



CORRELAÇÃO ENTRE FORÇA DINÂMICA MÁXIMA E POTÊNCIA METABÓLICA NA CORRIDA HUMANA

Jorge Luiz Lopes Storniolo Junior
Renata L. Bona

RESUMO

As relações que cercam a Potência Metabólica (W_{met}) dispendida na corrida humana ainda são complexas e não possuem consenso entre os pesquisadores. O objetivo do presente estudo foi correlacionar dados de W_{met} gasta na corrida, com níveis máximos de força muscular de membro inferior. Metodologia: 13 indivíduos saudáveis e destreinados em força correram na esteira rolante a 10 km.h^{-1} para medida da W_{met} . Num segundo momento eles foram submetidos a testes de força máxima dinâmica para membro inferior em dois exercícios: leg press 45° e agachamento. A repetição máxima (RM) foi estimada em cada exercício e relativizada pela massa corporal. Para relação dos dados, foram utilizados testes de correlação momento produto de Pearson. Resultados: a relação entre a RM_{leg} e $RM_{agachamento}$ com a W_{met} apresentaram fraca linearidade ($r = -0,36$ e $-0,24$, respectivamente). Conclusão: apesar da leve tendência de indivíduos com menor W_{met} apresentarem maiores valores de força de membro inferior, tal indicativo não serve como afirmação absoluta. Faz-se necessidade de análises conjuntas com outras variáveis pertinentes a corrida humana.

Palavras Chave: *potência metabólica, força máxima, corrida humana.*

ABSTRACT

The relationships that surround the metabolic power (W_{met}) spent in the human running are complex and still not have some consensus among researchers. The aim of this study was to correlate data from W_{met} spends in the running, with peak levels of muscular strength of lower limb. Methods: 13 healthy subjects and in untrained force ran on a treadmill at 10 km.h^{-1} to measure the W_{met} . In a second time they were tested for maximal dynamic strength to the lower limb in two exercises: leg press 45° and squat. The repetition maximum (RM) was estimated for each year and relativized by body mass. For the analysis of the data, tests were performed Pearson product moment correlation. Results: The relationship between RM_{leg} and RM_{squat} with W_{met} showed poor linearity ($r = -0.36$ and -0.24 , respectively). Conclusion: Despite the slight tendency of individuals with lower W_{met} were higher for lower limb strength, this indicator does not serve as absolute statement. It is need for joint analysis with other variables relevant to the human running.

Keywords: *metabolic power, maximal strength, human running.*



RESUMEN

Las relaciones que rodean la energía metabólica (W_{met}) dedicado a la raza humana son complejos y aún no han cierto consenso entre los investigadores. El objetivo de este estudio fue correlacionar los datos de W_{met} pasa en la carrera, con niveles máximos de la fuerza muscular de las extremidades inferiores. Métodos: 13 sujetos sanos y en vigor sin entrenamiento corriendo en una cinta en 10 km.h^{-1} para medir la W_{met} se reunió. En un segundo tiempo que se probaron para la fuerza máxima dinámica de la extremidad inferior en dos ejercicios: leg press 45° y sentadilla. La repetición máxima (RM) fue estimada para cada año y relativizada por la masa corporal. Para el análisis de los datos, se realizaron pruebas de productos de correlación momento de Pearson. Resultados: La relación entre RM_{leg} y $RM_{sentadilla}$ con W_{met} mostró linealidad pobre ($r = -0,36$ y $-0,24$, respectivamente). Conclusión: A pesar de la ligera tendencia de los individuos con menor W_{met} conocí fueron mayores para la fuerza del miembro inferior, este indicador no sirve como declaración absoluta. Es necesario para el análisis conjunto con otras variables relevantes para la raza humana.

Palabras Clave: *energía metabólica, fuerza máxima, raza humana.*

Introdução

Testes dinâmicos para medida de força máxima têm sido amplamente utilizados durante avaliações para o treinamento de força (RHEA *et al.*, 2003; HÄKKINEN *et al.*, 2003; PETERSON *et al.*, 2005; CORMIE *et al.*, 2010). Um deles, conhecido como “Teste de RM”, ou seja, teste de repetição máxima aplicado de forma dinâmica, corresponde ao número máximo de repetições por série que pode ser realizada com uma determinada carga, usando-se a técnica correta. Dessa forma, uma série executada com número respectivo de RMs significa dizer que ela é executada até à fadiga voluntária momentânea na última repetição dessa série (PLOUTZ-SNYDER & GIAMIS, 2001).

Uma repetição máxima é a carga mais pesada que pode ser utilizada para uma repetição completa de um exercício. A partir dela, pode-se estimar a intensidade da sessão do treinamento de força que pretende-se trabalhar (REYNOLDS *et al.*, 2006). Segundo Ratamess *et al.* (2009), a intensidade é determinada pelo número de repetições máximas executadas durante as séries no treinamento, ex.: 12 RM é uma carga mais leve, que permite a conclusão de 12, mas não de 13 repetições com a técnica correta do exercício.

