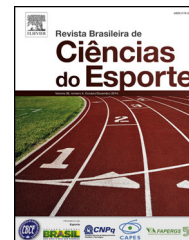




Revista Brasileira de CIÊNCIAS DO ESPORTE

www.rbceonline.org.br



ARTIGO ORIGINAL

Influência do modelo alométrico na relação entre consumo máximo de oxigênio e desempenho de corredores fundistas



Guilherme Cesca Detoni^{a,*}, Vinícius Machado de Oliveira^a, Cristhian Ferreira^a,
Marcos Roberto Queiroga^b, Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga^c
e Marcus Peikriszwili Tartaruga^b

^a Grupo de Pesquisa em Mecânica e Energética do Movimento Humano, Departamento de Educação Física, Centro de Ciências da Saúde, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR, Brasil

^b Departamento de Educação Física, Centro de Ciências da Saúde, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR, Brasil

^c Departamento de Educação Física, Escola Superior de Educação Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Recebido em 29 de outubro de 2012; aceito em 17 de junho de 2014

Disponível na Internet em 9 de outubro de 2015

PALAVRAS-CHAVE

Consumo de oxigênio;
Escala alométrica;
Locomoção;
Modelo matemático

Resumo Investigou-se o efeito do modelo alométrico na relação entre o consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$) e o desempenho em corrida de longa distância. Doze corredores fundistas do sexo masculino (idade: $28,6 \pm 7,4$ anos; massa corporal: $67,9 \pm 9,4$ kg; estatura: $1,71 \pm 0,7$ m) foram submetidos a um teste de esforço máximo em esteira rolante para a determinação do $VO_{2máx}$ e a uma corrida máxima de 10.000 m. Apesar das diferenças significativas verificadas entre as formas de relativização do $VO_{2máx}$ (pela massa corporal total, pelo expoente alométrico amostral e pela massa corporal magra), as fortes correlações verificadas entre $VO_{2máx}$ e desempenho demonstram que a predição desse independe da forma de relativização da potência metabólica máxima.

© 2015 Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Todos os direitos reservados.

KEYWORDS

Oxygen consumption;
Allometric scaling;
Locomotion;
Mathematic model

Influence of the allometric model on relationship between running economy and performance in long-distance runners

Abstract The aim was investigated the effect of allometric model in relationship between maximal Oxygen uptake (VO_{2max}) and long-distance running performance. Twelve runners

* Autor para correspondência.

E-mail: guilherme_cdetoni@hotmail.com (G.C. Detoni).

(age: 28.6 ± 7.4 years, body mass: 67.9 ± 9.4 kg, height: 1.71 ± 0.7 m) were submitted to an incremental treadmill running protocol for determination of VO_{2max} and participated in a trail of 10.000 m. despite the significant differences found between the forms of relativization of VO_{2max} (by total body mass, allometric exponent for sampling and lean body mass), the strong correlations verified between VO_{2max} and performance show that this prediction is independent of how the VO_{2max} is relativized.

© 2015 Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte. Published by Elsevier Editora Ltda. All rights reserved.

PALABRAS CLAVE

Consumo de oxígeno;
Escala alométrica;
Locomoción;
Modelo matemático

Influencia del modelo alométrico en la relación entre consumo máximo de oxígeno y rendimiento en corredores fondistas

Resumen Se investigó el efecto del modelo alométrico en la relación entre el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x}$) y el rendimiento en carreras de larga distancia. Doce corredores fondistas de sexo masculino (edad: $28,6 \pm 7,4$ años; masa corporal: $67,9 \pm 9,4$ kg; estatura: $1,71 \pm 0,7$ m) pasaron un test de esfuerzo máximo en una cinta de correr para la determinación del $VO_{2m\acute{a}x}$ y participaron en una carrera de 10.000 m. A pesar de las diferencias entre las formas de relativización del $VO_{2m\acute{a}x}$ (por la masa corporal total, por el exponente alométrico general de la muestra y por la masa corporal magra), las fuertes correlaciones encontradas entre $VO_{2m\acute{a}x}$ y rendimiento demuestran que la predicción de éste es independiente de la forma de relativización del consumo máximo de oxígeno.

