

Existe correlação entre idade e recuperação da frequência cardíaca em corredores amadores após Teste de Cooper?

Is there a correlation between age and heart rate recovery in amateur runners after the Cooper test?

Wellington Isaac Soares¹ , Vitor Alves Marques¹ , Naiany Pereira Silva² ,
Fábio Santana¹ , Franassis Barbosa de Oliveira¹ 

1. Universidade Estadual de Goiás, Quirinópolis, Goiás, Brasil

2. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

RESUMO

Introdução: A recuperação da frequência cardíaca (FC) após o exercício é amplamente utilizada como indicador da modulação autonômica e da aptidão aeróbia. No entanto, a influência da idade nesse processo em corredores amadores ainda não está totalmente esclarecida. **Objetivo:** Analisar a correlação entre idade e FC durante a recuperação em diferentes momentos após o Teste de Cooper. Participaram 22 corredores amadores do sexo masculino, com idades entre 20 e 39 anos. **Método:** A FC foi registrada em repouso (F0), imediatamente após o teste (F1) e cinco minutos após o esforço (F2). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a correlação entre idade e FC foi avaliada pelo coeficiente de Spearman. **Resultados:** Observou-se correlação negativa forte e significativa entre idade e FC em F1 ($r = -0,997$; $p < 0,001$) e F2 ($r = -0,991$; $p < 0,001$), indicando que indivíduos mais velhos apresentaram valores menores de FC pós-esforço. **Conclusão:** Esses achados sugerem que a idade influencia a resposta cronotrópica ao esforço, com indivíduos mais velhos atingindo menores picos de FC e, consequentemente, exibindo valores mais baixos durante a recuperação inicial. Isso não implica necessariamente em recuperação mais rápida, mas pode refletir menor ativação simpática durante o exercício. Estudos futuros devem incorporar medidas diretas da modulação autonômica e da aptidão aeróbia para aprofundar a compreensão dessa relação.

Palavras-chave: frequência cardíaca; sistema nervoso autônomo; idade

ABSTRACT

Introduction: Heart rate (HR) recovery after exercise is widely used as an indicator of autonomic modulation and aerobic fitness. However, the influence of age on this process remains unclear in amateur runners. **Objective:** This study aimed to analyze the correlation between age and HR during recovery at different moments after the Cooper Test. Twenty-two male amateur runners, aged 20 to 39 years, were evaluated. **Methods:** HR was measured at rest (F0), immediately post-test (F1), and five minutes post-exercise (F2). Data normality was verified using the Shapiro-Wilk test, and Spearman's correlation coefficient was applied to assess the relationship between age and HR. **Results:** A strong and statistically significant negative correlation was found between age and HR at F1 ($r = -0.997$; $p < 0.001$) and F2 ($r = -0.991$; $p < 0.001$), indicating that older individuals exhibited lower HR values post-exercise. **Conclusion:** These findings suggest that age influences the chronotropic response to exercise, with older individuals reaching lower peak HR values and subsequently presenting lower HR values during early recovery. This pattern does not necessarily reflect faster recovery but may be associated with reduced sympathetic activation during exertion. Future studies should incorporate direct measurements of autonomic modulation and aerobic fitness to provide a deeper understanding of this relationship.

Keywords: heart rate; autonomic nervous system; age

Introdução

A recuperação da frequência cardíaca após um esforço intenso tem sido amplamente utilizada como um indicador da modulação autonômica cardíaca e da aptidão aeróbia. A frequência cardíaca é uma variável fisiológica fundamental para a prescrição do treinamento e o monitoramento da carga de esforço em atletas amadores e profissionais [1]. A capacidade de recuperação da frequência cardíaca reflete a eficiência da retirada do sistema nervoso simpático e a reativação parassimpática ao término do exercício, podendo estar associada a menor risco cardiovascular e melhor desempenho esportivo [2]. No entanto, a influência da idade sobre esse processo ainda não é completamente elucidada, especialmente em atletas amadores de corrida de rua.