Com isso, consegue-se comparar, de forma relativa e absoluta, os níveis máximos de força na realização de diferentes exercícios (CAMPOS *et al.*, 2002; LOVELL *et al.*, 2011). No entanto, não há necessidade do uso de força máxima durante exercícios programados numa sessão de treinamento, ou atividades de vida diária. Essa necessidade dependerá da intensidade e do tempo requeridos pela atividade em questão (KYRÖLÄINEN *et al.*, 2003).

Enquanto isso, a corrida, por tratar-se de uma atividade cíclica, requer sucessivas aplicações de força para cada passo realizado no solo. Essa aplicação se torna proporcional ao aumento da sua velocidade de progressão, que nesse caso é o marcador de intensidade (KYRÖLÄINEN *et al.*, 2001; NUMELLA *et al.*, 2007; BRUGHELLI & CRONIN, 2008). Ela caracteriza-se pela sucessão de pequenos saltos que deslocam o corpo para cima e para frente. Assim, o centro de massa corporal assume o comportamento de uma “massa-mola”, pois a unidade músculo-tendão consegue armazenar e utilizar energia elástica oriunda



dos saltos, contribuindo para a eficiência mecânica do movimento (BLICKHAN, 1989; CAVAGNA *et al.*, 2008).

Durante o movimento da corrida, o indivíduo é capaz de produzir energia química, convertendo-a em energia mecânica. Essa capacidade de conversão de energia química em energia mecânica é definida como eficiência mecânica (*Eff*) (CAVAGNA & KANEKO, 1977). Ela ainda pode ser definida como o produto da razão entre a potência mecânica (W_{mec}) e a potência metabólica (W_{met}). Sendo a W_{met} considerada como consumo submáximo de oxigênio ($VO_{2submáx}$) em uma determinada velocidade de deslocamento (TAYLOR & HEGLUND, 1982; PEYRÉ-TARTARUGA, 2008).

Indivíduos que possuem menor W_{met} são considerados mais econômicos do ponto de vista energético. Esses dados têm auxiliado a avaliação de desempenho em praticantes de corrida inseridos num grupo de nível semelhante de treinamento (DI PRAMPERO *et al.*, 1986; SAUNDERS *et al.*, 2004). Sabe-se que através do treinamento de força, concomitantemente ao treinamento de corrida, a W_{met} melhora (diminui) (PAAVOLAINEN *et al.*, 1999; MILLET *et al.*, 2002). Contudo, aquele indivíduo considerado com maiores níveis de força na musculatura de membro inferior em relação à massa corporal, também pode ser aquele que possui um maior dispêndio de energia metabólica durante a corrida?

Ainda, diversos autores relataram correlações existentes entre massa corporal e potência metabólica dispendida para determinado movimento (HEGLUND & CAVAGNA, 1987; HEGLUND & TAYLOR, 1988; SAUNDERS *et al.*, 2004). Mais especificamente à corrida, variáveis biomecânicas também possuem destaque e são alvo de estudos com intuito de apresentarem relação de causa e efeito com dados metabólicos (HEGLUND & TAYLOR, 1988; KYRÖLAINEN *et al.*, 2001). Porém, a força muscular aplicada para o movimento da corrida, semelhante em exercícios de treinamento de força, ainda é pouco explorada pelos pesquisadores da área da saúde. Com isso, o objetivo do presente estudo foi correlacionar dois testes máximos de força dinâmica com a potência metabólica mensurada durante o exercício da corrida e descobrir o comportamento desta correlação.

Metodologia

Sujeitos: Quatorze indivíduos do sexo masculino, destreinados em relação ao treinamento de força por um período mínimo de seis meses, foram selecionados a participar da pesquisa. Todos os participantes da pesquisa assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido contendo informações pertinentes ao experimento e assegurando também sua privacidade. O estudo foi aprovado no Comitê de Ética e Pesquisa da Pró-reitoria da Pesquisa na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), número 18770.

A tabela 1 indica as características da amostra apresentadas através da média e desvios-padrão.

Tabela 1: Características da amostra apresentada em média e desvio-padrão.

| Variáveis | Média | Desvio padrão |
|--------------|-------|---------------|
| Idade (anos) | 22,21 | ± 1,96 |
| Altura (m) | 1,79 | ± 0,05 |



| | | |
|---------------------------|-------|---------|
| Massa corporal (kg) | 80,02 | ± 11,24 |
| Comprimento de MI (cm)* | 89,78 | ± 3,46 |
| Percentual de gordura (%) | 18,93 | ± 5,11 |

*Membro Inferior

Desenho experimental: O primeiro teste ocorreu no Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) da Escola de Educação Física, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Os indivíduos realizaram um teste de corrida submáximo em esteira rolante para medida da (W_{met}). Primeiramente, mensurou-se o consumo de oxigênio de repouso em posição sentada durante 5 minutos, utilizado para análise dos dados de W_{met} . Posteriormente, os indivíduos iniciaram corrida na esteira rolante, numa velocidade inicial de 5 km.h^{-1} . A cada 30 segundos a velocidade incrementava $0,5 \text{ km.h}^{-1}$, finalizando em 10 km.h^{-1} e totalizando 5 minutos para familiarização e aquecimento. Após isso, os indivíduos iniciavam a coleta de consumo de oxigênio durante a corrida. O teste foi realizado numa velocidade de 10 km.h^{-1} , considerada submáxima de acordo com os estudos de Thorstesson & Roberthson (1987), Hreljac (1995) e Steudel-Numbers *et al.* (2007), afirmando que esta velocidade é relatada como confortável por estar logo acima da velocidade de transição entre caminhada e corrida. Além disso, ela poderia ser mantida aerobicamente pelo tempo de 6 minutos requeridos para evitar possíveis efeitos da fadiga. Para a medida dos dados metabólicos, foi-se utilizado um analisador de gases modelo VO2000 da Inbramed (St. Paul, EUA). Ele estava interligado a um *notebook* e acoplado a um pneumacotógrafo. Durante a coleta foram utilizados dois pneumacotógrafos, de diferentes fluxos, escolhidos de acordo com a situação entre repouso, ou exercício. Com o fluxo baixo referente ao repouso e médio durante o exercício (corrida). A esteira rolante utilizada para a corrida era da marca *BH fitness (Explorer ProAction)*.