© 2015 Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Todos los derechos reservados.

Introdução

Um organismo de maior massa corporal apresenta maior taxa metabólica do que um organismo de menor massa corporal, pois existe uma relação proporcional crescente entre massa e metabolismo (Gillooly et al., 2001). Entretanto, o maior organismo poderá apresentar valores fisiológicos menores do que o organismo menor quando os valores dessa variável forem normalizados a partir dos valores de massa corporal (Jensen; Johansen; Secher, 2001; Loftin et al., 2001). No primeiro caso, a taxa metabólica é expressa de forma absoluta, por meio de uma unidade que representa a quantidade total da variável avaliada. No segundo caso, é expressa de forma relativa, por meio de uma unidade que representa a quantidade da variável avaliada para cada quilograma de massa corporal.

O consumo máximo de oxigênio ($VO_{2m\acute{a}x}$) é considerado como uma das principais variáveis relacionadas ao condicionamento cardiorrespiratório. Ele pode ser expresso de forma absoluta ($L \cdot \text{min}^{-1}$) ou de forma relativa à massa corporal ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) (Tartaruga et al., 2008; Tartaruga et al., 2013; Wojewoda et al., 2014). Os valores relativos são mais usados para comparações entre sujeitos que diferem em massa corporal, massa corporal magra, altura e percentual de gordura, pois os aspectos morfológicos influenciam no comportamento dessa variável (Denadai, 1995). Entretanto, no esporte de alto rendimento o consumo submáximo de oxigênio ($VO_{2subm\acute{a}x}$), ou seja, a economia de movimento, tem se mostrado um melhor parâmetro para avaliação e predição do desempenho. A economia de movimento na corrida de meia e longa distância (economia de corrida - ECO), definida como

o consumo de oxigênio em uma determinada intensidade submáxima de corrida (Tartaruga et al., 2012; Shaw et al., 2013), pode ser responsável por até 30% do desempenho em provas de fundo (Daniels et al., 1978).

Alguns autores, como Brisswalter, Legros e Durand (1996), West, Brown e Enquist (1997), Darveau et al. (2002) e Tartaruga et al. (2009), apontam a necessidade de uso de parâmetros que permitam que variáveis fisiológicas, como o consumo de oxigênio, sejam comparadas entre sujeitos com massas diferentes. A escala alométrica é um exemplo. Ela é representada por uma equação de regressão que indica o comportamento de uma variável fisiológica "Y" em relação à variável massa "X" ($Y = aX^b$). O coeficiente "a" é característico da espécie analisada – pode ser o $VO_{2m\acute{a}x}$ absoluto – e o expoente "b" determina a quantidade da massa corporal a ser associado com a variável Y e é denominado *expoente alométrico*. Essa função exponencial pode ser transformada logaritmicamente em uma função linear: $\text{Log } y = \text{Log } a + b \text{ Log } x$ (Tartaruga et al., 2010).

Na prática esportiva, estudos têm verificado a necessidade de usar valores diferentes de expoentes alométricos para a determinação da potência metabólica máxima ou submáxima. Esses valores são específicos para grupos de sujeitos pertencentes a diferentes esportes (Jensen; Johansen; Secher, 2001) e também executantes de diferentes formas de locomoção (transporte da massa corporal), por exemplo, cadeirantes (Goosey-Tolfrey; Batterham; Tolfrey, 2003). Nesse âmbito, Saltin e Astrand (1967) afirmam que a quantidade de massa muscular envolvida durante as diferentes formas de locomoção pode influenciar na relação entre consumo de oxigênio e desempenho físico.