Estudos sugerem que a resposta da frequência cardíaca ao exercício e sua recuperação são moduladas por ajustes autonômicos, nos quais a retirada da ativação simpática e o restabelecimento do tônus parassimpático ocorrem em diferentes tempos de recuperação [3]. No entanto, essa relação pode variar de acordo com a idade. Alguns trabalhos indicam que indivíduos mais jovens tendem a atingir maiores valores de frequência cardíaca durante o esforço máximo e apresentar uma desaceleração mais acentuada na fase inicial da recuperação, enquanto indivíduos mais velhos podem apresentar menor variação inicial da FC nesse período [4]. Entretanto, os mecanismos que explicam essas diferenças ainda são debatidos e podem envolver fatores como aptidão aeróbica, carga de treinamento e características individuais do sistema nervoso autônomo.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo analisar a correlação entre idade e a recuperação da frequência cardíaca após o Teste de Cooper em corredores amadores. A hipótese central era de que existe uma relação negativa entre idade e FC imediatamente após o teste, sugerindo que indivíduos mais velhos tendem a apresentar menores valores absolutos de FC pós-esforço. No entanto, essa relação não implica necessariamente em uma recuperação mais rápida, uma vez que pode estar associada a fatores como menor ativação simpática durante o esforço e menores picos de FC atingidos. Os achados deste estudo podem contribuir para o aprimoramento das estratégias de prescrição de treinamento individualizado, auxiliando no controle da intensidade e na otimização da recuperação pós-exercício em diferentes faixas etárias.

Métodos

Trata-se de um estudo transversal, conduzido e relatado conforme as diretrizes de Fortalecimento do Relato de Estudos Observacionais em Epidemiologia (STROBE). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Estadual de Goiás (Resolução 466/12). Os voluntários foram informados sobre os procedimentos a que seriam submetidos e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

Participantes

Foram incluídos no estudo corredores amadores do sexo masculino, com idades entre 20 e 45 anos, regularmente praticantes de corrida de rua há pelo menos seis meses. Os participantes foram selecionados de forma voluntária e por conveniência, sendo informados sobre os procedimentos do estudo antes da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Para garantir a homogeneidade da amostra, foram adotados critérios de inclusão, sendo aceitos apenas indivíduos vinculados a uma instituição privada de ensino superior da cidade de Anapólis, Goiás, Brasil devidamente registrados junto à Confederação Brasileira de Atletismo (CBAt). Além disso, apenas foram incluídos atletas saudáveis, sem histórico de doenças cardiovasculares, metabólicas ou neuromusculares que pudessem comprometer a resposta fisiológica ao teste. Foram excluídos aqueles que apresentaram lesões musculoesqueléticas recentes, faziam uso de medicamentos com influência na modulação autonômica da frequência cardíaca ou que não concluíram todas as etapas do protocolo avaliativo.

Variáveis

Foram analisadas variáveis fisiológicas e antropométricas para investigar a correlação entre idade e comportamento da frequência cardíaca em diferentes momentos pós-exercício. A variável principal foi a frequência cardíaca, medida em três momentos distintos: repouso (F0), imediatamente após o Teste de Cooper (F1) e cinco minutos após o esforço (F2). Além disso, foram coletadas variáveis sociodemográficas e antropométricas, incluindo idade, peso corporal (em quilos), estatura (em metros) e índice de massa corporal, calculado pela equação $\text{peso}/\text{estatura}^2$. A resposta cardiovascular ao teste foi monitorada por meio de um frequencímetro digital, garantindo registros contínuos e precisos das variações da frequência cardíaca.

Procedimentos

Os procedimentos de avaliação foram realizados em ambiente controlado, garantindo a padronização das condições para coleta de dados. Os voluntários foram orientados a não consumir bebidas alcoólicas, cafeína e/ou substâncias estimulantes, além de evitar exercícios extenuantes nas 24 horas que antecederam o teste. Também foi recomendado que realizassem uma refeição leve pelo menos duas horas antes da avaliação. Nos dias dos testes, os participantes deveriam se apresentar com roupas e calçados confortáveis, adequados para a prática de corrida. Antes da coleta de dados, foram questionados sobre sua condição geral de saúde e a qualidade do sono na noite anterior, com o objetivo de garantir que estivessem aptos para participar dos procedimentos.

