



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DE VITÓRIA DE SANTO ANTÃO
BACHARELADO EM EDUCAÇÃO FÍSICA
NÚCLEO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E CIÊNCIAS DO ESPORTE

TAYNARA POLIANA GONÇALVES DE MELO

**RELAÇÃO ENTRE O COMPORTAMENTO DA RECUPERAÇÃO DO
TRABALHO TOTAL REALIZADO ACIMA DA POTÊNCIA CRÍTICA E
FADIGA PERIFÉRICA APÓS EXERCÍCIO DE ALTA INTENSIDADE**

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DE VITÓRIA DE SANTO ANTÃO
BACHARELADO EM EDUCAÇÃO FÍSICA
NÚCLEO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E CIÊNCIAS DO ESPORTE

TAYNARA POLIANA GONÇALVES DE MELO

**RELAÇÃO ENTRE O COMPORTAMENTO DA RECUPERAÇÃO DO
TRABALHO TOTAL REALIZADO ACIMA DA POTÊNCIA CRÍTICA E
FADIGA PERIFÉRICA APÓS EXERCÍCIO DE ALTA INTENSIDADE**

TCC apresentado ao Curso de Bacharelado em Educação Física da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Vitória, como requisito para a obtenção do título de Bacharelado em Educação Física.

Orientador: Carol Virgínia Góis Leandro

Coorientador: Leandro José Camati Felipe

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO

2017

Catálogo na Fonte
Sistema de Bibliotecas da UFPE. Biblioteca Setorial do CAV.
Bibliotecária Giane da Paz Ferreira Silva, CRB-4/977

- M528r Melo, Taynara Poliana Gonçalves de.
Relação entre o comportamento da recuperação do trabalho total realizado acima da potência crítica e fadiga periférica após exercício de alta intensidade / Taynara Poliana Gonçalves de Melo. - Vitória de Santo Antão, 2017.
54 folhas.; il. fig.
- Orientadora: Carol Virgínia Góis Leandro.
Coorientador: Leandro José Camati Felipe.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco, CAV.
Bacharelado em Educação Física, 2017.
Inclui bibliografia.
1. Fisiologia do esforço. 2. Exercício de alta intensidade. 3. Potência crítica. 4. Fadiga periférica. I. Leandro, Carol Virgínia Góis Leandro (Orientadora). II. Felipe, Leandro José Camati. III. Título.

796.077 (23.ed.)

BIBCAV/UFPE-189/2017

TAYNARA POLIANA GONÇALVES DE MELO

RELAÇÃO ENTRE O COMPORTAMENTO DA RECUPERAÇÃO DO
TRABALHO TOTAL REALIZADO ACIMA DA POTÊNCIA CRÍTICA E FADIGA
PERIFÉRICA APÓS EXERCÍCIO DE ALTA INTENSIDADE

TCC apresentado ao Curso de Bacharelado em Educação Física da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Vitória, como requisito para a obtenção do título de Bacharelado em Educação Física.

Aprovado em: 01/12/2017.

BANCA EXAMINADORA

Profº Dr. Carol Virgínia Góis Leandro
Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico de Vitória

Profº Dr. Marcos David da Silva Cavalcante
Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico de Vitória

Ms. Guilherme Assunção Ferreira
Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico de Vitória

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus por ter permitido que eu chegasse até aqui e conseguir superar todas as dificuldades que surgiram no decorrer da caminhada.

A minha família pelo incentivo, apoio e amor incondicional, pois eles são minha base e alicerce.

Alguns amigos que construí dentro e fora da Universidade e fizeram-se presentes nos momentos bons e ruins, em especial ao meu afilhado Miguel que é um ser iluminado e a sua família que me acolheram.

Ao corpo docente da Universidade Federal de Pernambuco do Centro Acadêmico de Vitória, que estiveram sempre presente e dispostos a me ajudar.

Agradecer a todos do Laboratório de Fisiologia do Esforço, pela oportunidade e acolhimento em especial ao meu orientador Leandro Camati, por ter sido tão paciente, compreensivo e sempre me ajudar em qualquer dúvida que surgia, ao professor Adriano Eduardo, a professora Carol Leandro e imensamente grata a todos os voluntários que participaram do estudo.

RESUMO

A associação entre a recuperação da trabalho total realizado acima da potência crítica (W') e a fadiga muscular periférica ($Q_{tw\ pot}$) após exercício de alta intensidade ainda não está totalmente esclarecida. Foi investigado a relação entre a recuperação da W' e fadiga periférica após um exercício de carga constante de alta intensidade. Nove homens fisicamente ativos realizaram três testes com cargas constantes para determinar a potência crítica (PC) W' . Nas três sessões experimentais, foram realizados dois testes com carga constante para conduzir a exaustão em ~6 minutos (P6) na condição de 3, 6 e 15 minutos de recuperação. As avaliações dos parâmetros neuromusculares para determinação da fadiga central e periférica foram realizada em repouso e durante os intervalos de recuperações. Foi observado que não houve diferença significativa na W' entre a condição (3, 6 e 15 minutos) no P6₁ ($P > 0.05$). Porém, a recuperação da W' comparado a fadiga periférica foram similar, com maior reconstituição na condição 15 comparado 3 e 6 minutos ($P < 0.05$), contudo, sem diferença significativa entre 3 e 6 minutos ($P > 0.05$). A recuperação da W' e fadiga periférica apresentaram uma correlação significativa ($r = 0.99$). Entretanto, a recuperação da W' foi significativamente mais rápida que a fadiga periférica ($Q_{tw\ pot}$) (507 ± 138 e 1932 ± 482 s, respectivamente, $P < 0.05$). Pela análise da ativação voluntária não foi observado fadiga central (AV) no nosso estudo. Em conclusão, nós observamos que apesar da correlação significativa, a diferença entre os tempos de reconstituição sugere que a recuperação da W' não depende exclusivamente da recuperação da fadiga periférica.

Palavras-chave: W' . Potência crítica. Fadiga periférica. Domínio severo. Reconstituição da W' .