Tradicionalmente, o $VO_{2m\acute{a}x}$ tem sido considerado uma variável preditora importante do desempenho da corrida de meia e longa distância quando os valores dessa variável são heterogêneos em um grupo específico de corredores (Costill; Thomason; Roberts, 1973; Farrell et al., 1979; Evans et al., 1995). Entretanto, em um grupo de corredores que apresentam valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ semelhantes, essa variável perde seu poder de predição quando normalizada pela massa corporal total (Tartaruga et al., 2013). Porém, o uso da escala alométrica ou da massa corporal magra na relativização da potência metabólica pode tornar essa última preditora do desempenho de corredores especialistas em provas de longa distância, mesmo quando normalizada pela massa corporal (Bergh et al., 1991; Tartaruga et al., 2008).

Assumindo que a escala alométrica permite uma análise diferente dos resultados, surge a necessidade de se investigarem diferentes maneiras de normalização do $VO_{2m\acute{a}x}$ relativo e suas relações com o desempenho de corredores de longa distância.

Materiais e métodos

A amostra, selecionada por voluntariedade e representativa de sua população correspondente, foi constituída de 12 homens, corredores fundistas (10.000 m), entre 18 e 40 anos. O número amostral foi determinado com base nos estudos de Jensen; Johansen e Secher (2001), Pettersen, Fredriksen e Ingjer (2001) e Goosey-Tolfrey, Batterham e Tolfrey (2003). Optou-se por esses devido às semelhanças com algumas variáveis dependentes (i. e., desempenho) e independentes (i. e., potência metabólica). Suas médias e seus desvios-padrões foram considerados para o referido cálculo. Foi usado o programa Computer Programs for Epidemiologic Analyses (Pepi), no qual foi adotado o índice de significância de 0,05 e o poder de 90%. Todos os corredores assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e preencheram uma ficha de dados pessoais, esses aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná – Unicentro (Parecer nº 415.248).

Primeiramente, foram medidos os dados de massa corporal, estatura e percentual de gordura corporal com uma balança e um estadiômetro da marca Filizola (São Paulo, Brasil), com resolução de 100 g e capacidade máxima de 150 kg para a balança e resolução de 1 mm para o estadiômetro, um compasso de dobras cutâneas da marca Cescorf (Porto Alegre, Brasil), com resolução de 0,1 mm, uma fita métrica Starrett (Itu, Brasil) de 1 m e resolução de 1 mm. Para essas medidas, todas tomadas por um profissional de educação física com experiência em avaliações antropométricas, os sujeitos estavam descalços, vestidos com um calção ou uma sunga. O percentual de gordura corporal foi calculado com a metodologia usada por Tartaruga et al. (2012).

Posteriormente, os sujeitos foram submetidos a um teste ergométrico (Ellestad; Kemp, 1969) em esteira rolante para a predição do $VO_{2m\acute{a}x}$. Inicialmente, todos fizeram um breve alongamento seguido de 5 min de repouso na posição sentado. Foi usada uma esteira rolante da marca Movement (RT350, Pompeia, Brasil).

Todas as avaliações foram feitas no Laboratório de Biomecânica da Unicentro em parceria com o Laboratório de Pesquisa do Exercício da Universidade Federal do Rio Grande

Tabela 1 Valores médios e desvio padrão (DP) das variáveis idade, massa corporal, estatura e percentual de gordura corporal de 12 corredores fundistas

Variáveis	Média (\pm DP)
Idade (anos)	28,6 \pm 7,4
Massa corporal (kg)	67,9 \pm 9,4
Estatura (m)	1,71 \pm 0,7
Percentual de gordura (%)	15,0 \pm 3,2

do Sul (Lapex/UFRGS), 72 horas precedidas de um prova oficial de 10.000 m.

