

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – CAMPUS DE RIO CLARO

EFEITOS DO EXERCÍCIO PRÉVIO DE INTENSIDADE SUPRAMÁXIMA
SOBRE A CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO EM CICLISTAS
TREINADOS

CARLOS EDUARDO POLAZZO MACHADO

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biotecnologia do Campus de Rio Claro,
Universidade Estadual Paulista, como parte
dos requisitos para a obtenção do título de
Mestre em Ciências da Motricidade - Área
de Biotecnologia da Motricidade Humana

RIO CLARO – SP

03/2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – CAMPUS DE RIO CLARO

EFEITOS DO EXERCÍCIO PRÉVIO DE INTENSIDADE SUPRAMÁXIMA
SOBRE A CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO EM CICLISTAS
TREINADOS

CARLOS EDUARDO POLAZZO MACHADO

Orientador: PROF. DR. BENEDITO SÉRGIO DENADAI

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biotecnologia do Campus de Rio Claro,
Universidade Estadual Paulista, como parte
dos requisitos para a obtenção do título de
Mestre em Ciências da Motricidade - Área
de Biotecnologia da Motricidade Humana

RIO CLARO – SP

03/2005

Dedico este trabalho a minha querida namorada Camila que hoje é uma estrela que brilha no céu. A lembrança da sua beleza, do seu sorriso e do seu olharzinho puro está gravado no meu coração. Sua voz, seus carinhos, gestos, sua pureza de sentimentos, sua força como mulher, sua compreensão do mundo, seus conselhos e sua sabedoria fazem parte da minha alma.

Camila, eu te amo mais a cada dia. Nosso amor foi para a eternidade da alma e um dia nos reencontraremos. Você me fez crescer muito. Seja lá onde estiver esteja feliz.

Obrigado por fazer parte da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha querida namorada Camila por estar ao meu lado, me amando e me apoiando em todos os momentos nestes últimos quatro anos e meio. Obrigado por me fazer ser uma pessoa melhor.

Aos pais da Camila, Maria Luíza e Carlos, por desde sempre me receberem tão bem. Obrigado pela força e tomara que eu tenha de alguma forma ajudado vocês neste momento no qual passamos juntos. Obrigado Maria Luíza, por ter me amparado em todos os momentos de revolta e tristeza, você é uma grande mulher. Eu me sinto parte de vocês. Obrigado Gustavo.

Ao meu Orientador Denadai, que acreditou no meu trabalho e esteve ao meu lado no momento mais difícil da minha vida, abrindo um enorme sorriso quando foi mais necessário. Valeu Camila por me dar palavras de apoio.

À minha querida Mãe, que sempre lutou para que eu pudesse chegar até aqui, me dando muito amor e dedicação. Uma mulher que está se engrandecendo a cada dificuldade da vida. Eu te amo Mãe e obrigado por tudo.

Ao meu maravilhoso Pai, que sempre tem um conselho a me dar, obrigado por sempre me superestimar e fazer com que eu viva a vida com mais confiança. Seu amor e sabedoria são muito especiais. Valeu Dudu.

Ao meu amigo, companheiro e sábio irmão Marcelo. Obrigado pelas palavras que partiram do seu coração quando mais precisei, se não fosse sua dedicação ao meu lado não sei se conseguiria estar onde estou.

À minha especial irmãzinha que tem a pureza de sentimentos cada vez mais aflorados, sua presença na minha vida sempre me fez crescer. Márcia, obrigado pelo seu carinho de sempre e em especial nos últimos meses, você é muito especial.

Ao meu Avo João, que hoje é uma estrela na imensidão do Universo. Obrigado por contar os seus e os nossos momentos durante a vida.

Ao meu Avo Chiquito, que com certeza tinha um conhecimento da vida no qual poucos os têm e que não tive a oportunidade de conhecer.

À minha vózinha Tatinha que amo muito e que adoro beijar e abraçar.

À minha vózinha Maria no qual sempre nos emocionamos ao nos encontrarmos, sinto o quanto você me ama vó.

Aos meus tios Renê, Renato e Domingos por serem irmãos, amigos, pais e conselheiros a todo momento que preciso.

Aos meus primos Renatinha, Carina e André por serem pessoas especiais.

Ao meu novo priminho Rafael.

À minha tia Regina por ser uma pessoa maravilhosa.

À minhas novas tias Lara e Paula, que estão e farão parte cada vez mais da minha vida.

À minha cunhada Carla e sua família por serem pessoas maravilhosas e que me ajudaram muito quando precisei.

Ao meu cunhado Vinícius pela sua força em minha vida e em nossa casa.

Aos meus tios Orlando e Madita, e meus primos Daniela e Fernando por serem pessoas que me amam de verdade e que me apoiaram quando precisei.

À Eucares e Paulo por me darem a maior força quando precisei.

Aos meus amigos Fabrizioo e Mariana que compartilharam o momento mais difícil da minha vida. Valeu pela força.

À todos meus amigos que não citarei nomes para não esquecer ninguém.

Ao Wonder que é uma pessoa maravilhosa. Muito obrigado Brow.

Aos meus grandes amigos e alunos Sérgio, Sílvio, Ana Lúcia, Flávio, Denise, Marcelo, Alex, Camila, Eliel, Cestari, Elvis, Marquinho, Murilo, Renato, Gilmar, Bh e Rubinho.

Todas as pessoas espiritualizadas e intangíveis que me ajudaram a encontrar novamente o caminho da vida.

Ao meu cachorro Ac que hoje também esta no céu, ao Stive que azucrinou o Ac mas é um cachorro super alegre e carinhoso. Valeu Pancho pelas trapalhadas.

E por fim, agradeço ao China e ao Beto pela força no Laboratório e aos atletas que participaram deste estudo.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE ABREVIATURAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	05
2.1. Cinética do VO ₂	05
2.2. Intervenções e Fatores Limitantes da cinética do VO ₂	19
2.3. Exercício prévio como forma de intervenção sobre a cinética do VO ₂	27
3. JUSTIFICATIVA.....	43
4. OBJETIVOS.....	45
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
5.1. Sujeitos.....	46
5.2. Delineamento experimental.....	47
5.3. Teste contínuo progressivo.....	47
5.4. Teste de carga constante.....	48
5.5. Determinação da cinética do VO ₂ na transição repouso-exercício..	49
5.6. Determinação da cinética do VO ₂ durante o exercício de carga constante.....	50
5.7. Análise Estatística.....	50
6. RESULTADOS.....	51
7. DISCUSSÃO.....	67

8. CONCLUSÃO.....	87
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ABSTRACT.....	100
APÊNDICE I - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO..	102
APÊNDICE II – TABELAS COM VALORES INDIVIDUAIS.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS

τVO_2 – constante tempo “efetiva”

IVO_2max – Intensidade do consumo máximo de oxigênio

ΔVO_2 – Variação no consumo de oxigênio

ΔWR – Mudança na razão de trabalho

[Lac] – Concentração de lactato

[PCr] – Concentração de creatina fosfato

τ - Constante tempo

A – Amplitude

A1 – Amplitude do componente primário

A2 – Amplitude do componente secundário

ATP – Adenosina trifosfato

CO_2 – Gás carbônico

Cr – Creatina

DP – Desvio padrão

ECO – Exercício constante

FC – Frequência cardíaca

FiO_2 – Fração inspirada de oxigênio

G – Ganho

HbO_2 – Hemoglobina

H^+ - Íon de hidrogênio

iEMG – Eletromiografia integrada

Lan – Limiar Anaeróbio

LB – Linha de base

LBNP – *Lower body negative pressure*

LL – Limiar de lactato

L/min – Litros a cada minuto

LV – Limiar ventilatório

MC – Massa corporal

$\text{mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$ – Mililitros de oxigênio por minuto por Watt

MPF – Média de frequência de descarga

MRT – Tempo médio de resposta

MSSLAC – Máxima fase estável do lactato

O_2 – Oxigênio

PCr – Creatina fosfato

pH- Concentração de hidrogênio

Q – Fluxo sangüíneo muscular

Q/VO_2 – Relação de distribuição de fluxo com áreas de consumo de oxigênio

QO_2 – Consumo muscular de oxigênio

Q_{perna} – Fluxo sangüíneo da perna

rpm – Rotações por minuto

s – Segundos

t - Tempo

TA – Tempo de atendimento do consumo de oxigênio

TA2 – Tempo para início do componente secundário

Tau – Constante tempo

Tau1 – Constante tempo do componente primário

Tau2 – Constante tempo do componente secundário

VCO₂ – produção de gás carbônico

VE – Ventilação pulmonar

VE/VCO₂ – Equivalente ventilatório do gás carbônico

VE/VO₂ – Equivalente ventilatório de oxigênio

VO₂ – Consumo de oxigênio

VO₂ – carga – Relação consumo de oxigênio e carga em Watts

VO₂max – Consumo máximo de oxigênio

W – Watts

EPOC - Consumo excessivo de oxigênio após exercício prévio

CON – Grupo controle

CHO-DEP – Grupo depletado

CHO-RE – Grupo recarregado

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Resposta do consumo de oxigênio (VO_2) ao exercício de cargas constantes nas diferentes intensidades de esforço. Os números 1, 2 e 3 indicam as três fases da cinética do VO_2 . As áreas demarcadas representam o componente lento do VO_2 . (Adaptado de GAESSER e POOLE, 1996).....07
- Figura 2 - Parâmetros utilizados para descrever a cinética do VO_2 , em um modelo mono-exponencial (painel superior) e bi-exponencial (painel inferior). **LB**, linha de base; **A**, amplitude do aumento no VO_2 ; **A1**, amplitude do componente primário (rápido); **A2**, amplitude do componente secundário (lento); **Tau**, constante tempo; **Tau1**, componente primário; **Tau2**, componente secundário; **TA**, tempo de atendimento do VO_2 ; **TA2**, tempo para o início do componente secundário.....09
- Figura 3 - Cinética do consumo de oxigênio (VO_2) em exercício contínuo a 50% VO_{2max} sem (□) e com (■) exercício prévio supramáximo,. A seta superior indica os dois tiros (1 minuto) do exercício prévio a 120% VO_{2max} e a seta inferior sinaliza o início do esforço a 50% VO_{2max} para as duas condições. Valores do sujeito 1.....54
- Figura 4 - Cinética do consumo de oxigênio (VO_2) em exercício contínuo a 70% VO_{2max} sem (□) e com (■) exercício prévio supramáximo. A seta superior indica os dois tiros (1 min) do exercício prévio a 120% VO_{2max} , e a seta inferior sinaliza o início do esforço a 70% VO_{2max} para as duas condições. Valores do sujeito 1.....55
- Figura 5 – Valores médios do consumo de oxigênio (VO_2) a cada 5 minutos de exercício realizado a 50% VO_{2max} , com e sem exercício prévio supramáximo. N =14.....57
- Figura 6 – Valores médios do consumo de oxigênio (VO_2) a cada 5 minutos de exercício realizado a 70% VO_{2max} com e sem exercício prévio supramáximo. N = 14.....59
- Figura 7 – Valores médios das concentrações de lactato a cada 5 minutos do exercício realizado a 50% VO_{2max} com e sem esforço prévio supramáximo. B = 1 minuto antes do início do exercício. N =14.....65

