

O consumo máximo de oxigênio possui relação com a espessura muscular do reto femoral e vasto lateral de homens saudáveis?

The maximal oxygen uptake is related to muscle thickness of the rectus femoris and vastus lateralis in health men?

Braz TV, Batista DR, Dias WG, Ornelas F, Sindorf MAG, Rosolem JM, Moreno MA, Lopes CR O consumo máximo de oxigênio possui relação com a espessura muscular do reto femoral e vasto lateral de homens saudáveis? **R. bras. Ci. e Mov** 2020;28(3):135-148.

RESUMO: O presente estudo tem por objetivo verificar se existe relação do consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) com a espessura muscular (EM) de reto femoral e vasto lateral em homens hígidos. Participaram do estudo 13 homens hígidos ($26,7 \pm 5,2$ anos; 176 ± 4 cm; $73,6 \pm 13$ kg). O VO_{2max} foi determinado através de um teste incremental máximo com medição dos gases respiratórios e a mensuração da EM do vasto lateral (EM_{VL}) e reto femoral (EM_{RF}) foi realizada após coletar as imagens por ultrassom modo B. Os resultados encontrados demonstraram uma pequena correlação “não clara” entre VO_{2max} e EM_{RF} ($r = 0,13$, $IC95\% = -0,48$ à $0,66$, $p = 0,675$), correlação moderada “não clara” entre VO_{2max} e EM_{VL} ($r = 0,47$, $IC95\% = -0,14$ à $0,82$, $p = 0,121$) entre VO_{2max} e EM_{RF+VL} ($r = 0,34$, $IC95\% = -0,29$ à $0,77$, $p = 0,278$). Conclui-se que o VO_{2max} não possui relação com a EM de reto femoral e vasto lateral em homens hígidos.

Palavras-chave: Ergoespiometria; Ultrassonografia modo-B; Volume muscular.

Abstract: The purpose of presente study is to investigate whether maximal oxygen uptake (VO_{2Max}) is related to musce thickness (MT) of the rectus femoris and vastus lateralis in healthy men: thirteen healthy men (26.7 ± 5.2 yers, 176 ± 4 cm, 73.6 ± 13 kg) participated in the study. The VO_{2Max} was determined through of na incremental test with measurement of gases exhalation and the measurement of the vastus lateralis muscle thickness (MT_{VL}) and rectus femoris (MT_{RF}) was performed after collecting the B-mode ultrasound images. The result findings to shown a small “nuclear” correlation bet weem VO_{2Max} ant MT_{RF} ($R = 0.13$, $95\%CI = -0.48$ TO 0.66 , $p = 0.675$), moderate “unclear” correlation between VO_{2Max} and MT_{VL} ($R = 0.47$, $95\%CI = -0.14$ TO 0.82 , $p = 0.121$) between VO_{2Max} and MT_{RF+VL} ($R = 0.34$, $95\%CI = -0.29$ TO 0.77 , $p = 0.278$). Conclude there was no VO_{2Max} relation with MT_{RF} and MT_{VL} in healthy men.

Key words: Ergoespiometry; B.mode ultrasound; Skeletal muscle.

Tiago Volpi Braz^{1,2}
Danilo Rodrigues Batista²
Wellington Gonçalves
Dias²
Felipe Ornelas^{1,2}
Márcio Antônio
Gonsalves Sindorf²
Jhenipher Monik
Rosolem²
Marlene Aparecida
Moreno²
Charles Ricardo Lopes²

¹Faculdade de Americana
(FAM), Americana, SP,
Brasil.

²Universidade Metodista
de Piracicaba (UNIMEP),
Piracicaba, SP, Brasil.

Recebido: 17/07/2019
Aceito: 27/11/2020

Introdução

O consumo máximo de oxigênio (VO_2max) é uma das principais variáveis da aptidão aeróbia em condicionamento físico e saúde. Pode ser definido como a maior taxa de captação, transporte e utilização de oxigênio atmosférico durante um exercício exaustivo¹. Independente do sexo, o VO_2max pode ser um preditor independente de mortalidade da população, ou seja, a cada 1 $\text{mLO}_2/\text{kg}/\text{min}$ de aumento nesta variável corresponde a aproximadamente 15% de decréscimo na taxa de mortalidade cardiovascular ou por todas as causas em 2812 pacientes com doença arterial coronariana². Além disto, diversos aspectos morfológicos, antropométricos e fisiológicos podem interferir no VO_2max dos indivíduos, tais como a estatura, massa corporal, volume muscular, débito cardíaco máximo e volume sistólico máximo²⁻⁴.

