

EFEITO DO TREINAMENTO DE FORÇA NOS PARÂMETROS MECÂNICOS DA CORRIDA

Guilherme Osvaldo Barbosa Sauer¹, Guilherme Cesca Detoni¹
 Vinícius Machado de Oliveira¹, Marcos Roberto Queiroga²
 Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga³, Marcus Peikriszwili Tartaruga^{1,3}

RESUMO

Introdução: É consenso que a melhora do sistema neuromuscular decorrente do treinamento de força promove ganhos significativos no desempenho físico. Apesar disso, poucos são os estudos que têm investigado o efeito do treinamento de força nos parâmetros mecânicos da corrida. **Objetivo:** Analisar os efeitos do treinamento de força nos parâmetros mecânicos da corrida. **Materiais e Métodos:** Oito corredores recreacionais foram submetidos a um programa de treinamento de força de doze semanas e a três testes de economia de corrida realizados antes, durante e após o período de treinamento para a determinação das magnitudes das respectivas variáveis dependentes. **Resultados:** A análise de variância de medidas repetidas demonstrou não existirem diferenças significativas nos parâmetros avaliados. **Discussão:** Devido aos efeitos do treinamento de força na melhora do desempenho de corredores de rendimento, a análise da técnica de corrida justifica-se com objeto de estudo científico. Pesquisas têm demonstrado a eficiência dos programas de treinamento de força para a melhora do sistema neuromuscular relacionada às adaptações fisiológicas e mecânicas, ambas decorrentes de programas baseados na aplicação de exercícios resistidos. **Conclusão:** O treinamento de força de doze semanas aplicado isoladamente em corredores recreacionais parece não ser suficiente para modificar os parâmetros mecânicos da corrida.

Palavras-chave: Biomecânica. Desempenho Esportivo. Eficiência. Locomoção.

1-Laboratório de Biomecânica - DEDUF-G/UNICENTRO, Guarapuava-PR, Brasil.

2-Laboratório de Fisiologia do Exercício - DEDUF-G/UNICENTRO, Guarapuava-PR, Brasil.

3-Laboratório de Pesquisa do Exercício - ESEF/UFRGS, Porto Alegre-RS, Brasil.

ABSTRACT

Effects of strength training in mechanics parameters of run.

Introduction: The consensus is that the improvement of the neuromuscular system resulting from strength training promotes significant gains on performance. Nevertheless, few studies have investigated the effect of strength training on the mechanical parameters of running. **Objective:** Analyze the effects of strength training on mechanical parameters of running. **Materials and Methods:** Eight recreational runners underwent a program of strength training of twelve weeks and three tests of running economy performed before, during and after the training period. **Results:** The repeated measures analysis of variance showed no significant differences in the behavior of the parameters evaluated. **Discussion:** Due to the effects of strength training in improving the performance of runner, the study of the running technique is justified. Studies have demonstrated the effectiveness of strength training programs in order to improve the neuromuscular system, consequences of physiological and mechanical adaptations both resulting of resistance training exercises. **Conclusion:** The strength training of twelve weeks applied separately in recreational runners isn't sufficient to modify the mechanical parameters of running.

Key words: Biomechanical. Sports Performance. Efficiency. Locomotion.

E-mail:

guilherme_sauer@hotmail.com

guilherme_cdetoni@hotmail.com

oliveira_vm@hotmail.com

queirogamr@hotmail.com

leotartaruga@gmail.com

INTRODUÇÃO

É consenso na literatura científica que a melhora do sistema neuromuscular relacionada às adaptações fisiológicas (p. e., adaptações neurais e periféricas que resultam em ganho de força e incremento da hipertrofia muscular, respectivamente) (Moritani e Devries, 1979; Paavolainen e colaboradores, 1999; Caserotti e colaboradores, 2008) e mecânicas (p. e., aumento do stiffness passivo e ativo do músculo) (Pousson, Van Hoecke e Goubel, 1990), ambas decorrentes de programas baseados na aplicação de exercícios resistidos, promove ganhos significativos no desempenho físico e na capacidade de gerar força (Kraemer e Ratamess, 2004; Izquierdo-Gabarren e colaboradores, 2010; Correa e colaboradores, 2012).