Protocolos de testes

Teste de exercício aeróbio

Os participantes foram submetidos ao Teste de Cooper, um protocolo amplamente utilizado para avaliação da capacidade aeróbia, consistindo na realização de

uma corrida contínua com intensidade máxima durante 12 minutos em pista oficial de atletismo [5]. O objetivo do teste foi avaliar a resposta da frequência cardíaca ao esforço e a recuperação cardiovascular em diferentes momentos pós-exercício. Durante o teste, a frequência cardíaca foi monitorada continuamente por meio de um frequencímetro digital Garmin Forerunner 920XT, garantindo registros precisos da variação da frequência cardíaca ao longo do teste. A pressão arterial foi aferida antes e após o teste utilizando um esfigmomanômetro digital Omron HEM-7130, e a saturação periférica de oxigênio (SpO_2) foi mensurada por um oxímetro de pulso portátil Yonker YK-81A para controle da oxigenação sanguínea durante a recuperação.

A frequência cardíaca máxima foi estimada com base na equação $FC_{\text{máx}} = 208 - (0,7 \times \text{idade})$ [6], sendo utilizada como referência para analisar o nível de esforço atingido pelos participantes. A coleta da frequência cardíaca foi realizada em três momentos distintos: repouso (F_0) antes do início do teste, com os participantes em posição sentada por pelo menos cinco minutos; pós-teste (F_1) imediatamente após o término da corrida, registrando a frequência cardíaca máxima atingida e 5 minutos após (F_2) o esforço, avaliando a recuperação inicial da frequência cardíaca.

Todos os testes foram realizados no mesmo período do dia para minimizar efeitos das variações circadianas e seguiu-se um protocolo rigoroso de padronização para garantir a confiabilidade dos dados. Os critérios para interrupção do teste incluíram sinais de exaustão física, queixas de tontura, mal-estar ou qualquer alteração fisiológica que comprometesse a segurança dos participantes.

Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o software Jamovi® versão 0.7.2.6. Inicialmente, foi conduzida a estatística descritiva, com cálculo da média, desvio-padrão, valores mínimos e máximos das variáveis, idade, massa corporal, estatura, índice de massa corporal (IMC) e frequência cardíaca (FC) nos diferentes momentos avaliados. Para além disso, a variação (Δ) da FC de repouso (F_0) e pós-teste (F_1), assim como a variação (Δ) entre a F_1 e 5 minutos após o esforço (F_2) foram quantificadas ($FC_{\text{final}} - FC_{\text{inicial}}$) e a diferença percentual calculada entre F_0 e F_1 e entre F_1 e F_2 . Para verificar a normalidade dos dados foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk. Os resultados indicaram que as variáveis FC de repouso (F_0) apresentaram distribuição normal ($p \geq 0,05$), enquanto os valores de FC pós-teste (F_1) e FC 5 minutos após o esforço (F_2) não seguiram distribuição normal ($p < 0,05$), justificando a escolha de testes estatísticos apropriados para cada análise.

Para avaliar a relação entre idade e a recuperação da frequência cardíaca nos diferentes momentos pós-Teste de Cooper, foram calculados os coeficientes de correlação de Spearman. Esse teste permitiu determinar a força e a direção da correlação entre a idade e a FC nas fases F_1 e F_2 , sendo interpretado conforme os critérios de Dancey e Reidy [7], que estabelecem que valores próximos de ± 1 indicam correlação forte, entre $\pm 0,30$ e $\pm 0,70$ correlação moderada, e abaixo de $\pm 0,30$ correlação fraca.

Resultados

Características antropométricas

Foram avaliados 22 corredores amadores do sexo masculino. A idade média dos participantes foi de $26,3 \pm 5,3$ anos, com variação entre 20 e 39 anos. A massa corporal média foi de $73,3 \pm 8,6$ kg, variando de 60 a 89 kg. A estatura média registrada foi de $172 \pm 6,0$ cm, com valores entre 158 e 183 cm. O IMC médio foi de $24,9 \pm 2,5$ kg/m² com mínimo de 20,0 kg/m² e no máximo de 26,5 kg/m². A tabela I apresenta as características da amostra, incluindo medidas de tendência central e dispersão (n = 22).