Um ponto importante a ser analisado seria a relação do tecido muscular com o VO_2max . Em indivíduos idosos, já foi demonstrado a relação entre maior área de secção transversa do quadríceps e capacidade oxidativa do músculo em conjunto com elevada quantidade de enzimas oxidativas e mitocôndrias nas fibras musculares (biogênese mitocondrial), o que pode ser explicado pelo processo de sarcopenia desta população⁵. Em adultos jovens a biogênese mitocondrial é desenvolvida em maior grau com a prática sistemática do treinamento com predomínio aeróbio (ex., caminhada, ciclismo, natação, etc.)¹. Além disto, em casos específicos de elevada hipertrofia muscular, o treinamento de força, com exceção da potência muscular e força máxima, pode reduzir a densidade mitocondrial do tecido muscular pelo processo de aumento da área de secção transversa (relação tamanho do músculo vs número de mitocôndrias disponíveis), ocasionando uma redução do consumo de oxigênio do músculo ativo⁶.

Por exemplo, já foi descrito que o aumento da massa muscular e consequentemente da massa corporal total pode afetar o desempenho na corrida, já que pode influenciar negativamente a capacidade de deslocar-se por longos e contínuos períodos². Além disto, em indivíduos obesos o aumento do volume muscular também pode ser acompanhado do ganho de massa de gordura, o que poderia prejudicar o VO_2max ⁷. Apesar da literatura discorrer sobre hipóteses que relacionem o tecido muscular com o VO_2max , não está claro se a espessura muscular de membros inferiores por si só (ex., vasto lateral e reto femoral) de homens hígidos apresenta relação com teste incremental máximo em corrida mensurando VO_2max . Em uma busca na base de dados do PUBMED (julho de 2019) utilizando a lógica booleana “*VO₂max and muscle thickness*”, em português “*VO₂max e espessura muscular*”, foram encontrados apenas 37 artigos. Nenhum dos manuscritos apresenta medidas de ultrassonografia de espessura muscular e correlação com VO_2max mensurado de forma direta por gases respiratórios.

Só existem aproximações da capacidade oxidativa do tecido muscular de membros inferiores ou *stiffness* do tendão calcâneo com o $VO_2\text{max}$ ³⁻⁵. Considerando esta lacuna, o presente estudo tem por objetivo verificar se existe relação do $VO_2\text{max}$ com a espessura muscular de reto femoral e vasto lateral em homens hígidos. A hipótese inicial é que exista relação muito grande entre estas variáveis (coeficiente de correlação r maior que 0,70)⁸, já que são sujeitos saudáveis e o teste utilizado para verificar o $VO_2\text{max}$ enfatiza a musculatura de membros inferiores. Esta hipótese se baseia no fato de que maior espessura muscular no vasto lateral e reto femoral poderia favorecer a performance durante a corrida e consequentemente permitir aos voluntários atingirem valores mais elevados de $VO_2\text{max}$.

Método

Participantes

Participaram do estudo 13 homens hígidos saudáveis ($26,7 \pm 5,2$ anos; 176 ± 4 cm; $73,6 \pm 13$ kg). Os critérios de inclusão foram: (a) não apresentarem lesões osteoarticulares que pudessem interferir no estudo, (b) não possuírem doenças cardiorrespiratórias e metabólicas e (c) não utilizarem medicamentos que interferissem nas coletas realizadas (ex., betabloqueadores). Este estudo foi aprovado pelo comitê de ética da instituição local (parecer 1.792.429).

Procedimentos

O presente estudo é de natureza observacional de caráter transversal. Foi conduzido no laboratório de fisiologia do exercício da instituição proponente da pesquisa. A temperatura e a umidade do ar foram controladas por ar condicionado (22°C , 40-50%, respectivamente). Foram realizadas de forma sequencial as medidas antropométricas para caracterização da amostra, ultrassonografia para identificar a EM_{VL} e EM_{RF} e o teste ergoespirométrico para determinar o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\text{VO}_{2\text{max}}$). Antes das avaliações, todos os sujeitos estavam há pelos menos 72 horas sem realizarem sessões de treinamento e foram orientados a não utilizarem qualquer tipo de bebida estimulante previamente ao experimento como por exemplo: café, chás e bebidas energéticas. Os sujeitos foram orientados a realizarem a última refeição com 2 horas de antecedência aos testes.