ABSTRACT

The link between work performed above critical power (W') the recovery and the peripheral muscle fatigue ($Q_{tw\dot{dot}}$) after high intensity exercise is unknown. Was investigate the relationship between the reconstitution of W' and peripheral fatigue after an exercise with constant load. Nine physically active man participant performed three constant load tests to determine the CP and W' . In the three experimental sessions, it was performed two constant-load exercise trials estimated to yield time to exhaustion in ~6 minutes (P_6) in the conditions 3, 6 and 15 minutes de recovery. The neuromuscular assessment to determine the central and peripheral fatigue were performed at baseline and in recovery interval. There was no significant different in the W' between the condition (3, 6 and 15 minutes) in the P_6 ($P > 0.05$). However, the W' and peripheral fatigue reconstitution was similar, with greater recovery in 15 min than 3 and 6 min ($P < 0.05$), without significantly difference between 3 and 6 min ($P > 0.05$). The W' and peripheral fatigue reconstitution presented a significant correlation ($r=0.99$). However the W' recovered significant faster than $Q_{tw\dot{dot}}$ (507 ± 138 and 1932 ± 482 s, $P < 0.05$). By the analysis of the voluntary activation no central fatigue was observed (AV) in our study. In conclusion, we observed that despite the significant correlation, the difference between time of reconstitution suggests that the recovery of W' reconstitution does not depend exclusively of peripheral fatigue recovery.

Key words: W' , critical power, peripheral fatigue, severe domain, reconstitution of W' .

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Protocolo experimental.....	17
Figura 2	Trabalho realizado acima da PC.....	20
Figura 3	Parâmetros neuromusculares.....	22
Figura 4	Parâmetros neuromusculares e W'	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AV – Ativação voluntária máxima

CVM - Contração voluntária máxima

ES - Estimulação elétrica

FC - Frequência cardíaca

LV₂ - Segundo limiar ventilatório

LV₁ - Primeiro limiar ventilatório

P_{máx} - Potência máxima

PSE - Percepção subjetiva do esforço

PC - Potência crítica

Pi – Fosfato inorgânico

PCr- Fosfocreatina

Q_{tw pot} – Fadiga gerada pelo estímulo único

Q_{tw 10} - Fadiga gerada pelo estímulo único de baixa frequência

Q_{tw 100} - Fadiga gerada pelo estímulo único de alta frequência

K⁺ - Potássio

RER - Razão de trocas respiratórias

VO_{2máx} - Consumo máximo de O₂

VE/VCO₂ – Razão entre volume ventilatório e volume de dióxido de carbono

VCO₂ - Volume de dióxido de carbono

W' – Trabalho total realizado acima da potência crítica

t_{1/2}= Meio tempo da velocidade da reconstituição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1 Participantes.....	14
3.2 Desenho experimental.....	14
3.3 Teste incremental.....	15
3.4 Determinação da PC e W'	16
3.5 Protocolo experimental.....	16
3.6 Potência predita para levar a exaustão em 6 minutos (P_6)	17
3.7 Estimulação elétrica e contração voluntária máxima	18
3.8 Medidas e Análises	19
4 RESULTADOS	20
5 DISCUSSÃO	24
6 CONCLUSÃO.....	Erro! Indicador não definido.
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

A fadiga neuromuscular é um processo dinâmico e multifatorial, que pode ter origem no sistema nervoso central e/ou na própria fibra muscular resultando na diminuição da produção de força/potência muscular (MORITANI *et al.*, 1981). A relação entre fadiga muscular é amplamente conhecida, mas nas últimas décadas o conceito de potência crítica (PC) e capacidade de trabalho acima da PC (W'), vem ganhado destaque, principalmente em relação aos exercícios de alta intensidade (JONES *et al.*, 2010).

A potência crítica representa teoricamente uma intensidade que o indivíduo consegue se manter no exercício por tempo indeterminado e está relacionado com a capacidade aeróbia. De acordo com Jones *et al.* 2010, a PC é ilimitada na capacidade, mas não na taxa, diferentemente da W' . A W' reflete o total de trabalho que pode ser utilizado acima da PC (CHIDNOK, FULFORD, *et al.*, 2013). Além disso, estudos recentes têm observado que a W' representa o grau máximo de tolerância ao exercício, uma vez que a sua utilização causa um grande distúrbio metabólico nas fibras musculares, obrigando a uma redução significativa na intensidade de exercício, ou seja, o indivíduo não consegue se manter no exercício na mesma intensidade acima da PC. Apesar disso, apenas recentemente a relação entre a fadiga neuromuscular e utilização da W' vem sendo investigada, utilizando técnicas mais sofisticadas, como por exemplo a estimulação elétrica (CHIDNOK; FULFORD *et al.*, 2013; BLACK *et al.*, 2017), e no que refere a cinética de recuperação da W' , as informações ainda são escassas, necessitando assim de mais estudos.

De acordo com Skiba *et al.* (2012), apesar de ser limitada, a W' é parcialmente restabelecida em intensidades de exercício abaixo da PC. Estudos recentes têm observado que o comportamento de recuperação da W' é curvilíneo, isso é, possui um restabelecimento rápido nos primeiros segundos, seguido por uma recuperação mais gradativa dentro de alguns minutos (SKIBA *et al.*, 2012). Um dos fatores que possivelmente pode influenciar o restabelecimento da W' é a remoção dos metabólitos acumulados em exercícios realizados acima da PC. O acúmulo de íons H^+ , fosfato inorgânico (Pi) e inosina monofosfato (IMP), além da diminuição do retorno do

potássio (K^+) para o interior do tecido muscular e queda no cálcio livre, podem diminuir a capacidade contrátil das fibras musculares (HERMENS *et al.*, 2000; DEBOLD *et al.*, 2008). Adicionalmente, a acidose metabólica causada pelo acúmulo de H^+ pode diminuir a atividade da enzima glicogênio fosforilase e fosfofrutoquinase, reduzindo dessa forma o fornecimento de energia para o exercício a partir do sistema anaeróbio láctico (CHASIOTIS *et al.*, 1983; RAYMER *et al.*, 2004). Também tem sido observada uma inibição na atividade da creatina quinase em condição de acidose metabólica, que por sua vez reduziria a velocidade de ressíntese da PCr, resultando em menor fornecimento de ATP pelo sistema anaeróbio alático para contração muscular (JONES *et al.*, 2008). Nesse sentido, também foi observado que durante um período de recuperação após um exercício realizado até a exaustão ($>PC$), há uma rápida queda no ADP, aumento no ATP, pH e PCr, o que indica uma rápida recuperação após o exercício, com característica similar ao restabelecimento da W' (CHIDNOK; FULFORD *et al.*, 2013). De acordo com (JONES *et al.* 2014), o tempo de exaustão acima da PC é correlatado com o tempo para atingir o $VO_{2máx}$, explicando assim que o aumento no VO_2 leva a uma diminuição da PCr. Em conjunto, esses fatores indicam que aspectos periféricos ligados ao controle homeostático intramuscular podem apresentar comportamento similar ao do restabelecimento da W' .