Para Moritani e Devries (1979), nas primeiras semanas do treinamento resistido, são os fatores neurais os principais responsáveis pelo aumento da força muscular. Em seguida, entre a terceira e quinta semana de treinamento, são os fatores hipertróficos os principais agentes.

Del Balso e Cafarelli (2007) sugerem que os ganhos iniciais de força muscular estejam relacionados ao aumento da taxa de disparo das unidades motoras, secundário a uma maior ativação dos tratos corticais descendentes.

O stiffness muscular têm sido considerado por diversos autores como um fator importante no processo de adaptação mecânico, resultando no ganho de força e de desempenho físico (Pousson, Van Hoecke e Goubel, 1990), além de aumentar a quantidade de tecido conjuntivo, ocasionando a melhora do mecanismo de proteção neuromuscular (Lapier e colaboradores, 1995).

Da mesma forma, o processo de adaptação mecânico muscular permite o aumento do conteúdo da proteína desmina nas miofibrilas, sendo essa uma das responsáveis pela orientação longitudinal e horizontal dos sarcômeros (Barash e colaboradores, 2002).

A relação entre força muscular e técnica de corrida, principalmente em situação de fadiga, tem despertado o interesse de pesquisadores da área do treinamento desportivo (Hirvonen e colaboradores, 1992; Nummela, Rusko e Mero, 1994).

Em um estudo com corredores fundistas, Tartaruga e col. (2003) verificaram uma diminuição significativa da velocidade de corrida dos 50m para os 450m (7,78 m.s-1 para 6,37 m.s-1), decorrente da diminuição do comprimento e da frequência de passada, associada ao aumento do tempo de passada. Resultados semelhantes foram verificados por Mizrahi e colaboradores (2000), Morin e colaboradores (2006) e Hunter e Smith (2007). Os autores sugerem que o aumento do tempo de passada pode estar relacionado à manutenção da impulsão, visto que a fadiga caracteriza-se pela diminuição da capacidade de produzir força pelos grupos musculares envolvidos.

Dessa forma, provavelmente o treinamento resistivo poderia resultar em um aumento na produção de força muscular e, conseqüentemente, em uma mudança na técnica de corrida.

Metabolicamente, além do ganho de força muscular, uma melhora na economia de corrida (ECO), definida como a energia metabólica despendida para manter uma determinada velocidade submáxima de corrida (Di Prampero e colaboradores, 1986; Tartaruga e colaboradores, 2013) pode ser verificada com o treinamento de força (Paavolainen e colaboradores, 1999; Mikkola e colaboradores, 2007). Millet e colaboradores (2002) aplicando um treinamento de força máxima em atletas fundistas durante 12 semanas, com o objetivo de verificar a influência do treinamento no desempenho, verificaram uma melhora na ECO - aumento de 6,9% na velocidade correspondente a 75% do consumo máximo de oxigênio (VO₂máx). De acordo com os autores, o aumento da produção de força, somada a manutenção dos níveis de potência mecânica, resultaram na melhora da ECO.

Todavia, diferentemente dos diversos estudos publicados a respeito da relação entre energia metabólica, produção de força e desempenho, a energia mecânica, caracterizada pelo trabalho mecânico total (W_{tot}), tem recebido pouco destaque em estudos que têm investigado a influência do treinamento de força no desempenho de corredores.

Compreendida como o resultado da soma dos trabalhos mecânicos interno (W_{int}) e externo (W_{ext}), sendo o primeiro correspondente a energia necessária para

e elevar e acelerar os membros corporais em relação ao centro de massa corporal e, o segundo, a energia necessária para elevar o centro de massa corporal em relação ao ambiente externo (Willems, Cavagna e Heglund, 1995), o W_{tot} tem sido considerado uma importante variável do desempenho locomotor (Cavagna, Saibene e Margaria, 1964; Minetti, Ardigò e Saibene, 1994; Willems, Cavagna e Heglund, 1995).

De fato, o treinamento de força pode influenciar o W_{tot} pois, melhora os níveis de potência do grupo muscular treinado (Hakkinen e colaboradores, 2003).

Cavagna e colaboradores (1988) encontraram uma estreita relação entre frequência de passada e o W_{int} . Conforme os autores, com o aumento da velocidade de corrida, ambas as variáveis aumentam similarmente. Já em relação ao comprimento de passada, fortes correlações com o W_{ext} foram verificadas por Morin e colaboradores (2007).