Avaliação do $\text{VO}_{2\text{max}}$

O $\text{VO}_{2\text{max}}$ foi determinado por meio de um teste de esforço máximo realizado numa esteira ergométrica (Inbrasport® ATL, Porto Alegre, RS, Brasil). A progressão de carga realizada foi de 1-km/h a cada minuto com 1% de inclinação fixado até a exaustão⁹, sendo que a velocidade inicial do teste foi de 7-km/h. Antes do teste foi realizado aquecimento por meio de alongamentos balísticos e corrida leve por cinco minutos. A medida de consumo de oxigênio (VO_2), produção de dióxido de carbono (VCO_2) e ventilação pulmonar (VE) foram determinadas de forma direta, respiração por respiração, por meio de analisador de gases metabólicos (MedGraphics® VO2000, St. Paul, Minnesota, USA). Antes de cada teste foi realizada a calibração automática do analisador de gases metabólicos. A medida da FC foi realizada por meio de monitor cardíaco (Polar® RS800CX, Kempele, Finlândia). O teste foi considerado como máximo por meio de três dos seguintes critérios¹⁰: (a) exaustão voluntária máxima, definido como atingindo 10 na escala de Borg CR-10; (b) atingir 90% da FC máxima predita ou apresentar platô, sendo este definido como variação ≤ 4 bpm entre duas cargas de trabalho consecutivas; (c) platô do VO_2 , sendo definido como variação $< 2,1$ ml/kg/min entre duas cargas de trabalho consecutivas; (d) valor da razão das trocas gasosas > 1 .

O VO_2max foi considerado como o maior valor de VO_2 atingido no teste¹⁰. A medida de VO_2max utilizada foi a absoluta em litros por minuto ($\text{l}\cdot\text{min}$).

Ultrassonografia

A espessura muscular foi coletada por meio de ultrassonografia (LOGIQ L3, General Electric Healthcare, Wauwatosa, WI). As coletas das imagens de ultrassonografia foram realizadas por um avaliador treinado com mais de 300 imagens coletadas no equipamento. Os voluntários permaneciam deitados em uma maca com os joelhos estendidos. Em seguida, o local de amostragem para os músculos vasto lateral (EM_{VL}) e reto femoral (EM_{RF}) foi determinado pelo ponto de intersecção de 50% da distância entre o trocânter maior e o epicôndilo lateral do fêmur¹¹. Esta localização foi marcada com tinta permanente e a sonda linear de 12 MHz foi orientada longitudinalmente no sentido do plano sagital, paralelo ao músculo para cada amostra, sempre no hemisfério direito corporal. Visando otimizar a resolução espacial do ponto de análise a pele dos voluntários foi revestida com gel de transmissão solúvel à base de água para fornecer contato acústico sem pressionar a camada dérmica. Foi utilizada a média de 3 medidas de cada amostra de músculo. As medidas da espessura muscular foram quantificadas em imagens estáticas usando o modo B do ultrassom e as características de medida de todas as imagens foram analisadas com um código aberto do programa de processamento de imagens *ImageJ* (National Institutes of Health, USA, versão 1.45 s) com a calibração de 1 cm. A espessura muscular foi determinada como a distância entre a interface do tecido adiposo subcutâneo e a interface inter-muscular¹² (Figura 1).