O tratamento de dados consistiu, a partir da obtenção dos valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ relativo à massa corporal, na determinação do expoente alométrico geral do grupo e na sua aplicação para a obtenção dos novos valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ relativo. O expoente alométrico (b) foi definido com base na função logarítmica $\text{Log } Y = \text{Log } a + b \text{ Log } X$, na qual Y é o $VO_{2m\acute{a}x}$ absoluto (em litros por minuto) e X é a massa corporal (em quilogramas). Mediante a metodologia proposta por Tartaruga et al. (2010), também foi calculado o $VO_{2m\acute{a}x}$ relativo à massa corporal magra para fins de comparação.

Verificou-se a normalidade e a homogeneidade dos dados com os testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Foi feita a estatística descritiva com média e desvios-padrão. Para comparar as médias dos valores relativos, referentes às formas de relativização do $VO_{2m\acute{a}x}$, foi usada a análise de variância (Anova) para medidas repetidas, com *post-hoc* de Bonferroni, e para verificar a relação, sem causa-efeito, do $VO_{2m\acute{a}x}$, nas diversas formas de relativização, com o desempenho, foi adotado o coeficiente de correlação linear Produto-Momento de Pearson (r). O pacote estatístico usado foi o Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), versão 15.0, com alfa de 0,05.

Resultados

Na [tabela 1](#) são apresentados os resultados da caracterização amostral.

Na [tabela 2](#) são apresentados os resultados do desempenho em prova de 10.000 m e do $VO_{2m\acute{a}x}$ relativo à massa corporal total (VO_{2rel}), ao expoente alométrico geral (VO_{2alo}), correspondente a 0,94, e à massa corporal magra (VO_{2mm}).

Tabela 2 Valores médios e desvio padrão (DP) do desempenho em prova oficial de 10.000 m e valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ relativos de 12 corredores de rendimento

Variáveis	Média (\pm DP)
Desempenho em 10.000 m	0:43:16 \pm 0:07:32
VO_{2rel} ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	53,1 \pm 4,98
VO_{2alo} ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-0,94} \cdot \text{min}^{-1}$)	68,4 \pm 6,05*
VO_{2mm} ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-MM} \cdot \text{min}^{-1}$)	62,4 \pm 4,38*

Nota: Consumo máximo de oxigênio ($VO_{2m\acute{a}x}$) relativo à massa corporal total (VO_{2rel}), ao expoente alométrico geral (VO_{2alo}) e à massa corporal magra (VO_{2mm}). Asteriscos representam diferença significativa ($p \leq 0,05$) em relação ao VO_{2rel} .