Esses comportamentos, associados a melhora da ECO, demonstram um aumento da eficiência mecânica com o treinamento de força. Diante disso, um indivíduo pode ser considerado mais eficiente quando apresenta um menor dispêndio metabólico e uma maior energia mecânica durante a locomoção humana (Minetti, Ardigò e Saibene, 1994).

Apesar desses resultados, para o nosso conhecimento, poucos são os estudos investigados o efeito do treinamento de força nos valores de W_{int} , W_{ext} e W_{tot} .

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi analisar os efeitos do treinamento de força nos parâmetros mecânicos da corrida.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostra

A amostra, selecionada por voluntariedade, foi constituída de oito corredores fundistas, recreacionais do sexo masculino, com idade entre 20 e 30 anos, sem experiência prévia em treinamento de força.

O número amostral foi determinado com base nos estudos de Paavolainen e col. (1999) e Millet e colaboradores (2003), através do programa Computer Programs for Epidemiologic Analyses - PEPI.

Para o cálculo amostral, adotou-se um nível de significância (α) de 0,05, um poder de

90% e um coeficiente de correlação linear (r) de 0,9. Todos os participantes leram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade (FR431343) conforme as normas do Conselho Nacional de Saúde (no 196/96).

Instrumentos

Para as coletas de dados foi utilizada uma esteira rolante (MOVEMENT, modelo RT350; Pompéia, Brasil), uma balança com resolução de 0,1 kg e um estadiômetro acoplado (FILIZOLA, São Paulo, Brasil), uma fita métrica com comprimento de 2 m e resolução de 1 mm (STARRETT; São Paulo, Brasil), um compasso de dobras cutâneas com resolução de 0,1 mm (CALIPER; Greenwood, EUA) e uma filmadora com frequência de amostragem de 250 Hz (CASIO, modelo EX-FH25; Tóquio, Japão). O treinamento de força foi realizado em uma academia de ginástica especializada utilizando-se equipamentos de musculação específicos. Para a determinação do W_{int} , W_{ext} e W_{tot} foi usado o software Dvideow e o sistema Matrix Laboratory (versão 5.3, MathWorks, Inc.; Natick, Massachusetts, USA).

Avaliação Antropométrica e Ergométrica

Foram realizadas três sessões de avaliações antropométricas, antes, durante e após um período de treinamento de força, cada uma seguida de um teste de economia de corrida. Em cada sessão foram mensurados os dados de massa corporal, estatura, comprimento de pernas e percentual de gordura corporal (%G), sendo este calculado a partir da densidade corporal (Jackson e Pollock, 1978), seguindo as recomendações de Siri (1993). Após as avaliações antropométricas, cada sujeito era instruído a realizar uma corrida em esteira rolante com velocidade e inclinação máxima de 18 km.h⁻¹ e 15% e, resolução de 0,1 km.h⁻¹ e 1%, respectivamente. A esteira rolante era ligada e a velocidade aumentada, progressivamente, até o sujeito alcançar a velocidade de 11 km.h⁻¹. O teste ergométrico submáximo consistia de uma corrida de cinco minutos em um gradiente de inclinação de 1%. Em seguida, a velocidade era diminuída até uma velocidade submáxima de caminhada confortável, executada durante três minutos,

com objetivo de recuperação cardiorrespiratória. Todos os sujeitos tinham experiência em corrida em esteira rolante e todos foram instruídos a utilizarem seus próprios calçados esportivos.

Para a determinação dos parâmetros mecânicos (comprimento e frequência de passada, tempos de suporte e de balanço, Wint, Wext e Wtot) foi realizada, no quarto minuto de corrida, uma filmagem do plano sagital direito de cada sujeito, com o uso de uma filmadora de alta frequência de amostragem localizada a três metros do avaliado. Nove pontos anatômicos identificados reflexivamente nas áreas de interesse (cabeça, ombro, cotovelo, punho, quadril, joelho, tornozelo, calcanhar e 5o metatarso) foram digitalizados durante cinco ciclos de passada, conforme a metodologia adotada por Tartaruga e col. (2004). Após esse processo, os arquivos .DAT foram transformados em arquivos .2D e importados por uma rotina matemática desenvolvida no sistema Matrix Laboratory, construída conforme as recomendações de Cavagna e Kaneko (1977), Minetti, Ardigò e Saibene (1994) e Nardello, Ardigò e Minetti (2011). Para a filtragem dos dados digitalizados foi adotado o filtro passa-baixa Butterworth, com frequências de corte entre 8 e 11 Hz.

