



OS EFEITOS DOS TREINAMENTOS DE FORÇA E DE POTÊNCIA SOBRE A ECONOMIA DE CORRIDA

Everton Crivoi do Carmo
Marcelo Gomes Pereira
Diego Barretti
Cesar Cavinato Cal Abad
Valmor Tricoli

Universidade de São Paulo – Brasil

Resumo: Devido ao seu importante papel sobre o desempenho em provas de média e longa durações, diferentes intervenções têm sido propostas para melhorar a economia de corrida (EC), entre elas os treinamentos de força e de potência. Entretanto, os resultados ainda são controversos. Assim, o objetivo desta revisão foi verificar os efeitos dos treinamentos de força e de potência sobre a EC. Para isso, foi realizada uma busca eletrônica nas principais bases de dados, seguindo os seguintes critérios: 1. estudos originais; 2. que realizaram treinamento de força e/ou de potência como intervenção; 3. indivíduos experientes em provas de média e longa distâncias. Dos 12 estudos analisados, dez demonstraram melhoras na EC. Entretanto, a variação nos resultados observados é grande (1,4% e 7%), dificultando explicações definitivas sobre essa melhora. Os resultados apontam para a utilização do treinamento pliométrico; no entanto, os mecanismos responsáveis pela possível melhora ainda estão pouco elucidados.

Palavras-chave: desempenho esportivo; gasto energético; treinamento esportivo.

INTRODUÇÃO

Durante muito tempo, o alto consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_2\text{máx}$) foi considerado a principal variável preditora do desempenho em provas aeróbias de média e longa durações. Mais recentemente, limiares metabólicos, velocidade do $\dot{V}O_2\text{máx}$ e economia de corrida (EC) têm se mostrado também importantes preditoras do desempenho, especialmente em atletas de alto rendimento (PATE; KRISKA, 1984).

Dentre essas variáveis, a EC vem recebendo destaque. A importância dela para o desempenho foi mostrada em estudos que avaliaram atletas com $\dot{V}O_2$ máx semelhantes, mas nos quais a EC foi responsável por até 65% da variação nos tempos de provas de 10 km (MORGAN et al., 1990; SAUNDERS et al., 2004). Resultados similares se observaram quando atletas africanos foram comparados com caucasianos. Mesmo com $\dot{V}O_2$ máx 13% menor, os africanos apresentaram melhor desempenho em provas de 10 km, e esse fato foi atribuído à EC; nesse caso, 8% melhor nos corredores africanos (WESTON; MBAMBO; MYBURGH, 2000).

A EC é expressa pelo consumo submáximo de oxigênio ($\dot{V}O_2$ submáx) e pode ser definida como a energia despendida em determinada velocidade de corrida em estado estável (SAUNDERS et al., 2004). Sendo assim, corredores com boa EC utilizam menor porcentagem de seu $\dot{V}O_2$ máx para uma mesma velocidade de corrida, ou seja, são capazes de realizar maior trabalho com menor gasto energético (SAUNDERS et al., 2004).

A EC pode ser afetada por diversas variáveis intervenientes, entre elas a experiência dos indivíduos com a esteira ou o protocolo de teste utilizado, o nível de treinamento do indivíduo, o calçado utilizado, a hora do dia em que o teste foi realizado, o estado nutricional e as atividades prévias (SAUNDERS et al., 2004). Fatores neuromusculares também têm sido apontados por afetar diretamente a EC, e entre eles podemos mencionar: 1. o recrutamento das unidades motoras (MILLET; LEPERS, 2004; BONACCI et al., 2009); 2. a taxa de desenvolvimento da força (TAYLOR, 1985; STOREN; HELGERUD; HOFF, 2011); 3. o tempo de contato com o solo (PAAVOLAINEN et al., 1999); 4. a força de reação ao solo (SAUNDERS et al., 2006); e 5. a rigidez músculo-tendão (*stiffness muscular*) (PAAVOLAINEN et al., 1999; BONACCI et al., 2009). Todos estão relacionados à execução do ciclo alongamento-encurtamento (CAE), ou seja, podem afetar a utilização da energia elástica produzida no impacto durante a fase excêntrica do movimento (PAAVOLAINEN et al., 1999; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003; NICOL; AVELA; KOMI, 2006). O CAE se caracteriza pela execução de uma fase excêntrica precedendo uma concêntrica e parece interferir nas variáveis determinantes da EC (PAAVOLAINEN et al., 1999; SAUNDERS et al., 2004; NICOL; AVELA; KOMI, 2006; KUBO et al., 2007; KUBO et al., 2010). Assim, estratégias para melhorar a habilidade do atleta na sua utilização passaram a ter grande interesse na prática do treinamento de corridas de média e longa durações (PAAVOLAINEN et al., 1999; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003; NICOL; AVELA; KOMI, 2006).

Entre as diferentes intervenções propostas, o treinamento de força tem se mostrado eficaz em melhorar a EC (JOHNSON et al., 1997; PAAVOLAINEN et al., 1999; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003; SAUNDERS et al., 2004; SAUNDERS

et al., 2006; LANA O et al., 2008). No entanto, os efeitos parecem estar mais associados às adaptações neurais (melhor recrutamento de atividades motoras, melhora na co contração muscular e maior rigidez musculotendão) do que as estruturais (aumento do conteúdo contrátil) (BONACCI et al., 2009). Com isso, métodos de treinamento de força que enfatizem essas adaptações, como o treinamento de força máxima e o de potência, passaram a ser priorizados (BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010).

De fato, estudos recentes têm mostrado os efeitos desses métodos de treinamento sobre as adaptações neuromusculares que contribuem para a melhora da EC (PAAVOLAINEN et al., 1999; MILLET et al., 2002; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003; SAUNDERS et al., 2006; MIKKOLA et al., 2007; KELLY; BURNETT; NEWTON, 2008; STOREN et al., 2008; BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010; FERRAUTI; BERGERMANN; FERNANDEZ-FERNANDEZ, 2010). A melhora no recrutamento das unidades motoras e a maior capacidade do atleta em utilizar o CAE (SAUNDERS et al., 2006; LANA O et al., 2008; BONACCI et al., 2009; BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010) estão entre os fatores primordiais. Entretanto, os mecanismos que explicam esses efeitos e o melhor método de treinamento para alcançá-los ainda são controversos.

Assim, o objetivo da presente revisão foi verificar os efeitos do treinamento de força e de potência sobre a EC e seus respectivos mecanismos de adaptação.

METODOLOGIA

Realizou-se uma busca eletrônica nas bases de dados Lilacs, Medline, SportDiscus, SciELO e Google Scholar, sem restrição quanto à data de publicação. O termo *economia de corrida* foi utilizado tanto de forma isolada quanto combinada aos descritores: “treinamento de força”, “treinamento de potência”, “treinamento de explosão”, “treinamento resistido”, “treinamento pliométrico” e “treinamento concorrente”. Os idiomas da busca foram inglês e português, e apenas artigos científicos publicados em periódicos indexados foram selecionados. Além disso, adotaram-se os seguintes critérios de inclusão: 1. estudos originais; 2. que realizaram treinamento de força e/ou de potência como intervenção; e 3. que utilizaram como amostra indivíduos saudáveis e experientes em corridas de média e longa distâncias (1.500 m a 42 km).