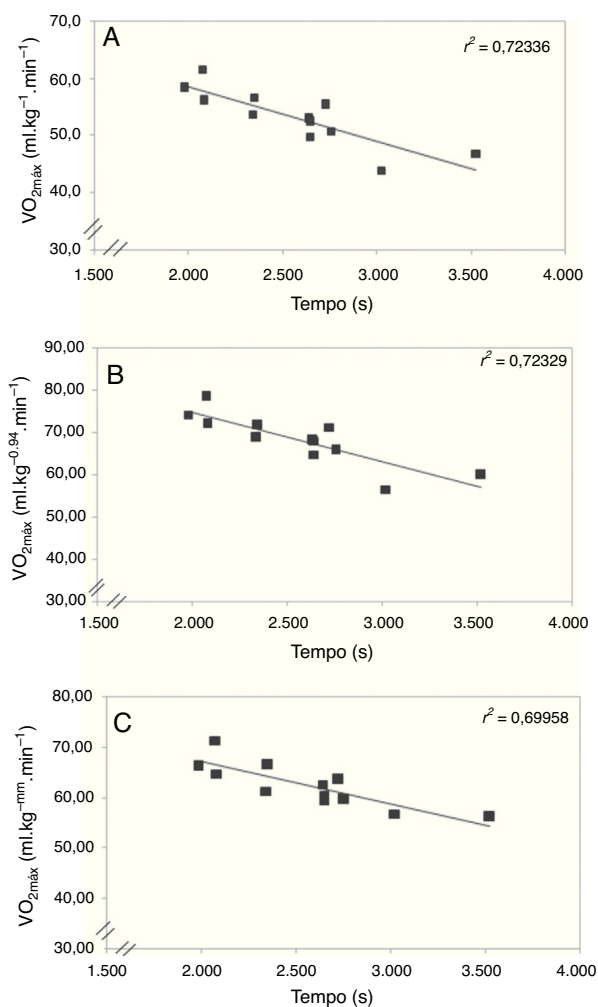


Figura 1 Relações entre o $VO_{2m\acute{a}x}$, relativo à massa corporal total (A), ao expoente alométrico (B) e à massa magra (C), respectivamente, com o desempenho em corrida de 10.000 m.

Abaixo são apresentados os gráficos de dispersão (fig. 1) com os coeficientes de determinação (r^2) entre o $VO_{2m\acute{a}x}$, relativo à massa corporal total (A), ao expoente alométrico (B) e à massa magra (C), respectivamente, com o desempenho em corrida de 10.000 m.

Verificaram-se diferenças significativas ($F = 26,37$; $p < 0,05$) entre as formas de relativização do $VO_{2m\acute{a}x}$ e o desempenho na prova de 10.000 m, apesar das semelhanças nas fortes correlações significativas (VO_{2rel} : $r = -0,85$; VO_{2alo} : $r = -0,85$; VO_{2mm} : $r = -0,84$).

Discussão

A relação entre massa corporal e taxa metabólica tem despertado o interesse de pesquisadores de diversas áreas do conhecimento (Jones; Lindstedt, 1993; Suarez; Darveau; Childress, 2004; Ingham et al., 2008; Tartaruga et al., 2010). Desde os primeiros estudos de Rubner (1883) e Kleiber (1932) muitas pesquisas têm sido desenvolvidas com o objetivo de compreender a relação entre taxa metabólica e massa corporal por meio da determinação de expoentes

alométricos específicos (Suarez; Darveau; Childress, 2004; Tartaruga et al., 2010).

Rubner (1883) demonstrou a existência da relação entre taxa metabólica e tamanho corporal de cachorros. De acordo com seu estudo, pequenos cachorros apresentam maiores taxas metabólicas por quilograma de massa corporal do que grandes cachorros. Ele verificou uma relação da taxa metabólica com $\frac{2}{3}$ da massa corporal ($r = 0,71$) (Taylor; Schmidt-Nielsen; Raab, 1970). Já Kleiber (1932), ao dar continuidade ao estudo da relação entre taxa metabólica e massa corporal e analisar ratos e aves de diferentes tamanhos, verificou que a taxa metabólica apresentava maior proporcionalidade com $\frac{3}{4}$ da massa corporal ($r = 0,98$) (Kleiber, 1947; Taylor; Schmidt-Nielsen; RAAB, 1970), diferentemente do proposto por Rubner, em 1883. Para confirmar seus achados Kleiber (1947) publicou outro estudo que comprovou, novamente, a existência da relação entre taxa metabólica e $\frac{3}{4}$ da massa corporal de mamíferos de diferentes tamanhos. Para ambos os pesquisadores, a taxa metabólica pode ser determinada por meio de uma equação de regressão que indica o comportamento dessa variável em relação à variável massa corporal.

No âmbito esportivo, apesar da forte relação entre ECO e desempenho existente em corredores de rendimento de meia e longa distância, a relativização dessa variável metabólica sofre algumas críticas. Acredita-se que a relativização do consumo de oxigênio pela massa corporal total, tanto em intensidades máxima quanto em intensidades submáximas de esforço, não seja o melhor parâmetro de predição do desempenho e de comparação do condicionamento cardiorrespiratório entre sujeitos (Brisswalter; Legros; Durand, 1996; West; Brown; Enquist, 1997; Darveau et al., 2002).