Figura 8 - Valores médios das concentrações de lactato a cada 5 minutos do exercício realizado a 70%VO₂max com e sem esforço prévio supramáximo. B = 1 minuto antes do início do exercício. N =14.....66

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Valores médios \pm DP da idade, massa corporal e estatura dos ciclistas. N = 14.....51
- Tabela 2 – Valores médios \pm DP do consumo máximo de oxigênio (VO_2 max) absoluto ($l \cdot \text{min}^{-1}$) e relativo ($ml/kg \cdot \text{min}^{-1}$), intensidade onde foi atingido o consumo máximo de oxigênio (IVO_2 max), limiar de lactato (LL) e limiar anaeróbio (LAn). N= 14.....52
- Tabela 3 – Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do consumo de oxigênio (VO_2) a 50 e 70 % VO_2 max com e sem exercício prévio. LB - VO_2 de linha base; A - amplitude primária a partir de 15 segundos do início do exercício; A + LB - amplitude absoluta; τVO_2 - constante de tempo. N =14.....53
- Tabela 4 - Valores médios \pm DP a cada 5 minutos dos parâmetros cardiorrespiratórios a 50% VO_2 max com e sem exercício prévio. VO_2 – consumo de oxigênio; VE – ventilação pulmonar; FC – frequência cardíaca. N =14.....56
- Tabela 5 - Valores médios \pm DP a cada 5 minutos de parâmetros cardiorespiratórios a 70% VO_2 max com e sem exercício prévio. VO_2 – consumo de oxigênio; VE – ventilação pulmonar; FC – frequência cardíaca. N =14.....58
- Tabela 6 - Valores médios \pm DP a cada 5 minutos de parâmetros respiratórios a 50% VO_2 max com e sem exercício prévio. VCO_2 – produção de gás carbônico; VE/VCO_2 – equivalente ventilatório do gás carbônico; VE/VO_2 – equivalente ventilatório do oxigênio; R – quociente respiratório. N =14.....60
- Tabela 7 - Valores médios \pm DP a cada 5 minutos de parâmetros respiratórios a 70% VO_2 max com e sem exercício prévio. VCO_2 – produção de gás carbônico; VE/VCO_2 – equivalente ventilatório do gás carbônico; VE/VO_2 – equivalente ventilatório do oxigênio; R – quociente respiratório. N =14.....62

Tabela 8 – Valores médios \pm DP das concentrações de lactato ([Lac]) medidos a cada 5 minutos do exercício realizado a 50% e 70%VO₂max sem (50% e 70% sem) e com exercício prévio supramáximo (50 e 70% com). A = concentração de lactato 1 minuto após o exercício supramáximo; B = concentração de lactato 1 minuto antes do início do exercício submáximo de carga constante. N = 14.....64

Resumo

O surgimento de equipamentos que permitem a análise do consumo de oxigênio (VO_2) respiração-a-respiração, tem despertado um grande interesse nos fatores que podem influenciar sua cinética no início do exercício (resposta *on*). Entre os fatores mais estudados, temos a intensidade do exercício e o nível do treinamento dos sujeitos. Entretanto, poucos estudos têm analisado os possíveis efeitos de um exercício realizado previamente sob a resposta *on* do VO_2 durante o exercício moderado. Em nosso laboratório verificamos recentemente, que durante um teste incremental realizado 8 minutos após um exercício supramáximo (120% $\text{VO}_{2\text{max}}$), existiu um aumento significativo do VO_2 nas primeiras cargas de trabalho, enquanto que em intensidades entre 60% e o $\text{VO}_{2\text{max}}$ não foi encontrada alteração do VO_2 , confirmando dados existentes na literatura. Estes dados sugerem que a influência do exercício prévio sobre o VO_2 durante o exercício incremental só ocorreria em baixas intensidades de esforço (< 60% $\text{VO}_{2\text{max}}$). Este modelo entretanto, não permite isolar um possível efeito do tempo do exercício, já que as intensidades mais elevadas sempre foram realizadas após dois ou três estágios, o que pode ter favorecido uma recuperação, parcial pelo menos, das condições metabólicas. Assim, os dados até o momento não nos permitem identificar se a normalização do VO_2 durante o exercício incremental é mais dependente do tempo e/ou da intensidade do exercício. Portanto, os objetivos deste estudo foram: a) analisar a influência do exercício supramáximo realizado previamente, sobre os parâmetros da cinética do VO_2 durante a transição repouso-exercício realizado a 50 e 70% $\text{VO}_{2\text{max}}$, e b) analisar a influência do exercício supramáximo realizado previamente sobre as respostas cardiorrespiratórias e metabólicas durante o exercício de carga constante realizado a 50 e 70% $\text{VO}_{2\text{max}}$. Para este estudo foram utilizados 14 ciclistas bem treinados do sexo masculino ($\text{VO}_{2\text{max}} = 63,4 \pm 6,5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$; idade = $21,4 \pm 3,5$ anos; massa corporal = $68,1 \pm 6,8 \text{ kg}$; estatura = $174,9 \pm 4,6 \text{ cm}$) que executaram cinco testes: 1) exercício contínuo progressivo até a exaustão voluntária para a determinação do $\text{VO}_{2\text{max}}$ e as cargas correspondentes a 50,

70 e 120% VO_2max e; 2) Quatro testes de carga constante, executados de forma aleatória e em dias separados. Nestes testes os sujeitos pedalarão durante 20 minutos em duas diferentes intensidades de exercício (50 e 70% do VO_2max), realizados com e sem a execução prévia de um exercício supramáximo (120% VO_2max). Foi analisada a resposta *on* do VO_2 e também as respostas cardiorrespiratórias e metabólicas durante 20 minutos de exercício com carga constante realizados a 50 e 70% VO_2max . O resultados demonstraram que o valor do VO_2 de linha de base (LB) foi significativamente maior após o exercício prévio somente para o esforço realizado a 50% VO_2max (50% VO_2max = $503,5 \pm 264,3$ vs. $706,2 \pm 257,2$ ml.min⁻¹; 70% VO_2max = $456,4 \pm 294,4$ vs. $538,5 \pm 266$ ml.min⁻¹; sem e com exercício prévio, respectivamente). A amplitude parcial (A), com a exclusão da fase I (cardiodinâmica), não apresentou diferenças significantes para as duas intensidades após o exercício prévio. Foi observado que o valor absoluto da amplitude do VO_2 (A + LB) foi significativamente maior para as duas intensidades após o exercício prévio (50% VO_2max = $2129,4 \pm 217,3$ vs. $2264,9 \pm 312,2$ ml.min⁻¹; 70% VO_2max = $2513,7 \pm 371,5$ vs. $3148,2 \pm 318,7$ ml.min⁻¹, e sem e com exercício prévio, respectivamente). A constante de tempo do VO_2 (τVO_2) não obteve diferenças significantes entre as condições de esforço para as duas intensidades de exercício (50% VO_2max = $24,2 \pm 4,6$ vs. $26,5 \pm 8,2$ seg.; 70% VO_2max = $27,1 \pm 5,4$ vs. $24,6 \pm 6,4$ seg., sem e com exercício prévio, respectivamente). Na comparação entre as condições (com e sem exercício prévio), o VO_2 foi significativamente maior somente no 5^o e 10^o min para o esforço com exercício prévio nas duas intensidades. Na comparação entre as condições, nas duas intensidades, a VE só foi significativamente maior com o exercício prévio no 5^o min. Já a FC foi significativamente diferente em todos os momentos analisados. Assim, de acordo com os resultados, dentro do domínio moderado de esforço (50 e 70 % VO_2max), o tempo de exercício e não a intensidade, foi o fator que permitiu a normalização do VO_2 no decorrer do exercício de carga constante após o esforço prévio de intensidade supramáxima.

Palavras chaves: Cinética do VO_2 , Intensidade de exercício moderado, Exercício prévio, Exercício de carga constante

1. INTRODUÇÃO

O oxigênio (O_2) e o combustível disponível durante uma reação de combustão, proporcionam os elementos essenciais para a produção de energia. Assim, o O_2 consumido nestas circunstâncias modula o quanto de energia pode ser produzido nestas reações. O papel de elemento comburente do O_2 está ligado a qualquer tipo de queima de combustível (petróleo, celulose, alimentos, etc.). A geração de energia de forma controlada e regulada (enzimática) dentro da célula muscular, dá aos seres vivos a capacidade de gerar energia (ATP) sem que haja combustão. A transferência de energia química dos alimentos para produzir ATP (adenosina trifosfato) tem no O_2 o receptor final de elétrons retirados dos substratos (glicogênio, lipídios e aminoácidos). Desta maneira, a possibilidade de medição do consumo de O_2 (VO_2) de forma direta, fornece o quanto de ATP foi gerado aerobiamente durante a contração muscular em qualquer atividade física e do cotidiano.

Muitos estudos no decorrer dos anos foram feitos para entender o comportamento do VO_2 durante o exercício (i.e., cinética do VO_2). Ficou bem conhecido que a cinética do VO_2 durante a transição repouso-exercício, aumenta de forma exponencial e que a intensidade de exercício influencia as características da curva e o atendimento do estado estável (GAESSER e POOLE, 1996). Intensidades elevadas de exercício acarretam um aumento da concentração de lactato, juntamente com diferentes respostas do VO_2 frente ao tempo exercício. Em intensidades de exercício abaixo do limiar de lactato (LL), o VO_2 atinge o estado estável em aproximadamente 3 minutos, não ocorrendo no entanto o mesmo em intensidades acima do LL, onde o VO_2 continua aumentando lentamente acima do valor de VO_2 predito para a carga, atrasando o atendimento do estado estável ou até mesmo levando ao consumo máximo de oxigênio ($\text{VO}_{2\text{max}}$), em intensidades acima da MSSLAC (máxima fase estável do lactato). Este comportamento da curva do VO_2 acima daquele predito para a carga, é conhecido como componente lento. Nestes últimos anos foram feitas pesquisas, sem respostas conclusivas, sobre os fatores que poderiam limitar a elevação do VO_2 até o atendimento do estado estável e os que poderiam gerar o componente lento. Xu e Rhodes (1999) numa recente revisão, relatam alguns fatores conhecidos que poderiam influenciar a cinética do VO_2 , entre os quais estariam: a utilização do O_2 (fibra muscular), a oferta de O_2 (sistema cardiovascular), lactato sanguíneo, adrenalina, ventilação pulmonar (VE), temperatura corporal, recrutamento de fibras, estado de treinamento, idade e patologias.

O incremento da intensidade do exercício, particularmente acima da MSSLAC, tem como resposta o aumento da produção de energia via glicólise anaeróbia e concomitante elevação da acidez (H^+) metabólica e o aumento do lactato. A capacidade de remoção e tamponamento do lactato e H^+ , particularmente durante o exercício supramáximo, são importantes para a sustentação da contração muscular. Não obstante, alguns autores encontraram que o tempo para atingir o VO_2 em intensidade elevada de exercício (90% VO_{2max}), era menor quando precedido por exercício de alta intensidade (PENDERGAST et al. 1983). Entretanto, poucos estudos têm analisado a influência do exercício prévio sob a cinética do VO_2 durante o exercício submáximo. Interessantemente, os poucos existentes tem restringido sua análise a curtos períodos de tempo (3 – 6 min).