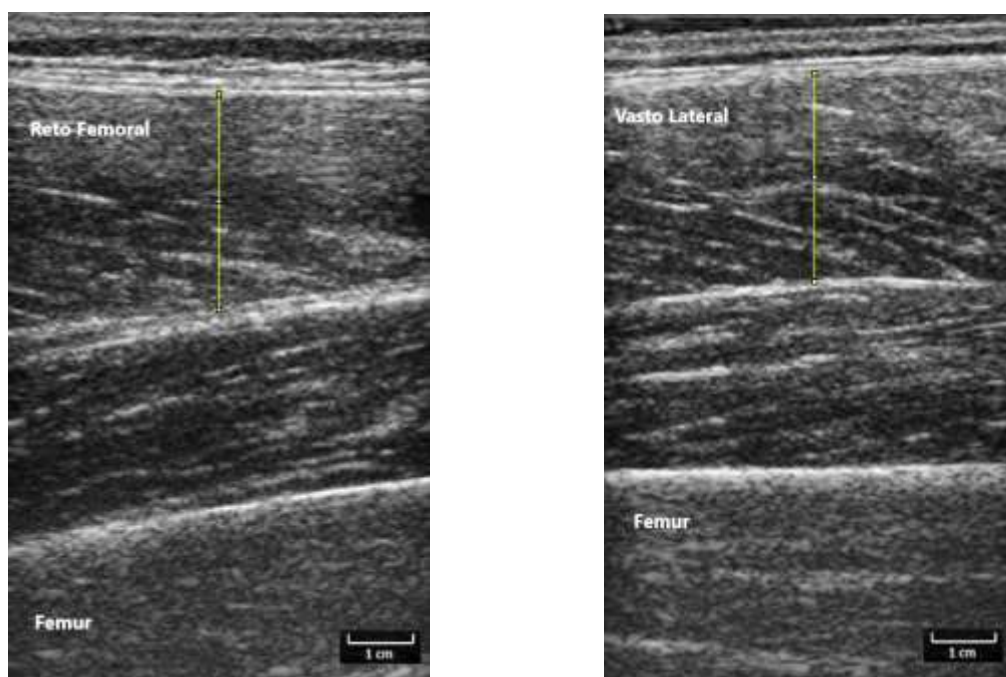


Figura 1. Exemplo de imagem de ultrassonografia modo B utilizada para mensuração da espessura muscular do reto femoral (esquerda) e vasto lateral (direita). Foram demarcados o tecido adiposo subcutâneo e a interface inter-muscular dos segmentos com a calibração de 1cm.

Análise estatística

Todos os dados foram primeiramente transformados em logaritmo natural (ln) para reduzir o viés decorrente do erro de não uniformidade, além de aumentar a aproximação com a distribuição Gaussiana. Em seguida, a normalidade foi verificada pelo teste Shapiro-Wilk. A relação entre as variáveis VO_{2max} , EM_{RF} , EM_{VL} e EM_{RF+VL} foram calculadas pela correlação linear de Pearson. Além disto, o intervalo de confiança (IC95%) das correlações entre as variáveis foi calculado. Os critérios adotados para interpretação das magnitudes de correlação foram (r): ≤ 0.1 , trivial; $>0.1-0.3$, pequena; $>0.3-0.5$, moderada; $>0.5-0.7$, grande; $>0.7-0.9$, muito grande e $>0.9-1.0$, extremamente grande⁸. Quando os limites de confiança do IC95% foram violados a magnitude da correlação foi considerada “não clara”; caso contrário, a magnitude foi considerada a real observada⁸. O nível de significância adotado foi $P < 0,05$. As análises foram realizadas no *software* SPSS versão 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

Resultados

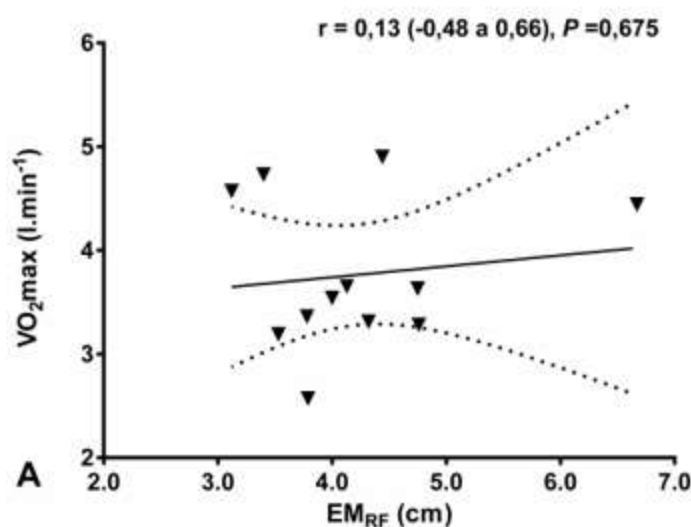
Na tabela 1 pode ser visualizado os resultados descritivos das variáveis analisadas no presente estudo.