O teste de ECO foi feito na 7a e 13a semana de treino permitindo a comparação dos parâmetros mecânicos em função do tempo de treinamento.

Protocolo de treinamento de força

O protocolo de treinamento de força consistiu de um período de doze semanas de exercício, com três momentos de avaliação, contendo cada semana duas sessões de treino. Entre cada sessão, houve um intervalo de recuperação de no mínimo 48 horas, conforme as recomendações de Millet e colaboradores (2002).

Os exercícios realizados foram leg press 45°, agachamento hack, extensão de joelhos, flexão de joelhos, flexão plantar,

supino reto, puxada por trás, tríceps pulley, rosca direta e abdução de ombro. Apesar de 80-90% do Wint durante a corrida ser resultante do comportamento muscular dos membros inferiores (Cavagna e Kaneko, 1977), exercícios de tronco e membros superiores foram, também, incluídos na periodização do presente estudo. Inicialmente, na primeira semana de treino, todos os sujeitos foram submetidos a um teste de uma repetição máxima (1RM) em cada exercício, realizado segundo as recomendações de Ramalho e colaboradores (2011).

O mesmo foi feito na 7a e 13a semana de treinamento. O volume total da carga foi incrementado de acordo com a porcentagem do teste de 1RM. Com base nos resultados dos testes de 1RM, foi adotada a periodização conforme ilustrado na tabela 1. Os sujeitos alcançaram valores superiores a 90% de presença.

Análise Estatística

Foi utilizada a estatística descritiva, com médias e desvios-padrão. A normalidade da distribuição dos dados foi verificada pelo teste de *Shapiro-Wilk*. Para comparação das médias foi aplicado a Análise de Variância (ANOVA) de Medidas Repetidas. O nível de significância adotado foi de 5%. Todos os testes foram realizados no pacote estatístico SPSS, versão 20.0.

RESULTADOS

Na tabela 2 são apresentados os resultados da caracterização da amostra composta de 8 corredores recreacionais, através de médias e desvio-padrões, bem como os valores mínimos e máximos das variáveis idade, massa corporal, estatura e comprimento de perna direita. Nenhum sujeito apresentou diferenças superiores a 1 cm de comprimento entre as pernas direita e esquerda.

Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbpex.com.br

Tabela 1 - Periodização do treinamento e força.

semanas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
% de 1RM		60	65	65	70	80	85		85	90	90	90	90	
séries x repet.	Teste 1RM	1x20	1x20	2x1	2x1	3x1	4x8	Teste 1RM	3x8	4x6	5x5	5x6	5x6	Teste 1RM
Kg		1200	1300	1560	2100	2400	2720		2040	2160	2250	2700	2700	

Tabela 2 - Média, desvio-padrão (DP), valores mínimos e máximos das variáveis da idade, massa corporal, estatura e comprimento de perna direita de 8 corredores recreacionais.

Variáveis	Média	DP	Mínimo	Máximo
Idade (anos)	22	± 4	20	30
Massa Corporal (kg)	72,0	± 15,0	53,2	96,0
Estatura (m)	1,70	± 0,05	1,60	1,80
Comprimento de Perna (m)	0,81	± 0,06	0,69	0,89

Tabela 3 - Média e desvio-padrão dos parâmetros mecânicos de oito corredores recreacionais.

Variáveis	Pré-teste	Pós-teste 1 (semana 7)	Pós-teste 2 (semana 13)	<i>p</i>
Comprimento de Passada (m)	2,14 ± 0,16	2,24 ± 0,10	2,22 ± 0,10	0,290
Frequência de Passada (passos·s ⁻¹)	1,42 ± 0,10	1,36 ± 0,06	1,37 ± 0,06	0,257
Tempo de Suporte (s)	0,27 ± 0,02	0,27 ± 0,02	0,26 ± 0,01	0,652
Tempo de Balanço (s)	0,43 ± 0,04	0,45 ± 0,03	0,45 ± 0,02	0,320
W_{int} (J·kg ⁻¹ ·m ⁻¹)	0,59 ± 0,08	0,61 ± 0,07	0,59 ± 0,05	0,728
W_{ext} (J·kg ⁻¹ ·m ⁻¹)	1,46 ± 0,05	1,47 ± 0,03	1,49 ± 0,04	0,423
W_{tot} (J·kg ⁻¹ ·m ⁻¹)	2,05 ± 0,06	2,09 ± 0,06	2,08 ± 0,04	0,506