No entanto, até o presente momento não se tem informação sobre a relação entre restabelecimento da W' e fadiga periférica. Essa informação é importante porque em caso de correlação significativa, qualquer manipulação que aumente a velocidade de recuperação da fadiga periférica, levaria a uma maior velocidade no restabelecimento da W' e conseqüentemente um aumento no desempenho, principalmente em exercícios intermitentes ou que envolvam vários blocos de exercícios em um mesmo dia (artes marciais, ciclismo indoor, entre outros).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente estudo foi analisar a relação entre a recuperação W' e a fadiga periférica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o comportamento da recuperação da W' .
- Verificar o grau de influência da fadiga periférica na taxa de recuperação da W' .

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Amostra

Participaram do estudo 9 homens fisicamente ativos (24 ± 4 anos, 75 ± 9 kg, 176 ± 5 cm, 14 ± 5 % de gordura, 39 ± 6 ml·kg·min de $VO_{2\text{máx}}$ e 234 ± 4 de PO). Antes de iniciar o estudo, todos os participantes foram informados sobre os possíveis riscos e benefícios, responderam um questionário para avaliação dos riscos cardiovasculares (PAR-q) e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). O cálculo do tamanho amostral foi baseado em um tamanho do efeito de 0,72 do ciclismo contrarrelógio de 4 km sobre o potencial de contração do quadríceps (Q_{tw}) (HUREAU *et al.*, 2014). Foi adotado um alfa de 0,05 e um poder estatístico desejável de 0,80. O tamanho efetivo da amostra para alcançar significância estatística foi de 7 participantes. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco, sob o número de protocolo 04270/2015.

3.2 Desenho experimental

Cada participante compareceu ao laboratório em sete ocasiões. Na primeira visita foram coletados os dados antropométricos, como a massa corporal, estatura e espessura das dobras cutâneas (peitoral, abdômen, tríceps, bíceps, supra ilíaca, axilar média, subescapular, coxa e perna). A densidade corporal foi determinada usando a equação proposta por Jackson e Pollock, (2004) e convertida para porcentagem da gordura corporal através da equação de (SIRI, 1993). Em seguida os voluntários realizaram um teste incremental até a exaustão para determinar o pico de consumo máximo de oxigênio ($VO_{2\text{máx}}$), limiares ventilatórios (LV_1 e LV_2) e potência máxima (P_{max}). Nas três visitas seguintes foram realizados os testes de carga constante para determinação da PC e W' , testes de familiarização com contrações voluntárias máximas e estimulações elétricas (CVM + ES), incluindo ajuste da intensidade

máxima da estimulação elétrica para posterior medida da fadiga central e periférica.

Nas visitas cinco, seis e sete, foram realizados os testes experimentais e avaliação da função neuromuscular seguido por um teste máximo em intensidade calculado para levar a exaustão em aproximadamente 6 minutos ($P6_1$) (MERTON, 1954). Os testes foram seguidos por um período de recuperação (3, 6 ou 15 minutos), realizados em dias diferentes (BLAIN *et al.*, 2016). Durante esses intervalos, mais três CVM + EE foram realizadas ($REC P6_1$) e imediatamente após os participantes realizaram outro P6 ($P6_2$) para verificar o quanto da W' foi restabelecida durante o intervalo. Um novo bloco de CVM + EE foi realizado um minuto após o $P6_2$ ($PÓS P6_2$).

Os testes experimentais foram conduzidos com o mínimo de 72 horas de intervalo entre eles e realizados no mesmo horário do dia para evitar influência do ciclo circadiano (FERNANDES *et al.*, 2014). Antes do primeiro teste experimental cada participante recebeu um registro alimentar, onde eles anotaram os alimentos consumidos nas 48 horas antecedentes ao teste, depois replica-lo no próximo teste experimental. Os participantes também foram orientados a não ingerirem bebidas alcoólicas, alimentos que contenham cafeína e a não realizarem exercícios vigorosos 24 horas antes dos testes experimentais.

3.3 Teste incremental

O teste foi realizado em um cicloergômetro (ErgoFit, Alemanha), onde os participantes inicialmente realizaram um aquecimento de cinco minutos com carga de 70 watts, seguido por um aumento de 30 watts a cada três minutos, sendo interrompido quando os participantes atingissem a exaustão. Durante o teste, os praticantes foram instruídos a manterem a rotação do pedal entre 70 e 80 rpm e a exaustão foi identificada quando ocorresse uma queda na rotação mínima por mais de 5 segundos. Durante todo o teste, o consumo de oxigênio (VO_2), a produção de dióxido de carbono (VCO_2) e a razão de trocas respiratórias (RER) foram obtidos a cada respiração por um analisador de trocas gasosas (Cortex, Metalyzer 3B) e posteriormente convertido a média a

cada 30 segundos. O $\text{VO}_{2\text{pico}}$ foi assumido quando pelo menos dois dos seguintes critérios tivessem sido atingidos: frequência cardíaca (FC) superior a 90% do previsto para idade; RER maior que 1,15; taxa de aumento no VO_2 menor que $150 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ no último estágio. A altura do banco da bicicleta foi ajustada para cada participante e anotada para ser replicada nos testes seguintes.

3.4 Determinação da PC e W'

Os participantes realizaram os testes até a exaustão voluntária em intensidades correspondentes a 70% e 80% do delta da diferença entre o primeiro limiar ventilatório e o VO_{pico} , e na intensidade referente ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ (100%), cargas essas que devem levar o indivíduo a exaustão entre 3 a 12 minutos (VANHATALO *et al.*, 2008). Cada um desses testes intensidades foi realizado em dias diferentes. Cada teste teve início com um aquecimento de 5 minutos na intensidade de 70 watts, seguidos por 5 minutos de repouso (VANHATALO *et al.*, 2008). Os participantes foram instruídos a manterem a rotação entre 70 e 80 rpm durante todo o teste, sendo encerrado quando a rotação ficasse abaixo de da rotação mínima por mais de 5 segundos. Os participantes foram estimulados verbalmente durante todos os testes. Foi utilizado o seguinte cálculo para determinação da PC e W' :