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis do estudo.

Variáveis	Média $\pm$ (Desvio Padrão)	Mínimo	Máximo
VO ₂ max (l·min ⁻¹)	3,76 $\pm$ 0,72	4,90	2,57
EM _{RF} (cm)	4,22 $\pm$ 0,93	6,67	3,12
EM _{VL} (cm)	4,39 $\pm$ 1,19	7,29	2,36
EM _{RF+VL} (cm)	8,61 $\pm$ 2,02	13,96	6,15

Legenda: VO₂max = Consumo máximo de oxigênio, EM_{RF} = espessura muscular do reto femoral; EM_{VL} = espessura muscular do vasto lateral; EM_{RF+VL} = soma da espessura muscular do reto femoral com a do vasto lateral.

A figura 1 demonstra as correlações entre VO₂max e EM_{RF} (1A), VO₂max e EM_{VL} (1B), VO₂max e EM_{RF+VL} (1C). Foi observada uma pequena correlação “não clara” entre VO₂max e EM_{RF} ($r = 0,13$, IC95% = -0,48 à 0,66, $p = 0,675$), correlação moderada “não clara” entre VO₂max e EM_{VL} ($r = 0,47$, IC95% = -0,14 à 0,82, $p = 0,121$) entre VO₂max e EM_{RF+VL} ($r = 0,34$, IC95% = -0,29 à 0,77, $p = 0,278$).



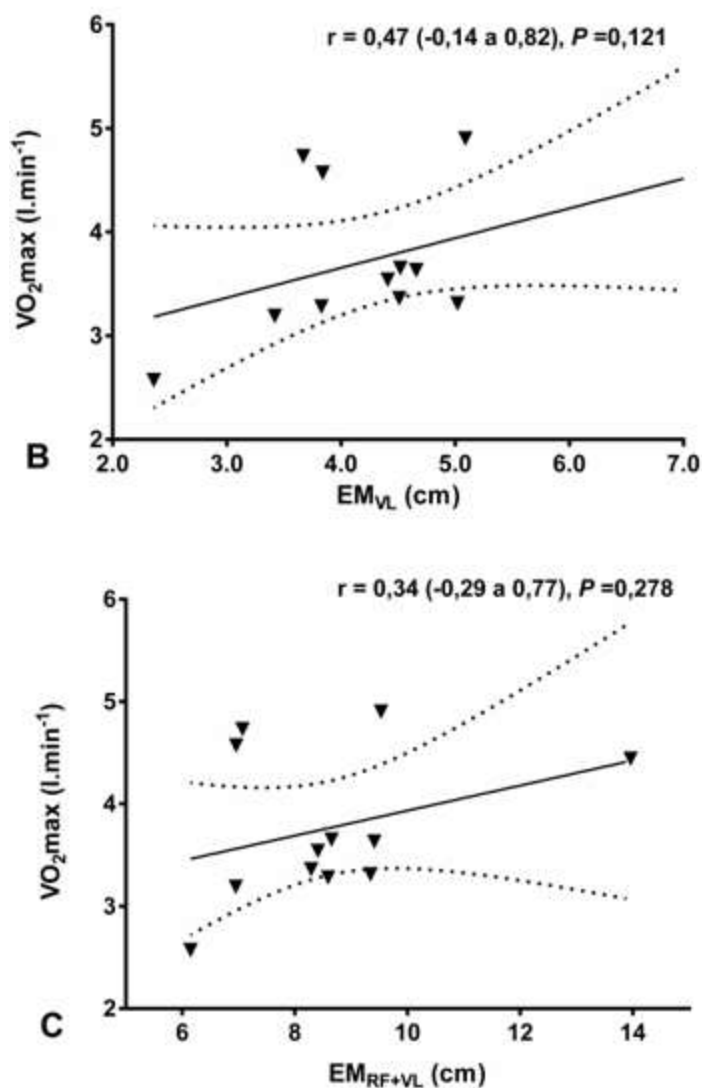


Figura 1. Gráficos *scatterplots* representando as correlações entre consumo máximo de oxigênio ($VO_2\text{max}$) e espessura muscular do reto femoral ($EM_{RF} - 1A$), $VO_2\text{max}$ e espessura muscular do vasto lateral (EM_{VL}) (1B), $VO_2\text{max}$ e soma da espessura muscular do reto femoral e vasto lateral (EM_{RF+VL}) (1C). As linhas tracejadas representam o intervalo de confiança 95% e a linha contínua o *V-slope* das correlações entre as variáveis.