Nota: trabalho mecânico interno (W_{int}); trabalho mecânico externo (W_{ext}); trabalho mecânico total (W_{tot}). Índice de significância (*p*) de 0,05.

Tabela 4 - Resultados dos testes de 1RM nas situações pré e pós-testes de oito corredores recreacionais.

Variáveis	Pré-teste	Pós-teste 1 (semana 7)	Pós-teste 2 (semana 13)
Leg-press (kg)	153,12	168,16	179,27
Agachamento Hack (kg)	50,62	56,78	59,72
Cadeira Extensora (kg)	34,25	37,49	39,58
Mesa Flexora (kg)	25,03	27,98	29,08
Flexão Plantar (kg)	65,87	74,36	81,58
Supino Reto (kg)	39,12	42,89	43,57
Puxada Alta (kg)	59,62	64,89	65,39
Tríceps Pulley (kg)	32,75	32,98	34,02
Rosca Direta (kg)	20,75	23,67	23,96
Abdução de Ombro (kg)	17,25	19,54	18,98

Com o treinamento de força, não foram verificadas diferenças significativas na magnitude das variáveis mecânicas analisadas (comprimento e frequência de passada, tempos de suporte e de balanço, W_{int} , W_{ext} e W_{tot}) (Tabela 3), apesar do aumento nos valores força em 1RM correspondentes as situações pré e pós-testes (Tabela 4).

DISCUSSÃO

O presente estudo teve por objetivo analisar os efeitos do treinamento de força nos parâmetros mecânicos da corrida humana. A nossa hipótese foi de que o treinamento de força pudesse resultar em adaptações mecânicas e, conseqüentemente, em mudanças na técnica de corrida.

Contrariamente ao demonstrando na literatura científica em relação aos parâmetros energéticos, os resultados demonstram que o treinamento de força, quando aplicado isoladamente e periodizado com intensidade crescente, não é capaz de modificar os parâmetros mecânicos da corrida.

Cinematicamente, os nossos resultados não apresentaram diferenças significativas no comprimento e na frequência de passada entre as avaliações realizadas. Apesar das diferenças metodológicas, os nossos resultados estão de acordo com os achados de Esteve-Lanao e colaboradores (2008) que, ao investigarem o efeito do treinamento de força de 16 semanas nos mesmos parâmetros em 18 corredores meio-fundistas verificaram que, em situação de fadiga neuromuscular, quando não realizado um treinamento de força específico, ocorrem alterações nas referidas variáveis cinemáticas, destacando-se uma diminuição significativa no comprimento de passada. Os autores concluem que o treinamento específico de força pode auxiliar na manutenção da técnica de corrida, retardar a fadiga neuromuscular e melhorar o desempenho em provas de rendimento.

Cabe ressaltar que no nosso estudo não foram investigados os parâmetros mecânicos em situação de fadiga. Por isso, não podemos afirmar que o treinamento de força muscular corrobora a manutenção da técnica de corrida em situação de fadiga mas, em contrapartida, pode-se afirmar que, provavelmente, não a influência em situação de pré-fadiga.

De fato, os testes de ECO adotados em nosso estudo, correspondentes a 5 min de corrida à 11 km.h⁻¹, não induziram os nossos sujeitos a situação de fadiga muscular, visto que as variáveis cinemáticas, i. e., o comprimento e a frequência de passada, bem como as variáveis temporais, não sofreram modificações significativas. Sabe-se que a técnica de corrida, associada a melhora da ECO, pode ser responsável por até 30% no desempenho em provas de meia e longa-distância (Williams, Krahenbuhl e Morgan, 1991).

Na década de 70, estudos concluíram que a densidade do volume mitocondrial poderia decrescer após um programa de treinamento de força de alta intensidade (Macdougall e colaboradores, 1979), justificando a não utilização deste treinamento na busca da melhora do desempenho de corredores fundistas.

