de FM e TM^{10,11,18,23}. A identificação do expoente alométrico nos permite identificar a direta relação entre a FM ou TM com a sua variável de normalização e estabelece um índice independente do tamanho corporal.

No entanto, o valor que esse expoente alométrico (b) pode assumir tem apresentado uma grande variação, pois é dependente do tamanho amostral, da variável de normalização (MC, MLG, AST, ASTF e VM) e da forma de manifestação da força (isométrica, concêntrica e excêntrica). Nesse sentido, exercícios de FM que necessitam vencer uma resistência externa (ex.: prensão manual, agachamento, supino, rosca bíceps e tríceps) geralmente apresentam expoentes alométricos de aproximadamente $b=0,67$. Exercícios que suportem o peso corporal (ex.: abdominal, barra, apoio e elevação de pernas) apresentam valores negativos

para $b=-0,33$; e exercícios de FM com componente de potência (ex.: salto vertical, salto horizontal, chute e arremessos) têm valores de $b=0$, ou seja, sem necessidade de normalização pela MC²¹.

Outro problema reportado é a distinção entre as formas de normalização para a FM e o TM⁹. Essa distinção é necessária, pois o torque é uma função da FM, com a vantagem biomecânica do sistema de alavanca⁵. As evidências demonstram que os métodos de normalização permanecem semelhantes para FM e TM^{27,36}, causando problemas para a normalização dos efeitos do tamanho corporal. Por outro lado, se os indivíduos testados forem geometricamente similares, o efeito da alavanca não dependerá do tamanho corporal, desde que o braço de alavanca varie proporcionalmente.

Jaric et al.⁹ propuseram a utilização de diferentes expoentes alométricos para normalizar a FM ($b=0,67$) e o TM ($b=1$). Esses autores teorizaram que o tamanho corporal pode alterar o braço de alavanca muscular e a resistência externa poderia

variar na mesma proporção. Dessa forma, a força gerada poderia ser proporcional a FM, visto que esta é dependente da AST do músculo, que, por sua vez, é proporcional à $MC^{0,67}$. Ao contrário, o TM depende da FM multiplicada pelo braço de alavanca do músculo (BAM), que é proporcional à $MC^{0,33}$. Em vista disso, podemos expressar essas relações como $TM = FM \times BAM$, ou seja, $MC^{0,67} \times MC^{0,33} = MC^1$. Assim, o expoente alométrico $b=1$ deveria ser utilizado para normalizar os dados de TM, o que teoricamente torna a normalização padrão (TM/MC) adequada. Entretanto, alguns estudos têm demonstrado que esse expoente alométrico pode variar de $b=0,77$ até $b=1,87$ em resposta a diferentes protocolos isocinéticos^{10,17,35,36}.

O valor que o expoente alométrico pode assumir para a FM e TM é outro fator que reforça a necessidade de distinção na normalização dessas variáveis. Geralmente, a FM tem apresentado menores valores de expoente alométrico do que o TM²⁷. Vanderburgh et al.²⁴ sugerem valores de expoente alométrico para a FM que variam de $0,48 < b < 0,58$, enquanto que Jaric et al.⁹ recomendam valores de $b=0,67$. Estudos com levantamento de pesos têm apresentado uma maior variação dos expoentes alométricos para FM ($0,45 < b < 0,87$). Quando analisamos o TM, esse tem apresentado consistentemente maiores valores de expoente alométrico ($0,74 < b < 1,31$)^{9,11,27,34}.

Na tentativa de elucidar esses questionamentos, Folland et al.²³ verificaram as diferenças entre FM isométrica e o TM dos extensores do joelho em 86 homens. Os resultados demonstraram que o expoente alométrico para o TM ($b=0,69$) foi consistentemente maior do que para a FM ($b=0,33$). Quando a amostra foi separada em dois grupos de acordo com o percentual de gordura (menor e maior do que 20%), os expoentes alométricos correspondiam a $b=0,45$ e $b=0,68$ para FM, e $b=0,68$ e $b=0,98$ para TM, respectivamente. Quando a MLG foi utilizada como uma variável de normalização dos dados, essa igualmente evidenciou maiores valores de expoente alométrico para o TM ($b=1,12$) do que para a FM ($b=0,76$).

Excepcionalmente, Nevill et al.¹⁰ apresentaram valores de expoente alométrico bem abaixo aos reportados pela literatura para o TM de bíceps e quadríceps ($b=0,38$ e $b=0,36$, respectivamente). Entretanto, a amostra desse estudo foi composta de crianças, e os resultados podem ter sido afetados pelo efeito da maturação biológica.