Discussão

Existem sugestões de equações preditivas para estimar volume muscular de perna, braço, tronco ou do corpo inteiro por meio de medidas de espessura muscular^{14,20,21}. Não foi possível utilizar estas equações no presente estudo já que não foram coletadas medidas da parte medial posterior a perna¹⁴. Nesta linha, Conley et al.⁵ demonstraram que a redução de 67% do volume muscular do quadríceps em idosos implica diretamente na perda da capacidade oxidativa muscular e consequentemente no VO_2max . O VO_2max relaciona-se sistemicamente com a capacidade de transporte e utilização de oxigênio nos tecidos⁹, assim, é de esperar maiores níveis em sujeitos que apresentem maior quantidade de tecido muscular⁵, o que não pode ser demonstrado pelas medidas de espessura muscular mensuradas no presente estudo.

Outra possível limitação da pesquisa se dá pelo seu caráter observacional (ex., relação entre variáveis). Estudos longitudinais também devem ser realizados testando deltas de alterações da EM_{RF} e EM_{VL} (ex. pós 8 semanas – valor pré) com as possíveis modificações crônicas no VO_2max da amostra estudada. Neste caso, a correlação entre variáveis não foi projetada para responder se o treinamento físico implica na melhoria conjunta da espessura muscular e VO_2max , tal como discutido para ganhos de força e espessura muscular²². Assim, é possível neste tipo de desenho experimental que um ponto específico de espessura muscular (ex. vasto lateral ou reto femoral) possa estar correlacionado com a melhoria da capacidade aeróbia, visto que estes músculos representam papel importante na ação da corrida.

O presente estudo teve como objetivo investigar a relação entre o VO_2max e a espessura muscular (EM) do reto femoral e vasto lateral de homens hígidos. O principal achado do presente estudo sugere que o VO_2max não possui relação com a EM_{RF} , EM_{VL} e $\text{EM}_{\text{RF+VL}}$. Estes achados contrariam a hipótese inicial de que maior espessura muscular no vasto lateral e reto femoral implicariam em maior capacidade aeróbia medida pelo VO_2max da população estudada.

Este é o primeiro estudo a relacionar diretamente a medida absoluta do VO_2max durante teste incremental de corrida com pontos específicos de espessura muscular de membros inferiores (ex., vasto lateral e reto femoral) em homens hígidos. A falta de relação entre a EM por ultrassonografia do reto femoral e VO_2max ($r = -0,38$) já tinha sido demonstrada em 24 jogadoras de basquetebol adolescentes, porém, foi verificada relação significativa ($p < 0,05$) com o gastrocnêmio lateral ($r = -0,45$) e músculo sóleo ($r = -0,41$)⁴. Mesmo os resultados de Akkoc et al.⁴ terem apresentados significância todas as correlações encontradas podem ser consideradas moderadas ($r = 0,3$ a $0,5$)⁸. Além disto, diferente do presente estudo, o VO_2max foi estimado de forma indireta por equação preditiva e não foi apresentado o intervalo de confiança (IC) da correlação, o que pode levar a falso entendimento dos resultados, já que os valores podem

ultrapassar o ponto zero e tornar a correlação ‘não clara / *unclear*’⁸. Neste cerne, a metodologia proposta neste trabalho com análise direta de gases respiratórios e apresentação do IC 95% pode potencializar os resultados encontrados, ou seja, falta de relação entre VO₂max e medidas de espessura muscular do reto femoral e vasto lateral.