$$\text{Linear } P \text{ vs. } 1/t: P = (1/t) \cdot W' + CP.$$

3.5 Protocolo experimental

Os procedimentos dos testes experimentais estão resumidos na figura 1. Todos os testes foram realizados em dias diferentes, de forma randomizada e contrabalançada, com no mínimo 48 horas de intervalo entre as visitas. Os participantes compareceram ao laboratório duas horas após a última refeição, e após a colocação dos eletrodos da estimulação elétrica, foi realizado o protocolo de aquecimento, composto por 4:30 minutos de exercício em

cicloergômetro, com intensidade de 70 watts, seguido por 30 segundos na intensidade do P₆, mantendo a rotação entre 70 e 80 rpm. Após isso foram realizadas duas contrações isométricas do quadríceps com duração de 5 segundos, a 80% e 100% da CVM, com 30 segundos de intervalo entre as contrações. Após 30 segundos de repouso foi iniciado o primeiro bloco de CVM + EE, com 30 segundos de intervalo entre cada CVM (HUREAU *et al.*, 2014). Após cinco minutos de repouso, mais um aquecimento de 5 minutos no cicloergômetro foi realizado, e logo após um repouso de 5 minutos foi dado início ao P₆₋₁. Os participantes foram instruídos a manterem a rotação entre 70 e 80 rpm durante todos os testes, sendo encerrado quando a rotação ficasse abaixo do mínimo de 70 rpm por mais de 5 segundos. Após o P₆₋₁ foi dado o intervalo de 3, 6 ou 15 minutos, e durante esses intervalos novas CVM + EE foram realizadas nos seguintes momentos:

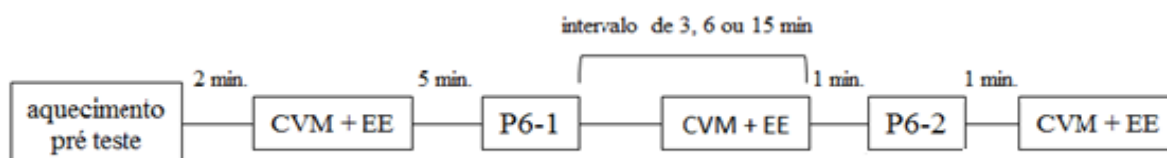
3 minutos de intervalo: CVM + EE com 1, 1:30 e 2 minutos da recuperação.

6 minutos de intervalo: CVM + EE com 4, 4:30 e 5 minutos da recuperação.

15 minutos intervalo: CVM + EE com 13, 13:30 e 14 minutos da recuperação.

Um minuto após o P₆₋₂, mais um bloco de CVM + EE foi realizado. Durante o P₆₋₁ e P₆₋₂ os participantes receberam estímulo verbal, encorajando-os a se esforçarem o máximo durante os testes.

Figura 1 - Desenho experimental. CVM = contração voluntária máxima, EE = estimulação elétrica, P₆ = teste predito para levar a exaustão em 6 minutos.



Fonte: MELO, 2016.

3.6 Potência predita para levar a exaustão em 6 minutos (P₆)

A potência predita para conduzir à exaustão em 6 min (P₆) foi calculada a partir da seguinte equação:

$$P_6 = (W'/360) + PC \quad (\text{equação 1})$$

Onde W' é a capacidade de trabalho acima da PC, 360 é o tempo em segundos esperado para exaustão e PC é a potência crítica.

Por ser um teste acima da PC podemos assumir que toda W' foi utilizada durante o P_6 (CHIDNOK, FULFORD, *et al.*, 2013). Desta forma, o P_6 foi utilizado para esgotar e verificar o restabelecimento da W' .

3.7 Estimulação elétrica e contração voluntária máxima

As CVM + ES foram realizadas com os indivíduos sentados em uma cadeira extensora (ângulo do tronco de 130°), com os braços cruzados e apoiados sobre o peito e o joelho direito formando uma angulação fixa de 90° de flexão. Para os estímulos elétricos percutâneos sobre o nervo femoral (Neuro-TES, Neurosoft, Ivanovo, Rússia), foi utilizado um eletrodo cátodo posicionado no triângulo femoral, localizado aproximadamente a 3-5 cm abaixo do ligamento inguinal. O primeiro estímulo foi realizado durante a CVM, assim que o participante atingiu o platô na força. A cada dois segundos após a CVM, com o músculo em repouso, mais três estímulos foram aplicados, sendo um simples com frequência de 1 Hz (potencializado - $Q_{tw\ pot}$), e dois duplos com frequência de 10 ($Q_{tw\ 10}$) e 100 Hz ($Q_{tw\ 100}$), que ofereceu indicativos de fadiga periférica global e fadiga periférica de baixa e alta frequência, respectivamente.

O percentual de ativação voluntária (AV) foi utilizada para avaliar a máxima capacidade de sistema nervoso no recrutamento muscular, sendo esse um indicativo de fadiga central. A AV foi calculada pelo método interpolação, utilizando a diferença entre o pico de força da CVM pré e após estímulo (contração sobreimposta), dividido pela $Q_{tw\ pot}$. Para esse cálculo será utilizada a seguinte equação:

$$AV = 100 - (\text{contração sobreimposta}/Q_{tw\ pot}) \times 100 \quad (\text{equação 2})$$

3.8 Medidas e Análises

Os resultados obtidos nos três testes com carga constante foram utilizados para determinar a PC e W' , utilizando modelos de regressões linear inverso do tempo ($P = (W'/t) + PC$) por ter sido associado com um menor erro de medida para PC e W' para uma amostra com característica semelhante (ARCOVERDE *et al.*, 2017). Para os dados de pico de força da CVM, fadiga central (AV) e periférica ($Q_{tw\ pot}$, $Q_{tw\ 10}$ e $Q_{tw\ 100}$) foram feitas a média das contrações de cada bloco. Após isso, todos os dados foram normalizados pelo primeiro bloco de contração (Repouso). Foi calculado o meio tempo de recuperação ($t_{1/2}$) recuperação da W' e $Q_{tw\ pot}$ através da regressão linear, ou extrapolação em alguns casos para verificar a velocidade de recuperação dessas duas variáveis. Para estimar o grau de fadiga periférica imediatamente após o $P6_1$ também foi realizada regressão linear.