UTILIZAÇÃO DA ALOMETRIA PARA NORMALIZAÇÃO DA FM E TM EM

CRIANÇAS E ADOLESCENTES

A alometria tem sido utilizada para normalizar os dados de FM e TM em crianças e adolescentes, principalmente, porque permite identificar um índice estatisticamente independente do tamanho corporal. A identificação desse índice é extremamente importante, pois os dados de FM e TM também são influenciados pela idade cronológica, sexo, treinamento e composição corporal.

Do ponto de vista do treinamento desportivo, tem sido postulado que o melhor período para desenvolver a FM seria durante o processo maturacional⁷. Essa indicação é baseada principalmente em estudos que identificaram um aumento progressivo da FM absoluta (sem normalização) de acordo com a idade cronológica e maturação biológica. A partir disso, diversos estudos utilizaram a alometria para normalizar adequadamente os dados de FM e TM, na tentativa de elucidar o real comportamento da FM em crianças e adolescentes^{3,10,24,35}.

Um dos primeiros estudos a utilizar a alometria para normalizar os dados de FM em crianças foi o de Vanderburgh et al.²⁴. Esse estudo tinha como objetivo identificar um índice que permitisse comparar a força de preensão manual entre meninos ($n=100$) e meninas ($n=105$) independentemente dos efeitos de confusão da MC. Os autores concluíram que o expoente alométrico $b=0,51$ normalizava adequadamente os dados e permitia uma comparação entre meninos e meninas independente da MC ($FM/MC^{0,51}$).

De Ste Croix et al.³⁵ examinaram os efeitos da idade e do sexo sobre a FM isocinética de membros inferiores em meninos, meninas e adultos. Foram identificados os expoentes alométricos para o TM de extensores do joelho ($b=0,82$ e $b=0,85$ para homens e mulheres, respectivamente) e para o TM de flexores do joelho ($b=1$ e $b=0,96$ para homens e mulheres, respectivamente). Os resultados demonstraram que não existiam diferenças no TM absoluto (TM), relativo (TM/MC) e alométrico (TM/MC^b) entre crianças e adolescentes, mas existiam diferenças entre os sexos no grupo dos adultos. Os dados sugerem que quando a MC é devidamente ajustada por alometria, a FM isocinética aumenta de acordo com a idade, e as diferenças entre os sexos não são evidentes até os 14 anos.

Wren et al.¹⁷ verificaram a aplicação de diversos métodos de normalização do TM de membro inferior em crianças. Foram utilizadas as normalizações TM/MC, TM/MCxE, TM/IMC e o modelo alométrico TM/MC^b . Os resultados demonstraram

que a simples normalização (TM/MC) não ajusta adequadamente os valores de TM em crianças. O modelo alométrico demonstrou ser o método mais apropriado para a normalização do TM, sendo que os valores dos expoentes alométricos variaram de $b=1,32$ até $b=1,87$, com um valor médio de $b=1,60$ para os seis movimentos testados. Outro estudo utilizou a alometria para examinar a influência da MLG sobre o TM em dois grupos de levantadores de peso, classificados por idade cronológica (8-13 anos vs 14-18 anos). Os resultados indicaram que a TM aumentava de acordo com a idade cronológica e não poderia ser explicado pelo aumento da MLG. O efeito da idade cronológica foi maior no grupo 8-13 anos e poderia ser devido ao desenvolvimento do sistema neuromuscular, alterações na massa muscular ou a combinação desses fatores¹¹.

Assim como a idade cronológica, a maturação biológica é considerada uma variável crítica quando analisamos a FM e o TM em crianças e adolescentes, pois o desenvolvimento do sistema nervoso e a mielinização neuromuscular só estarão totalmente completos ao final desse processo. Estudos examinando os efeitos da maturação biológica sobre a FM devem ser interpretados com muita cautela, pois esses estimam o estágio maturacional a partir da idade cronológica ou simplesmente classificam os indivíduos como sendo pré-púberes ou pós-púberes⁵. Adicionalmente, existe uma dificuldade de dissociar os efeitos da maturação biológica de outras variáveis intervenientes que causam confusão na interpretação dos dados, como a idade cronológica, a estatura e a composição corporal.