Estudos prévios já demonstraram que medidas de capacidade aeróbia com corrida (*time trial* de provas, testes incrementais diretos ou indiretos para mensuração do VO₂max) possuem relação significativa e inversa com variáveis antropométricas como a massa corporal, percentual de gordura corporal, índice de massa corporal (IMC) e estatura^{13,2,3}. Por exemplo, a massa corporal total ($r=0,60$) e percentual de gordura ($r = 0,56$) se correlacionam com o menor tempo em maratona², ou ainda em corridas de 10.000 metros, o grupo com maior performance apresenta valores médios menores de massa corporal (61.8 ± 5.1 vs 70.9 ± 11.7 kg) e altura (170.0 ± 7.0 vs 174.8 ± 7.5 cm) quando comparado com o grupo de menor performance¹³. De fato, em Akkoc et al.⁴, foi verificado uma correlação negativa ($r = - 0,62$) entre IMC e VO₂max. Ou seja, parece que as variáveis de morfologia e antropometria realizadas de forma global (corpo inteiro) apresentam maiores correlações do que medidas específicas (ex., pontos de espessura muscular) com o VO₂max e performance em corridas. Além disto, já existem evidências que o VO₂max e a economia de movimento seja influenciada pelo *stiffness* do tendão calcâneo e patelar³, assim como outras estruturas passivas do complexo nervo-articulação-tendão-músculo em ações dinâmicas como a corrida, caso do teste incremental máximo usado neste estudo. Portanto, não só o tecido muscular, mas outros tecidos biológicos também podem influenciar a performance em testes incrementais de esforço com caminhada/corrida.

Pontos específicos só quantificam em milímetros ou centímetros a espessura do músculo¹⁴. A medida de espessura muscular específica pode apresentar baixo poder de predição para o volume muscular total de um segmento ou corpo inteiro¹⁵. Por exemplo, um homem hígido com 96 kg de massa corporal e 20% de percentual de gordura pode apresentar a mesma espessura muscular de reto femoral do que outro sujeito com 80 kg e 15% de percentual de gordura. É por isto que as estimativas de volume muscular que consideram estatura e massa corporal aliadas a medidas de espessura muscular possuem maior capacidade de predizer a quantidade de músculo do corpo¹⁶, incluindo relação com ressonância magnética¹⁷, e a própria dissecação de cadáver¹⁸. Esta também parece ser uma possível explicação para os resultados do presente estudo (falta de relação entre ponto específico de EM vs VO₂max). Neste caso, a corrida exige alto deslocamento da massa corporal durante a sequência das passadas³ e o VO₂max poderia ser melhor relacionado com medidas do volume muscular total e da quantidade de gordura corporal.

Portanto, em futuros estudos, sugere-se buscar correlações com o volume muscular de um segmento (ex: volume muscular da perna) ou do corpo como um todo (estimativa do volume

muscular corporal total). Neste caso, a ultrassonografia tem maior viabilidade e custo benefício do que a ressonância magnética¹⁹ tornando-se uma importante ferramenta para este tipo de análise.

Conclusão

Os resultados do presente estudo sugerem que o VO_2max não possui relação com a espessura muscular de reto femoral e vasto lateral em homens hígidos. Estes resultados apontam a necessidade de estimativa de medidas morfológicas e antropométricas globais dos indivíduos, tais como o volume muscular corporal ou de um segmento específico (ex. volume muscular da perna). Além disto, futuros estudos devem esclarecer se o treinamento físico sistematizado irá implicar em alterações relacionadas no VO_2max e espessura muscular, haja visto que o delineamento do presente estudo foi observacional.