Ao todo foram encontrados 54 estudos, dos quais 34 foram excluídos inicialmente por se tratar de artigos de revisão ou por não ter realizado nenhum dos tipos de intervenção com treinamento físico. Assim, os 20 estudos restantes foram analisados por quatro avaliadores independentes, conforme os critérios de inclusão cita-

dos anteriormente. As avaliações foram comparadas e após consenso 12 publicações se enquadraram nos critérios preestabelecidos, os quais compuseram a base do presente estudo. Desses 12 artigos, quatro aplicaram treinamento de força, cinco aplicaram treinamentos de potência, e os outros três envolveram ambos os tipos.

TREINAMENTO DE FORÇA E ECONOMIA DE CORRIDA

Dos artigos selecionados, quatro deles utilizaram o treinamento de força máxima e avaliaram os seus efeitos sobre a EC. Millet et al. (2002) investigaram os efeitos do treinamento de força de alta intensidade (3-5 séries de 3-5 repetições com intensidade > 90% IRM) e sua associação à continuidade do treinamento aeróbico sobre as mudanças na EC. Assim, 15 triatletas de alto nível foram divididos em dois grupos: um manteve a rotina de treinamentos aeróbios, e o outro realizou treinamento de força em conjunto com a rotina de treinamentos aeróbios. O treinamento aeróbico foi composto das três modalidades do triatlo (corrida, natação e ciclismo) com duração total de 20,5 horas de atividade por semana. O treinamento de força foi conduzido por 14 semanas, em duas sessões semanais, composto de exercícios para os membros inferiores (*leg press*, agachamento, flexão e extensão de joelhos e flexão plantar). O treinamento foi programado com alterações a cada três semanas, em que o número de séries aumentava progressivamente. Os resultados do estudo mostraram que o treinamento de força de alta intensidade melhorou a EC em 11,76%. Tal mudança foi positivamente correlacionada às ocorridas no desempenho do salto vertical (3,3%, $r = 0,55$; $p < 0,5$). Os autores sugeriram que um possível aumento na rigidez músculo-tendão com consequente melhor utilização do CAE pode ter sido responsável pela melhora da EC após o treinamento de força. O aperfeiçoamento na EC foi associado ao aumento na velocidade do $\dot{V}O_{2max}$ (2,7%). A velocidade do $\dot{V}O_{2max}$ representa a menor velocidade em que o $\dot{V}O_{2max}$ é alcançado.

Støren et al. (2008) avaliaram 17 corredores treinados (nove homens e oito mulheres) divididos em dois grupos – um deles permaneceu com sua rotina habitual de treinamento (controle), enquanto o outro, além da rotina de treinamentos aeróbios, realizou também um protocolo de treinamento de força. O treinamento foi conduzido durante oito semanas, com três sessões semanais e composto por exercícios de agachamento organizados em quatro séries de quatro repetições máximas. Os resultados mostraram que o treinamento de força melhorou a EC em torno de 5%. Além disso, foram observadas melhoras no tempo para a exaustão (21,3%), na força máxima (33,2%) e na taxa de desenvolvimento de força (26%). Com esses achados, os autores especularam que os aumentos evidenciados na força má-

xima e na taxa de desenvolvimento de força poderiam estar relacionados à melhor ativação dos motoneurônios e das fibras musculares. Porém, nesse estudo não foram feitas medidas que pudessem comprovar essas adaptações ou a sua associação à melhora da EC.

Kelly, Burnett e Newton (2008) também examinaram os efeitos do treinamento de força sobre a EC em 16 mulheres, corredoras recreacionais, com pouca ou nenhuma experiência nesse tipo de treinamento. Assim como em outros estudos, um grupo manteve a rotina de treinamentos aeróbios (controle) e outro realizou treinamento de força concomitante à rotina de treinamento aeróbio. O treinamento aeróbio foi realizado três vezes por semana, durante uma hora e envolveu treinamentos contínuos e intervalados. O treinamento de força foi conduzido durante dez semanas, com três sessões semanais, organizadas em três séries de cinco repetições, e realizado com intensidades equivalentes a 60%-70% IRM na primeira semana, 70%-80% IRM (segunda semana) até atingir as cinco repetições máximas por volta da terceira semana. A partir disso, a carga foi aumentada sempre que a sexta repetição pudesse ser realizada.

Ao contrário da pesquisa de Storen et al. (2008), nesse estudo o treinamento de força não melhorou a EC. Entretanto, o grupo que treinou força teve um aumento significativo da força máxima e apresentou uma tendência de melhora no tempo dos 3 km ($p < 0,07$ e tamanho de efeito médio de 0,64). Com isso, os autores sugeriram que o treinamento de força pode ter induzido respostas neuromusculares favoráveis e que estas poderiam estar associadas à tendência de melhora observada no desempenho em provas de 3 km, mesmo sem alterações significantes sobre a EC. Entretanto, nenhum experimento foi realizado para avaliar as adaptações neuromusculares e/ou a sua influência sobre o tempo numa prova de 3 km. Em relação à falta de alterações sobre a EC após o treinamento de força, os autores justificaram que pode ter sido devido à forma como a EC foi avaliada. Em vez de mensurarem o $\dot{V}O_{2\text{submáx}}$ em diferentes velocidades fixas ou associadas ao segundo limiar (ventilatório ou lactato), como tradicionalmente ocorre, os autores optaram por avaliar a EC numa velocidade autosselecionada, com base no melhor resultado de uma prova de 3 km realizada em campo. Desse modo, as diferentes velocidades escolhidas por cada sujeito, assim como a mecânica da corrida e o custo de oxigênio, podem ter sido diferentes na esteira e na pista, o que provavelmente tenha prejudicado a avaliação da EC nesse trabalho.

Mais recentemente, Ferrauti, Bergermann e Fernandez-Fernandez (2010) realizaram um estudo com 22 corredores amadores, divididos em dois grupos: treinamento aeróbio e treinamento aeróbio + treinamento de força. O treinamento aeróbio foi realizado com um volume de 240 a 270 minutos por semana, e em

um dos treinamentos os corredores deveriam percorrer 15 km com uma velocidade entre 90%-95% da velocidade média da maratona. O treinamento aeróbio teve como objetivo aprimorar as adaptações fisiológicas e coordenativas da corrida. Já o treinamento de força foi conduzido durante oito semanas com duas sessões semanais. Durante as primeiras quatro semanas foi realizado com alta intensidade e baixo volume (quatro séries de três a cinco RM), e nas quatro últimas foi desenvolvido para melhorar a resistência de força e foi realizado com três séries de 20 a 25 RM. Após o período de intervenção, não foram observadas diferenças sobre a EC ou os aspectos coordenativos da corrida (tamanho e frequência da passada), apenas a força isométrica máxima aumentou. Com isso, os autores concluíram que tanto os aspectos coordenativos quanto a EC não melhoraram com a realização do treinamento de força. Vale ressaltar que embora o treinamento de força tenha sido aplicado duas vezes por semana, uma sessão era voltada para tronco e membros superiores, e outra para membros inferiores. Esse tipo de treinamento pode justificar a falta de interferência na EC, pois os estudos que verificaram influência positiva do treinamento de força na EC realizaram pelo menos duas sessões semanais de treinamento para membros inferiores. A descrição dos artigos que avaliaram os efeitos do treinamento de força sobre a EC pode ser observada no Quadro 1.