Nedeljkovic et al.⁶ verificaram o efeito da maturação biológica sobre o tamanho corporal e sua relação com o desempenho em vários testes de FM. Os resultados revelaram que existe um incremento no desempenho da FM concomitante com o aumento do tamanho corporal durante a puberdade. Esse incremento é superior aos encontrados durante a pré-puberdade e pós-puberdade. Neu et al.³⁷ analisaram o efeito da força de preensão manual em 185 mulheres e 181 homens com idades entre 6 e 23 anos. Os resultados demonstraram um aumento da AST e da FM com a idade. Como esperado, incrementos no tamanho muscular e na FM eram acelerados durante a puberdade nos homens, mas não nas mulheres, o que indica uma influência da maturação biológica e do gênero. Contudo, quando os dados de FM específica (FM/AST) foram ajustados pelo comprimento do antebraço, a FM específica não apresentou diferenças significativas entre os gêneros e demonstrou ser independente

dos efeitos dos hormônios sexuais.

Da mesma forma, De Ste Croix et al.³ determinaram que a maturação biológica não influencia independentemente o desenvolvimento da FM isocinética de extensores e flexores do joelho quando a estatura e a MC eram devidamente controladas. Os autores ressaltam a necessidade de cautela na interpretação dos dados, porque não existia uma grande variação dos estágios maturacionais. Adicionalmente, Tonson et al.¹³ verificaram o efeito do crescimento e da maturação biológica sobre a FM isométrica em 14 pré-púberes, 16 adolescentes e 16 homens. Os dados foram normalizados por AST, VM e VM estimado por antropometria. Os resultados apresentaram diferenças entre os grupos quando a FM era normalizada por AST e VM estimado; no entanto, não apresentavam diferenças quando normalizados por VM. Os autores concluíram que o VM é a melhor variável de normalização dos dados de FM durante o crescimento e maturação biológica.

O VM tem demonstrado ser essencial para analisarmos o desempenho muscular e suas adaptações em resposta ao treinamento, desuso ou envelhecimento³⁸. A máxima capacidade de geração de força do músculo é proporcional a ASTF, podendo ser estimada a partir do VM e do comprimento do fascículo (FL). Assim, o VM é um determinante de massa muscular, tornando-se um parâmetro importante para avaliar a FM do músculo³⁹. Atualmente, tem sido utilizado como uma variável de normalização da FM¹³ e do TM^{13,14,40}. Adicionalmente, essa normalização (FM/VM e TM/VM) tem sido considerada um índice de tensão específica do músculo esquelético³⁹.

RECOMENDAÇÕES PARA NORMALIZAÇÃO DA FM E TM

Existem três questões básicas que devem ser primordialmente consideradas quando comparamos os valores de FM e TM entre crianças, adolescentes e adultos.

- 1ª Identificar a relação dos valores absolutos de FM (geralmente kg) e TM (Nm) com a MC (kg). Para realizarmos essas análises, podemos utilizar a correlação de Pearson (figura 1). Para utilizarmos a MC como variável de normalização, é necessário que exista uma correlação significativa com a FM e TM ($p<0,05$). Caso contrário, a FM e TM serão consideradas independentes da MC. Geralmente esse pressuposto

é atendido na maioria dos estudos.

2^a O próximo passo é verificar se a normalização padrão da FM (FM/MC) e do TM (TM/MC) é independente da MC (kg). Para isso, devemos novamente realizar uma correlação de Pearson, mas agora com os dados normalizados de FM (kg.kg^{-1}) e TM (Nm.kg^{-1}) com a MC (kg). Não havendo correlação significativa, a FM e o TM foram devidamente normalizados. Entretanto, essa expressão raramente tem demonstrado ser independente da MC, geralmente apresentando uma correlação significativa com a MC (figura 2).

3^a Para solucionar essa questão, podemos utilizar a equação alométrica $Y=aX^b$. Essa equação pode ser expressa como $\text{Log (FM ou TM) = Log a + b Log MC}$, para dados que apresentarem grande variabilidade. Ela nos permite identificar o expoente alométrico b , que quantifica a relação entre FM ou TM e MC. Resolvemos essa equação utilizando uma regressão linear com a FM absoluta (kg) ou TM absoluto (Nm), representando a variável dependente, e a MC (kg), a variável independente. Conhecido o valor do expoente b , utilizaremos esse valor

para expressar a MC (kg) em uma função potência (ex.: MC^b). Suponhamos que o valor do expoente para a FM seja $b=0,67$ e para o TM seja $b=0,75$. O próximo passo é dividir o valor da FM absoluta pela $MC^{0,67}$, e, da mesma forma, dividir o valor TM absoluto pela $MC^{0,75}$, criando as expressões alométricas FM ($\text{kg.kg}^{-0,67}$) e TM ($\text{Nm.kg}^{-0,75}$). Teoricamente, agora os dados foram devidamente normalizados e identificamos um índice de normalização estatisticamente independente da MC ($p>0,05$). A figura 3 ilustra esse procedimento.