Davis & Gass (1981) e outros Schneider & Berwick (1998) verificaram que durante o exercício incremental realizado após um esforço supramáximo, houve um aumento significativo do VO_2 nas primeiras cargas de trabalho. Em outro estudo, com a mesma característica (exercício supramáximo + exercício incremental), não foram encontradas diferenças no VO_2 para cargas entre 60% e o VO_{2max} (PENDERGAST et al. 1983). Em nosso laboratório (LUCAS et al. 2003) verificamos recentemente que durante um teste incremental realizado 8 minutos após um exercício supramáximo (120% VO_{2max}), existiu um aumento significativo do VO_2 nas primeiras cargas de trabalho, enquanto que em intensidades entre 60% e o VO_{2max} não foi encontrado alteração do VO_2 , confirmando dados dos estudos citados anteriormente. Estes resultados sugerem que a influência do exercício prévio sobre o VO_2 durante o exercício

incremental só ocorreria em baixas intensidades de esforço (< 60% VO_2max). Este modelo entretanto, não permite isolar um possível efeito do tempo do exercício, já que as intensidades mais elevadas sempre foram realizadas após dois ou três estágios, o que pode ter favorecido uma recuperação parcial pelo menos, das condições metabólicas. Assim, os dados até o momento não permitem identificar se a normalização do VO_2 durante o exercício incremental é mais dependente do tempo e/ou da intensidade do exercício.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Cinética do VO₂

Modelos de predição de controle respiratório (TSCHAKOVSKY e HUGHSON, 1999) e medições simultâneas de fosfatos de alta energia intramuscular e de VO₂ pulmonar (ROSSITER et al. 1999), confirmam a característica exponencial do aumento do VO₂ muscular durante a transição repouso-exercício. Grassi (2000) demonstrou em humanos, que durante a transição de um exercício que se pedala sem carga para outro com carga abaixo do limiar ventilatório, a cinética alveolar do VO₂ foi similar a cinética da musculatura esquelética (QO₂). A partir desse pressuposto, as medidas de VO₂ pulmonar, vêm sendo muito utilizadas para descrever as respostas em nível muscular para diferentes intensidades de exercício (BARSTOW, 1994; HILL e STEVENS, 2001; HUGHSON, et al. 2000).

Na tentativa de viabilizar e classificar intensidades submáximas de esforço, alguns autores sugeriram três domínios de intensidade de exercício

(GAESSER e POOLE, 1996). Em artigo de revisão, essa classificação foi proposta de acordo com as respostas da cinética do VO_2 e lactato sanguíneo (GAESSER e POOLE, 1996). O domínio moderado de exercício, corresponde à carga de trabalho na qual o exercício não induz a um significativo acúmulo de lactato, ou seja, intensidades inferiores ao limiar de lactato (LL). O domínio de exercício pesado, inicia-se a partir do LL e tem seu limite superior na máxima fase estável de lactato (MSSLAC). Ou seja, intensidades de exercício onde ainda é possível ocorrer equilíbrio entre a produção e a remoção de lactato. Já o domínio severo corresponde a intensidades acima da MSSLAC. Nesta intensidade de esforço a concentração de lactato aumenta continuamente, superando a remoção e levando à fadiga em alguns minutos (XU e RHODES, 1999).

A tecnologia trouxe grandes evoluções no desenvolvimento das técnicas de análises das trocas gasosas, permitindo que o VO_2 fosse medido dinamicamente a cada respiração. Durante a transição repouso-exercício, foram identificadas e quantificadas três fases da cinética do VO_2 (WHIPP et al. 1982). A Figura 1 ilustra cada fase da cinética do VO_2 nos diferentes domínios de esforço e que podem ser assim descritas:

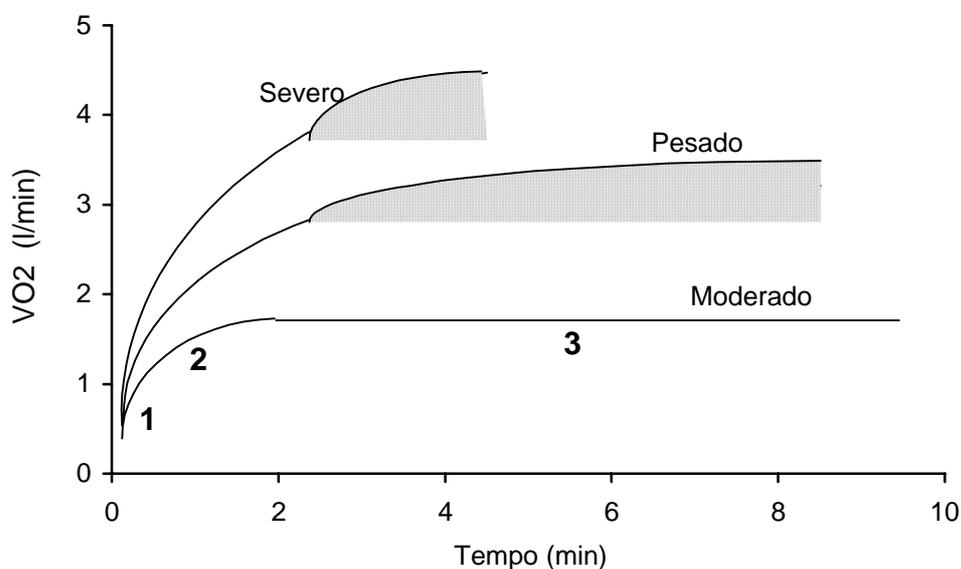


Figura 1 - Resposta do consumo de oxigênio (VO_2) ao exercício de cargas constantes nas diferentes intensidades de esforço. Os números 1, 2 e 3 indicam as três fases da cinética do VO_2 . As áreas demarcadas representam o componente lento do VO_2 . (Adaptado de GAESSER e POOLE, 1996).

Fase 1 - chamada de cardiodinâmica, representa os primeiros 15-25 segundos de exercício, onde sugere-se que o aumento do VO_2 seria num primeiro instante, devido ao aumento no trabalho cardíaco (WASSERMAN et al. 1974), e secundariamente às mudanças no conteúdo venoso de O_2 e nos estoques de gases pulmonares (BARTOW e MOLE, 1987). Entretanto, quando um marcador foi infundido na veia femoral durante um exercício submáximo (extensão de joelho), o mesmo apareceu após aproximadamente 10 s na artéria femoral. Este achado indica que durante o exercício, a transição do sangue da musculatura exercitada para o pulmão é consideravelmente menor que 10 s, e que parte desse aumento no VO_2 pulmonar nos primeiros 20 s de exercício, também representa o VO_2 da musculatura que esta realizando trabalho externo (BANGSBO, 2000). Como a questão ainda é muito

controversa, em alguns estudos esta fase é geralmente excluída nos ajustes exponenciais utilizados para descrever a cinética do VO_2 (GERBINO et al. 1996; HUGHSON e MORRISEY, 1982);

Fase 2 – Tem sido proposto que esta fase reflete as alterações no metabolismo oxidativo muscular, com o contínuo aumento do retorno venoso e maior extração de O_2 (HUGHSON et al. 2000). Nesta fase, dependendo do domínio analisado, o VO_2 pode apresentar um componente (primário) ou dois componentes (primário + lento). No domínio moderado (abaixo do LL), o VO_2 eleva-se rapidamente de maneira exponencial (componente primário) em direção a um estado estável, que em indivíduos normais é atingido em 80 – 110 segundos. Para o domínio pesado, o VO_2 eleva-se bi-exponencialmente, existindo o aparecimento de um segundo componente (componente lento), atrasando o atendimento do novo estado estável (15 a 20min), apresentando um valor que é maior do que aquele predito pela relação VO_2 - carga. Em exercícios no domínio severo (acima da MSSLAC e abaixo do $\text{VO}_{2\text{max}}$), a cinética se comporta também de maneira bi-exponencial, podendo levar o VO_2 ao seu valor máximo (BARSTOW, 1994). Para as intensidades correspondentes ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ ou acima deste, a cinética volta a apresentar um único componente, que se eleva exponencialmente até seus valores máximos;

Fase 3 – Esta fase pode ser atingida após aproximadamente 3 minutos do início do exercício e representa o estado estável do VO_2 , para intensidades onde ele é atingido. Neste momento o VO_2 possui uma estabilização em resposta a diversos mecanismos intrínsecos de controle de feedback (HUGHSON et al. 2001).

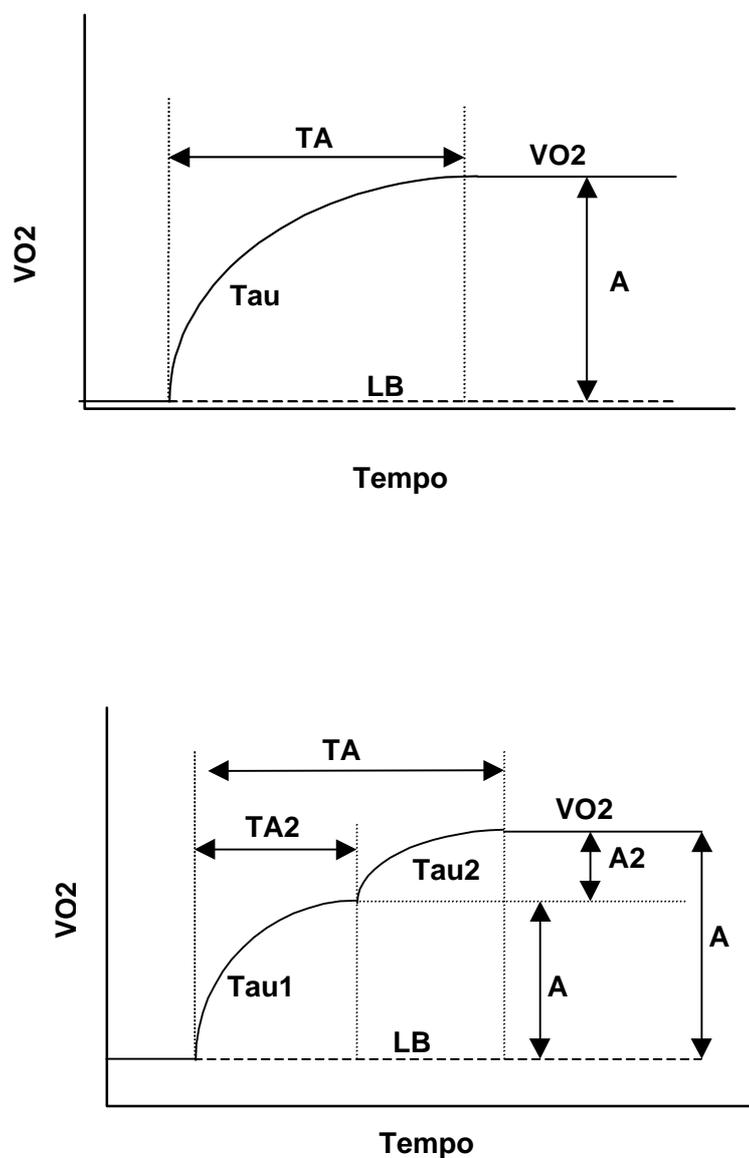


Figura 2 - Parâmetros utilizados para descrever a cinética do VO_2 , em um modelo mono-exponencial (painel superior) e bi-exponencial (painel inferior). **LB**, linha de base; **A**, amplitude do aumento no VO_2 ; **A1**, amplitude do componente primário (rápido); **A2**, amplitude do componente secundário (lento); **Tau**, constante tempo; **Tau1**, componente primário; **Tau2**, componente secundário; **TA**, tempo de atendimento do VO_2 ; **TA2**, tempo para o início do componente secundário.