Tabela I - Caracterização dos participantes (n = 22)

Variáveis	Média	Valor mínimo	Valor máximo
Idade (anos)	$26,3 \pm 5,3$	20	39
Massa (kg)	$73,3 \pm 8,6$	60	89
Estatura (m)	$1,72 \pm 6,0$	158	183
IMC (kg/m ²)	$24,9 \pm 2,5$	20,0	26,5

*IMC = Índice de Massa Corporal. Variáveis contínuas são expressas em média e desvio padrão (DP)

Os resultados obtidos a partir da análise da frequência cardíaca nos diferentes momentos do Teste de Cooper revelaram variações entre as fases de repouso e recuperação. A frequência cardíaca de repouso (F0) apresentou um valor médio de $70,3 \pm 10,2$ bpm, refletindo o estado basal dos participantes antes do teste. Após a realização do Teste de Cooper, observou-se um aumento expressivo na frequência cardíaca após o esforço (F1), atingindo uma média de $181,0 \pm 3,5$ bpm valor próximo da frequência cardíaca máxima estimada para a amostra (≈ 190 bpm), calculada com base na equação de Tanaka *et al.* [6] e uma variação (Δ) de 110,7 bpm entre as médias, o que representa um aumento médio de 147,46%. Esse aumento era esperado, pois reflete a resposta cardiovascular ao exercício de alta intensidade. No entanto, após cinco minutos de recuperação (F2), a frequência cardíaca apresentou uma redução média significativa para $150,0 \pm 3,0$ bpm (variação de 31 bpm ou 17,12%) indicando o início da reativação parassimpática e a progressiva recuperação autonômica pós-esforço. A Tabela II apresenta os valores centrais e de dispersão da frequência cardíaca nos diferentes momentos do teste, incluindo valores mínimos e máximos e variações entre diferentes momentos do teste.

Tabela II - Média (DP) da frequência cardíaca e variações (Δ) em diferentes momentos pós-Teste de Cooper (n = 22)

Variáveis	Média (bpm)	Valor mínimo (bpm)	Valor máximo (bpm)	Variação (Δ) entre F0 e F1 (bpm)	Variação (Δ) entre F1 e F2 (bpm)
FC de repouso (F0)	70,3 $\pm$ 10,2	54	88	110,7	-
FC pós-teste (F1)	181 $\pm$ 3,5	173	185		
FC 5 minutos após (F2)	150 $\pm$ 3,0	143	154	-	31

FC = Frequência Cardíaca. Variáveis contínuas são expressas em média e desvio padrão (DP)

A análise da correlação entre idade e frequência cardíaca nos diferentes momentos do Teste de Cooper revelou uma relação significativa entre essas variáveis. A tabela III apresenta os coeficientes de correlação de Spearman (r) e os respectivos valores de significância estatística (p) para os momentos analisados: repouso (F0), imediatamente após o teste (F1) e cinco minutos após o esforço (F2). Observou-se uma correlação negativa forte e estatisticamente significativa entre idade e frequência cardíaca imediatamente após o teste (F1, $r = -0,997$; $p < 0,001$) e entre idade e frequência cardíaca cinco minutos após o esforço (F2, $r = -0,991$; $p < 0,001$). Esses achados indicam que à medida que a idade aumenta, a frequência cardíaca nos momentos pós-teste tende a ser menor, sugerindo uma relação inversa entre idade e frequência cardíaca durante a recuperação inicial. Ainda nesse sentido, foi observada correlação negativa fraca entre idade e frequência cardíaca de repouso, sem significância estatística (F0, $r = -0,026$; $p = 0,910$), indicando que a idade não exerceu influência relevante sobre a frequência cardíaca basal dos participantes do estudo.