3.9 Análise estatística

Inicialmente foi aplicado o teste de Shapiro Wilk para verificar a distribuição dos dados. Uma vez observada a normalidade, a análise da variância de dois caminhos para medidas repetidas, foi realizada para avaliar a interação tempo ($P6_1$ e $P6_2$) e condição (3, 6 e 15 minutos) sobre a reconstituição da W' e parâmetros de fadiga. O post hoc de Tukey foi aplicado para verificar onde as diferenças ocorreram. Para o $t_{1/2}$ da W' e $Q_{tw\ pot}$ foi utilizado o teste t dependente. A relação entre restauração da W' e os parâmetros de fadiga foram analisadas por regressão linear. O nível de significância adotado foi de $p < 0.05$. Os dados estão apresentados em media $\pm$ EP.

4 RESULTADOS

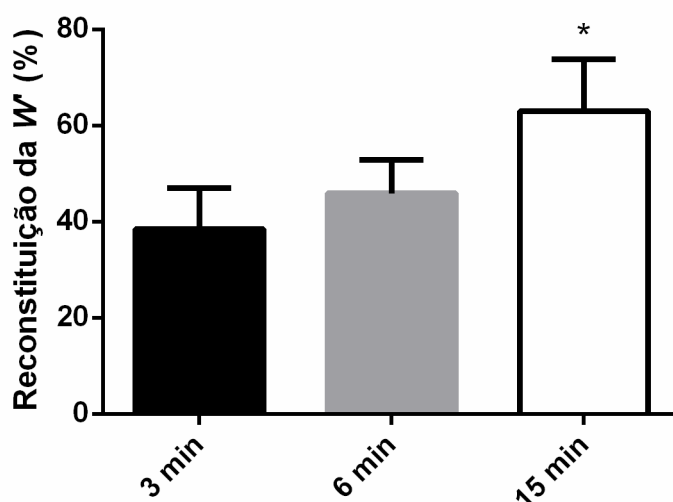
4.1 Estimativa da PC e W'

A potência equivalente aos deltas de 70%, 80% e 100% do $VO_{2\text{pico}}$ foram de 198 ± 19 , 210 ± 24 e 226 ± 27 watts, respectivamente. O tempo de exaustão correspondente a essas cargas foram 625 ± 228 , 539 ± 178 e 380 ± 119 segundos, respectivamente. A PC e W' foram de 173 ± 29 watts e 23 ± 13 kJ, respectivamente.

4.2 Trabalho realizado acima da PC

Os percentuais na reconstituição da W' nas 3 condições estão representado na Figura 2. No $P6_1$ não houve diferença significativa entre as três condições (3 min: $21,2 \pm 9,4$ kJ; 6 min: $22,8 \pm 10,7$ kJ e 15 min: $22,9 \pm 9,9$ kJ). Entretanto, no $P6_2$ houve uma maior reconstituição da W' com 15 minutos ($13,5$ kJ, $63 \pm 10\%$, $P < 0.05$) comparado a 3 e 6 minutos de recuperação ($7,8 \pm 3,6$ kJ, $38 \pm 8\%$), porém sem diferença significativa entre 6 ($9,5 \pm 4$ kJ, $46 \pm 7\%$ $P > 0.05$) e 3 minutos.

Figura 2 - W' no $P6_1$ e $P6_2$ em 3, 6 e 15 minutos. * Significativamente maior que 3 e 6 minutos ($P > 0.05$).

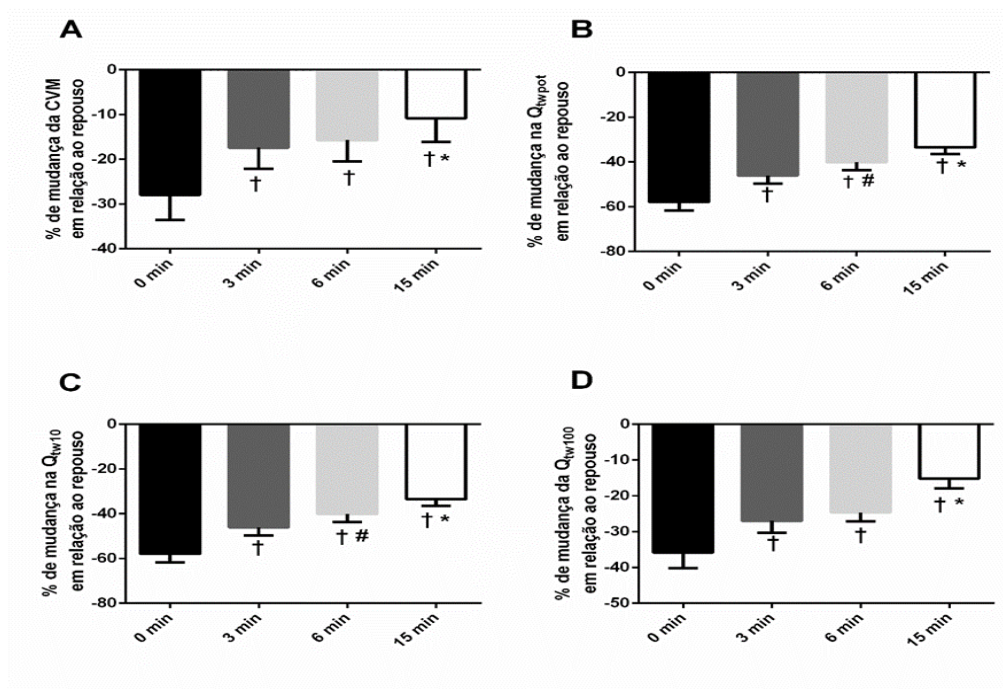


Fonte: MELO, 2017.

4.3 Parâmetros neuromusculares

Após o $P6_1$ foi observado uma queda significativa em todos parâmetros neuromusculares quando comparados ao repouso ($P < 0.05$). Para variáveis neuromusculares medidas durante os períodos de recuperação (3, 6 e 15 min) foi observada efeito do tempo e interação condição x tempo ($P < 0.05$), exceto para AV. Para CVM a recuperação em 15 min foi significativamente maior do que em 3 ($P < 0.05$), sem diferença significativa entre 3 e 6 e 6 e 15 min ($P > 0.05$). Para a $Q_{tw\text{pot}}$ e Q_{tw10} , houve diferença significativa entre todas as condições, com a recuperação aumentando significativamente ao longo do tempo ($P < 0.05$). A Q_{tw100} apresentou diferença significativa entre 3 e 15 min ($P < 0.05$), porém sem diferença entre 3 e 6 e 6 e 15 min ($P > 0.05$).

Figura 3 - Queda nos parâmetros neuromusculares pós $P6_1$. † Significativamente menor que 0 min. * Significativamente diferente da condição de 3 e 6 minutos. # Diferença significativa entre 6 e 3 minutos.