Quadro 1

Descrição dos artigos selecionados que utilizaram o treinamento de força

Autores	Sujeitos	Grupos	Treinamento	Conclusões
Millet et al. (2002)	15 triatletas homens altamente treinados	Treinamento aeróbio (triatio) Treinamento de força de alta intensidade + aeróbio	14 semanas – duas sessões semanais Aeróbio: 70% $\dot{V}O_2$ max (Natação, ciclismo e corrida = 93 km/sem) Força: seis exercícios para membros inferiores. Três a cinco séries (> 90% 1 RM) – aumento progressivo a cada semana até 5 RM	Melhorou a EC em 11,76% (P < 0,05)
Storen et al. (2008)	17 corredores de elite (9 homes e 8 mulheres)	Aeróbio Treinamento de força + aeróbio	8 semanas; três sessões/semana meio-agachamento; quatro séries de 4 RM com 3 min. de recuperação	Melhorou a EC em 5% (P < 0,05)

(continua)

Quadro I

Descrição dos artigos selecionados que utilizaram o treinamento de força (continuação)

Autores	Sujeitos	Grupos	Treinamento	Conclusões
Kelly, Burnett e Newton (2008)	16 mulheres, corredoras recreacionais	Aeróbio Treinamento de força + aeróbio	10 semanas; três sessões/semana Aeróbio: 1 hora – contínuo e/ou intervalado. Força: 3 x 5, 60%-70% de 1RM progredindo até 85% de 1RM	Não Melhorou a EC
Ferrauti, Bergermann e Fernandez-Fernandez (2010)	22 corredores amadores (16 homens e 6 mulheres)	Aeróbio Treinamento de força + aeróbio	8 semanas Aeróbio: 240 a 270 min./semana uma sessão/semana – 15 km a 90%-95% da velocidade da maratona Força: duas sessões/semana uma sessão MMSS quatro séries 3-5 RM; recuperação de 3 min. três séries de 20 a 25 RM; Recuperação 90 s.	Não melhorou a EC

Fonte: Elaborado pelos autores.

TREINAMENTO DE POTÊNCIA E ECONOMIA DE CORRIDA

Na presente revisão, além dos estudos envolvendo o treinamento de força, foram selecionados cinco trabalhos que avaliaram os efeitos do treinamento de potência sobre a EC. Eles realizaram o treinamento com cargas mais baixas e alta velocidade de execução do movimento, conforme as recomendações para esse tipo de treinamento, uma vez que o treinamento de potência é caracterizado pela baixa intensidade (10%-70% de 1RM) e alta velocidade de execução (LAMAS et al., 2008). Adicionalmente, foram utilizados exercícios pliométricos, os quais envolvem uma fase excêntrica inicial, também conhecida como fase de estiramento, que deve ser realizada em alta velocidade, a qual é rapidamente seguida pela fase concêntrica ou fase de encurtamento (DE VILLARREAL et al., 2009). Esse tipo de treinamento geralmente é feito utilizando saltos em profundidade, mas pode também se dar com diferentes tipos de saltos horizontais, saltos verticais, saltos com contramovimento e saltos sobre obstáculos, realizados de forma uni ou bilateral (DE VILLARREAL et al., 2009).

Talvez o primeiro estudo que tenha verificado a influência do treinamento de potência sobre a EC foi o realizado por Paavolainen et al. (1999). Nele, 22 corredores de alto nível foram divididos em dois grupos, com mesmo volume total de treinamento (8,4 horas por semana); porém, 32% das horas de treinamento do grupo que sofreu intervenção experimental foram destinadas ao treinamento de potência. O treinamento aeróbio consistiu de corridas com duração de 0,5 a 2 horas com intensidade abaixo de 84% ou acima de 16% do limiar de lactato. O treinamento de potência foi realizado por meio de tiros em alta velocidade com cinco a dez séries de 20 a 100 metros, saltos com e sem carga e exercícios para membros inferiores (*leg press*, extensão e flexão de joelhos) com carga de ~40% 1RM e alta velocidade de execução. A realização do treinamento de potência associado ao aeróbio melhorou a EC, assim como o desempenho em provas de 5 km. Essas melhoras foram associadas às características neuromusculares e anaeróbias dos atletas, uma vez que eles melhoraram o desempenho nos testes de 20 metros, na distância alcançada em cinco saltos consecutivos com pernas alternadas e no tempo de contato com o solo no teste de 200 metros em velocidade constante. Esses resultados confirmaram a hipótese dos autores de que o desempenho não é influenciado apenas pela potência aeróbia, mas também por fatores neuromusculares e características anaeróbias.

A partir desse estudo, outros seguiram avaliando o efeito do treinamento de potência na EC. Spurrs, Murphy e Watsford (2003) examinaram o efeito de seis semanas de treinamento de potência sobre a EC em 17 corredores de longa distância, os quais tinham aproximadamente dez anos de experiência em corrida e média semanal de treinamento de 60 km a 80 km. O treinamento de potência (treinamento pliométrico) foi realizado durante seis semanas, com duas sessões semanais durante as primeiras três semanas, e três sessões nas últimas três semanas, e envolveu diferentes tipos de saltos com variação no número de contatos (80 a 180 saltos) e aumento da complexidade dos exercícios ao longo das semanas de treinamento. Os resultados do estudo mostraram melhora de 6,7% ($P < 0,004$) na EC para velocidade de 12 km/h, de 6,4% ($P < 0,002$) para os 14 km/h e de 4,1% ($P < 0,009$) para os 16 km/h. A melhora da EC foi associada à melhora no desempenho em provas de 3 km (2,7%; $P < 0,05$) evidenciando que após a realização do treinamento pliométrico a melhora na EC parece estar relacionada à maior eficiência na utilização do CAE, uma vez que foi observado aumento de 7,8% no teste de saltos horizontais com pernas alternadas e de 13,2% no salto vertical com contramovimento (movimento preparatório de semiflexão dos joelhos antecedendo a fase de extensão do salto vertical propriamente dito). Com esses achados, os autores concluíram que o treinamento pliométrico realizado por seis semanas foi

eficaz em aumentar a EC e que o mecanismo por trás dessa melhora pode estar associado à maior habilidade dos atletas na utilização da energia elástica, diminuindo o custo energético da corrida.