Análise da W_{met} : Foi realizada a média do VO_2 relativo à massa corporal durante o exercício. Deste resultado foi subtraída a média do valor do VO_2 durante o repouso. Para conversão em joules foi utilizado um equivalente energético de $20,1 \text{ J.ml}^{-1}$ (Blaxter, 1989). O equivalente deste produto é dividido por 60, indicando o valor de W_{met} em W.kg^{-1} .

Finalizado o primeiro protocolo, em outra data marcada previamente com o pesquisador responsável, os indivíduos realizaram testes de força máxima dinâmica. Os testes foram realizados em dois exercícios: agachamento *squat* e *leg press* 45° . Depois de um aquecimento e familiarização, os indivíduos foram submetidos a cargas estimadas através da massa corporal. Dessa forma, eles não poderiam realizar mais do que 10 RM para cada exercício. Caso isso não ocorresse, 5 minutos de intervalo eram aplicados para reaplicação do teste com o aumento da carga. As repetições deveriam conter aproximadamente 2 segundos na fase concêntrica e 2 segundos na fase excêntrica do exercício e eram controladas pelo pesquisador através de um metrônomo. Devido à resistência máxima, 2 assistentes auxiliaram os indivíduos a posicionarem corretamente a barra sobre os ombros (agachamento), para prevenção de qualquer acidente. O teste era novamente realizado para a verificação da carga e, se esta não fosse equivalente ao máximo do indivíduo, o mesmo procedimento era repetido até que, no máximo, 5 tentativas fossem executadas. Entre cada tentativa, foi dado um intervalo de 2 minutos (SMITH *et al.*, 1998).



Análise da força máxima: Após o teste de RM, os valores das cargas eram submetidos ao fator de correção proposto por Lombardi (1989). Nele, a RM estimada é definida pelo produto entre a carga executada e uma constante correspondente ao número de repetições realizado. Assim, consegue-se estimar a RM do indivíduo, ou seja, o nível de força dinâmica máxima para o exercício. Além disso, para comparação, os valores foram normalizados pela massa corporal, onde dividiu-se o valor encontrado de 1 RM em cada exercício pela massa total do indivíduo.

Tratamento estatístico: Utilizou-se estatística descritiva e inferencial para a análise dos dados. O programa usado para o tratamento estatístico foi o *SPSS* versão 13.0. A análise exploratória indicou normalidade dos dados pelo teste de *Shapiro Wilk*. Uma vez observada uma distribuição normal foram utilizadas média, desvio padrão e valores percentuais para os resultados. Foi aplicado o teste de coeficiente de correlação de *Pearson* (r) para mensurar a relação existente entre W_{met} com as variáveis de força dinâmica máxima do *leg press* 45° (RM_{leg}) e agachamento ($RM_{agachamento}$).

Resultados

A tabela 2 indica as médias e o desvio-padrão entre os indivíduos para o consumo de oxigênio relativo à massa corporal na velocidade requerida pelo teste ($VO_{2submáx}$) e também a W_{met} .

| Indivíduo | $VO_{2submáx}$ | W_{met} |
|---------------|----------------|-----------|
| 1 | 24,1 | 8,06 |
| 2 | 21,9 | 7,33 |
| 3 | 27,1 | 9,08 |
| 4 | 19,8 | 6,63 |
| 5 | 18,1 | 6,07 |
| 6 | 25,9 | 8,68 |
| 7 | 24,9 | 8,34 |
| 8 | 19,2 | 6,42 |
| 9 | 21,3 | 7,15 |
| 10 | 21,3 | 7,15 |
| 11 | 22,0 | 7,37 |
| 12 | 23,7 | 7,94 |
| 13 | 27,2 | 9,11 |
| Médias | 22,8 | 7,64 |
| Desvio-padrão | ±2,8 | ±1,0 |

Tabela 2: médias e desvio-padrão dos $VO_{2submáx}$ e W_{met} de cada indivíduo.
 $VO_{2submáx}$: $ml.kg^{-1}.min^{-1}$, W_{met} : $W.kg^{-1}$.

A figura 1 informa a média das RMs normalizadas pelo peso corporal (PC) e da W_{met} em $W.kg^{-1}$ e seus respectivos desvios-padrão. Enquanto isso, as figuras 2 e 3 expressam em gráficos o coeficiente de correlação (r) entre a variável de W_{met} e RM_{leg} , e $RM_{agachamento}$, respectivamente. Constatou-se que o r resultante para ambas as correlações não apresentou altos valores. Expressando valores negativos como $r = -0,36$ para o RM_{leg} (figura 2) e $r = -0,24$ para o $RM_{agachamento}$ (figura 3).