Nesse sentido, o efeito do tamanho corporal foi devidamente ajustado e a comparação entre indivíduos heterogêneos em sexo, idade, maturação biológica, nível de condicionamento físico e composição corporal (% gordura, % massa muscular e % ósseo) podem ser comparados adequadamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A alometria tem demonstrado ser a metodologia mais adequada para normalizar os dados de FM e TM. Em crianças e adolescentes, essa metodologia

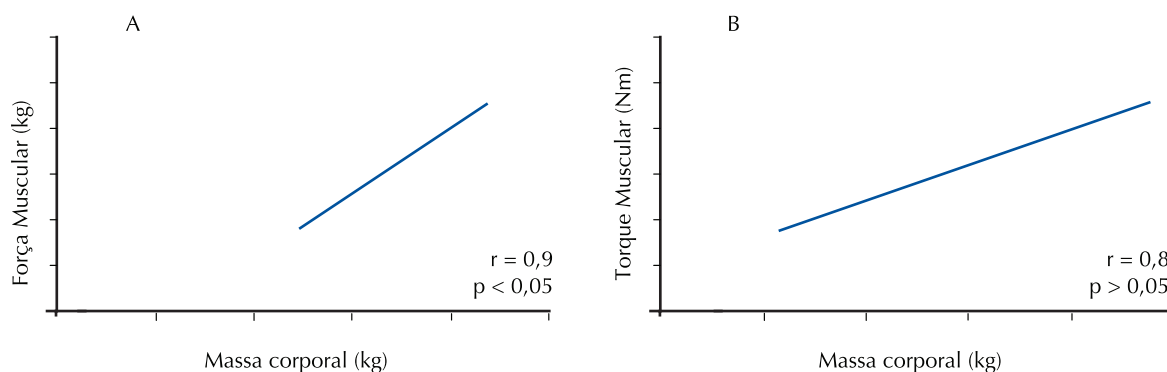


Figura 1. Regressão linear entre força muscular absoluta e massa corporal (A) e regressão linear entre torque muscular absoluto e massa corporal (B).

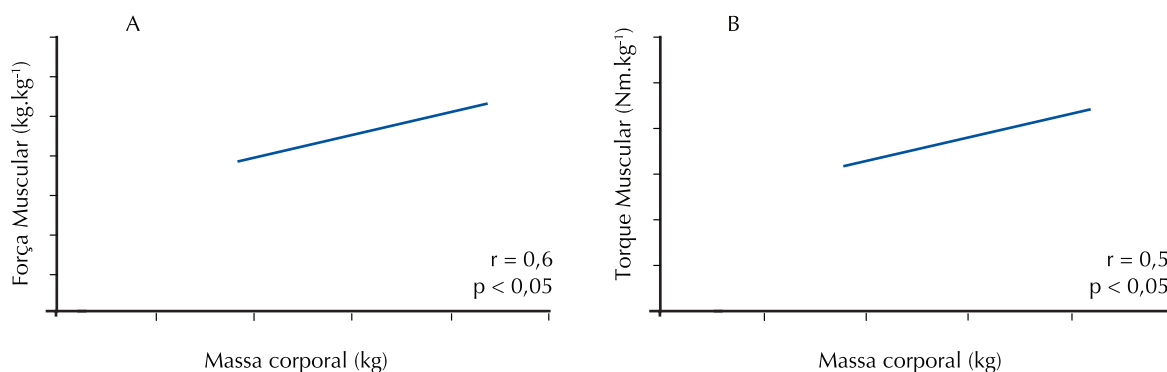


Figura 2. Regressão linear entre força muscular relativa e massa corporal (A) e regressão linear entre torque muscular relativo e massa corporal (B).