Resultados semelhantes foram observados no estudo conduzido por Turner, Owings e Schwane (2003), do qual participaram 21 indivíduos (11 mulheres e 10 homens) divididos em dois grupos. Um deles manteve apenas o treinamento aeróbio, o outro, além do treinamento aeróbio, realizou um treinamento pliométrico (três vezes por semana, durante seis semanas) composto de diferentes tipos de saltos realizados com uma ou ambas as pernas. Os autores notaram melhora na EC em torno de 2% a 3% ($P < 0,05$) após o treinamento pliométrico. Entretanto, diferente do observado em outros estudos, não foram verificadas diferenças na altura do salto vertical. Apesar de a melhor utilização da energia elástica durante a fase excêntrica do CAE ser fortemente associada à melhora da EC, nesse estudo a melhora na utilização da energia elástica não foi observada. Sendo assim, os autores sugeriram que outros mecanismos poderiam estar envolvidos na melhora da EC, mas não especulam sobre eles. Vale ressaltar que os testes de salto foram realizados sobre uma plataforma inclinada (*sledge ergometer*) que desliza em cima de um trilho. Esse aparato difere bastante do padrão tradicional do salto, o que pode gerar discrepâncias interpretativas nos resultados e limitar comparação de dados advindos de diferentes estudos.

Saunders et al. (2006) mostraram que o treinamento de potência pode melhorar a EC em corredores de média e longa distâncias. Nesse estudo os autores avaliaram os efeitos de nove semanas de treinamento pliométrico (três sessões semanais com duração de aproximadamente 30 minutos cada) em 15 corredores de alto nível ($\dot{V}O_2\max$ 71,1 mL/min/kg). Todos os exercícios (ex.: saltos com contramovimento, saltos alternados e *skip* alto, entre outros) foram realizados com objetivo de melhorar a eficiência do CAE. Os achados do estudo mostraram que a adição do treinamento pliométrico ao treinamento específico de corrida melhorou a EC em 4,1% ($P < 0,02$) para a velocidade de 18 km/h. A melhora da EC foi acompanhada pelo aumento da potência no teste de cinco saltos horizontais com pernas alternadas (14,7%; $P < 0,01$) e na diminuição do tempo para alcançar a força máxima no exercício de agachamento com salto (14,0%; $P < 0,09$). Com isso, os autores sugeriram que a melhora da potência pode ter ocorrido pela melhor habilidade na utilização da energia elástica armazenada na fase excêntrica do movimento, o que pode explicar a melhora na EC.

Mikkola et al. (2007) também avaliaram os efeitos do treinamento de potência, não somente sobre a EC, mas também sobre o desempenho aeróbio e outros parâmetros de resistência anaeróbia. Dezoito corredores com idade entre 16 e

18 anos, com dois anos de experiência em corridas de longa distância, de ambos os sexos, foram aleatoriamente divididos em dois grupos. Ambos realizaram o mesmo volume semanal de treinamento, no entanto um deles realizou 19% desse volume com o treinamento de potência. O treinamento de potência foi realizado três vezes por semana durante oito semanas e consistiu em corridas rápidas (cinco a dez séries de 30 a 150 metros), saltos (alternados, com agachamento, sobre obstáculos) com e sem carga externa. Foram executados também exercícios de força (agachamento, extensão/flexão de joelho, extensão/flexão do tornozelo e abdominais). Vale destacar que todos os exercícios foram realizados em alta velocidade. O treinamento de potência melhorou o desempenho no teste de corrida anaeróbio (V_{MART}) e no teste de velocidade em 30 metros. Foi observado ainda melhora sobre o desempenho neuromuscular, observado pelo teste de força máxima, pela curva força-tempo e pela taxa de desenvolvimento de força. No entanto, pouco efeito foi observado sobre a EC, que melhorou 2,7% ($P < 0,05$) para a velocidade de 14 km/h, e nenhum efeito significativo foi observado sobre o desempenho nos testes aeróbios ($\dot{V}O_2\text{max}$ e desempenho em teste de esteira). Nesse estudo, os autores atribuíram a pouca melhora na EC ao baixo volume de treinamento de potência realizado.

Como podemos observar nos estudos apresentados, o treinamento de potência parece ser uma estratégia interessante para a melhora da EC. Entretanto, os mecanismos envolvidos no aperfeiçoamento da EC ainda são controversos. Os achados dos estudos sobre o treinamento de potência e o efeito na EC estão sumarizados no Quadro 2.

Quadro 2

Descrição dos artigos selecionados que utilizaram o treinamento de potência

Autores	Sujeitos	Grupos	Treinamento	Conclusões
Paavolainen et al. (1999)	22 corredores de alto nível	Aeróbio Treinamento de potência	Nove semanas – três sessão/semana 8,4 horas/semana – 32% potência Aeróbio: 0,5 a 2 horas Intensidade abaixo de 84% ou acima de 16% do limiar de lactato Potência: Tiros - 5-10 x 20-100 m Saltos – alternados, contramovimento, salto em profundidade, salto sobre obstáculo e saltos unilaterais com peso adicional, <i>leg press</i> e cadeira flexora em alta velocidade – 5-20 rep./serie – 0-40% de 1 RM	Melhorou a EC ($P < 0,05$)

(continua)

Quadro 2

Descrição dos artigos selecionados que utilizaram o treinamento de potência (continuação)

Autores	Sujeitos	Grupos	Treinamento	Conclusões
Spurrs, Murphy e Watsford (2003)	17 corredores com experiência de dez anos em corrida de longa distância	Aeróbio Treinamento de potência	Seis semanas Aeróbio: 60 km a 80 km Potência: Pliometria (agachamento com salto, salto em profundidade – saltos alternados, salto sobre obstáculo e saltos em distância com uma e com duas pernas) 3 semanas – duas sessão/semana 3 semanas – três sessão/semana 2-3 séries x 8 – 15 saltos. De 60 a 180 saltos/sessão	Melhorou a EC nos 12 km/k em 6,7% (P < 0,004) e em 6,4% (P < 0,002) para os 14 km/h e 4,1% (P < 0,009) nos 16 km/h
Turner, Owings e Schwane (2003)	21 sujeitos (11 mulheres e 10 homens)	Aeróbio Potência	Seis semanas Aeróbio: três sessões/semana Potência: três sessões/semana seis exercícios de cinco a 30 saltos por exercício – envolvendo saltos máximos e submáximos com uma e duas pernas	Melhorou a EC em torno de 2 a 3% (P < 0,05)
Saunders et al. (2006)	15 corredores altamente treinados	Aeróbio Potência	Nove semanas Potência: três sessões/semana Aparelhos – leg press, flexores, saltos contínuos, agachamento com saltos, saltos rápidos, skipping alto, saltos alternados e sobre obstáculo com uma e duas pernas	Melhorou a EC em 4,1% nos 18 km/h (P < 0,02)
Mikkola et al. (2007)	18 sujeitos – homens e mulheres pós-púberes (16 a 18 anos) com experiência em corridas de longa distância	Aeróbio Potência	Oito semanas – três sessões/semana Aeróbio: corrida igual em ambos os grupos Potência: 19% do volume de treinamento Tiros (5-10 x 30-150 metros) Saltos (alternados, agachamento com saltos, saltito, salto sobre obstáculos) Exercícios com aparelhos Agachamento, extensão de joelho, flexão de joelho, flexão/extensão de tornozelo, abdominal, extensão lombar (2-3 x 6-10 rep.) Baixa carga e alta velocidade	Melhorou a EC na velocidade de 14 km/h em torno de 2,7% (P < 0,05)

Fonte: Elaborado pelos autores.