Tabela III - Correlação entre idade e frequência cardíaca nos diferentes momentos pós-Teste de Cooper (n = 22)

Momento	Coeficiente de Correlação (r)	Valor de p
FC de repouso (F0)	-0,026	0,910
FC pós-teste (F1)	-0,997	<0,001 *
FC 5 minutos após (F2)	-0,991	<0,001 *

*Com significância estatística. FC = Frequência cardíaca

Discussão

O presente estudo teve como objetivo analisar a correlação entre a idade e a recuperação da frequência cardíaca em diferentes momentos pós-Teste de Cooper em corredores amadores. Nossa hipótese inicial sugeria que a idade influenciaria significativamente a resposta da frequência cardíaca após o esforço, com atletas mais jovens apresentando maior variação inicial da frequência cardíaca e atletas mais velhos demonstrando uma recuperação aparentemente mais rápida, possivelmente devido a

menores picos de frequência cardíaca durante o esforço máximo. Os achados do estudo indicaram que existe uma correlação negativa entre idade e frequência cardíaca imediatamente após o teste (F1), sugerindo que conforme a idade aumenta, a frequência cardíaca pós-esforço tende a ser menor. Esse resultado pode estar relacionado a diferenças individuais na resposta cardiovascular ao exercício, mas não permite afirmar que a idade é a única responsável por essa variação, uma vez que fatores como condicionamento físico e características fisiológicas individuais também podem influenciar essa relação. Nesse contexto, os coeficientes de correlação altos podem sugerir uma dependência estrutural entre idade e FC, talvez maximizada pela redução fisiológica da FC máxima com a idade e não necessariamente uma relação fisiológica genuína com a recuperação autonômica.

Estudos prévios indicam que a recuperação da frequência cardíaca é modulada pelo equilíbrio autonômico entre sistemas simpático e parassimpático, sendo mais eficiente em indivíduos com maior aptidão aeróbia e menor ativação simpática residual após o exercício [8]. No entanto, enquanto a literatura frequentemente sugere que indivíduos mais jovens tendem a recuperar a frequência cardíaca mais rapidamente devido a uma maior variabilidade da frequência cardíaca e reativação vagal mais eficiente [9], nossos achados mostram que corredores com maior idade apresentam valores mais baixos de frequência cardíaca imediatamente após o teste. Essa relação não permite afirmar diretamente que indivíduos mais velhos possuem uma recuperação mais rápida da frequência cardíaca, mas sugere que a resposta cronotrópica ao esforço pode ser menor com o aumento da idade, o que poderia influenciar a percepção da recuperação imediata [10].

Uma possível explicação para esse fenômeno está no fato de que a resposta cronotrópica ao exercício diminui com a idade, reduzindo a frequência cardíaca máxima atingida durante o esforço [10]. Esse fator pode levar à falsa impressão de que indivíduos mais velhos recuperam a frequência cardíaca mais rapidamente, quando na realidade, a menor magnitude da resposta simpática inicial faz com que a desaceleração da frequência cardíaca pareça mais eficiente [11]. No entanto, essa hipótese precisaria ser investigada com medições diretas da atividade autonômica, como a variabilidade da frequência cardíaca (HRV), para confirmar se há diferenças na ativação simpática e parassimpática entre diferentes faixas etárias.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se o tamanho reduzido da amostra e a ausência de controle para fatores como nível de aptidão aeróbia entre os participantes, o que pode superestimar as associações observadas e reduzir a confiabilidade externa. Embora todos os indivíduos estudados sejam corredores amadores federados, é possível que diferenças no volume e intensidade do treinamento influenciem a recuperação da frequência cardíaca, dado que indivíduos com maior aptidão aeróbia tendem a apresentar uma recuperação mais eficiente [11]. Além disso, como o estudo utilizou apenas uma análise de correlação não foi possível avaliar a influência de outras variáveis potencialmente relevantes, como carga de treinamento e o tempo de prática esportiva, que poderiam impactar a recuperação da frequência cardíaca de

maneira independente da idade. Ainda, para análise da recuperação da FC foi adotado o uso de FC absoluta e suas variações absolutas e percentis em diferentes momentos do teste de Cooper em detrimento de métricas como a Heart Rate Recovery (HRR), ou seja, a mensuração da queda da FC no primeiro minuto após o exercício, que dever ser superior a 12 bpm.