Na análise da cinética do VO_2 , a maioria dos estudos ajustam a curva VO_2 x tempo de exercício, com modelos exponenciais, onde os parâmetros desta curva são utilizados para descrever e analisar os possíveis fatores (exercício prévio, intensidade, tipo de exercício, estado de treinamento, idade e patologias) que podem influenciar a cinética do VO_2 (Figura 2).

A constante tempo (τ) tem sido utilizada para representar a velocidade em que o VO_2 aumenta durante a transição repouso-exercício. Com relação à Fase I, somente Hebestreit et al. (1998) comparam e relatam que a constante tempo representativa desta fase, diminui significativamente com o aumento da intensidade de esforço ($22,5 \text{ s} \pm 6,3 \text{ s}$; $17,4 \text{ s} \pm 3,5 \text{ s}$ e $13,3 \pm 2,6 \text{ s}$ para 50%, 100% e 130% $\text{VO}_{2\text{máx}}$, respectivamente). Entretanto, a determinação da cinética do VO_2 durante a fase 1, na maioria dos estudos, não tem sido incluída nas análises (GERBINO et al. 1996; HOGHSON e MORRISEY, 1982).

À medida que se analisam cargas constantes de exercício mais intensas, particularmente quando a concentração de lactato é elevada, tem sido observado um aumento do tempo para que o estado estável do VO_2 seja atendido (CERRETELLI et al. 1979; WHIPP e WASSERMAN, 1972). Um grande número de estudos tem comparado a velocidade de ajuste da cinética do VO_2 entre exercício moderado e pesado. Entretanto, os resultados têm sido contraditórios, não se sabendo ao certo sobre a real diminuição da velocidade de ajuste do componente primário do VO_2 (Fase II) quando a intensidade de esforço passa de moderada para pesada. Para a Fase II, alguns estudos observaram que a constante tempo não varia significativamente com o aumento de carga dentro da faixa de esforço moderado (BARSTOW e MOLÉ, 1991;

BARSTOW et al. 1993; ÖZYENER et al. 2001). Além disso, em outro estudo, notificou-se que as constantes tempo para cargas inferiores ao LL eram significativamente menores quando comparadas às calculadas em cargas acima do LL (PATERSON e WHIPP, 1991). Em contraste e com intensidades de esforço bem mais elevadas, Hebestreit et al. (1998) encontraram valores significativamente inferiores de constante tempo (Fase II) para a carga de 130% do VO_2 max ($20,7 \pm 5,7$ s) em relação à de 50% ($26,4 \pm 4,1$ s) e em relação à 100% ($28,1 \pm 4,4$ s). Enfim, os dados da velocidade de ajuste do componente primário, entre intensidades moderadas e pesadas são contraditórios, e têm mostrado uma cinética mais lenta (KOPPO et al. 2002; PETERSON e WHIPP, 1991), mais rápida para esforço pesado (MacDONALD et al. 1997), ou até nenhuma mudança na velocidade de ajuste do VO_2 (BARSTOW e MOLE 1991; CARTER et al. 2000b; ÖZYENER et al. 2001). Parte destas contradições, pode ser explicada pelas diferenças existentes entre os estudos no modelo de ajuste da curva da cinética do VO_2 (mono, bi, ou tri exponencial), número de participantes, faixa etária, estado de treinamento aeróbio e/ou a um pequeno número de transições de exercício.

Estudos mais recentes, utilizando um número maior de participantes com nível de adaptação aeróbia mais homogênea e maior número de transições de exercício, indicam uma diminuição da velocidade de ajuste da cinética do componente primário do VO_2 quando a intensidade de exercício aumenta. Peterson e Whipp (1991), relataram que a cinética do componente primário do VO_2 durante exercício pesado, foi em média 9 segundos mais lenta comparado ao exercício moderado. Em outra investigação foi visto que nos

limites superiores da faixa de esforço moderado, houve lentidão de ajuste da cinética do componente primário do VO_2 (BRITAIN et al. 2001). Estes autores sugerem que a diminuição da velocidade da cinética do componente primário do VO_2 em intensidades mais elevadas, seja causada pelo maior recrutamento de fibras do tipo II (fibras com menor capacidade oxidativa), e que em exercício pesado, pode haver uma inadequada utilização de O_2 , resultando em aumento da acidose láctica para sustentar a demanda energética.

Outro parâmetro abordado na análise da cinética do VO_2 durante o exercício no ciclismo, é a relação VO_2 -carga ($\text{mLO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$), que tem sido utilizada para avaliar a eficiência da produção de energia em diferentes intensidade de esforço. Está bem documentado que dentro do domínio moderado de intensidade de exercício, a relação VO_2 -carga ($\text{mLO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$) durante a fase III, se comporta de modo linear, ou seja, nesta faixa de esforço, o aumento da intensidade de exercício pode gerar um aumento proporcional do VO_2 (LAMARRA et al. 1983; MILSUM, 1966). Esta linearidade está baseada na aparente manutenção da constante tempo dentro deste domínio (moderado). Na fase III da cinética, o gasto energético médio para esta faixa de intensidade, medida pelo ganho ($G = \Delta \text{VO}_2 / \Delta \text{WR}$, onde ΔVO_2 é a alteração no consumo de oxigênio e ΔWR é a mudança na razão de trabalho), é de $\sim 10 \text{ mL O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$, e para exercício pesado e severo este valor pode atingir $\sim 12-13 \text{ mL O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$ (HANSEN et al. 1987). Entretanto, a literatura tem sugerido que o ganho do componente primário (Fase II), para exercício moderado e pesado, possui o mesmo valor ($\sim 10 \text{ mL O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$) e que este ganho representa o valor antecipado do estado estável do VO_2 . Na Fase III

porém, durante o esforço pesado e severo, o ganho é modificado com o aparecimento do componente lento, elevando o gasto energético para um valor acima do predito na relação VO_2 -carga, calculado em intensidades abaixo do LL (BARSTOW e MOLÉ, 1991).

Barstow et al. (1996) sugerem que o gasto energético na relação VO_2 -carga em exercício pesado, pode estar relacionada com o nível de adaptação dos indivíduos testados. Mallory et al. (2002), testaram se o VO_{2max} teria ou não correlação com o valor da relação VO_2 -carga em diferentes intensidades na faixa moderada de esforço. Os resultados sugeriram que as diferenças intersujeitos na relação VO_2 -carga em exercício moderado (8,9 a 11,1 $mlO_2 \cdot min^{-1} \cdot W^{-1}$) estavam associadas com diferenças no valor do VO_{2max} ($r = 0,57$; $p < 0,01$). Com isso, para a faixa de intensidade moderada de esforço, o nível de adaptação medido pelo VO_{2max} , tem relação com a eficiência de produção de energia ($mlO_2 \cdot min^{-1} \cdot W^{-1}$). Entretanto, o VO_{2max} pode não ser o melhor índice para medir nível de adaptação crônica ao exercício (DENADAI, 2000).

Estudos que compararam as respostas da cinética do VO_2 entre exercício moderado e pesado, identificaram que a perda da linearidade da relação VO_2 -carga, ocorreu apenas em intensidades acima do domínio moderado (BARSTOW e MOLÉ, 1991). O aumento do VO_2 nestas intensidades, não obedece à dinâmica de um sistema linear (BARSTOW e MOLÉ, 1991). O gasto energético, quando o estado estável do VO_2 é obtido durante o exercício pesado, é superior aquele predito para a relação VO_2 -carga analisado durante o exercício moderado (HANSEN et al. 1987). Ou seja, é visto um aumento desproporcional do VO_2 quando o exercício é realizado acima do

LL, tornando a cinética mais complexa, com um componente adicional (lento) sendo desenvolvido após pouco tempo de exercício (2-3 minutos).

Acredita-se que o componente lento pode ser responsável por este aumento no gasto energético (de $\sim 10 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$ para $\sim 12-13 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$) no exercício acima do LL. Com o aumento da intensidade de exercício, o recrutamento de fibras do tipo II aumentam, observando-se uma menor economia (ou eficiência) energética por Watt gerado (VOLLESTAD e BLOM, 1985), pois estas fibras possuem um potencial oxidativo inferior aos daquelas do tipo I (WILLIS e JACKMAN, 1994). Segundo Crow e Kushmerick (1982), fibras do tipo II consomem mais O_2 do que fibras do tipo I em uma dada produção de força. Borrani et al. (2001) reportaram em estudo com eletromiografia, que houve coincidência entre o início do componente lento e o possível recrutamento de fibras do tipo II, em exercício de corrida a 95% VO_2max . Além disso, com o decorrer do exercício pesado e/ou severo em esforço de carga constante, as fibras musculares que entram em fadiga, não podendo gerar mais potência, consomem O_2 para manter seu metabolismo basal sem contribuir para a contração muscular, levando a um maior consumo de O_2 (HUGHSON et al. 2000). Contudo, o componente lento atrasa a estabilização do VO_2 , ou o leva a atingir seu valor máximo, quando em intensidades submáximas e próximas ao VO_2max .

Segundo Gaesser e Poole (1996), as possíveis causas do componente lento durante exercícios pesados incluem: aumento nos níveis de lactato; aumento nos níveis plasmáticos de adrenalina; aumento do trabalho ventilatório; elevação da temperatura corporal e; recrutamento de fibras do tipo

IIb (menos eficientes). Entretanto, em 1999, Xu e Rhodes relataram em artigo de revisão, que o aumento nos níveis de catecolaminas (4 a 6 vezes) pela infusão de epinefrina, e o aumento da [lac] sanguíneo, pela infusão de lactato, não acarretaram aumentos na amplitude do componente lento. Com isso, os autores sugeriram que a mudança no modelo de recrutamento de unidades motoras (temporal e espacial), e a menor ativação de fibras do tipo IIb, podem explicar a redução no componente lento, observada após o treinamento (XU e RHODES, 1999).

A contribuição do trabalho do músculo respiratório para o desenvolvimento do componente lento é um assunto com controvérsias. Gaesser e Poole (1996) notaram uma elevação na ventilação durante o desenvolvimento do componente lento e, naturalmente, sugeriram que a ventilação contribui para o desenvolvimento do componente lento. Em outro estudo, verificou-se que ~24% da amplitude do componente lento, era explicada pelo aumento no fluxo ventilatório (CANDAUI et al. 1998). Entretanto, em desacordo com os estudos anteriores, demonstrou-se que o maior aumento da ventilação, como consequência do ar inspirado em hipóxia (comparado à normoxia), durante a fase III da cinética do VO_2 , não estava associada com um aumento concomitante na amplitude do componente lento (ENGELLEN et al. 1996). Dentro deste contexto, Carra et al. (2003) notificaram que o aumento do trabalho respiratório (induzido por um aumento da resistência inspiratória), acarretou em acréscimo na amplitude do componente lento quando comparado a condição controle (sem resistência inspiratória). Sugerindo que o componente lento dos músculos dos membros se comportam da mesma forma para os

músculos respiratórios (CARRA et al. 2003). Entretanto, não se tem dados conclusivos sobre a real contribuição da ventilação sobre o componente lento em condições normais (XU e RHODES, 1999).