TREINAMENTO DE FORÇA E POTÊNCIA NA ECONOMIA DE CORRIDA

Sabendo que tanto o treinamento de força quanto o de potência podem aperfeiçoar o desempenho aeróbio pela melhora da EC, outros pesquisadores se preocuparam em investigar qual poderia ser a melhor estratégia utilizada. Conforme os critérios definidos na presente revisão, três estudos que envolveram os dois tipos de treinamento foram selecionados. A descrição desses estudos pode ser observada no Quadro 3.

Quadro 3**Descrição dos artigos selecionados que compararam o treinamento de força e de potência**

Autores	Sujeitos	Grupos	Treinamento	Conclusões
Guglielmo, Greco e Denadai (2009)	17 corredores com experiência em provas de média e longa distância	Treinamento de potência Treinamento de força	2 sessões/semana. Membros inferiores Potência: Semanas 1 e 2 – 3 x 12 rep. – 3 min. rec. Semanas 3 e 4 – três a cinco séries Força Semanas 1 e 2 – 3 x 6RM - 3 min rec. Semanas 3 e 4 – quatro e cinco séries	Apenas o grupo que realizou o treinamento de força melhorou a EC (6,2%; P < 0,05) Treinamento de potência aumentou a EC em 1,9% (P = 0,67)
Taipale et al. (2010)	28 corredores amadores	Força Potência Circuito	Seis semanas – Período preparatório duas sessões/semana – 50% a 70% 1 RM Oito semanas – período específico duas sessões/semana Força Agachamento e <i>leg press</i> Duas a três séries – 4-6 rep. (80%-85% 1RM) Flexão/extensão de tornozelo Duas séries 12-15 rep. (50%-60% 1RM) Potência Agachamento e <i>leg press</i> Duas a três séries – 5 rep. (30%-40% 1RM) Saltos com 20 kg – Duas a três séries, 10 rep. Agachamento com salto – Duas a três séries – 5 RM Circuito Três séries de 40 a 50 segundos Mesmos exercícios	Os treinamentos de força e potência melhoraram a EC (P < 0,05)
Berryman, Maurel e Bosquet (2010)	35 corredores moderadamente e altamente treinados	Controle Força Potência	Oito semanas Aeróbio: duas sessões intervaladas de alta intensidade e uma sessão de baixa intensidade Força: 1 sessão/semana Agachamento Três séries – 8 rep. Potência: Uma sessão/semana Salto em profundidade – Altura estipulada pelo melhor desempenho (20,40 ou 60 cm) Três séries/6 a 8 rep.	O treinamento de potência foi mais eficiente para melhora da EC (7%; P < 0,01)) Treinamento de força melhorou a EC em 4% (P < 0,01)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Guglielmo, Greco e Denadai (2009) compararam os efeitos do treinamento de potência aos do treinamento de força de alta intensidade sobre a EC e as adaptações neuromusculares em corredores de alto nível ($\dot{V}O_{2max}$ de $64,1 \pm 10,48$). Foram

selecionados 17 corredores com experiência de pelo menos cinco anos em provas de média e longa distâncias. Ambos os treinamentos foram realizados duas vezes por semana, com ênfase em membros inferiores, e incluíram os exercícios *leg press* 45°, agachamento, flexão/extensão de joelhos e dois exercícios para os músculos da perna (panturrilha). O grupo de treinamento de força realizou três séries de seis repetições máximas durante as duas primeiras semanas, e quatro séries de cinco repetições máximas nas semanas três e quatro. O treinamento de potência consistiu em três séries de 12 repetições, aumentando para quatro e cinco séries nas últimas duas semanas, nas quais os sujeitos foram orientados a realizar o movimento em alta velocidade. Os autores observaram que o treinamento de força foi eficaz em melhorar a EC em 6,2% ($P < 0,05$) após o período experimental. Por outro lado, o treinamento de potência não alterou a EC de maneira significativa. Com isso, os autores concluíram que o treinamento de força pode melhorar a EC em corredores bem treinados e que essa melhora é dependente das características do treinamento realizado. Vale ressaltar que nesse estudo o treinamento de potência foi realizado em aparelhos, diferentemente de outros que realizaram o treinamento com exercícios envolvendo o CAE, que podem ser mecanicamente mais próximos dos movimentos realizados durante uma corrida.

Taipale et al. (2010) examinaram os efeitos do treinamento de força máxima e de potência sobre o desempenho de corredores amadores. Participaram do estudo 28 corredores, divididos em três grupos (força, potência e treinamento em circuito). O protocolo experimental foi realizado durante 28 semanas e o treinamento foi focado nos membros inferiores. Durante as primeiras seis semanas foi realizado um período preparatório em que todos os sujeitos realizaram os mesmos exercícios, usando cargas entre 50%-70% IRM. Após o período preparatório, ocorreu o treinamento específico por oito semanas, duas vezes por semana. Em seguida, mais 14 semanas foram realizadas nas quais o treinamento foi reduzido a uma sessão semanal e o volume de treinamento aeróbio foi aumentado. Durante o período específico (oito semanas) o treinamento de força foi executado com duas a três séries de quatro a seis repetições a 80%-85% IRM. Foram feitos os exercícios agachamento, *leg press* e flexão/extensão dos tornozelos. O grupo que realizou o treinamento de potência executou exercícios envolvendo agachamento, *leg press* e saltos verticais com sobrecarga de 20 kg. Foram feitas de duas a três séries de cinco repetições. O treinamento de circuito fez as funções de um grupo controle, e os exercícios foram realizados com três séries de 40 a 50 segundos utilizando apenas o peso corporal. Os principais resultados do estudo mostraram que os treinamentos de força e de potência melhoraram a EC e a velocidade do $\dot{V}O_2$ max. Além disso, ambos os treinamentos melhoraram a força, a potência e a ativação muscular (avaliada pela ele-

tromiografia do vasto lateral e medial). A partir desses achados os autores concluíram que o treinamento de força e o de potência, quando realizados concomitantemente com o de resistência aeróbia, são efetivos para ganhos de força, de potência e melhoria da ativação muscular, que podem ser as principais responsáveis pelo aumento na velocidade do $\dot{V}O_2\text{max}$ e na EC.

Por fim, Berryman, Maurel e Bosquet (2010), com o objetivo de verificar o efeito do treinamento de força e de potência na EC, dividiram 35 corredores, de moderadamente a bem treinados, aleatoriamente em três grupos (controle, força e potência) e realizaram o treinamento durante oito semanas. Todos os grupos desenvolveram treinamento de resistência aeróbia (duas sessões de treinamento intervalado de alta intensidade e uma sessão de corrida contínua de baixa intensidade). Além disso, uma vez por semana o grupo força realizou o agachamento com ações concêntricas na maior velocidade possível (três séries de oito repetições com três minutos de intervalo e intensidade de 95% da curva velocidade-força), enquanto o grupo potência fez saltos em profundidade com alturas que possibilitassem o maior desempenho do CAE (entre 20 e 60 cm). Nesse estudo não foram observadas alterações significantes no grupo controle, mas perceberam-se melhoras na EC de 3,8% ($P < 0,01$) para o grupo força, e de 6,8% ($P < 0,01$) para o grupo potência. Os autores sugeriram que o treinamento pliométrico parece ser mais efetivo para a melhora da EC. Ambos os grupos foram orientados a realizar o exercício em altas velocidades, mas devido às altas cargas, o grupo que realizou o treinamento de força teve a intenção do movimento, e foi impedido de realizar altas velocidade devido ao peso levantado. Sendo assim, os resultados observados fornecem evidências de que apenas a intenção de realizar os movimentos rápidos parece não ser efetiva para a melhora do CAE, sugerindo que para a melhora da EC é necessário que o movimento seja realmente realizado em alta velocidade, induzindo, além de adaptações neurais, adaptações coordenativas.