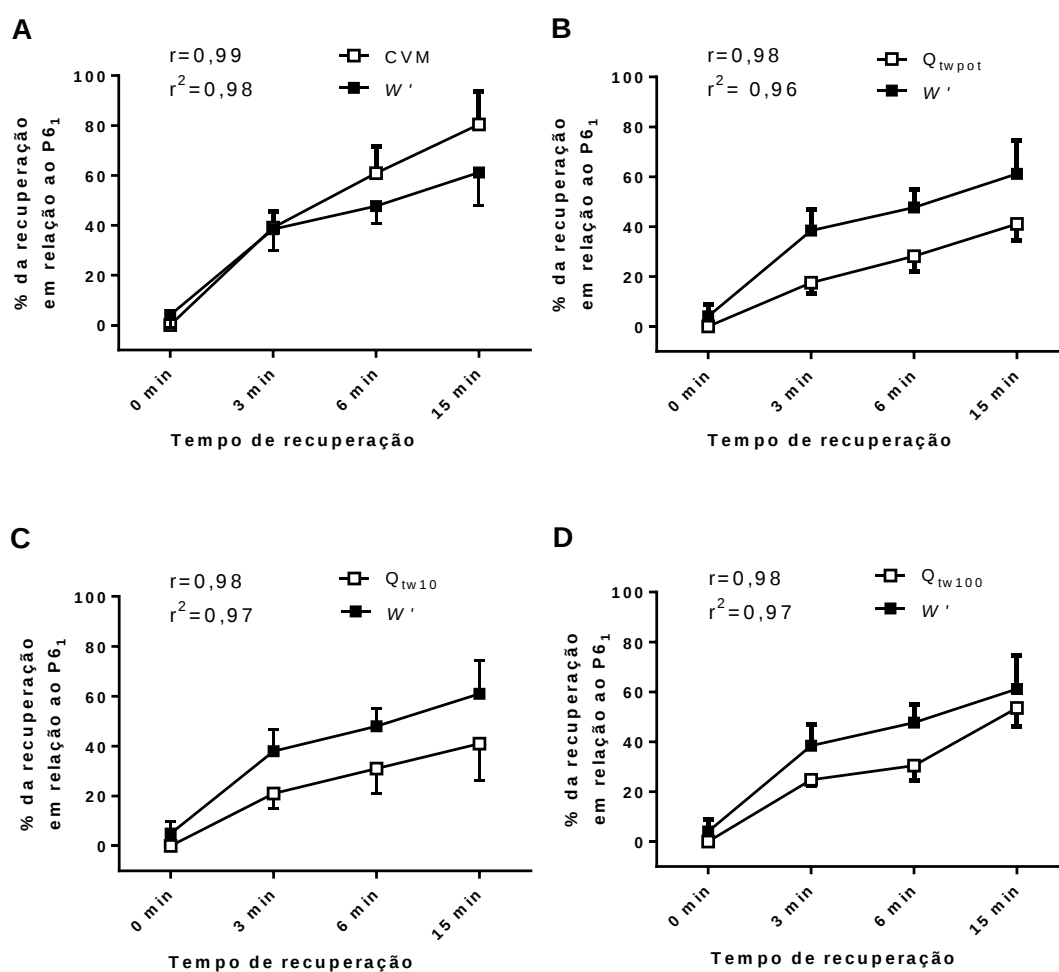


Fonte: MELO, 2017.

4.4 Relação entre os parâmetros neuromusculares e W'

Os parâmetros neuromusculares estão representados na figura 4. Houve correlação significativa entre W' e os parâmetros neuromusculares (Figura 4).

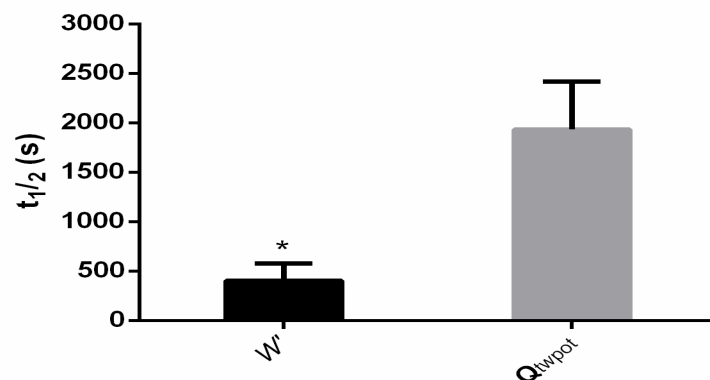
Figura 4. Perfil temporal na reconstituição da W' e CVM (Painel A), W' e $Q_{tw\text{pot}}$ (Painel B), W' e Q_{tw10} (Painel C) e W' e Q_{tw100} (Painel D).



Fonte: MELO, 2017.

O $t_{1/2}$ foi significativamente menor para a W' (507 ± 138) do que para a reconstituição da $Q_{tw\text{pot}}$ (1932 ± 482 , $P < 0,05$, Figura 5).

Figura 5. Meio tempo ($t_{1/2}$) da reconstituição da W' e $Q_{tw\ pot.}$ * Significativamente diferente da $Q_{tw\ pot.}$



Fonte: MELO, 2017.

5 DISCUSSÃO

Os achados do presente estudo demonstraram uma correlação entre a recuperação da W' e a $Q_{tw\text{pot}}$, porém com velocidade de recuperação diferentes. A W' recuperou mais rápido que a $Q_{tw\text{pot}}$, mostrando que a recuperação da W' não é totalmente dependente da fadiga periférica. A W' após o $P6_1$, apresentou valores consistentes, ou seja, o mesmo trabalho acima da PC foi realizado nas três condições experimentais. Da mesma forma o grau de fadiga periférica após o $P6_1$, estimado pela regressão limiar foi semelhante entre as condições, o que evidencia a relação entre a utilização da W' e a fadiga periférica em exercício no domínio severo (CHIDNOK; DIMENNA *et al.*, 2013).