Em contrapartida, novos estudos publicados a partir da década de 80 revelaram que o treinamento de força especificamente elaborado para as necessidades de um corredor de fundo pode melhorar o seu desempenho e prevenir lesões (Lapier e colaboradores, 1995; Johnson e colaboradores, 1997). Atualmente muitos fundistas têm utilizado o treinamento de força para a melhora do desempenho.

Johnson e colaboradores (1997) relatam um incremento na ECO após 10 semanas de treinamento de força em mulheres. O protocolo de treinamento foi aplicado três vezes por semana, contendo diversos exercícios divididos em dois dias diferentes. Foi relatado um incremento de 4% na ECO com o treinamento de força submáxima, justificado pelos autores em decorrência das mudanças na força dos membros inferiores que promovem modificações nos padrões de recrutamento das unidades motoras, atestando, assim, que, para protocolos de intensidade submáxima, também ocorrem modificações na ECO em corredores de longa distância.

Em contrapartida, Kelly, Burnett e Newton (2008), verificando o efeito do treinamento de força, com duração de 10 semanas, em um grupo de mulheres meio-fundistas, não encontraram correlações significativas entre ECO e força muscular. Contudo, o grupo que implementou o treinamento de força apresentou diferença

significativa de desempenho em prova de 3km quando comparado ao grupo que treinou somente o protocolo de corrida. Presume-se que o fato de o grupo que implementou o treinamento de força ter aumentado o desempenho sem o acompanhamento de uma melhora na ECO é oriundo de uma melhora nas adaptações neuromusculares e na eficiência mecânica. No nosso estudo, não foi avaliada a ECO. Porém, existe a possibilidade que a eficiência mecânica dos nossos sujeitos tenha melhorado com o treinamento de força realizado.

Estudos têm demonstrado fortes relações entre a potência mecânica e técnica de corrida. Por exemplo, Cavagna e colaboradores (1988) demonstrou existir uma relação direta entre o Wint e a frequência de passada, o que justifica o aumento dessa variável mecânica com o aumento da velocidade linear de corrida. Ou seja, quanto maior o número de passos realizados em um determinado período de tempo, maior a necessidade de acelerar esse membro em relação ao centro de massa e, conseqüentemente, maior o custo de energia advindo da taxa de aplicação de força decorrente dos contatos do pé com o solo.

É provável, dessa forma que, no nosso estudo, a não ocorrência de mudanças significativas na frequência de passada tenham resultado em um comportamento semelhante do Wint. Em relação ao Wext, por estar relacionado com o trabalho necessário para elevar e acelerar o centro de massa corporal em relação ao ambiente externo possui forte relação com o comprimento de passada.

Como o comprimento de passada possui relação inversa em velocidades submáximas com a frequência de passada (Tartaruga e col., 2004) e, devido a não haverem existido diferenças significativas no comprimento de passada entre as avaliações, o Wext não sofreu alterações.

Por conseqüência do comportamento de ambos os trabalhos o Wtot não sofreu alterações significativas com o treinamento de força.

CONCLUSÃO

A realização de um treinamento de força de 12 semanas aplicado isoladamente e periodizado com intensidade crescente em

corredores recreacionais parece não ser suficiente para modificar o comportamento mecânico da corrida, devendo este ter um enfoque maior para futuros estudos com base na aplicação de outros protocolos de treinamento objetivando a melhora da técnica de corrida e, conseqüentemente, de desempenho em provas de meia e longa-distâncias.

O estudo limita-se ao número amostral adotado e ao treinamento de força realizado.