Jensen, Johansen e Secher (2001), ao analisarem a relação entre $VO_{2m\acute{a}x}$ e massa corporal de 967 atletas, correspondentes a 25 modalidades esportivas, encontraram diferentes valores de expoentes alométricos para cada modalidade esportiva. Após, calcularam um expoente médio correspondente a 0,73, o que permitiu a criação de um ranking de capacidade aeróbica que foi liderado pelos ciclistas e corredores de longa distância. Isso demonstra a eficácia de aplicação alométrica para a comparação intrassujeitos de diferentes modalidades esportivas predominantemente aeróbicas. No nosso estudo, o expoente alométrico do grupo analisado foi de 0,94. Os distintos valores desses expoentes alométricos podem estar relacionados a questões morfológicas, por exemplo, aos diferentes valores de massa corporal, percentuais de gordura corporal e $VO_{2m\acute{a}x}$.

Segundo Tartaruga et al. (2010) sujeitos com baixos percentuais de gordura corporal podem ter valores de expoentes alométricos próximos de 1, o que justificaria os nossos achados, que diminuiriam, assim, a probabilidade de serem encontradas mudanças significativas na predição do desempenho em relação à relativização do consumo de oxigênio pela massa corporal total. Isso pode ser atribuído ao fato de que a gordura corporal representa um tecido metabolicamente menos ativo e contribui menos para o desempenho durante o exercício (Loftin et al., 2001).

Loftin et al. (2001), ao analisarem o $VO_{2m\acute{a}x}$ de meninas obesas e não obesas, com o método tradicional (relativo à massa corporal total) e o método alométrico (relativo a um valor específico da massa corporal total), verificaram um expoente alométrico de 0,92 para as não obesas e 0,46

para obesas, uma diminuição do expoente alométrico proporcional ao aumento do percentual de gordura corporal. No método tradicional as capacidades aeróbias foram similares entre os grupos, mas quando aplicado o método alométrico houve uma diferença de 50% entre os grupos. Tartaruga et al. (2007) também destacam a importância da quantidade de superfície corporal e do tipo de deslocamento, ou seja, a capacidade de sustentar a massa corporal durante uma atividade física específica, na determinação do expoente alométrico amostral.

De acordo com Chamari et al. (2005) e Tartaruga et al. (2008) a forma de relativização do $VO_{2\text{máx}}$ pode resultar em diferenças significativas nos seus resultados e, consequentemente, na ordem de predição do desempenho em provas de longa distância. Porém, em nosso estudo, mesmo existindo diferenças significativas entre os valores de $VO_{2\text{máx}}$, não foram verificadas alterações na ordem de desempenho, o que pode ser em decorrência do expoente alométrico verificado. Segundo Markovic, Vucetic e Nevill (2007), um expoente alométrico próximo de 1 pode representar um bom condicionamento físico. Como consequência, o expoente alométrico de 0,94 e os baixos valores de desvios-padrões do $VO_{2\text{máx}}$, menores do que 10% das médias correspondentes demonstram que os sujeitos avaliados, além de ter um bom condicionamento físico, apresentaram condicionamentos físicos semelhantes, o que corrobora Markovic, Vucetic e Nevill (2007) e justifica as semelhantes relações entre $VO_{2\text{máx}}$ e desempenho encontradas no nosso estudo.

Em relação ao uso da massa magra como variável determinante do $VO_{2\text{máx}}$ relativo, os nossos achados corroboram os achados de Winter e Hamley (1976), que investigaram a influência da massa magra nos resultados de economia de corrida de 32 corredores de rendimento e verificaram fortes correlações ($r > 0,6$) entre essas variáveis e o desempenho físico. Sabe-se que a prática da atividade física regular é um dos principais fatores para o controle da massa corporal, a manutenção de baixos percentuais de gordura corporal e a melhoria do desempenho físico. Os dois últimos estão intimamente relacionados. Sujeitos sedentários, principalmente aqueles com altos níveis de gordura corporal, apresentam diminuição do desempenho físico, resultante da perda de massa muscular e da diminuição da capacidade cardiorrespiratória (Moreira et al., 2012). Entretanto, no nosso estudo a forma de relativização do $VO_{2\text{máx}}$ não influenciou nas relações dessa variável com o desempenho, o que corroborou os achados de Tartaruga et al. (2010) e pode ser justificado, como já mencionado, pelos baixos percentuais de gordura corporal dos sujeitos avaliados.