Historicamente, a W' foi classificada como uma quantidade finita de energia disponível, e a glicólise anaeróbia que pode ser depletadas em exercícios acima da PC (MONOD; SCHERRER, 1965; MORITANI *et al.*, 1981). No entanto, o conceito atual apresenta a W' como uma capacidade finita de trabalho que pode ser realizada acima da PC, provavelmente limitada pela fadiga periférica. A depleção da W' começa quando a intensidade de exercício excede a PC e a reconstituição se inicia imediatamente no momento em que essa intensidade é reduzido abaixo da PC ou no repouso, ou seja, apesar de limitada, ela consegue ser reconstituída em intensidades abaixo da PC (JONES *et al.*, 2008). Acima da PC ocorre um distúrbio metabólico, que leva ao acúmulo de metabólitos intramusculares (pH, PCr, ATP, H^+ , Pi, ADP, AMP, IMP, lactato e aumento de K^+ plasmático) que estão relacionados com o desenvolvimento da fadiga muscular periférica (VANHATALO *et al.*, 2010). Tudo isso parece ocorrer em decorrência a um diminuição na eficiência muscular das fibras tipo I e o aumento no recrutamento das fibras tipo II, que por sua vez são menos eficientes, causando um maior acúmulo de metabolitos (WILKES *et al.*, 1983; JONES; BURNLEY, 2009; VANHATALO *et al.*, 2010).

Nosso estudo foi o primeiro a avaliar a relação entre a reconstituição da W' e a fadiga periférica. Nós observamos que na condição de 15 minutos a W' e $Q_{tw\text{pot}}$ apresentaram níveis maiores de reconstituição quando comparado a condição de 3 minutos, ou seja, a reconstituição foi proporcional ao maior intervalo de descanso. A reconstituição da W' no intervalo de 15 minutos, no

nosso estudo foi de aproximadamente 64%, enquanto que no estudo de Ferguson *et al.*, (2010) foi de 84%. Talvez isso deve ter ocorrido devido ao nível de condicionamento dos participantes, uma vez que os participantes do estudo de Ferguson *et al.* (2010) apresentaram uma maior PC (212 ± 34 W) em relação aos participantes do nosso estudo (173 ± 29 W), e a maior PC está relacionado com maior capacidade de recuperação da W' (JONES *et al.*, 2010).

Uma das possíveis explicações para aumento de recuperação na condição de 15 minutos em comparação a 3 minutos, pode estar relacionado com a maior remoção dos metabólitos indutores da fadiga periférica como os H^+ , ADP, Pi, K^+ e lactato, além da maior ressíntese de PCr, aumentando a velocidade de fornecimento de ATP (SKIBA *et al.*, 2012). Diante da relação entre recuperação da W' e os metabólitos intramusculares é importante ter conhecimento sobre a velocidade de recuperação. No estudo de Ferguson, *et al.* (2010) ele faz essa relação entre a velocidade de reconstituição da W' com o lactato plasmático, VO_2 , PCr e glicogênio muscular, e foi observado que apenas uma fração da PCr muscular gasta acima da PC, pode estar envolvida na reposição da W' e subsequente na recuperação, ou seja, a PCr não é totalmente gasta como acreditava-se nos estudos anteriores (CHIDNOK, DIMENNA, *et al.*, 2013). A recuperação do VO_2 em relação a W' mostrou-se de forma linearmente correlatada, porém VO_2 se reestabeleceu antes da W' . Essa divergência entre a cinética de recuperação entre VO_2 e W' , sugere que a PCr é o principal determinante na recuperação da W' (FERGUSON *et al.*, 2010).

A recuperação da W' no nosso estudo ocorreu de forma linear, ao contrário do observado em estudos anteriores, (POOLE *et al.*, 1990; FERGUSON *et al.*, 2010) que observaram uma recuperação curvilínea, ou seja, ocorreu um aumento rápido de recuperação nos primeiros minutos seguido por uma recuperação mais lenta. No entanto Skiba *et al.* (2012) observou um comportamento de recuperação similar ao do presente estudo. Uma possível explicação para essa semelhança no padrão de recuperação, pode ter ocorrido porque nós verificamos a recuperação da W' no tempo mínimo de 3 minutos e não nos segundos iniciais da recuperação. Uma vez que a restauração da W' começa imediatamente após o exercício (SKIBA *et al.*, 2014) a fase mais rápida da reconstituição pode não ter sido observada nos

dois estudos. A maior perfusão de O_2 imediatamente após o exercício de alta intensidade além de aumentar a velocidade na ressíntese da PCr (ROSSITER *et al.*, 2002), facilita a remoção dos metabólitos produzidos durante o exercício, e esses fatores podem ser decisivos para a rápida reconstituição da W' (JONES *et al.*, 2010; CHIDNOK; DIMENNA, *et al.*, 2013; SKIBA *et al.*, 2014). Além disso, essa similaridade de resultados nos dois estudos deve ser visto com cautela, uma vez que Skiba *et al.* (2012) utilizaram um exercício com uma pequena massa muscular (extensão de joelhos unilateral em uma cadeira isométrica) e o nosso estudo foi conduzido em ciclo ergômetro, pedalando com ambas as pernas. Em exercícios multiarticulares, a restauração da W' depende da soma da recuperação de todos os músculos envolvidos (agonistas, antagonista e sinergistas), sendo muito mais complexa do que a recuperação de um músculo isoladamente (JAMES; GREEN, 2012). No nosso estudo não houve o desenvolvimento da fadiga central, tendo em vista que a mesma está relacionado com exercícios de longa duração (AMANN *et al.*, 2009; THOMAS *et al.*, 2015).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, foi observado que a reconstituição da W' e dos parâmetros neuromusculares relacionados com a fadiga periférica, estão correlacionados. No entanto a recuperação da W' foi consideravelmente mais rápido do que a $Q_{tw\ pot.}$, indicando que apenas a fadiga periférica não explica a recuperação da W' .

REFERÊNCIAS

AMANN, M. *et al.* Opioid-mediated muscle afferents inhibit central motor drive and limit peripheral muscle fatigue development in humans. **J Physiol**, Londres, v. 587, n. 1, p. 271-83, Jan 15 2009. ISSN 0022-3751.

ARCOVERDE, L. *et al.* Effect of caffeine ingestion on anaerobic capacity quantified by different methods. **PloS one**, San Francisco, v. 12, n. 6, p. e0179457, 2017. ISSN 1932-6203.

BLACK, M. I. *et al.* Muscle metabolic and neuromuscular determinants of fatigue during cycling in different exercise intensity domains. **J Appl Physiol**, Bethesda, v. 122, n. 3, p. 446-459, Mar 01 2017. ISSN 0161-7567.