Quando as respostas do VO_2 durante a corrida foram comparadas com o ciclismo em sujeitos ativos, foi relatado que os parâmetros da cinética do VO_2 não foram diferentes, exceto para a amplitude do componente lento, que atingiu valores superiores para o ciclismo. As causas, segundo especulação dos autores, poderiam estar nas diferenças locomotoras das duas modalidades. No exercício de ciclismo haveria uma maior tensão intramuscular (contração isométrica) durante a pedalada. Isto causaria um maior recrutamento de fibras menos eficientes (tipo II), aumentando o gasto energético numa mesma carga relativa quando comparado com a corrida (CARTER et al. 2000a). Em outro estudo, com triatletas bem treinados, foi encontrado em exercício severo até a exaustão, o mesmo comportamento aumentado do componente lento para o ciclismo em comparação à corrida. Além disso, a diminuição da frequência de passada (corrida) e menor cadência (ciclismo), quando comparada à escolha livre (pelos atletas) da frequência dos movimentos, não alteraram a amplitude do componente lento ou o tempo de fadiga para a intensidade estudada (BILLAT et al. 1999). Entretanto, em 2003, Pringle e colaboradores relataram que a alta frequência de pedalada (115 rpm, comparada à 75 e 35 rpm) causou aumento na amplitude do componente lento. Já o ganho do componente primário, foi significativamente maior para 35 rpm ($10,6 \pm 0,3$; $9,5 \pm 0,2$; $8,9 \pm 0,4$ $\text{mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$; para 35, 75, 115 rpm, respectivamente) comparado a 75 e 115 rpm. Os autores sugerem que a

cadência da pedalada influencia a cinética do VO_2 durante exercício pesado numa mesma intensidade relativa, provavelmente pela alteração do padrão de recrutamento de unidades motoras.

Num estudo comparativo entre meninos (11 - 12 anos) e homens (21 - 36 anos), notificou-se que a cinética do VO_2 (Tau 1, componente primário) não foi diferente para o exercício moderado ($10,2 \pm 1$ vs $14,7 \pm 2,8$ s, meninos vs homens, respectivamente), mas significativamente mais rápida durante o exercício pesado para os meninos ($14,9 \pm 1,1$ versus $19,0 \pm 1,6$ s) do que para os homens. Entretanto o Tau ou MRT (que representa o tempo para atingir 63% do VO_2 em estado estável a partir do repouso) foi significativamente mais rápido para os meninos nas duas intensidades ($19,7 \pm 1,2$ versus $27,6 \pm 2,4$ s - moderado; $23,6 \pm 1,8$ versus $45,75 \pm 3,2$ s - pesado). Além disso, ainda neste estudo, Williams e colaboradores (2001) relataram no exercício pesado, um valor inferior do componente lento para os meninos, e sugeriram que a menor capacidade dos meninos gerarem ATP anaerobiamente (via fibras tipo II) pode ter levado a estes resultados.

Uma gama de estudos, mas nem todos (CARTER et al. 2000b), têm notificado uma cinética do VO_2 mais acelerada após um período de treinamento de endurance, tanto em indivíduos sedentários (HAGBERG et al. 1980; PHLLIPS et al. 1995; YOSHIDA et al. 1992), fisicamente ativos (BILLAT et al. 2002), em atletas moderadamente treinados (NORRIS e PETERSEN, 1998), em homens idosos não treinados (BABCOCK et al. 1994), bem como em indivíduos treinados (DEMARLE et al. 2001).

Uma grande parte dos estudos têm verificado os efeitos do treinamento após um período relativamente longo de tempo (5 a 10 semanas), onde as adaptações cardiovasculares e metabólicas já estão bem caracterizadas. Nestes estudos portanto, não é possível analisar a velocidade das adaptações da cinética do VO_2 , e também a dependência destas adaptações com os índices que refletem as modificações cardiovasculares e metabólicas determinadas pelo treinamento. Entretanto, Yoshida et al. (1992) analisaram as mudanças que ocorreram a cada dia de treinamento (30 min/dia, 6 vezes/semana, 4 semanas) na cinética do VO_2 em indivíduos sedentários, e encontraram uma correlação moderada ($r = - 0,76$) entre a cinética do VO_2 e o dia de treinamento. Os autores verificaram uma redução do lactato sanguíneo e um aumento na velocidade da cinética da frequência cardíaca e especularam que, tanto a capacidade oxidativa como o aumento na oferta de O_2 podem ter contribuído para a melhora da cinética do VO_2 .

Semelhante a estes resultados anteriores, Phillips et al. (1995) encontraram em indivíduos sedentários que treinaram durante 30 dias (2 horas/dia, 5 dias consecutivos / 1 dia de repouso), uma mudança na cinética do VO_2 já no 4^o dia de treinamento. Neste período, nem o indicador da potência aeróbia ($\text{VO}_{2\text{max}}$), nem um indicador da capacidade oxidativa muscular (citrato sintase), apresentaram melhora com o treinamento. Além disso, os autores não encontraram correlação entre as mudanças na cinética do VO_2 e na concentração de lactato sanguíneo. Após o 30^o dia de treinamento, a cinética do VO_2 continuou a apresentar melhora e o $\text{VO}_{2\text{max}}$ e a capacidade oxidativa aumentaram em relação aos níveis pré-treinamento. Os autores concluíram

que em curto prazo, a melhora na cinética do VO_2 pode se dar independentemente das mudanças na capacidade oxidativa e do $\text{VO}_{2\text{max}}$. No longo prazo (30 dias ou mais), a associação entre melhora da capacidade oxidativa e cinética do VO_2 ainda precisa ser mais bem determinada.

Dos estudos citados anteriormente, o único que não observou melhora da resposta da cinética do VO_2 frente a um programa de treinamento foi o de Carter et al. (2000b). Os autores analisaram um grupo de indivíduos ativos, e não encontraram mudanças na cinética VO_2 no exercício de corrida, após um período de 6 semanas de treino de endurance (20 - 30 min/dia, 3 - 5 vezes/semana). Os autores especularam que a ausência do efeito de treinamento, pode ter ocorrido em função da “elevada” aptidão aeróbia que os voluntários já apresentavam no início do protocolo, o que poderia ter diminuído a sensibilidade aos efeitos do treinamento (CARTER et al. 2000b).

2.2. Intervenções e Fatores Limitantes da cinética do VO_2

Tem sido dada muita atenção sobre os mecanismos que limitam/controlam o ajuste da fase primária da cinética do VO_2 . Neste âmbito, duas hipóteses têm sido sugeridas: Uma propõem que a taxa de aumento do VO_2 no início do exercício seja limitada pela capacidade de transporte de oxigênio para musculatura ativa; A outra hipótese, sugere que a limitação do aumento do VO_2 seria influenciada pela inércia do metabolismo oxidativo, ou seja, a habilidade da musculatura em utilizar o oxigênio. Grassi (2000) descreve que no exercício a $70\%\text{VO}_{2\text{max}}$, a possível falta de suprimento de O_2

(transporte de O_2 , difusão periférica de O_2 e má distribuição do fluxo sanguíneo) para a musculatura, não foi um fator limitante da cinética do VO_2 . E sugere que a inércia oxidativa poderia atrasar a entrada e utilização de O_2 na célula muscular, pois a difusão de O_2 (capilar - mitocôndria) seria determinada por um controle intrínseco do metabolismo oxidativo do músculo, o que poderia ser limitante para a cinética do componente primário do VO_2 . Segundo Grassi (2001), apenas durante as transições para exercícios de alta intensidade, o transporte de oxigênio teria um pequeno papel como limitador do VO_2 .

Através de métodos indiretos, como a comparação da constante tempo entre a posição supina e ortostática, alguns experimentos tentaram analisar a hipótese de que a limitação central poderia determinar o aumento gradual do VO_2 (HUGHSON et al. 1993; HUGHSON et al. 1991). Esses estudos, mostraram que a posição supina resultou em uma cinética do VO_2 mais lenta que a posição ortostática. Os autores sugeriram que o maior retorno venoso e conseqüente aumento do débito cardíaco, observado na posição supina, não favoreceram a cinética do VO_2 , ao contrário do que seria esperado, já que a oferta de O_2 para a musculatura exercitada estaria mais elevada nestas condições. Os autores explicam que a conseqüente redução do gradiente de pressão sanguínea, na posição supina, promoveu uma perfusão de O_2 inadequada para o músculo ativo, diminuindo a velocidade da cinética do VO_2 . Utilizando-se da aplicação da técnica LBNP (*lower body negative pressure*), Hughson et al. (1993) também analisaram a cinética do VO_2 na posição supina. Esta técnica promove aumento do gradiente de pressão entre o coração e a parte inferior do corpo. Os dados indicaram que não houve diferenças na

cinética do VO_2 entre a posição supina e ortostática com a utilização da LBNP. Essas descobertas não conseguiram comprovar que o transporte de O_2 seria um fator limitante para a cinética do VO_2 .

Estudos que manipularam a oferta dos gases inspirados, como o de Hughson e Kowalchuk (1995) que aumentaram a oferta de oxigênio (hiperóxia) ou o de Hayashi et al. (1999) em situação de hipercapnia (excesso de CO_2), não notificaram aceleração do VO_2 quando comparado à situação controle. Sabe-se que a restrição da oferta de O_2 , obtida por exemplo por hipóxia, pela administração de β - bloqueadores, ou pela execução de exercício de braço, com estes acima (versus abaixo) do nível do coração, resultam em diminuição na velocidade da cinética do VO_2 comparado a condições controle (TSCHAKOVSKY et al. 1999). Estas intervenções, apontadas por Tschakovsky et al (1999), sugerem algumas condições para que a oferta de O_2 , seja um fator limitante para a cinética do VO_2 . Entretanto, outras formas de intervenções em numerosos estudos tanto *in vitro* quanto *in vivo*, proporcionam grandes evidências para que o VO_2 seja limitado em nível muscular (BANGSBO, 2000; GRASSI et al. 1996, GRASSI et al. 1998a; GRASSI et al. 2000b). Grassi et al (1996) determinaram a cinética de ajuste do VO_2 e no fluxo sanguíneo da perna (Q_{perna}) em humanos exercitando-se durante transições de um exercício onde se pedala sem carga para outro de carga constante abaixo do limiar ventilatório (LV). Os autores demonstraram que Q_{perna} foi significativamente mais rápido durante os primeiros 10 a 15 s de transição, do que a cinética da diferença arterio-venosa de O_2 determinada através do membro exercitado, proporcionando evidências indiretas em favor da hipótese da inércia

metabólica. Porém, uma limitação deste estudo seria a presença de um espaço morto no volume de sangue entre o ponto onde a veia deixa a musculatura e o local onde a amostra venosa foi medida.