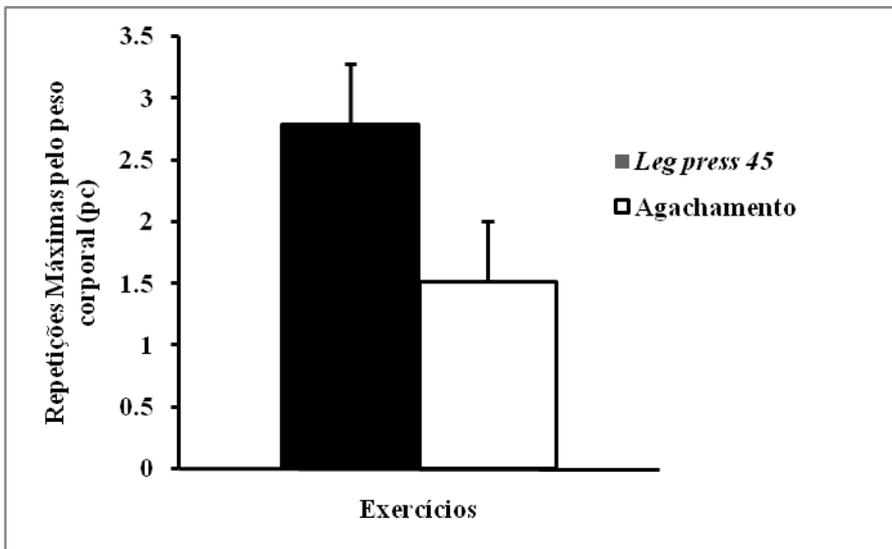


Figura 1: Gráfico representando as médias de repetições máximas relativizadas pela massa corporal (rm.kg^{-1}), executadas nos exercícios de *Leg Press 45°* (■) e Agachamento (□) com seus respectivos desvios-padrão.

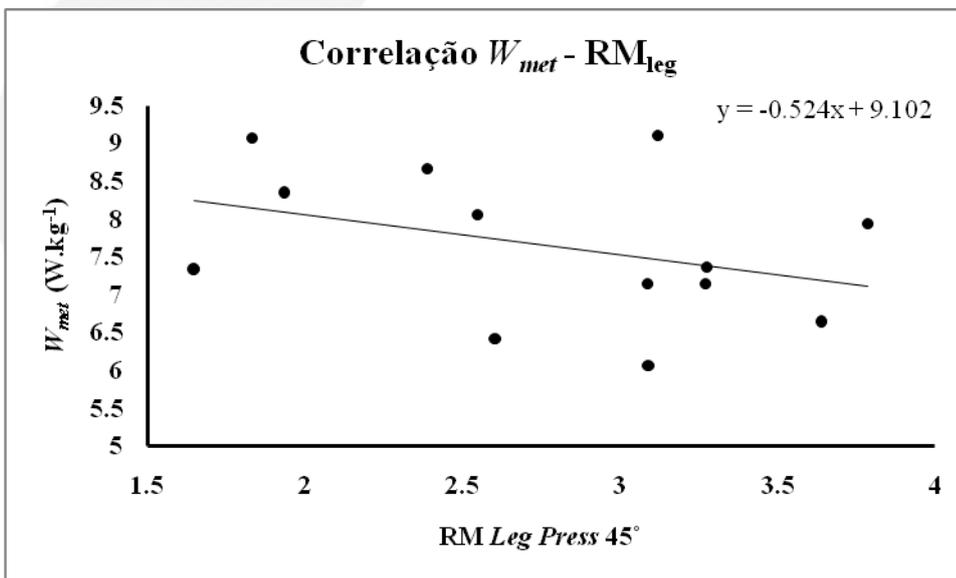


Figura 2: W_{met} (W.kg^{-1}) em função da força dinâmica máxima durante exercício *Leg Press 45°*. Note que a correlação é negativa ($r = -0,36$), com a equação de regressão linear representada ($p < 0,05$).

Com comportamento semelhante ao exercício *leg press 45°*, o agachamento também demonstrou baixa correlação com a W_{met} , conforme indicado na figura 3.