DISCUSSÃO

Até o final da década de 1990 não era comum corredores de provas de média e longa distâncias se envolverem em programas específicos de treinamento de força. Isso acontecia devido à crença de que o treinamento de força favoreceria o ganho de massa muscular, reduziria a densidade capilar e o volume das mitocôndrias na musculatura esquelética, o que, em uma primeira avaliação, prejudicaria o desempenho atlético do corredor (YAMAMOTO et al., 2008).

No entanto, nesse mesmo período Paavolainen et al. (1999) chamaram a atenção para a importância da EC e os possíveis efeitos benéficos que o treinamento de

potência poderia ter sobre o desempenho dos corredores. Uma vez que a melhora na EC em cerca de 5% está relacionada à melhora do desempenho em 3,8% (FOSTER; LUCIA, 2007), o interesse de pesquisadores pelos efeitos do treinamento de potência e força sobre a EC e o desempenho cresceu substancialmente. Por esse motivo, a investigação das estratégias capazes de melhorar o desempenho e também dos mecanismos responsáveis pela melhora da EC passou a ser relevante (SAUNDERS et al., 2004).

Como podemos observar, dos 12 estudos analisados, dez deles (83,3%) demonstraram melhoras na EC após um período de treinamento de força ou de potência. Entretanto, apesar dos dados promissores, a variação nos resultados observados é grande – a melhora na EC oscilou entre 1,4% e 7% –, dificultando explicações definitivas sobre qual a melhor estratégia.

A variação nos resultados observados pode estar relacionada às diferentes populações utilizadas nos estudos. Apesar de termos selecionado estudos que utilizaram apenas indivíduos com experiência em provas de média e longa durações, as amostras incluíram mulheres e homens de diferentes faixas etárias e níveis de condicionamento que vão do corredor amador até o atleta de alto nível. Isso pode interferir diretamente sobre os resultados observados, uma vez que os efeitos do treinamento de força ou de potência são mais difíceis de ser observados em corredores altamente treinados, principalmente devido ao alto volume de treinamento e aos anos de experiência em treinamento de corrida, que proporcionam ao atleta uma ótima EC e conseqüentemente menor treinabilidade (BONACCI et al., 2009). Mais estudos são necessários para que possamos ter melhor entendimento sobre os efeitos de diferentes estratégias de treinamento de força e potência sobre a EC em determinadas populações (amadores e atletas), uma vez que a resposta a diferentes estímulos pode variar conforme a experiência prévia da amostra utilizada.

Ainda em relação às características das amostras, vale ressaltar que um dos maiores efeitos do treinamento de potência sobre a EC (6,7%) foi observado no estudo de Spurrs, Murphy e Watsford (2003). Ele foi realizado com indivíduos altamente experientes em provas de média e longa distâncias (dez anos de experiência) e com um volume de treinamento semanal de 60 a 80 km, o que nos sugere que, apesar de as características da amostra serem importantes na magnitude da resposta observada, outros fatores também podem influenciar o nível de adaptação. Entre esses fatores, o método de treinamento aplicado parece ser extremamente importante.

Os efeitos do treinamento de força e de potência sobre a EC têm sido mais associados às adaptações neuromusculares do que as estruturais (BONACCI et al., 2009). Sendo assim, métodos de treinamento que priorizem essas adaptações parecem ser mais adequados (BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010).

Porém, os estudos que buscaram avaliar o melhor método de treinamento para o aumento da EC produziram resultados discrepantes. Em um deles, Taipale et al. (2010) observaram que tanto o treinamento de força quanto o de potência melhoraram a EC em corredores amadores. No entanto, os autores tentaram minimizar o fato de os sujeitos não terem experiência prévia com treinamento de força e de potência e realizaram seis semanas de treinamento para ambos os grupos. Uma vez que a melhora na EC está relacionada às adaptações neuromusculares, os efeitos observados sobre a EC podem ter sido induzidos pelas adaptações neuromusculares decorrentes do período preparatório de treinamento, mascarando os efeitos do treinamento específico, o que pode explicar os resultados similares observados em ambos os métodos de treinamento.

Já os estudos de Guglielmo, Greco e Denadai (2009) e de Berryman, Maurel e Bosquet (2010) utilizaram indivíduos altamente treinados em suas amostras; no entanto, obtiveram resultados contraditórios. Guglielmo, Greco e Denadai (2009) encontraram que o treinamento de força foi o mais eficaz na melhoria da EC, ao passo que Berryman, Maurel e Bosquet (2010) observaram que o de potência foi mais efetivo. Nesse caso, a discrepância pode ser explicada pela diferença dos métodos de treinamento utilizados, pois o primeiro realizou o treinamento de potência em aparelhos e com pouca utilização do CAE, e o segundo utilizou o método de treinamento pliométrico com saltos em profundidade. De fato, no estudo de Spurr, Murphy e Watsford (2003), o qual foi conduzido com atletas altamente experientes, a melhora da EC foi de 6,7% com a utilização do treinamento pliométrico (80 a 160 contatos por sessão de treinamento). Esse treinamento envolveu exercícios específicos para a melhora do desempenho no CAE, o que pode explicar, pelo menos em parte, os resultados observados, uma vez que a utilização do CAE tem sido demonstrada por estar diretamente relacionada à melhora na EC (NICOL; AVELA; KOMI, 2006). Sendo assim, a discrepância encontrada entre esses estudos nos permite inferir que o melhor método de treinamento para o aperfeiçoamento da EC deve envolver exercícios específicos para o CAE.

A importância na utilização de exercícios envolvendo o CAE para corredores pode ser reforçada se levarmos em conta o princípio da especificidade. No caso de corredores, o treinamento deve ser realizado com exercícios mais específicos como corridas e saltos (SAUNDERS et al., 2004). Baseado nessa premissa, o treinamento que envolva exercícios com utilização do CAE parece ser o mais adequado.

De acordo com o argumento anterior, o treinamento de força realizado com cargas elevadas (> 80% IRM), poucas repetições e baixa velocidade de execução (KAWAMORI; HAFF, 2004) pode ser considerado como pouco específico para a corrida. Por outro lado, o de potência realizado com baixas cargas e alta velocidade

de execução parece ser mais vantajoso para os corredores. Entretanto, como descrito anteriormente, a mecânica dos exercícios deve ser similar à modalidade esportiva para que o grau de transferência seja alto (STONE et al., 2000). Com isso, o treinamento pliométrico tem sido recomendado por induzir adaptações neuromusculares específicas, melhorando o recrutamento das unidades motoras e a habilidade do atleta na utilização do CAE, o que está relacionado ao aumento da potência muscular e melhora da EC (BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010).