Conclusão

As diferentes maneiras de normalização da potência metabólica máxima adotadas no presente estudo, pela massa corporal total, por um expoente alométrico específico ou pela massa corporal magra, não resultam em mudanças significativas na capacidade de prever o desempenho de corredores especialistas em provas de fundo. Consequentemente, o uso alométrico no prognóstico da performance de corredores morfológicamente homogêneos não se justifica. Dessa forma, e de acordo com a literatura científica, sugere-se que quando do interesse em prever o desempenho

de corredores especialistas em provas de fundo, seja adotada, além da ECO, o $VO_{2\text{máx}}$ relativo tradicionalmente normalizado pela massa corporal total.

Financiamento

Unicentro (modalidade bolsa de iniciação científica).

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

- Bergh U, Sjodin B, Forsberg A, Svedenhag J. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23(2):205–11.
- Briswalter J, Legros P, Durand M. Running Economy, preferred step length correlated to body dimensions in elite middle distance runners. *J Sports Med Phys Fitness* 1996;36(1):7–15.
- Chamari K, Moussa-Chamari I, Boussaïdi L, Hachana Y, Kaouech F, Wisloff U. Appropriate interpretation of aerobic capacity: allometric scaling in adult and young soccer players. *Br J Sports Med* 2005;39:97–101.
- Costill DL, Thomason H, Roberts E. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports* 1973;5(4):248–52.
- Daniels J, Oldridge N, Nagle F, White B. Differences and changes in VO_2 among young runners 10 to 18 years of age. *Med Sci Sports* 1978;10(3):200–3.
- Darveau CA, Suarez RK, Andrews RD, Hochachka PW. Allometric cascade as a unifying principle of body mass effects on metabolism. *Nature* 2002;417:166–70.
- Denadai BS. Consumo máximo de oxigênio: fatores determinantes e limitantes. *Rev Bras Ativ Física Saúde* 1995;1(1):85–94.
- Ellestad MH, Kemp H. Maximal treadmill stress testing for cardiovascular evaluation. *Circulation* 1969;39:517–22.
- Evans SL, Davy KP, Stevenson ET, Seals DR. Physiological determinants of 10-km performance in highly trained female runners of different ages. *J Appl Physiol* 1995;78(5):1931–41.
- Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, Billing JE, Costill DL. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports* 1979;11(4):338–44.
- Gillooly JF, Brown JH, West GB, Savage VM, Charnov EL. Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science* 2001;293(5538):2248–51.
- Goosey-Tolfrey VL, Batterham AM, Tolfrey K. Scaling behavior of $VO_{2\text{peak}}$ in trained wheelchair athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(12):2106–11.
- Ingham SA, Whyte GP, Pedlar C, Bailey DM, Dunman N, Nevill AM. Determinants of 800-m and 1500-m running performance using allometric models. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2008;40(2):345–50.
- Jensen K, Johansen L, Secher NH. Influence of body mass on maximal oxygen uptake: effect of sample size. *European Journal of Applied Physiology* 2001;84(3):201–5.
- Jones JH, Lindstedt SL. Limits to maximal performance. *Annu Rev Physiol* 1993;55:547–69.
- Kleiber M. Body size and metabolic rate. *Physiol Rev* 1947;27(4):511–41.
- Kleiber M. Body size and metabolism. *Hilgardia* 1932;6(11):315–53.
- Loftin M, Sothorn M, Troscclair L, O'Hanlon A, Miller J, Udall J. Scaling VO_2 peak in obese and non-obese girls. *Obes Res* 2001;9:290–6.