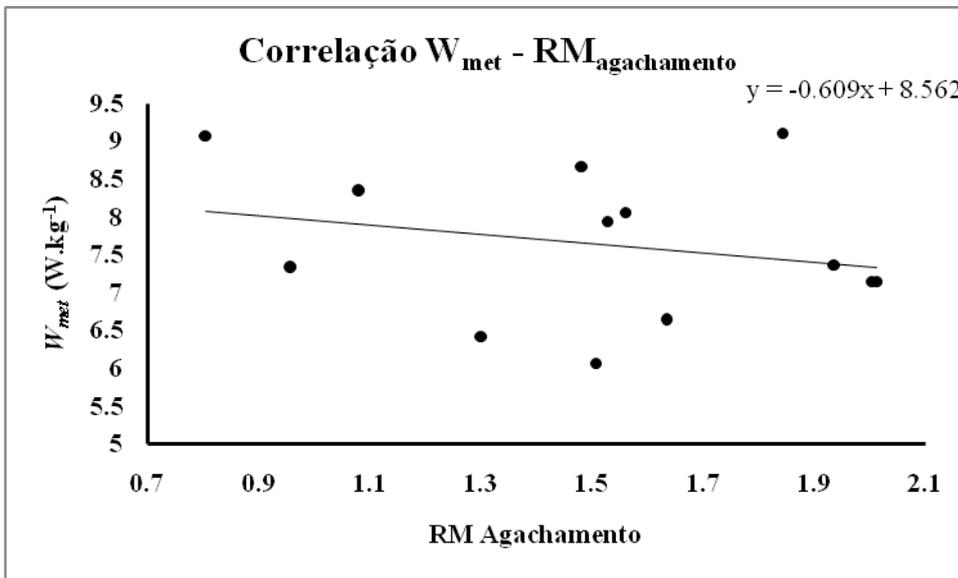


Figura 3: W_{met} (W.kg⁻¹) em função da força dinâmica máxima durante exercício Agachamento. Note que a correlação é negativa ($r = -0,24$), com a equação de regressão linear representada ($p < 0,05$).

Discussão

O resultado principal desse estudo foi a fraca relação existente entre os dados de W_{met} com testes de força dinâmica máxima nos exercícios *leg press* 45° e agachamento.

Apesar do mesmo grupo muscular estar envolvido no movimento da corrida e nos exercícios *leg press* 45° e agachamento (LINNAMO *et al.*, 2000; CAPELLINI *et al.*, 2006), constatou-se uma baixa correlação com a W_{met} ($r = -0,36$ e $-0,24$). Esse comportamento difere de estudos que também avaliaram força muscular dinâmica através de outras metodologias e encontraram forte correlação com o desempenho na corrida (BISSAS & HAVENETIDIS, 2008). Vescovi & McGuigan (2008) encontraram um coeficiente de correlação considerado forte ($r = -0,78$) entre saltos do tipo *counter movement jump* (CMJ) e tempo de corrida em médias distâncias (27,4 e 36,6 m) em estudantes do sexo feminino. Por ser considerado uma medida de força e potência de membros inferiores, o exercício do salto tornou-se um método de avaliação eficaz para indicar o desempenho em provas de corrida curtas e médias distâncias (BISSAS & HAVENETIDIS, 2008; SMIRNITIOU *et al.*, 2008). No entanto, o presente estudo não focava o desempenho a partir de parâmetros temporais absolutos, como o tempo de prova de corrida, e sim, em fatores energéticos que influenciam o rendimento.

Outro aspecto destacado, refere-se ao método de avaliação utilizado para mensuração de força máxima de membros inferiores. Em nosso estudo a medida de 1RM estimada refere-se à quantidade de carga suportada para que o indivíduo consiga executar somente uma repetição sem conseguir realizar a segunda (REYNOLDS *et al.*, 2006). Esta medida representa a força muscular dinâmica de forma absoluta, pois expressa ações concêntrica e excêntrica e seu valor pode variar entre sujeitos devido a massa corporal (PLOUTZ-SNYDER & GIAMIS, 2001). Pensando nisso, normalizamos os dados absolutos do teste de RM pela massa corporal.



IMPLICAÇÕES NA/DA EDUCAÇÃO FÍSICA E CIÊNCIAS DO ESPORTE

Sabe-se da alta correlação existente entre saltos do tipo contra movimento (CMJ) com o desempenho na corrida (BOSCO *et al.*, 1983; SMIRNITIOU *et al.*, 2008), desta forma, acreditávamos que tal comportamento também poderia assemelhar-se para W_{met} dispendida na corrida com outro teste para medida de força dinâmica (teste de RM). Os autores que relataram essa forte correlação justificam-na pela semelhança do movimento e realização contínua de ações concêntrica e excêntrica para ambas as atividades (BOSCO *et al.*, 1983). Porém, apesar de apresentarem características semelhantes e ativarem praticamente mesmo grupo muscular em relação aos saltos do tipo CMJ (LINNAMMO *et al.*, 2000; CAPPELLINI *et al.*, 2006), exercícios de *leg press* 45° e agachamento não demonstraram uma forte relação linear entre a variação das médias com os dados de W_{met} durante a corrida (veja, figuras 2 e 3).

A musculatura de membro inferior ativada durante a corrida também é ativada para execução dos exercícios de *leg press* 45° e agachamento. Principalmente o músculos que compõem o quadríceps femoral e os ísqueotibiais (CAPELLINI *et al.*, 2006; TOUMI *et al.*, 2006). Uma das causas para essa falta de força na correlação entre as duas variáveis, pode estar relacionada à eficiência mecânica. Ela é a capacidade que o corpo possui em transformar energia química em trabalho mecânico. Ou seja, refere-se à quantidade de energia química que o sistema muscular esquelético consegue transformar em movimento (HEGLUND & CAVAGNA, 1987; MINETTI *et al.*, 2006).