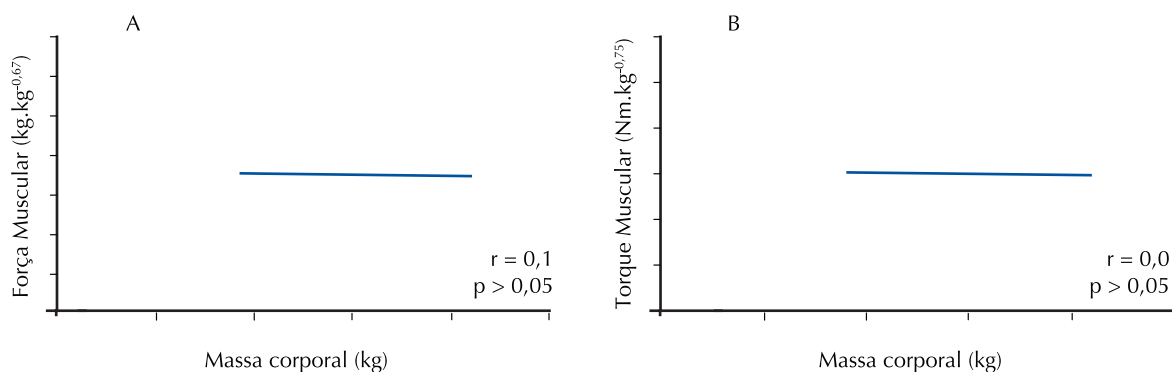


Figura 3. Regressão linear entre força muscular alométrica e massa corporal (A) e regressão linear entre torque muscular alométrico e massa corporal (B).

também tem demonstrado ser a mais eficiente para a normalização dos dados, além de ser sensível para verificar os efeitos do crescimento e da maturação biológica.

Recomendamos o cálculo dos expoentes alométricos específicos para a FM e TM, verificando se esses estabelecem um índice independente do tamanho corporal.

O VM poderá assumir um papel importante na normalização da FM e TM, pois tem sido considerado superior à MC, MLG e AST como variável de normalização.

Agradecimentos

Ao CNPq, FINEP e CAPES pelo apoio financeiro a este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Malina RM. Weight training in youth-growth, maturation, and safety: an evidence-based review. *Clin J Sport Med* 2006;16(6):478-87.
2. Hoff J, Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med* 2004;34(3):165-80.
3. De Ste Croix MB, Armstrong N, Welsman JR, Sharpe P. Longitudinal changes in isokinetic leg strength in 10-14-year-olds. *Ann Hum Biol* 2002;29(1):50-62.
4. Rowland TW. *Children's Exercise Physiology*. 2ª edition ed: Human Kinetics; 2005.
5. De Ste Croix M, Deighan M, Armstrong N. Assessment and interpretation of isokinetic muscle strength during growth and maturation. *Sports Med* 2003;33(10):727-43.
6. Nedeljkovic A, Mirkov DM, Kukolj M, Ugarkovic D, Jaric S. Effect of maturation on the relationship between physical performance and body size. *J Strength Cond Res* 2007;21(1):245-50.
7. Ford P, De Ste Croix M, Lloyd R, Meyers R, Moosavi M, Oliver J, et al. The long-term athlete development

model: physiological evidence and application. *J Sports Sci* 2011;29(4):389-402.

8. Wisloff U, Helgerud J, Hoff J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30(3):462-7.
9. Jaric S, Radosavljevic-Jaric S, Johansson H. Muscle force and muscle torque in humans require different methods when adjusting for differences in body size. *Eur J Appl Physiol* 2002;87(3):304-7.
10. Nevill AM, Holder RL, Baxter-Jones A, Round JM, Jones DA. Modeling developmental changes in strength and aerobic power in children. *J Appl Physiol* 1998;84(3):963-70.
11. Weir JP, Housh TJ, Johnson GO, Housh DJ, Ebersole KT. Allometric scaling of isokinetic peak torque: the Nebraska Wrestling Study. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;80(3):240-8.
12. Klein CS, Rice CL, Marsh GD. Normalized force, activation, and coactivation in the arm muscles of young and old men. *J Appl Physiol* 2001;91(3):1341-9.
13. Tonson A, Ratel S, Le Fur Y, Cozzone P, Bendahan D. Effect of maturation on the relationship between muscle size and force production. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40(5):918-25.
14. Barrett U, Harrison D. Comparing muscle function of children and adults: Effects of scaling for muscle size. *Pediatr Exerc Sci* 2002;14(4):369-76.
15. Huxley JS. On the relation between egg weight and body weight in birds. *JLinn Soc Zool.* 1927;36:457-66.
16. Zoeller RF, Ryan ED, Gordish-Dressman H, Price TB, Seip RL, Angelopoulos TJ, et al. Allometric scaling of biceps strength before and after resistance training in men. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39(6):1013-9.
17. Wren TA, Engsborg JR. Normalizing lower-extremity strength data for children without disability using allometric scaling. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88(11):1446-51.
18. Jaric S. Muscle strength testing: use of normalisation for body size. *Sports Med* 2002;32(10):615-31.
19. Jaric S. Role of body size in the relation between muscle strength and movement performance. *Exerc Sport Sci Rev* 2003;31(1):8-12.
20. Jaric S, Mirkov D, Markovic G. Normalizing physical