BLAIN, G. M. *et al.* Group III/IV muscle afferents limit the intramuscular metabolic perturbation during whole body exercise in humans. **J Physiol**, Londres, v. 594, n. 18, p. 5303-15, Sep 15 2016. ISSN 0022-3751.

CHASIOTIS, D.; HULTMAN, E.; SAHLIN, K. Acidotic depression of cyclic AMP accumulation and phosphorylase b to a transformation in skeletal muscle of man. **J Physiol**, Londres, v. 335, p. 197-204, Feb 1983. ISSN 0022-3751.

CHIDNOK, W. *et al.* Effects of pacing strategy on work done above critical power during high-intensity exercise. **Med Sci Sports Exerc**, Madison, v. 45, n. 7, p. 1377-85, Jul 2013. ISSN 0195-9131.

CHIDNOK, W. *et al.* Muscle metabolic determinants of exercise tolerance following exhaustion: relationship to the "critical power". **J Appl Physiol**, Bethesda, v. 115, n. 2, p. 243-50, Jul 15 2013. ISSN 0161-7567.

DEBOLD, E. P.; BECK, S. E.; WARSHAW, D. M. Effect of low pH on single skeletal muscle myosin mechanics and kinetics. **Am J Physiol Cell Physiol**, Bethesda, v. 295, n. 1, p. C173-9, Jul 2008. ISSN 0363-6143.

FERGUSON, C. *et al.* Effect of recovery duration from prior exhaustive exercise on the parameters of the power-duration relationship. **J Appl Physiol**, Bethesda, v. 108, n. 4, p. 866-74, Apr 2010. ISSN 0161-7567.

FERNANDES, A. L. *et al.* Effect of time of day on performance, hormonal and metabolic response during a 1000-M cycling time trial. **PLoS One**, San Francisco, v. 9, n. 10, p. e109954, 2014. ISSN 1932-6203.

HERMENS, H. J. *et al.* Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. **J Electromyogr Kinesiol**, Nova York, v. 10, n. 5, p. 361-74, Oct 2000. ISSN 1050-6411.

HUREAU, T. J. *et al.* Exercise performance is regulated during repeated sprints to limit the development of peripheral fatigue beyond a critical threshold. **Exp Physiol**, Cambridge, v. 99, n. 7, p. 951-63, Jul 2014. ISSN 0958-0670.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. 1978. **Br J Nutr**, Cambridge, v. 91, n. 1, p. 161-8, Jan 2004. ISSN 0007-1145.

JAMES, A.; GREEN, S. A phenomenological model of muscle fatigue and the power-endurance relationship. **J Appl Physiol**, Bethesda, v. 113, n. 10, p. 1643-51, Nov 2012. ISSN 0161-7567.

JONES, A. M.; BURNLEY, M. Oxygen uptake kinetics: an underappreciated determinant of exercise performance. **Int J Sports Physiol Perform**, Champaign, v. 4, n. 4, p. 524-32, Dec 2009. ISSN 1555-0265.

JONES, A. M. *et al.* Critical power: implications for determination of $\dot{V}O_{2\max}$ and exercise tolerance. **Med Sci Sports Exerc**, Madison, v. 42, n. 10, p. 1876-90, Oct 2010. ISSN 0195-9131.

JONES, A. M. *et al.* Muscle metabolic responses to exercise above and below the "critical power" assessed using ^{31}P -MRS. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, Bethesda, v. 294, n. 2, p. R585-93, Feb 2008. ISSN 0363-6119.

MERTON, P. A. Voluntary strength and fatigue. **J Physiol**, Londres, v. 123, n. 3, p. 553-64, Mar 29 1954. ISSN 0022-3751

MONOD, H.; SCHERRER, J. THE WORK CAPACITY OF A SYNERGIC MUSCULAR GROUP. **Ergonomics**, S.L, v. 8, n. 3, p. 329-338, 1965/07/01 1965. ISSN 0014-0139. Disponível em: <
<http://dx.doi.org/10.1080/00140136508930810> >.

MORITANI, T. *et al.* Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. **Ergonomics**, S.L, v. 24, n. 5, p. 339-50, May 1981. ISSN 0014-0139 (Print)

POOLE, D. C.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, Berlim, v. 59, n. 6, p. 421-9, 1990. ISSN 0301-5548.

RAYMER, G. H. *et al.* Metabolic effects of induced alkalosis during progressive forearm exercise to fatigue. **J Appl Physiol**, Bethesda, v. 96, n. 6, p. 2050-6, Jun 2004. ISSN 8750-7587.

ROSSITER, H. B. *et al.* Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O₂ uptake between the on- and off-transients of moderate- and high-intensity exercise in humans. **J Physiol**, Londres, v. 541, n. Pt 3, p. 991-1002, Jun 15 2002. ISSN 0022-3751.

SIRI, W. E. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. **Nutrition**, Burbank, v. 9, n. 5, p. 480-91; discussion 480, 492, Sep-Oct 1993. ISSN 0899-9007.

SKIBA, P. F. *et al.* Modeling the expenditure and reconstitution of work capacity above critical power. **Med Sci Sports Exerc**, Madison, v. 44, n. 8, p. 1526-32, Aug 2012. ISSN 0195-9131.

SKIBA, P. F. *et al.* Effect of work and recovery durations on W' reconstitution during intermittent exercise. **Med Sci Sports Exerc**, Madison, v. 46, n. 7, p. 1433-40, Jul 2014. ISSN 0195-9131.

THOMAS, K. *et al.* Central and peripheral fatigue in male cyclists after 4-, 20-, and 40-km time trials. **Med Sci Sports Exerc**, Madison, v. 47, n. 3, p. 537-46, Mar 2015. ISSN 0195-9131.

VANHATALO, A.; DOUST, J. H.; BURNLEY, M. A 3-min all-out cycling test is sensitive to a change in critical power. **Med Sci Sports Exerc**, Madison, v. 40, n. 9, p. 1693-9, Sep 2008. ISSN 0195-9131.

VANHATALO, A. *et al.* Influence of hyperoxia on muscle metabolic responses and the power-duration relationship during severe-intensity exercise in humans: a ³¹P magnetic resonance spectroscopy study. **Exp Physiol**, Cambridge, v. 95, n. 4, p. 528-40, Apr 2010. ISSN 0958-0670.

WILKES, D.; GLEDHILL, N.; SMYTH, R. Effect of acute induced metabolic alkalosis on 800-m racing time. **Med Sci Sports Exerc**, Madison, v. 15, n. 4, p. 277-80, 1983. ISSN 0195-9131.