Cavagna (2010) define a musculatura como um motor capaz de dissociar energia química em trabalho positivo realizado pelos músculos (ações concêntricas) e calor. Esse motor estaria associado a uma máquina, representada pelo sistema esquelético, que em conjunto produziriam o movimento de todo o corpo durante a locomoção. Com isso, uma das possíveis causas pela falta de interação entre os exercícios propostos, com a W_{met} dispendida na corrida, pode estar ligado à variação na capacidade do músculo em converter a energia química necessária para determinado movimento. Talvez por isso, não se pode afirmar que indivíduos mais fortes para musculatura do membro inferior possuirão comportamento semelhante para a W_{met} dispendida na corrida. Isto dependerá da eficiência mecânica, o qual não é influenciada por esses parâmetros, e sim, pela capacidade que o músculo possui em transformar energia química em movimento, independente da capacidade de força que essa musculatura pode possuir no momento da contração (TAYLOR *et al.*, 1982).

Heise *et al.*, (2011) correlacionaram a W_{met} da corrida com variáveis biomecânicas em 16 corredores recreacionais. Essas variáveis estavam representadas pelas potências mecânicas das principais articulações envolvidas no movimento: quadril, joelho e tornozelo. Neste estudo, o corredor mais econômico (com menor W_{met} em dada velocidade de corrida) tende a realizar uma maior ação no quadril para dissipar energia e maior ação no joelho para gerar energia. Portanto, quanto mais eficaz a ação concêntrica envolvendo a musculatura da articulação do joelho, durante a corrida, menor a necessidade do consumo metabólico (mais econômico) para geração do movimento. Diferentemente dos flexores quadril, que praticamente não geram energia durante sua ação agonista, caracterizando corredores com menor W_{met} , pois existe uma maior magnitude e longa duração de seus extensores (ação concêntrica) no momento do contato do pé com o solo. Estas indicações nos permitiriam afirmar que a musculatura de membro inferior possui respostas diferentes para a W_{met} , pois a necessidade de consumo metabólico para cada indivíduo poderá depender de questões relacionadas à técnica da corrida realizada (HEISE *et al.*, 2011).

Uma das possíveis causas para que o comportamento linear da relação entre a W_{met} e a RM nos exercícios de *leg press* 45° e agachamento fosse negativo, pode ser explicado pela ação da musculatura flexora do quadril. Como citado anteriormente, sua ação de flexão, ativa a musculatura do quadríceps



femural no contato do pé com o solo e, ao mesmo tempo, aciona os ísqueotibiais como controladores da flexão de joelho. Esta maior ativação também é encontrada para o *leg press* 45° e o agachamento, porém não há certeza sobre a quantidade de energia dispendida para ambos os exercícios, com objetivo de comparar com a corrida.

A geração de energia presente na corrida sofre influência de outra energia distinta da caminhada: a energia elástica (CAVAGNA & KANEKO, 1977; BLICKHAN, 1989; MORIN *et al.*, 2006). Diferentemente do que ocorre na caminhada, durante a corrida nosso corpo é capaz de armazenar energia elástica no tendão, momentos depois do contato do pé com o solo. Nesta ação os membros inferiores ativam excentricamente a musculatura anterior e posterior dos segmentos perna e coxa, respectivamente, para na fase seguinte, durante a propulsão do corpo para cima e para frente receberem auxílio dessa estratégia (CAVAGNA, 2010). Desta forma, o custo energético para a corrida não necessitaria de um dispêndio tão grande, mesmo em maiores velocidades, comparado com a caminhada (SAIBENE & MINETTI, 2003). Sabendo disso, necessitaríamos estimar a quantidade de energia elástica restituída para os movimentos executados nos exercícios propostos para o presente estudo. Assim, poderia-se detalhar a relação existente entre seus resultados máximos com a W_{met} .

A articulação do tornozelo também recebe grande enfoque por parte dos pesquisadores, devido à contribuição fornecida às propriedades elásticas presentes na corrida (ARAMPATZIS *et al.*, 2006; BRUGHELLI & CRONIN *et al.*, 2008; DUMKE *et al.*, 2010). A grande ativação do músculo gastrocnêmio medial durante a corrida reforça a importância da força propulsiva, capaz de elevar e acelerar o corpo para cima e para frente (CAPPPELLINI *et al.*, 2006). Outro aspecto importante refere-se à influência da rigidez da musculatura do tornozelo no comportamento da *Eff* na corrida, comparado com a caminhada. Onde ela alcança um valor máximo aproximado entre 35 e 40% na caminhada, enquanto que na corrida pode aumentar constantemente com a velocidade entre 45 a 80% (CAVAGNA E KANEKO, 1977; BRUGHELLI & CRONIN *et al.*, 2008). Dumke *et al.*, (2010) afirmaram que um segmento mais rígido possui melhor transferência de energia economicamente, ou sem a necessidade de consumo de oxigênio adicional. Eles avaliaram a economia de corrida, a rigidez e força muscular em 12 atletas de corrida. Os resultados do estudo apresentaram uma correlação estatisticamente significativa entre a rigidez muscular e dados de W_{met} para velocidade em maior intensidade de prova ($r = -0,69$). Com isso, indivíduo mais rígido seria mais econômico do ponto de vista metabólico, pois estaria necessitando menor ativação muscular durante o movimento. Uma das limitações de nosso estudo foi não mensurar a rigidez de nossos indivíduos, fornecendo uma análise mais detalhada da relação existente entre os níveis máximos de força com a W_{met} . Outro ponto importante foi não medir a força muscular isoladamente da articulação do tornozelo (flexão plantar), assim, não podendo detalhar uma das principais articulações envolvidas no processo da corrida. Apesar disso, a leve tendência de sujeitos mais fortes para musculatura do membro inferior apresentarem uma maior economia de corrida (menor W_{met}) ($r = -0,36$ e $-0,24$), corroboraram com Dumke *et al.*, (2010).