Em outro interessante estudo, durante um exercício de extensão de joelho, onde o fluxo sanguíneo foi aumentado antes do início da contração, a diferença entre a oferta de O_2 para a coxa (fluxo sanguíneo X conteúdo arterial de O_2) e o VO_2 foi de $0,27 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ antes do exercício, o qual aumentou para $0,37 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ após o início do exercício, sendo posteriormente reduzido a um nível constante após 15 s de exercício (BANGSBO, 2000). Isto indica que o suprimento de O_2 estava em excesso em relação à demanda na fase inicial do exercício e que a oferta de O_2 não estaria limitando o VO_2 da musculatura exercitada. E além do mais, nesses dois estudos (BANGSBO, 2000; GRASSI et al. 1996), não pode ser negligenciado o fato que uma não extração máxima de O_2 pela musculatura exercitada na fase inicial do exercício, possa ser decorrente de uma ineficiente distribuição de fluxo sanguíneo (hiperperfusão em áreas do músculo que estão inativas). De qualquer forma, estes e outros estudos concordam que no início do exercício, a ação da bomba muscular e a rápida retirada da estimulação parassimpática levam a um aumento mais rápido do fluxo sanguíneo da musculatura esquelética do que o VO_2 .

Já se tem conhecimento que há heterogeneidade espacial e temporal do fluxo sanguíneo (Q) dentro do músculo ativo. Entretanto, não se sabe se esta corresponde à mesma heterogeneidade de áreas de consumo de oxigênio durante as contrações (GRASSI, 2001). A relação de má distribuição entre fluxo sanguíneo e consumo de O_2 (Q/VO_2) dentro do músculo, poderia em tese,

influenciar a cinética do VO_2 , pois produziria áreas de anaerobiose. Considerando dentro do músculo os diferentes padrões de ativação e recrutamento das unidades motoras, assim como de “unidades microvasculares”, é provável existir uma má distribuição intramuscular do Q em relação ao VO_2 (GRASSI, 2001). Não é conhecido se a má distribuição do fluxo é um fator limitante da cinética do VO_2 em músculo contraindo fisiologicamente. Contudo, fica a necessidade de equipamentos mais adequados para melhor determinar a relação de distribuição Q/VO_2 (GRASSI, 2001).

Em outras intervenções e na tentativa de restringir algumas limitações, permitindo que relevantes variáveis fossem manipuladas e medidas diretamente, foram desenvolvidos estudos utilizando gastrocnêmios de cães contraindo-se *in situ* (GRASSI et al. 1998a; GRASSI et al. 1998b GRASSI et al. 2000b). Em todos esses estudos, o atraso no ajuste da oferta de O_2 foi eliminado mantendo o Q constante (semelhante ao grupo controle) e infusão de uma droga vasodilatadora (adenosina) para prevenir vasoconstrição. A difusão periférica de O_2 foi aumentada através do aumento da fração inspirada de O_2 ($\text{FIO}_2 = 1,00$) e pela administração de uma droga que atuava como um inibidor alostérico na ligação do O_2 com a hemoglobina, causando um deslocamento para direita na curva de dissociação entre hemoglobina – O_2 (GRASSI et al. 1998b). Todas essas manipulações foram feitas durante o período de transição do repouso para contrações tetânicas isométricas eletricamente induzidas, correspondendo a 60% (GRASSI et al. 1998a; GRASSI et al. 1998b) e 100% do VO_2max muscular (GRASSI et al. 2000b), onde uma possível má distribuição do fluxo sanguíneo pode ser significativamente reduzida ou

eliminada pela ativação elétrica sincronizada de todas as fibras, associado a um maior fluxo sanguíneo e a vasodilatação induzida pela adenosina. Como resultado, estes estudos demonstram que a eliminação de todos os atrasos na oferta de O_2 durante a transição não afetou a cinética do VO_2 muscular na menor intensidade. Porém, a cinética foi significativamente mais rápida na maior intensidade, sugerindo que para transições do repouso para intensidade submáxima (60%), a cinética do VO_2 muscular não é limitada pela oferta de O_2 para o músculo, embora para intensidades mais elevadas (VO_{2max}) a oferta de O_2 tenha um papel relativamente pequeno, mas significativo como um fator limitante para a cinética do VO_2 muscular.

A possível transferência desses dados para uma resposta semelhante em humanos pode ser complicada, já que a estimulação elétrica é obviamente diferente da assincronia e heterogeneidade do modelo de ativação das fibras em uma musculatura contraindo fisiologicamente. Além disso, a musculatura canina tem um fluxo sanguíneo de repouso que é 10 vezes maior que a do músculo humano e uma maior concentração de enzimas oxidativas. Portanto, dentro deste complexo modelo, deve ser reconhecido que alterações experimentais em qualquer um dos potenciais contribuidores para uma limitação, poderiam resultar em ajustes compensatórios nos outros possíveis contribuidores, ficando dessa forma difícil de separar um, como exclusivo fator limitante.

Foi comparado e demonstrado, entre pacientes e pessoas normais, que a cinética do VO_2 se comporta mais lentamente em sujeitos com problemas de obstrução crônica pulmonar, doença vascular periférica, diabetes do tipo II e

receptores de transplante de coração e coração-pulmão (GRASSI, 2000). É provável haver nestes pacientes algumas limitações na oferta de O_2 para o músculo durante transições de repouso-exercício. Entretanto, foi evidenciado também em alguns casos, a presença de defeitos intrínsecos no metabolismo oxidativo muscular. Assim nesta população, a lentidão da cinética do VO_2 poderia se enquadrar em muitos fatores relatados a ambos, oferta e utilização de O_2 , dependendo da anomalia (GRASSI, 2001).

Dentro da hipótese de inércia metabólica como fator limitante da cinética do VO_2 , a análise da relação entre VO_2 e a creatina fosfato (PCr), tem sido atualmente um dos principais pontos para o entendimento dos fatores que conduzem ao aumento gradual do VO_2 , pois se tem atribuído aos fosfatos o papel do principal regulador do metabolismo energético e em especial, do sistema oxidativo (GREENHAFF e TIMMONS, 1998). A PCr é de grande importância se considerada como uma força promotora da respiração muscular (WHIPP & MAHLER, 1980). Modelos matemáticos de regulação dos sistemas energéticos (BINZONI e CERRETELLI, 1994; MADER et al. 1983) apontam a importância da PCr, sendo que Stainsby (1986) descreve os mecanismos fisiológicos para essa dependência da cadeia respiratória pela hidrólise de PCr. De acordo com a teoria "*Creatine phosphaste Shuttle*", durante a contração muscular, a creatina (Cr) resultante da hidrólise de PCr na miofibrila, é fosforilada na mitocôndria, estimulando o aumento do consumo de O_2 (BESSMAN e CARPENTER, 1985). Além disso, a disponibilidade do grupo acetil dentro da mitocôndria, determinada pela atividade do complexo piruvato desidrogenase, foi apontada como um possível fator de limitação para a inércia

oxidativa (TIMMONS et al. 1998). Timmons et al. (1998) demonstraram que a ativação antecipada do complexo piruvato desidrogenase, por intervenção farmacológica, acarretou em economia de fosfocreatina (PCr) durante transições de exercício, sugerindo um menor déficit de O_2 e um ajuste mais rápido da cinética do VO_2 . Semelhantes constantes tempo entre o decréscimo [PCr] e o aumento do VO_2 , durante a Fase II da cinética, foram relatadas durante transições de repouso para exercício moderado (onde não ocorre componente lento e o VO_2 aumenta de forma linear com a intensidade de exercício) (ROSSITER et al. 1999). Grassi (2001) sugere sobre esta observação de semelhantes constantes tempo entre PCr e VO_2 , que é possível existir uma relação linear da respiração do músculo com a [PCr], durante o exercício moderado. Entretanto, mais estudos são necessários sobre a [PCr] e a cinética do VO_2 durante exercício pesado e severo, pois a cinética nestes domínios de intensidade se torna mais complexa, demonstrando tempos e amplitudes não lineares e até o momento, não é claro se isto está ou não associado com a não linearidade da cinética [PCr] (GRASSI, 2001). Contudo, a literatura disponível enfatiza que o comportamento do VO_2 é mais vinculado a aspectos metabólicos do que a cardiovasculares e que há indícios de que a cinética do VO_2 também pode indicar a cinética de PCr, ao menos para exercícios moderados.

2.3. Exercício prévio como forma de intervenção sobre a cinética do VO₂

Além das formas de intervenções que foram relatadas anteriormente, muitos investigadores têm analisado o efeito do exercício prévio sobre os parâmetros da cinética do VO₂ do exercício subsequente. Neste contexto, o exercício prévio representa um método importante para testar as hipóteses da limitação da oferta de O₂ e/ou da inércia oxidativa na cinética do VO₂. Nos estudos que analisaram este procedimento, a intensidade tanto do exercício prévio quanto do exercício subsequente tem demonstrado diferentes respostas sobre a cinética do VO₂ (BURNLEY et al. 2000; GERBINO et al. 1996).

Em 1970, di Prampero relatou uma adaptação mais rápida das trocas gasosas quando o exercício moderado foi executado após exercício prévio, do que quando comparado com aquele executado a partir do repouso. Em contraposição, Diamond et al. (1977) não encontram diferenças na cinética do VO₂ com e sem a realização do exercício prévio. Já Hoghson e Morrissey (1982) verificaram que a cinética do VO₂ foi mais lenta durante o exercício moderado, quando precedido por trabalho moderado do que realizado a partir do repouso. Hoghson e Morrissey (1982) apontaram que a discrepância das conclusões de di Prampero (1970) e Diamond et al. (1977), podem ter sido determinadas pela inclusão da fase 1 em suas análises, pois esta fase estaria fortemente dependente da condição pré-exercício (WHIPP et al. 1982). Entretanto, Hoghson e Morrissey (1982) excluíram esta fase de suas análises. Brittain et al. (2001) analisaram a cinética do VO₂ em transições de cargas de exercício (exercício prévio sem repouso para o exercício subsequente) dentro do

domínio moderado de esforço, em dois diferentes protocolos de exercício. Em um deles, os sujeitos pedalarão a partir de uma carga de 20W para uma razão de trabalho que correspondia a 90% da carga de LL (90%LL) (degrau 1→3) e em outro protocolo, onde as transições de cargas eram impostas sem intervalos de descanso. A primeira partia de 20W para uma carga de trabalho equivalente a 50% da diferença entre 20W e 90%LL (degrau 1→2); e deste para 90%LL (degrau 2→3). Os resultados deste estudo demonstraram que o tau da cinética do VO_2 foi significativamente mais lento na transição de 2→3 (40s) comparado com os degraus de 1→3 (32s) e de 1→2 (25s). Surpreendentemente o ganho também variou entre os três degraus ($G = 10,56$; $11,85$ e; $11,23 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{W}^{-1}$, para os degraus 1→2, 2→3, 1→3, respectivamente). Os autores concluem que seus resultados não responderam a uma dinâmica de sistema linear. Além disso, os mecanismos básicos que podem responder ao maior valor da tau e do ganho na transição das intensidades 2→3, pode ser atribuído a uma maior produção de lactato, distintas características no recrutamento de fibras e uma possível maior utilização de fosfocreatina durante esta transição, quando comparado com as outras (BRITTAİN et al. 2001).