Portanto, podemos sugerir que o treinamento pliométrico pode ser mais vantajoso para a melhoria da EC comparado a outros métodos de treinamento. Essa sugestão está baseada nos resultados dos estudos avaliados na presente revisão em que os maiores efeitos sobre a EC foram observados após um período de treinamento pliométrico (KRAEMER; FLECK; EVANS, 1996; STONE et al., 2000; TURNER et al., 2003; KAWAMORI; HAFF, 2004; SAUNDERS et al., 2004; BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010).

Outro ponto de grande interesse e que ainda permanece controverso na literatura diz respeito aos mecanismos responsáveis pela melhoria da EC após o treinamento de força ou de potência (KUBO et al., 2010). Entre os possíveis mecanismos, mudanças sobre os componentes contráteis e elásticos dos músculos e tendões têm sido sugeridas (SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003; BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010; KUBO et al., 2010; NORDEZ et al., 2011). Dentre elas, alterações na rigidez músculo-tendão, mais conhecida como *stiffness muscular*, estão significativamente relacionadas a mudanças sobre a EC após um período de treinamento (PAAVOLAINEN et al., 1999; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003; SAUNDERS et al., 2004; BONACCI et al., 2009). O aumento da rigidez do tendão pode melhorar a capacidade dos corredores na utilização do CAE, ou seja, aumentar a sua capacidade de utilizar a energia elástica estocada no conjunto músculo-tendão (BONACCI et al., 2009; KUBO et al., 2010; FLETCHER et al., 2010), gerando mais força nos músculos sem proporcionar aumento do custo metabólico (GUGLIELMO; GRECO; DENADAI, 2005; SAUNDERS et al., 2006). Entretanto, esses efeitos são ainda controversos.

Turner, Owings e Schwane (2003) verificaram melhora na EC induzida pelo treinamento pliométrico, sem modificações significantes na altura do salto vertical ou nas variáveis que poderiam indicar melhora na capacidade de estocar e utilizar a energia elástica. Outros estudos têm mostrado que após treinamento com saltos em profundidade a estrutura do tendão não foi alterada (KUBO et al., 2007; KUBO et al., 2010). Dessa forma, ainda não há um consenso de que esse fenômeno contribua para a EC, e futuros trabalhos são necessários para confirmar a importância dessas variáveis sobre a EC e as alterações induzidas pelo treinamento.

Os efeitos do treinamento sobre a EC têm sido especulados por estarem relacionados a adaptações neuromusculares específicas, alterando o padrão de ativação das unidades motoras (PAAVOLAINEN et al., 1999; HÄKKINEN et al., 2003; SAUNDERS et al., 2006). Alterações sobre o acoplamento excitação-contração também foram sugeridas (SKURVYDAS et al., 2010). Essa hipótese foi sustentada por Mikko-la et al. (2007) que mostraram, após oito semanas de treinamento pliométrico, uma melhora significativa sobre a produção de força rápida e ativação muscular nos extensores do joelho, sendo associada à melhora da EC.

A associação entre as adaptações neurais e a EC pode ainda ser explicada pelo modelo proposto por Noakes (1988). O modelo do *Muscle Power* reflete a habilidade do sistema neuromuscular em produzir potência durante o exercício máximo, quando a contratilidade muscular pode estar prejudicada, mas mesmo assim uma alta velocidade deve ser mantida durante a corrida (NOAKES, 1988; DI PRAMPERO et al., 1993; PAAVOLAINEN et al., 1999). O *Muscle Power* está diretamente relacionado à velocidade do consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$) e à EC (DI PRAMPERO et al., 1993; PAAVOLAINEN et al., 1999). Acredita-se que o treinamento pliométrico pode melhorar o *Muscle Power* (LANAO et al., 2008). Essa melhora estaria associada ao aumento do pico de velocidade no teste de corrida anaeróbio máximo (VMART) e à melhora na EC (PAAVOLAINEN et al., 1999). Entretanto, mais pesquisas são necessárias para estabelecer os efeitos do treinamento pliométrico sobre o *Muscle Power* e o seu impacto sobre a EC e o desempenho (SAUNDERS et al., 2004).

CONCLUSÃO

A EC tem sido considerada um fator crítico no desempenho de corredores de elite. Entre as intervenções que têm se mostrado efetivas na melhora da EC, os treinamentos de força e de potência são os mais discutidos. Entretanto, ainda não existe consenso sobre qual seria a melhor estratégia a ser utilizada.

Estudos parecem apontar para a utilização do treinamento de potência, mais especificamente o pliométrico, uma vez que este parece induzir adaptações mais específicas e mais próximas da realidade dos corredores. No entanto, devido à grande variação dos exercícios utilizados nos estudos e às diferenças nas características das amostras, uma conclusão a respeito deve ser feita com cautela.

Por fim, ficou evidente a necessidade de se descobrir qual tipo, intensidade, duração e frequência de treinamento são ideais para surtirem efeitos positivos sobre a EC. Sugerimos que estudos futuros investiguem o efeito do treinamento de força e de potência em amostras maiores e com desenhos experimentais mais sofisticados

que avaliem não apenas o efeito do treinamento no desempenho, mas consigam explicar também os mecanismos responsáveis pelas respectivas melhorias.

STRENGTH AND POWER TRAINING EFFECTS ON RUNNING ECONOMY

Abstract: Running economy (RE) has an important role on middle and long distance running performance. Therefore, different strategies have been proposed to improve RE, as well as strength and power training. However, the results observed are still controversial. Thus, the aim of this review was to verify the effects of strength and power training regimens on RE. Research studies were found to use important data bases based on three criteria: 1. original study, 2. strength and/or power training; 3. experienced runners. Thus, twelve studies were selected. Among them, 10 studies showed RE improvements (from 1.4% to 7%). Nevertheless, it was not possible to identify the mechanisms behind the improvements. The results suggest that power training programs, specifically the ones involving plyometric exercises, are more efficient to improve RE. However, the possible mechanisms involved in these processes are still unknown.

Keywords: athletic performance; energetic metabolism; sports conditioning.

REFERÊNCIAS

BERRYMAN, N.; MAUREL, D.; BOSQUET, L. Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 7, p. 1818-1825, 2010.

BONACCI, J.; CHAPMAN, A.; BLANCH, P.; VICENZINO, B. Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions: implications for running economy. **Sports Medicine**, v. 39, n. 11, p. 903-921, 2009.

DE VILLARREAL, E. S.; KELLIS, E.; KRAEMER, W. J.; IZQUIERDO, M. Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: A meta-analysis. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 2, p. 495-506, 2009.

DI PRAMPERO, P. E.; CAPELLI, C.; PAGLIARO, P.; ANTONUTTO, G.; GIRARDIS, M.; ZAMPARO, P.; SOULE, R. G. Energetics of best performances in middle-distance running. **Journal of Applied Physiology**, v. 74, n. 5, p. 2318-2324, 1993.