Referências

1. Bassett DRJR, Howley ET. Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(5):591–603.
2. Knechtle B, Knechtle P, Barandun U, Rosemann T. Anthropometric and training variables related to half-marathon running performance in recreational female runners. *Phys Sportsmed.* 2011; 39 (2): 158–166.
3. Laumets R, Viigipuu K, Mooses K, Mäestu J, Purge P, Pehme A “et al.”. Lower Leg Length is Associated with Running Economy in High Level Caucasian Distance Runners. *J Hum Kinet.* 2017; 56: 229–239.
4. Akkoc O, Caliskan E, Bayramoglu Z. Effects of passive muscle stiffness measured by shear wave elastography, muscle thickness, and body mass index on athletic performance in adolescent female basketball players. *An Intern J of Clin Imag.* 2018; 20 (2): 170-176.
5. Conley KE, Esselman PC, Jubrias SA, Cress ME, Inglin B, Mogadam C. Ageing muscle properties and maximal O₂-uptake rate in humans. *The J of Phys.* 2000; 526 (1): 211–217.
6. Richardson RS, Grassi B, Gavin TP, Haseler LJ, Tagore K, Roca J “et al.”. Evidence of O₂ supply-dependent VO₂max in the exercise-trained human quadriceps. *J Appl Phys.* 1999; 86 (3): 1048–1053.
7. Keteyian SJ, Brawner CA, Savage PD, Ehrman JK, Schairer J, Divine G “et al.”. Peak aerobic capacity predicts prognosis in patients with coronary heart disease. *Am Heart J.* 2008; 156 (2): 292–300.
8. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin Y. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med and Scien in Sports and Exerc.* 2009; 41 (1): 3-13.
9. Bertuzzi R, Bueno S, Pasqua LA, Acquesta FM, Batista MB, Roschel H, Kiss MAPDM, Serrão JC, Tricoli V, Ugrinowitsch C. Bioenergetics and neuromuscular determinants of the time to exhaustion at velocity corresponding to VO₂max in recreational long-distance runners. *J strength Cond Res* 2012; 26 (8): 2096–2102.
10. Cunha FA, Midgley AW, McNaughton LR, Farinatti PT V. Effect of continuous and intermittent bouts of isocaloric cycling and running exercise on excess postexercise oxygen consumption. *J Sci Med Sport* 2016; 19 (2): 187–192.
11. Bazyler CD, Mizuguchi S, Harrison AP, Kimitake Sat, Kavanaugh AA, DeWeese B H “et al.”. Changes in Muscle Architecture, Explosive Ability, and Track and Field Throwing Performance Throughout a Competitive Season and Following a Taper. *J Strength Cond Res.* 2016; 31 (10): 2785-2793.

12. Scanlon TC, Fragala MS, Stout JR, Emerson NS, Beyer KS, Oliveira LP “et al.”. Muscle architecture and strength: adaptations to short term resistance training. *Musc Nerv.* 2014; 49 (4): 584-592.
13. Lima-Silva AE, Bertuzzi RCM, Pires FO, Barros R V, Gagliardi JF, Hammond J “et al.”. Effect of performance level on pacing strategy during a 10-km running race. *Eur J Appl Physiol.* 2010; 108 (5): 1045-1053.
14. Sanada K, Kearns CF, Midorikawa T, Abe T. Prediction and validation of total and regional skeletal muscle mass by ultrasound in Japanese adults. *Eur J Appl Physiol.* 2006; 96 (1): 24-31.
15. Abe T, Loenneke JP, Young KC, Thiebaud RS, Nahar VK, Hollaway KM “et al.”. Validity of Ultrasound Prediction Equations for Total and Regional Muscularity in Middle-aged and Older Men and Women. *Ultrasound Med Biol.* 2015;41(2):557–64.
16. Abe T, Buckner SL, Dankel SJ, Jessee MB, Mattocks KT, Mouser JG “et al.”. Skeletal muscle mass in human athletes: What is the upper limit? *Am J Hum Biol.* 2018; 30 (3): e 23102.
17. Toda Y, Kimura T, Taki C, Kurihara T, Homma T, Hamaoka T “et al.”. New ultrasonography-based method for predicting total skeletal muscle mass in male athletes. *J Phys Ther Sci.* 2016; 28 (5):1556–1559.
18. Infantolino BW, Challis JH. Evaluation of a simple method for determining muscle volume in vivo. *J Biomech.* 2016; 49 (9): 1973–1975.
19. Ogawa M, Yasuda T, Abe T. Component characteristics of thigh muscle volume in young and older healthy men. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2012;32(2):89–93.
20. Abe T, Ogawa M, Thiebaud RS, Loenneke JP, Mitsukawa N. Is muscle strength ratio a criterion for diagnosis of site-specific muscle loss? *Geriatr Gerontol Int.* 2014;14(4):837–44.
21. Abe T, Loenneke JP, Thiebaud RS. Ultrasound assessment of hamstring muscle size using posterior thigh muscle thickness. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2016;36(3):206–10.
22. Dankel SJ, Buckner SL, Jessee MB, Grant Mouser J, Mattocks KT, Abe T, Loenneke JP.”. Correlations Do Not Show Cause and Effect: Not Even for Changes in Muscle Size and Strength. *Sports Med.* 2018;48(1):1-6.

Agradecimentos

O presente estudo foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnologia – Brasil (CNPq), e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).