Uma dos prováveis mecanismos que podem contribuir na limitação da oferta de O_2 no início do exercício, é a chamada hipótese de perfusão muscular (JONES et al. 2003). Esta representaria o quanto as fibras dos músculos ativados são capazes de receber o fluxo sanguíneo arterial, principalmente nas regiões onde há consumo de O_2 (demanda energética). A hipótese de limitação de perfusão implicaria que a cinética do componente primário seria acelerada

se a limitação de perfusão muscular fosse diminuída (BARSTOW et al. 1990). Whipp e Ward (1990) sugerem que no início do exercício pesado, a inadequada utilização de O_2 poderia ser conseqüente da limitação de perfusão muscular. Paterson e Whipp (1991) sugerem que a diminuição da velocidade da fase primária da cinética do VO_2 durante o exercício pesado quando comparado ao moderado, seria causado por uma inadequada utilização de O_2 pela musculatura exercitada, resultando numa acidose láctica para suprir a demanda do exercício. Assim, o exercício prévio intenso poderia ter um papel atenuador sobre a limitação de perfusão de O_2 para a musculatura ativa, pois produziria uma acidose residual para o exercício subseqüente, aumentando a oferta de O_2 para a musculatura ativada (GERBINO et al. 1996). Richardson et al. (2001) notificaram que durante o exercício de carga constante, localidades da musculatura em contração podem estar significativamente em sub ou supra perfusão, e Kalliokoski et al. (2000) demonstraram que a heterogeneidade da perfusão muscular também variou de músculo para músculo dependendo da predominância de tipos de fibras. Assim, é possível que a hiperemia causada pelo exercício prévio resulte numa maior homogeneidade do fluxo sanguíneo muscular no início do exercício subseqüente, limitando qualquer desequilíbrio na relação QO_2/VO_2 . Fibras do tipo II que possuem uma menor densidade capilar do que fibras do tipo I, podem ser mais sensíveis à melhora da perfusão. Uma maior disponibilidade de O_2 no início do exercício nestas fibras podem facilitar o consumo de O_2 e reduzir a produção de lactato (JONES et al. 2003).

Jones et al. (2003) relatam que a execução de exercício prévio acarreta importantes mudanças na produção energética muscular durante o exercício pesado subsequente, levando a uma maior contribuição aeróbia para suprir a demanda de ATP e uma consequente fosforilação em nível de substrato reduzida. Na análise da resposta total do corpo, o VO_2 pulmonar é mais elevado durante os primeiros minutos do esforço pesado após exercício prévio pesado, enquanto que a amplitude do componente lento, a [Lac] sanguíneo e a produção de CO_2 , são todos atenuados (JONES et al. 2003). Como sustentação ao que foi relatado anteriormente, notificou-se em dois estudos com protocolos similares, uma contribuição aeróbia maior (consequente do aumento de fluxo sanguíneo e da extração de oxigênio) durante o segundo esforço de extensão de joelho, e uma concomitante redução da contribuição anaeróbia, comparado ao primeiro esforço (BANGSBO et al. 2001; KRUSTRUP et al. 2001). A consistência dos fatos observados (aumento de fluxo sanguíneo e da extração de oxigênio) nos estudos de Bangsbo et al. (2001) e Krustrup et al. (2001), podem ser atribuídas ao elevado VO_2 pulmonar na fase primária e a redução do acúmulo de lactato sanguíneo durante o segundo exercício (JONES et al. 2003).

Gausche et al. (1989) relataram que o exercício prévio acima do LL (pesado), causou aceleração no ajuste da cinética do VO_2 no exercício subsequente pesado, devido à melhora da oferta de O_2 acarretada pela vasodilatação da musculatura e pelo efeito Bohr, o qual altera a curva de dissociação da HbO_2 para a direita. Sete anos depois, Gerbino et al. (1996) também encontraram uma resposta mais rápida de ajuste da cinética do VO_2

(constante de tempo “efetiva”; 34,4 versus 27,6 segundos) em exercícios no domínio pesado, somente após exercício prévio de alta intensidade (pesado), não observando o mesmo após exercício prévio de baixa intensidade (moderado). Foi relatado também, que não houve nenhuma melhora da velocidade da cinética para o exercício moderado mesmo após exercício prévio pesado ou moderado. Além desses achados, Gerbino et al. (1996) relataram também que ambos, a amplitude do componente lento e o déficit de O_2 (2,1 versus 1,65 L) foram reduzidos, e que no início do segundo esforço pesado havia uma acidose residual. Foi constatado também, um menor aumento da [Lac] e uma menor redução do pH no decorrer do exercício pesado após esforço prévio pesado. Os autores sugerem ainda que os resultados foram consistentes com a melhora da limitação de perfusão durante o exercício pesado como consequência da vasodilatação induzida pela acidose (GERBINO et al. 1996). Macdonald et al. (1997) apresentaram dados similares aos de Gerbino et al. (1996), pois tanto o exercício executado em hiperoxia (oferta de O_2 aumentada) quanto a execução de exercício prévio pesado, causaram uma aceleração da cinética do VO_2 (medida pelo tempo de resposta média) durante o esforço pesado, mas não durante o moderado. Entretanto, em relação à acidose muscular como um efeito metabólico para o exercício subsequente, Burnley et al. (2002) mensurando o pH através da técnica de inserção de agulha no músculo vasto lateral (o qual representa o valor médio do pH do fluido intra e extracelular), encontraram uma rápida recuperação do pH muscular após o exercício prévio (comparado aos valores do pH muscular medidos em repouso antes do primeiro exercício), apesar de notificarem a [Lac]

e pH sangüíneos alterados no mesmo período após exercício prévio. Os autores colocam que estes dados demonstram uma rápida recuperação do pH muscular e que os dados deste estudo fornecem evidências contra um possível papel do pH muscular *per se*, no efeito do exercício prévio sobre a cinética do VO_2 do esforço subsequente (BURNLEY et al. 2002).

O exercício prévio que produza um aumento significativo na [Lac], acarreta uma queda no pH sangüíneo (BURNLEY et al. 2002). Esta acidose aumentada juntamente com outros metabólitos vasoativos, podem colaborar para que haja uma vasodilatação na musculatura exercitada. Entretanto, apesar das indicações que a acidose metabólica esteja associada com alterações da resposta do VO_2 para exercício pesado após exercício prévio pesado, o efeito parece não ser causativo (JONES et al. 2003). Além do mais, Bangsbo et al. (2001) revelam que a razão de consumo-reposição de ATP e a eficiência mecânica não foram alteradas durante o exercício, apesar dos indícios de diferenças significantes no pH muscular.

Alguns estudos têm analisado o efeito do exercício prévio pesado com diferentes grupos musculares sobre a cinética do VO_2 (; BOHNERT et al. 1998; BURNLEY et al. 2002b; FUBUKA et al. 2002; KOPPO et al. 2003; PENDERGAST et al. 1983). Este procedimento possibilita que a musculatura não exercitada execute o esforço sem os efeitos da acidose e fadiga muscular local, podendo somente ser influenciado por resíduos metabólicos produzidos pelo exercício prévio com membros diferentes. Em 1983, pesquisadores analisaram a cinética do VO_2 em 6 situações diferentes de exercício com carga constante (ECO) em cicloergômetro de braço e perna (PENDERGAST et al.

1983). A duração do ECO e a intensidade para todas as situações foram de 5 minutos a 90% VO_2 max. Dois ECOs, um para cada grupo muscular, foram feitos a partir do repouso. Os outros quatro ECOs foram executados após 6 minutos de recuperação passiva de um exercício de alta intensidade. Destes quatro, dois (braços e pernas) com indução de um grupo muscular e o ECO com o mesmo grupo, e dois com ordem de membros invertida: braço (indução) – perna (ECO); perna (indução) – braço (ECO). Os autores encontraram que a alta concentração de lactato produzida pelo mesmo grupo muscular envolvido ou pela atividade de outros membros antes do exercício pesado, produziu para todas as situações de indução-ECO, um ajuste da cinética do VO_2 significativamente mais rápida (determinado como o tempo para atingir metade do valor do VO_2 entre a valor em repouso e VO_2 equivalente da carga) do que quando o ECO foi executado a partir do repouso (PENDERGAST et al. 1983). Em 1998, Bohnert et al. relataram que o exercício prévio de braço acelerou a cinética do VO_2 (resposta total) do membro inferior além de reduzir o componente lento. Porém, esta alteração não teve o mesmo grau quando o exercício prévio foi executado com os membros inferiores. Estudos mais recentes notificaram os mesmos resultados, entretanto a análise da cinética foi caracterizada separadamente (componente primário e lento) e foram executadas múltiplas transições para a mesma condição (BURNLEY et al. 2002b; FUBUKA et al. 2002; KOPPO et al. 2003). Os dados destes estudos revelaram que o exercício prévio com os braços não alterou a velocidade de ajuste do componente primário para as pernas, mas causou uma redução na amplitude do componente lento. Comparado à situação de exercício prévio e

subseqüente com o mesmo membro, o tamanho da redução da amplitude do componente lento foi 50% menor quando o exercício prévio foi executado com membros diferentes do exercício subseqüente. Jones et al. (2003) citam que indivíduos com maior porcentagem de fibras do tipo I no músculo vasto lateral demonstraram um efeito superior do exercício prévio com os braços, enquanto que a resposta do VO_2 em indivíduos com baixa porcentagem de fibras do tipo I tenderam a não serem afetados por exercício prévio com os braços.

As diferentes formas de ajuste da curva de cinética (mono, bi ou tri exponencial) e seus parâmetros devem ser comparados com cautela ou até mesmo vista com certa incompatibilidade. O modelo de ajuste monoexponencial da cinética do VO_2 , utilizado por Gerbino et al. (1996) e Macdonald et al. (1997), apresenta uma resposta total da cinética do VO_2 e não permite uma análise separada das três fases da cinética (cardiodinâmica, componente primário e lento). Na análise de ajuste monoexponencial, tem-se somente uma constante tempo do VO_2 (a constante tempo “efetiva”), que na análise de Gerbino et al. (1996) se iniciou após 25 segundos do começo do exercício, ou o MRT (tempo de resposta média) que se inicia a partir da linha de base do VO_2 e representa o tempo onde o VO_2 atinge 63% da resposta total do VO_2 frente ao exercício (MacDONALD et al. 1997). Já o ajuste triexponencial apresenta constantes tempo das três fases da cinética do VO_2 e pode fornecer uma visão mais detalhada da real consequência do exercício prévio sobre a cinética do VO_2 no esforço pesado subseqüente.