FERRAUTI, A.; BERGERMANN, M.; FERNANDEZ-FERNANDEZ, J. Effects of a concurrent strength and endurance training on running performance and running economy in recreational marathon runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 10, p. 2770-2778, 2010.

FLETCHER, J. R.; ESAU, S. P.; MACINTOSH, B. R. Changes in tendon stiffness and running economy in highly trained distance runners. **European Journal of Applied Physiology**, v. 110, n. 5, p. 1037-1046, 2010.

FOSTER, C.; LUCIA, A. The forgotten factor in elite performance. **Sports Medicine**, v. 37, n. 4-5, p. 316-319, 2007.

GUGLIELMO, L. G. A.; GRECO, C. C.; DENADAI, B. S. Relação da potência aeróbica máxima e da força muscular com a economia de corrida em atletas de endurance. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 11, n. 1, p. 53-56, 2005.

GUGLIELMO, L. G. A.; GRECO, C. C.; DENADAI, B. S. Effects of strength training on running economy. **International Journal of Sports Medicine**, v. 30, n. 1, p. 27-32, 2009.

HÄKKINEN, K.; ALEN, M.; KRAEMER, W. J.; GOROSTIAGA, E.; IZQUIERDO, M.; RUSKI, H.; MIKKOLA, J.; HÄKKINEN, 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**, v. 89, n. 1, p. 42-52, 2003.

JOHNSON, R. E.; QUINN, T. J.; KERTZER, R.; VROMAN, N. B. Strength training in female distance runners: impact on running economy. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 11, n. 4, p. 224, 1997.

KAWAMORI, N.; HAFF, G. G. The optimal training load for the development of muscular power. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 18, n. 3, p. 675-684, 2004.

KELLY, C. M.; BURNETT, A. N. F.; NEWTON, M. I. J. The effect of strength training on three-kilometer performance in recreational women endurance runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 22, n. 3, p. 396-403, 2008.

KRAEMER, W. J.; FLECK, S. J.; EVANS, W. J. Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 24, p. 363-397, 1996.

KUBO, K.; MORIMOTO, M.; KOMURO, T.; YATA, H.; TSUNADA, N.; KANEHISA, H.; FUKUNAGA, T. Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 39, n. 10, p. 1801-1810, 2007.

KUBO, K.; TABATA, T.; IKEBUKURO, T.; IGARASHI, K.; TSUNODA, N. A longitudinal assessment of running economy and tendon properties in long-distance runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 7, p. 1724-1731, 2010.

LAMAS, L.; DREZNER, R.; TRICOLI, V.; UGRINOWITSCH, C. Efeito de dois métodos de treinamento no desenvolvimento da força máxima e da potência muscular de membros inferiores. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 22, n. 3, p. 235-245, 2008.

LANAO, J. E.; RHEA, M. R.; FLECK, S. J.; LUCIA, A. Running-specific, periodized strength training attenuates loss of stride length during intense endurance running. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 22, n. 4, p. 1176-1183, 2008.

MIKKOLA, J.; RUSKO, H.; NUMMELA, A.; POLLARI, T.; HAKKINEN, K. Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. **International Journal of Sports Medicine**, v. 28, n. 7, p. 602-611, 2007.

MILLET, G. P.; JAOUEN, B.; BORRANI, F.; CANDAU, R. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO_2 kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 8, p. 1351-1359, 2002.

MILLET, G. Y.; LEPEPERS, R. Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. **Sports Medicine**, v. 34, n. 2, p. 105-116, 2004.

MORGAN, D. W.; MARTIN, P. E.; BALDINI, F. D.; KRAHENBUHL, G. S. Effects of a prolonged maximal run on running economy and running mechanics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 22, n. 6, p. 834-840, 1990.

NICOL, C.; AVELA, J.; KOMI, P. V. The stretch-shortening cycle a model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. **Sports Medicine**, v. 36, n. 11, p. 977-999, 2006.

NOAKES, T. D. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 20, n. 4, p. 319-330, 1988.

NORDEZ, A.; FOURE, A.; MCNAIR, P.; CORNU, C. Effects of plyometric training on both active and passive parts of the plantarflexors series elastic component stiffness of muscle – tendon complex. **European Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 3, p. 539-548, 2011.

PAAVOLAINEN, L.; HÄKKINEN, K.; HÄMÄLÄINEN, I.; NUMMELA, A.; RUSKO, H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. **Journal of Applied Physiology**, v. 86, n. 5, p. 1527-1533, 1999.

PATE, R. R.; KRISKA, A. Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. **Sports Medicine**, v. 1, n. 2, p. 87-98, 1984.

SAUNDERS, P. U.; PYNE, D. B.; TELFORD, R. D.; HAWLEY, J. A. Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Medicine**, v. 34, n. 7, p. 465-485, 2004.

SAUNDERS, P. U.; TELFORD, R. D.; PYNE, D. B.; PELTOLA, E. M.; CUNNINGHAM, R. B.; GORE, C. J.; HWLEY, J. A. Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 20, n. 4, p. 947-954, 2006.

SKURVYDAS, A.; BRAZAITIS, M.; STRECKIS, V.; RUDAS, E. The effect of plyometric training on central and peripheral fatigue in boys. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, n. 7, p. 451-457, 2010.

SPURRS, R. W.; MURPHY, A. J.; WATSFORD, M. L. The effect of plyometric training on distance running performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 1, p. 1-7, 2003.

STONE, M. H.; POTTEIGER, J. A.; PIERCE, K. C.; PROULX, C. M.; BRYANT, H. S. O.; JOHNSON, R. L. Comparison of the effects of three different weight-training programs on the one repetition maximum squat. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 14, n. 3, p. 332-337, 2000.

STOREN, O.; HELGERUD, J.; HOFF, J. Running stride peak forces inversely determine running economy in elite runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 1, p. 117-123, 2011.

STOREN, O.; HELGERUD, J.; STOA, E. M.; HOFF, J. Maximal strength training improves running economy in distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 40, n. 6, p. 1087-1092, 2008.

TAIPALE, R. S.; MIKKOLA, J.; NUMMELA, A.; VESTERINEN, V.; CAPOSTAGNO, B.; WALKER, S.; GITONGA, D.; KRAEMER, W. J.; HAKKINEN, K. Strength training in endurance runners. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, n. 7, p. 468-476, 2010.

TAYLOR, C. R. Force development during sustained locomotion: a determinant of gait, speed and metabolic power. **The Journal of Experimental Biology**, n. 115, p. 253-262, 1985.

TURNER, A. M.; OWINGS, M.; SCHWANE, J. A. Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 17, n. 1, p. 60-67, 2003.

WESTON, A. R.; MBAMBO, Z.; MYBURGH, K. H. Running economy of African and Caucasian distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 6, p. 1130-1134, 2000.

YAMAMOTO, L. M.; LOPEZ, R. M.; KLAU, J. F.; CASA, D. J.; KRAEMER, W. J.; MARESH, C. M. The effects of resistance training on endurance distance running performance among highly trained runners: a systematic review. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 22, n. 6, p. 2036-2044, 2008.

Contato

Everton Crivoi do Carmo
E-mail: evertoncrivoi@usp.br

Tramitação

Recebido em 28 de abril de 2012
Aceito em 23 de fevereiro de 2014