- Markovic G, Vucetic V, Nevill A. [Scaling behavior of VO₂ in athletes and untrained individuals. *Annals of Human Biology* 2007;34\(3\):315–28.](#)
- Moreira A, Beltrame LAN, Tonello L, Álvarez DAB. [A composição corporal e o desempenho máximo aeróbio dos policiais do batalhão de policiamento escolar da Polícia Militar do Distrito Federal. *Educação Física em Revista* 2012;6\(3\):1–10.](#)
- Petterson SA, Fredriksen PM, Ingjer E. [The correlation between peak oxygen uptake \(VO_{2peak}\) and running performance in children and adolescents. *Aspects of different units. Scand J Med Sci Sports* 2001;11:223–8.](#)
- Rubner M. [Über den einfluss der körpergrösse auf stoff und kraftwechsel. *Zeitschrift für Biologie* 1883;19:536–62.](#)
- Saltin B, Astrand PO. [Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol* 1967;23\(3\):353–8.](#)
- Shaw AJ, Ingham SA, Fudge BW, Folland JP. [The reliability of running economy expressed as oxygen cost and energy cost in trained distance runners. *Appl Physiol Nutr Metab* 2013;38\(12\):1268–72.](#)
- Suarez RK, Darveau CA, Childress JJ. [Metabolic scaling: a many-splendored thing. *Comparative Physiology and Biochemistry* 2004;139:531–41.](#)
- Tartaruga LAP, Coertjens M, Tartaruga MP, De Medeiros MH, Kruel LFM. [Influence of the allometric scale on the relationship running economy and biomechanical variables in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2007;39:S208–9.](#)
- Tartaruga MP, De Medeiros MH, Alberton CL, Cadore EL, Tartaruga LAP, Baptista RR, et al. [Application of the allometric scale for the submaximal oxygen uptake in runners and rowers. *Biol Sport* 2010;27:297–300.](#)
- Tartaruga MP, Beilke DD, Coertjens M, Baptista RR, Tartaruga LAP, Kruel LFM. [Relação entre consumo máximo e submáximo de oxigênio em corredores e remadores de rendimento. *Revista de Educação Física* 2008;141:22–33.](#)
- Tartaruga MP, Tartaruga LAP, Coertjens M, De Medeiros MH, Kruel LFM. [The influence of the allometric scale on the relationship between running economy and biomechanical variables in distance runners. *Biol Sport* 2009;26:263–73.](#)
- Tartaruga MP, Brisswalter J, Tartaruga LAP, Ávila AOV, Alberton CL, Coertjens M, et al. [The relationship between running economy and biomechanical variables in distance runners. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 2012;83\(3\):367–75.](#)
- Tartaruga MP, Mota CB, Vallier JM, Kruel LFM, Tartaruga LAP, Brisswalter J. [Running efficiency and long-distance performance prediction. *Science & Sports* 2013;28:165–71.](#)
- Taylor CR, Schmidt-Nielsen K, Raab JL. [Scaling of energetic cost of running to body size in mammals. *Am J Physiol* 1970;219\(4\):1104–7.](#)
- West GB, Brown JH, Enquist BJ. [A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science* 1997;276\(5309\):122–6.](#)
- Winter EM, Hamley EJ. [Sub maximal oxygen uptake related to fat free mass and lean leg volume in trained runners. *Br J Sports Med* 1976;10\(4\):223–5.](#)
- Wojewoda M, Kmiecik K, Ventura-Clapier R, Fortin D, Onopiuk M, Jakubczyk J, et al. [Running performance at high running velocities is impaired but VO_{2max} and peripheral endothelial function are preserved in IL-6\(-/-\) Mice. *PLoS One* 2014;9\(2\): e88333.](#)