REFERÊNCIAS

- 1-Barash, I.A.; Peters, D.; Fridén, J.; Liber, R.L. Desmin cytoskeletal modifications after a bout of eccentric exercise in the rat. *The American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. Vol. 283. Num. 4. p.958-963. 2002.
- 2-Caserotti, P.; Aagaard, P.; Larsen, J.B.; Puggaard, L. Explosive heavy-resistance training in old and very old adults: changes in rapid muscle force, strength and power. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. Vol. 18. Num. 6. p.773-782. 2008.
- 3-Cavagna, G. A.; Franzetti, P.; Heglund, N.C.; Willems, P. The determinants of the step frequency in running, trotting and hopping in man and other vertebrates. *The Journal of Physiology*. Vol. 399. p.81-92. 1988.
- 4-Cavagna, G.A.; Kaneko, M. Mechanical work and efficiency in level walking and running. *The Journal of Physiology*. Vol. 268. Num. 2. p.467-481. 1977.
- 5-Cavagna, G.A.; Saibene, F.P.; Margaria, R. Mechanical work in running. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 19. p.249-256. 1964.
- 6-Correa, C.S.; LaRoche, D.P.; Cadore, E.L.; Reischak-Oliveira, A.; Bottaro, M.; Kruehl, L.F.M.; Tartaruga, M.P.; Radaelli, R.; Wilhelm, E.N.; Lacerda, F.C.; Gaya, A.R.; Pinto, R.S. Tree different types of strength training in older women. *International Journal of Sports Medicine*. Vol. 33. p.1-8. 2012.
- 7-Del Balso, C.; Cafarelli, E. Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training.

Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbpfex.com.br

Journal of Applied Physiology. Vol. 103. Num. 1. p.402-411. 2007.

8-Di Prampero, P.E.; Atchou, G.; Bruckner, J.C.; Moia, C. The energetics of endurance running. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 55. Num. 3. p.259-266. 1986.

9-Esteve-Lanao, J.; Rhea, M.R.; Fleck, S.J.; Lucia, A. Running-specific, periodized strength training attenuates loss of stride length during intense endurance running. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 22. Num. 4, p.1176-1183. 2008.

10-Hakkinen, K.; Alen, M.; Kraemer, W.J.; Gorostiaga, E.; Izquierdo, M.; Rusko, H.; Mikkola, J.; Hakkinen, A.; Valkeinen, H.; Kaarakainen, E.; Romu, S.; Erola, V.; Ahtiainen, J.; Paavolainen, L. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 89. Num. 1. p.42-52. 2003.

11-Hirvonen, J.; Nummela, A.; Rusko, H.; Rehnunen, S.; Harkonen, M. Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Canadian Journal of Sport Sciences*. Vol. 17. Num. 2. p.141-144. 1992.

12-Hunter, I.E.; Smith, G.A. Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: changes with fatigue during a 1-h high-intensity run. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 100. Num. 6. p.653-661. 2007.

13-Izquierdo-Gabarron, M.; González De Txabarrri Expósito, R.; García-Pallarés, J.; Sánchez-Medina, L.; De Villarreal, E.S.; Izquierdo, M. Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 42. Num. 6. p.1191-1199. 2010.

14-Jackson, A.S.; Pollock, M.L. Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition*. Vol. 40. Num 3. p.497-504. 1978.

15-Johnson, R.E.; Quinn, T.J.; Kertzer, R.; Vroman, N.B. Strength training in female

distance runners: impact on running economy. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 11. Num. 4, p.224-229. 1997.

16-Kelly, C.M.; Burnett, A.F.; Newton, M.J. The effect of strength training on three-kilometer performance in recreational women endurance runners. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 22. Num. 2. p.396-403. 2008.

17-Kraemer, W.J.; Ratamess, N.A. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 36. Num. 4. p.674-688. 2004.

18-Lapier, T.K.; Burton, H.W.; Almon, R.; Cerny, F. Alterations in intramuscular connective tissue after limb casting affect contraction-induced muscle injury. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 78. Num. 3. p.1065-1069. 1995.

19-MacDougall, J.D.; Sale, D.G.; Moroz, J.R.; Elder, G.C.; Sutton, J.R.; Howald, D. Mitochondrial volume density in human skeletal muscle following heavy resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 11. Num. 2. p.164-166. 1979.

20-Mikkola, J.S.; Rusko, H.K.; Nummela, A.T.; Paavolainen, L.M.; Hakkinen, K. Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 21. Num. 2. p.613-620. 2007.

21-Millet, G.P.; Dréano, P.; Bentley, D.J. Physiological characteristics of elite short- and long-distance triathletes. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 88. Num. 4-5. p.427-430. 2003.

22-Millet, G.P.; Jaouen, B.; Borrani, F.; Candau, R. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 34. Num. 8. p.1351-1359. 2002.

23-Minetti, A.E.; Ardigo, L.P.; Saibene, F. Mechanical determinants of the minimum energy cost of gradient running in humans.

Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbpfex.com.br

The Journal of Experimental Biology. Vol. 195. Num. 1. p.211-225. 1994.

24-Mizrahi, J.; Verbitsky, O.; Isakov, E.; Daily, D. Effects of fatigue on leg kinematics and impact acceleration in long distance running. Human Movement Science. Vol. 19. p.139-151. 2000.

25-Morin, J.B.; Jeannin, T.; Chevallier, B.; Belli, A. Spring-mass model characteristics during sprint running: correlation with performance and fatigue-induced changes. International Journal of Sports Medicine. Vol. 27. Num. 2. p.158-165. 2006.

26-Morin, J.B.; Samozino, P.; Zameziati, K.; Belli, A. Effects of altered stride frequency and contact time on leg-spring behavior in human running. Journal of Biomechanics. Vol. 40. Num. 15. p.3341-3348. 2007.

27-Moritani, T.; Devries, H.A. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation. Vol. 58. Num. 3. p.115-130. 1979.

28-Nardello, F.; Ardigo, L.P.; Minetti, A.E. Measured and predicted mechanical internal work in human locomotion. Human Movement Science. Vol. 30. Num. 1. p.90-104. 2011.

29-Nummela, A.; Rusko, H.; Mero A.; EMG activities and ground reaction forces during fatigued and nonfatigued sprinting. Medicine and Science in Sports and Exercise. Vol. 26. Num. 5. p.605-609. 1994.

30-Paavolainen, L.; Hakkinen, K.; Hamalainen, I.; Nummela, A.; Rusko, H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. Journal of Applied Physiology. Vol. 86. Num. 5. p.1527-1533. 1999.

31-Pousson, M.; Van Hoecke; Goubel, F. Changes in elastic characteristics of human muscle induced by eccentric exercise. Journal of Biomechanics. Vol. 23. Num. 4. p.343-348. 1990.

32-Ramalho, G.H.R.O.; Mazini Filho, M.L.; Rodrigues, B.M.; Venturini, G.R.O.; Salgueiro, R.S.; Pace Júnior, R.L.; Matos, D.G. The 1RM

testing for prediction of load in hypertrophy training and its relation with maximum number of repetitions. Brazilian Journal of Biomotricity. Vol. 5. Num. 3. p.168-174. 2011.

33-Siri, W.E. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. Nutrition. Vol. 9. Num. 5. p.480-491. 1993.

34-Tartaruga, L.A.P.; Coertjens, M.; Black, G.L.; Tartaruga, M.P.; Ribas, L.R.; Krueel, L.F.M. Effects of fatigue on the kinematics of runners. Brazilian Journal of Biomechanics. Vol. 4. Num. 6. p.39-44. 2003.

35-Tartaruga, L.A.P.; Tartaruga, M.P.; Ribeiro, J.L.; Coertjens, M.; Ribas, L.R.; Krueel, L.F.M. Correlation between running economy and kinematic variables in high level runners. Brazilian Journal of Biomechanics. Vol. 5. Num. 9. p.51-58. 2004.

36-Tartaruga, M.P.; Mota, C.B.; Peyré-Tartaruga, L.F.; Krueel, L.F.M.; Vallier, J.-M.; Brisswalter, J. Running efficiency and long-distance performance prediction: Influence of allometric scaling. Science and Sports. Vol. 28. p.165-171. 2013.

37-Willems, P.A.; Cavagna, G.A.; Heglund, N.C. External, internal and total work in human locomotion. The Journal of Experimental Biology. Vol. 198. Num. 2. p.379-393. 1995.

38-Williams, T.J.; Krahenbuhl, G.S.; Morgan, D.W. Mood state and running economy in moderately trained male runners. Medicine and Science in Sports and Exercise. Vol. 23. Num. 6. p.727-731. 1991.

Endereço para correspondência
Guilherme Osvaldo Barbosa Sauer
Universidade Estadual do Centro-Oeste,
Campus CEDETEG.
Departamento de Educação Física.
Laboratório de Biomecânica e Ergonomia.
Rua Simeão Camargo Varella de Sá, 03.
Guarapuava-PR. CEP: 85040-080,
Telefone: 00 (55) 42-36.29.81.32

Recebido para publicação 18/04/2014
Aceito em 03/09/2014