Conclusão

No presente estudo, correlações negativas entre W_{met} e força dinâmica máxima mensurada nos exercícios *leg press* 45° e agachamento foram apresentadas e examinadas. As correlações apresentaram-se fracas entre as variáveis ($r = -0,36$ e $-0,24$), onde as mudanças ocorridas entre os sujeitos para a W_{met} não apresentaram semelhanças com as mudanças apresentadas nos níveis de força de membro inferior. Apesar



do comportamento negativo na relação, indicando que indivíduos com maior força de membro inferior apresentam menor W_{met} , ela não chega a apresentar suporte suficiente para afirmarmos tal indicativo.

Para estudos futuros deve-se analisar a rigidez muscular, concomitantemente com a e W_{met} e com o pico de força muscular dos músculos correspondentes à articulação do tornozelo, a fim de detalhar melhor o comportamento existente entre essas variáveis. Sendo assim, o comportamento da Eff poderia ser detalhada, elucidando também respostas referentes a possíveis variáveis intervenientes ao treinamento visando sua melhora.

Referências

ARAMPATZIS A., DE MONTE G., KARAMANIDIS K., MOREY-KLAPSING G., STAFILIDIS S., BRÜGGEMANN G.-P. Influence of the muscle-tendon unit's mechanical and morphological properties on running economy. **The Journal of Experimental Biology**. 209: 3345-3357, 2006.

BISSAS A. L., HAVENETIDIS K. The use of various strength-power tests as predictors of sprint running performance. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**. 48 (1): 49-54, 2008.

BLICKHAN, R. The spring-mass model for running and hopping. **Journal of Biomechanics**. 22: 1217-1227, 1989.

BOSCO C. et al. Mechanical Power Test and Fiber Composition of Human Leg Extensor Muscles. **European Journal of Applied Physiology**, Jyvaskyla, v. 51, p. 129-135, 1983b.

BRUGHELLI M., CRONIN J. Influence of Running Velocity on Vertical, Leg and Joint Stiffness. **Sports Medicine**. 38 (8): 647-657, 2008.

CAMPOS G. E., LUECKE T. J., WENDELN H. K., TOMA K., HAGERMAN F. C., MURRAY T. F., RAG K. E., RATAMESS N. A., KRAEMER W. J., STARON R. S. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. **European Journal of Applied Physiology**. 88: 50-6, 2002.

CAPPELLINI, G., IVANENKO, Y.P., POPPELE, R.E., LACQUANITI, F. Motor patterns in human walking and running. **Journal of Neurophysiology**. 95: 3426-3437, 2006.

CAVAGNA G. A., LEGRAMANDI M. A., PEYRÉ-TARTARUGA L. A. Old men running: mechanical work and elastic bounce. **Proceedings of the Royal Society B – Biological Sciences**. 275 (3): 411-8, 2008.

CAVAGNA G. A., KANEKO M. Mechanical work and efficiency in level walking and running. **Journal of Physiology**. 268 (2): 467-481, 1977.

CAVAGNA G. Symmetry and asymmetry in bouncing gaits. **Symetry**, v. 2, p. 1270-1321, 2010.



IMPLICAÇÕES NA/DA EDUCAÇÃO FÍSICA E CIÊNCIAS DO ESPORTE

- CORMIE P., McGUIGAN M. R., NEWTON R.U. Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 42 (8): 1566-1581, 2010.
- DI PRAMPERO P. E., ATCHOU G., BRÜKNER J-C., MOIA C. The energetics of endurance running. **European Journal of Applied Physiology**. 55: 259 – 266, 1986.
- HÄKKINEN K., ALEN M., KRAEMER W. J., GOROSTIAGA E., IZQUIERDO M., RUSKO 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**. 89: 42–52, 2003.
- DUMKE C. L., PFAFFERRONTH C. M., McBRIDE J. M., McCAULEY G. O. Relationship between muscle strength, power and stiffness and running economy in trained male runners. **International Journal of Sports Physiology and Performance**. 5: 249-261, 2010.
- HEGLUND N., CAVAGNA G. Mechanical work, oxygen consumption, and efficiency in isolated frog and rat muscle. **American Journal of Physiology**. 253 (22): 22-29, 1987.
- HEGLUND N., TAYLOR C. R., Speed, stride frequency and energy cost per stride: How do they change with body size and gait? **Journal of Experimental Biology**. 138: 301-318, 1988.
- HEISE G. D., SMITH J. D., MARTIN P. E. Lower extremity mechanical work during stance phase of running partially explains interindividual variability of metabolic power. **European Journal of Applied Physiology**. 9: 2011.
- HRELJAC A. Effects of physical characteristics on the gait transition speed during human locomotion. **Human Movement Science**. 14: 205-216, 1995.
- KYRÖLAINEN H., BELLI A., KOMI P. V. Biomechanical factors affecting running economy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 8 (33): 1330-1337, 2001.
- KYRÖLAINEN H., KIVELA R., KOSKINEN S., McBRIDE J., ANDERSEN J. L., TAKALA T., SIPILA S., KOMI P. V. Interrelationships between muscle structure, muscle strength, and running economy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 35 (1): 45-49, 2003.
- LINNAMO V., NEWTON R. U., HÄKKINEN K., KOMI P. V., DAVIE A., McGUIGAN M., TRIPPLET-McBRIDE T. Neuromuscular responses to explosive and heavy resistance loading. **Journal of Electromyography and Kinesiology**. 10: 417-424, 2000.
- LOMBARDI, V. P. Beginning weight training: the safe and effective way. **Dubuque**, 1989.
- LOVELL D. I., CUNEO R., GASS G. C. The blood pressure response of older men to maximum and sub-maximum strength testing. **Journal of Science and Medicine in Sport**. 7: 2011.