Com base nesses resultados, futuros estudos devem investigar com maior profundidade a interação entre idade, condicionamento aeróbico e ativação autonômica durante o esforço e recuperação. O entendimento dessas relações pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de prescrição de treinamento, auxiliando no controle da intensidade do exercício e na otimização da recuperação pós-esforço para diferentes perfis de atletas [12]. Além disso, estudos futuros podem considerar a inclusão de medições diretas da ativação autonômica (ex.: variabilidade da frequência cardíaca) e da aptidão aeróbica (ex.: $VO_{2máx}$) para diferenciar com maior precisão os efeitos da idade e do nível de condicionamento sobre a recuperação cardíaca.

Conclusão

Os achados deste estudo indicaram a existência de uma correlação negativa entre idade e frequência cardíaca imediatamente após o Teste de Cooper, sugerindo que indivíduos mais velhos tendem a apresentar valores menores de FC pós-esforço. No entanto, essa relação não implica necessariamente em uma recuperação mais rápida da FC, uma vez que a menor FC pós-teste pode estar associada a uma menor ativação simpática e a uma frequência cardíaca máxima reduzida durante o esforço.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesse financeiros, comerciais, pessoais ou políticos relacionados ao tema e ao desenvolvimento deste artigo.

Financiamento

Este estudo não recebeu apoio financeiro de agências de fomento públicas, privadas ou do terceiro setor.

Contribuições dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Soares WI, Santana F; Obtenção de dados: Soares WI; Análise e interpretação dos dados: Soares WI, Marques VA, Silva NP, Oliveira FB; Análise estatística: Soares WI, Santana F; Obtenção de financiamento: não se aplica; Redação do manuscrito: Santana F, Marques VA, Silva NP, Oliveira FB; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Santana F, Marques VA, Silva NP, Oliveira FB.

Referências

1. Borresen J, Lambert MI. Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med.* 2009;39(9):813-29. doi: 10.2165/00007256-200838080-00002
2. Pepera G, Panagiota P. Heart rate recovery after exercise: an overview. *Eur J Sport Sci.* 2021;21(5):685-

95. doi: 10.3390/ijerph20064678

3. Azevedo LF, Perlingeiro PSM, Brum PC. Respostas autonômicas cardiovasculares ao exercício físico e sua recuperação: uma revisão de literatura. *Rev Bras Med Esporte*. 2007;13(2):83-8. doi: 10.3389/fphys.2017.00301

4. Fleg JL, O'Connor F, Gerstenblith G, Becker LC, Clulow J, Schulman SP, *et al*. Impact of age on the cardiovascular response to dynamic upright exercise in healthy men and women. *J Appl Physiol*. 1995;78(3):890-900. doi: 10.1152/jappl.1995.78.3.890

5. Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen intake: correlation between field and treadmill testing. *JAMA*. 1968;203(3):201-4. PMID: 5694044

6. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*. 2001;37(1):153-6. doi: 10.1016/s0735-1097(00)01054-8

7. Dancy C, Reidy J. Statistics without maths for psychology. 4th ed. Harlow: Pearson Education; 2006.

8. Perini R, Veicsteinas A. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *Eur J Appl Physiol*. 2003;90:317-25. doi: 10.1007/s00421-003-0953-9

9. Yoshio H, Shimizu M, Sugihara N, Kita Y, Shimizu K, Minagawa F. Assessment of autonomic nervous activity by heart rate spectral analysis in patients with variant angina. *Am Heart J*. 1993;125(2):324-9. doi: 10.1016/0002-8703(93)90007-v

10. Seals DR, Chase PB. Influence of physical training on heart rate variability and baroreflex function in older individuals. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 1989;265(3):R755-60. doi: 10.1152/jappl.1989.66.4.1886

11. Imai K, Sato M, Hagiwara N, Ozaki M, Ito H, Takeda H. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in endurance-trained athletes. *Am J Cardiol*. 1994;78(5):581-5. doi: 10.1249/01.mss.0000241647.13220.4c

12. Billman GE. Aerobic exercise conditioning: a nonpharmacological antiarrhythmic intervention. *J Appl Physiol*. 2002;92(2):446-54. doi:10.1152/japplphysiol.00874.2001