- performance tests for body size: a proposal for standardization. *J Strength Cond Res* 2005;19(2):467-74.
21. Markovic G, Jaric S. Movement performance and body size: the relationship for different groups of tests. *Eur J Appl Physiol* 2004;92(1-2):139-49.
 22. Markovic G, Jaric S. Scaling of muscle power to body size: the effect of stretch-shortening cycle. *Eur J Appl Physiol* 2005;95(1):11-9.
 23. Folland JP, Mc Cauley TM, Williams AG. Allometric scaling of strength measurements to body size. *Eur J Appl Physiol* 2008;102(6):739-45.
 24. Vanderburgh PM, Mahar MT, Chou CH. Allometric scaling of grip strength by body mass in college-age men and women. *Res Q Exerc Sport* 1995;66(1):80-4.
 25. Baroni BM, Leal Junior EC, De Marchi T, Lopes AL, Salvador M, Vaz MA. Low level laser therapy before eccentric exercise reduces muscle damage markers in humans. *Eur J Appl Physiol* 2010;110(4):789-96.
 26. Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med* 2001;22(1):45-51.
 27. Hulens M, Vansant G, Lysens R, Claessens AL, Muls E, Brumagne S. Study of differences in peripheral muscle strength of lean versus obese women: an allometric approach. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001;25(5):676-81.
 28. 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(4):249-55.
 29. Jones EJ, Bishop PA, Woods AK, Green JM. Cross-sectional area and muscular strength: a brief review. *Sports Med* 2008;38(12):987-94.
 30. Maughan RJ, Watson JS, Weir J. Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983;50(3):309-18.
 31. Schmidt-Nielsen k. *Scaling: Why is animal size so important*. Cambridge :Cambridge Press; 1984.
 32. Cunha GS, Célia FG, Ribeiro JL, Oliveira AR. Effects of the biological maturation on maximal oxygen uptake and ventilatory breakpoint of Brazilian soccer players. *Gazz Med Ital - Arch Sci Med* 2008;167(2):43-9.
 33. Cunha GD, Lorenzi TD, Sapata KB, Lopes AL, Gaya ACA, Oliveira AR. Effect of biological maturation on maximal oxygen uptake and ventilatory thresholds in soccer players: An allometric approach. *J Sports Sci* 2011;29(10):1129-39.
 34. Davies MJ, Dalsky GP. Normalizing strength for body size differences in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29(5):713-7.
 35. De Ste Croix MBA, Armstrong N, Welsman JR. Concentric isokinetic leg strength in pre-teen, teenage and adult males and females. *Biol Sport* 1999;16:75-86.
 36. Aasa U, Jaric S, Barnekow-Bergkvist M, Johansson H. Muscle strength assessment from functional performance tests: role of body size. *J Strength Cond Res* 2003;17(4):664-70.
 37. Neu CM, Rauch F, Rittweger J, Manz F, Schoenau E. Influence of puberty on muscle development at the forearm. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2002;283(1):E103-7.
 38. Reeves ND, Maganaris CN, Narici MV. Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol* 2004;91(1):116-8.
 39. Lynch NA, Metter EJ, Lindle RS, Fozard JL, Tobin JD, Roy TA, et al. Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. *J Appl Physiol* 1999;86(1):188-94.
 40. Thom JM, Morse CI, Birch KM, Narici MV. Influence of muscle architecture on the torque and power-velocity characteristics of young and elderly men. *Eur J Appl Physiol* 2007;100(5):613-9.
-
- Endereço para correspondência**
Giovani dos Santos Cunha
Endereço: Rua Felizardo, nº 750,
ESEF/UFRGS-LAPEX
Porto Alegre - RS - Brasil
Cep: 90690-200
Email: giovanicunha@yahoo.com.br