- MILLET G. P., JAQUEN 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**. 34 (8): 1351-1359, 2002.
- MINETTI A. E., FORMENTI F., ARDIGÒ L. P. Himalayan porter`s specialization: metabolic power, economy, efficiency and skill. **Proceedings of The Royal Society**. 273: 2791-2797, 2006.
- MORIN J.-B., JEANNIN T., CHEVALLIER B., BELLI A. Spring-mass model characteristics during sprint running: correlation with performance and fatigue-induced changes. **Orthopedics and Biomechanics**. 27: 158-165, 2006.
- NUMMELA A., KERANEN T., MIKKELSSON LO. Factors related to top running speed and economy. **International Journal of Sports and Medicine**. 28(8): 655-61, 2007.
- 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**. 86: 1527-1533, 1999.
- PETERSON M. D., RHEA M. R., ALVAR B. A. Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 19 (4): 950-958, 2005.
- PEYRÉ-TARTARUGA, L. A. Energética e mecânica da caminhada e corrida humana, com especial referência à locomoção em plano inclinado e efeitos da idade. **Tese de Doutorado (Escola de Educação Física) Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano/UFRGS**. Porto Alegre, 2008.
- PLOUTZ-SNYDER, L. L., GIAMIS, E. L. Orientation and familiarization to 1RM strength testing in old and Young women. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 15: 519-523, 2001.
- RATAMESS, N. A., ALVAR B. A., EVETECH T. K., HOUSH T. J., KIBLER W. B., KRAEMER W. J., TRIPPLET N. T. Position stand of American College of Sports Medicine: Progression models in resistance training for healthy adults. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 34 (2): 364-380, 2002.
- REYNOLDS J. M., GORDON T. J., ROBERGS R. A. Prediction of one repetition maximum strength from multiple repetition maximum testing and anthropometry. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 20 (3): 584-592, 2006.
- RHEA M. R., PHILLIPS W. T., BURKETT L. N., STONE W. J., BALL S. D., ALVAR B A., THOMAS A. B. A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for local muscular endurance. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 17 (1): 82-87, 2003.
- SAIBENE F., MINETTI A. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. **European Journal of Applied Physiology**. 88: 297-316, 2003.



SAUNDERS P. U, PYNE D. B., TELFORD R. D., HAWLEY JA. Factors affecting Running economy in trained distance runners. **Sports Medicine**. 34: 465–485, 2004.

SMIRNIOTOU A., KATSIKAS C., PARADISIS G., ARGEITAKI P., ZACHAROGIANNIS E., TZIORTZIS S. Strength-power parameters as predictors of sprinting performance. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**. 48 (4): 447-454, 2008.

SMITH, S.; MONTAIN, S.; MATLORR, R.; ZIENTARA, G.; JOLEZS, F.; FIELDING, R. Creatine supplementation and age influence muscle metabolism during exercise. **Journal of Applied Physiology**. 85: 1349-1356, 1998.

STEUDEL-NUMBERS K. L., WEAVER T. D., WALL-SCHEFFLER C. M. The evolution of human running: Effects of changes in lower-limb length on locomotor economy. **Journal of Human Evolution**. 53: 191-196, 2007.

TAYLOR C., HEGLUND N., MALOIY G. Energetics and mechanics of terrestrial locomotion. **The Journal of Experimental Biology**. 97: 1-21, 1982.

THORSTENSSON A., ROBERTHSON H. Adaptations to changing speed in human locomotion: speed of transition between walking and running. **Acta Physiologica Scandinavica**. 131: 211-214, 1987.

TOUMI H., POUMARAT G., BEST T. M., MARTIN A., FAIRCLOUGH J., BENJAMIN M. Fatigue and muscle–tendon stiffness after stretch–shortening cycle and isometric exercise. **Applied Physiology Nutrition and Metabolism**. 31: 565-572, 2006.

VESCOVI J. D., McGUIGAN M. R. Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. **Journal of Sports Sciences**. 26 (1): 97-107, 2008.

End: Escola de Educação Física - UFRGS
Rua: Felizardo, 750, Porto Alegre – RS.
Recurso tecnológico necessário: Datashow (power point)
Email: jorge.storniolo@gmail.com