Num estudo mais recente, Burnley et al. (2000) para tentar sanar a questão se realmente o exercício prévio implicaria em alteração da velocidade

de ajuste do componente primário do VO_2 , analisando a curva de ajuste com dois (esforço moderado) e três componentes (exercício pesado), reproduziram o protocolo de Gerbino et al. (1996), e repetiram mais de uma vez as transições de exercício (moderado seguido de moderado; moderado seguido de pesado; pesado seguido de moderado e; pesado seguido de pesado) com 6 minutos de descanso entre o exercício prévio e o segundo esforço. O resultados demonstraram que o exercício prévio moderado ou pesado não afetaram a cinética do VO_2 para o exercício moderado. Já para o exercício pesado, somente com esforço prévio pesado, e concordando com os resultados dos estudos de Gerbino et al. (1996) e Macdonald et al. (1997), o MRT do VO_2 e a constante de tempo “efetiva” foram significativamente aceleradas ($65,2 \pm 4,1$ para $47,0 \pm 3,1$ s; $45,0 \pm 3,8$ para $35,3 \pm 2,3$, respectivamente). Entretanto, para a fase II (componente primário), nem a amplitude nem a constante tempo ($23,9 \pm 1,9$ para $25,3 \pm 2,9$ s) foram alteradas. Porém, o valor absoluto da amplitude do componente primário do VO_2 (VO_2 de linha de base + amplitude do componente primário) foi superior para o exercício subsequente ($2,79 \pm 0,17$ para $2,94 \pm 0,18$ l/min). Os autores sugerem que a aceleração da resposta total da cinética do VO_2 , foi atribuída à redução na amplitude do componente lento ($0,27 \pm 0,02$ para $0,10 \pm 0,02$ l/min). E concluem que é provável que o exercício prévio pesado otimize a oferta de O_2 para o músculo, devido ao efeito da acidose residual sobre o fluxo sanguíneo e sobre a curva de saturação da hemoglobina, e que esta maior disponibilidade de O_2 não produziu nenhum efeito sobre a velocidade da cinética do VO_2 nos primeiros minutos de

exercício, entretanto diminuiu a amplitude do componente lento e acelerou a resposta total (BURNLEY et al. 2000).

Estas descobertas anteriores, foram encontradas por outros autores (BEARDEN et al. 2001; FUBUKA et al. 2002; KOPPO e BOUCKAERT, 2000; SCHENERMANN et al. 2001), que também não notificaram alterações na velocidade da cinética do componente primário do VO_2 , apesar de uma significativa aceleração da resposta total do VO_2 . Os autores sugerem que este fenômeno (cinética total mais veloz) foi atribuído à uma redução na amplitude do componente lento. Ou seja, o abrandamento da limitação de perfusão pode ter ocorrido, resultando numa resposta total da cinética do VO_2 mais rápida, porém não foi observado nenhuma alteração da resposta da cinética primária do VO_2 .

Tem sido demonstrado em diversos estudos que a amplitude do componente primário da cinética do VO_2 atingi um valor superior quando o exercício pesado é precedido por exercício pesado ou por um *sprint* (BEARDEN e MOFFATT, 2001; BURNLEY et al. 2002; FUBUKA et al. 2002; KOPPO e BOUCKAERT, 2000; SCHENERMANN et al. 2001). Já para exercício moderado, este fenômeno não tem sido observado (BURNLEY et al. 2000). Nestes estudos foi demonstrado também que o valor da linha de base era maior no início do segundo exercício, atribuindo-se em parte a este fenômeno (VO_2 de linha de base aumentado), o aumento do componente primário da cinética. Entretanto, Burnley et al. (2001) estenderam a duração de recuperação de 6 minutos do protocolo de Gerbino et al. (1996) para 12 minutos, o suficiente para que o valor de linha de base retorna-se para o valor

de pré-exercício. E mesmo assim, foi encontrado para exercício pesado que ambos, o valor absoluto da amplitude do VO_2 (VO_2 de linha de base + a amplitude da fase II) e a amplitude da fase primária do VO_2 , obtiveram valores superiores e significativamente maiores no segundo esforço. Do mesmo modo, o componente lento foi correspondentemente reduzido e a constante tempo do componente primário não sofreu alteração significativa (BURNLEY et al. 2001; BURNLEY et al. 2002). Patel et al. (2001) estenderam mais ainda a recuperação entre os esforços (15 minutos) e também encontraram as mesmas alterações na cinética do VO_2 .

Alguns estudos têm notificado que o tipo de fibra muscular é significativamente relatado a algumas características da resposta do VO_2 frente ao exercício constante (BARSTOW et al. 1996; PRINGLE et al. 2003). Notificou-se que indivíduos com maior porcentagem de fibras do tipo I apresentaram um ganho do componente primário superior e amplitude do componente lento menor durante o exercício pesado (BARSTOW et al. 1996). Pringle et al. (2003) encontraram os mesmos resultados (correlação entre % de fibras do tipo I e amplitudes do componente primário e lento) para exercício pesado e severo. Tem sido proposto que mudanças no padrão de recrutamento de fibras no segundo exercício (comparado ao primeiro) estariam relacionadas com alterações nos componentes primário (mais elevado) e lento (menos elevado) observadas após exercício prévio (BURNLEY et al. 2000). Jones et al. (2003) especulam que o exercício prévio pesado poderia causar fadiga em algumas fibras recrutadas (possivelmente as prováveis fibras fadigadas seriam as do tipo II) e que estas não estariam totalmente recuperadas para o exercício

subseqüente, o que alteraria o padrão de recrutamento. Se as fibras do tipo II não são recrutadas no início do exercício subseqüente, uma maior quantidade de fibras do tipo I seria necessário para empregar o trabalho requerido. Além do mais, a eficiência das fibras do tipo I é relativamente reduzida em cargas altas comparado à baixas (HE Z-H et al. 2000), ou seja, o consumo de O_2 por Watt gerado se torna superior em cargas altas para estas fibras. Com isso, haveria, como conseqüência, aumento na amplitude e ganho do componente primário, já que mais fibras consumidoras de O_2 e com eficiência reduzida seriam recrutadas (JONES et al. 2003). Entretanto, não se sabe ao certo porque o recrutamento de mais fibras do tipo I aumentaria a amplitude do VO_2 na fase primária (JONES et al. 2003).

A amplitude do componente primário da cinética do VO_2 diante de um esforço é dependente da carga de trabalho imposta e da eficiência de trabalho de cada indivíduo (JONES et al. 2003). Até recentemente, era sugerido que o aumento do recrutamento das fibras do tipo II era responsável pela o excesso de requerimento de O_2 observado durante o componente lento. O exercício prévio vem demonstrando reduções na amplitude do componente lento e aumento da amplitude do componente primário. Neste contexto, Jones et al. (2003) colocam que o aumento da amplitude do componente primário no segundo exercício pesado poderia ser visto como uma perda na eficiência de trabalho em relação ao primeiro esforço pesado. Entretanto, esta perda poderia ser benéfica em termos de tolerância ao exercício, diminuindo o componente lento, a [Lac] e a produção de CO_2 .

Num estudo publicado em 2002, Burnley e colaboradores, analisaram o recrutamento de fibras musculares através da eletromiografia integrada (iEMG) em exercício pesado após exercício prévio pesado. Os autores observaram que no segundo esforço houve um aumento de 19% na análise eletromiográfica juntamente com um aumento da amplitude do componente primário do VO_2 . Não foi observado aumento na frequência média (MPF), a qual representa um recrutamento preferencial de unidades motoras com limiar superior, ou seja, fibras do tipo II. Os autores sugerem que estes dados podem indicar um aumento no recrutamento de todos os principais tipos de fibras musculares e não um recrutamento preferencial de fibras do tipo II. Neste estudo foram analisados os principais músculos utilizados no ciclismo (glúteo máximo, vasto lateral e vasto medial) e os valores do iEMG de cada músculo, foram somados para analisar a atividade muscular total utilizada no ciclismo, e não a atividade de um músculo em particular. O iEMG durante a parte inicial do segundo esforço pesado foi significativamente superior, comparado ao primeiro esforço, para os três músculos. Em contrapartida em 2001, Scheuermann et al., não observaram nenhuma alteração no recrutamento de fibras durante um protocolo com exercício menos intenso que o de Burnley et al. (2002) e com a análise do iEMG no final do exercício, diferindo do estudo de Burnley et al. (2002) que analisaram o iEMG do início ao fim do exercício. Daí residiriam as diferenças dos resultados dos estudos de Scheuermann et al. (2001) e Burnley et al. (2002). Outro dado interessante do estudo de Burnley et al. (2002), foi a análise do iEMG e do VO_2 nos três minutos finais do primeiro e segundo esforços. Nos três minutos finais do primeiro esforço notou-se um aumento no

iEMG juntamente com o aparecimento do componente lento e no segundo esforço houve um aumento inferior (comparado ao primeiro esforço) do iEMG e uma redução no componente lento (comparado ao primeiro esforço). Sugerindo um perfil similar da cinética do VO_2 e o iEMG nos dois esforços consecutivos. O fenômeno observado entre a iEMG e o componente lento e, a proporcionalidade de aumento de recrutamento de fibras (registrada pelo iEMG) no início do segundo exercício e o aumento da amplitude do componente primário do VO_2 dão consistência ao citado anteriormente (BURNLEY et al. 2002). Os autores ainda sugerem que, se uma quantidade maior de fibras é recrutada no início do segundo exercício para a mesma potência, a tensão gerada por cada fibra durante a contração muscular seria menor, resultando num menor distúrbio metabólico para o músculo como um todo, melhorando a tolerância ao exercício. A redução no aumento da [Lac] e menor componente lento no segundo exercício suportam esta interpretação (BURNLEY et al. 2002).

Como medida antecipatória, o aquecimento (exercício prévio) pode ser utilizado como forma de otimização da performance em exercício de alta intensidade. Entretanto, sugeriu-se que a depleção de glicogênio causada pelo exercício prévio de alta intensidade, pode ter sido a causa da perda do rendimento (PENDERGAST et al. 1983). Em contraposição, Wilkerson et al. (2003) notificaram que o exercício prévio pesado, mas não o exercício prévio moderado, alterou significativamente o tempo de exaustão em três intensidades de exercício: à 100% (melhora de 58%; de 386 para 613 s), à 110% (30%; de 218 para 284) e à 120% do VO_2 max (29%; de 139 para 180 s). Jones et al.

(2003) ressaltam que o exercício prévio pesado que eleva a [Lac] sangüínea para 2-3 mM, resulta em um aumento no tempo de exaustão durante exercício subsequente de alta intensidade. Exercício prévio pesado (mas não moderado) parece aumentar a contribuição aeróbia para o exercício subsequente de alta intensidade. Entretanto, as características do exercício prévio (tipo, duração do exercício, e tempo de recuperação) que otimize este efeito precisam ser mais bem determinadas (JONES et al. 2003).

No início da década de 80, Davis e Gass (1981) em um interessante estudo realizado em cicloergômetro, compararam as análises das trocas gasosas e da concentração de lactato sangüíneo entre dois exercícios incrementais que foram realizados sucessivamente (com exaustão média de 15 minutos e intervalo passivo de 5 min entre os testes). Conseqüentemente, o segundo teste incremental foi executado com acidez metabólica e com alta concentração de lactato. Os autores constataram que os dados do segundo exercício incremental mostraram aumento significativo na VE e a produção de CO₂ (VCO₂) permaneceu elevada até o 9^o minuto. O que mais chamou a atenção neste estudo, foi o VO₂ marcadamente aumentado nas primeiras cargas do segundo teste, onde estão localizadas as intensidades de esforço moderado. Contrapondo os resultados de Burnley et al. (2000) que não encontraram diferenças no VO₂ em exercício moderado após exercício prévio pesado. Entretanto, é importante ressaltar que o protocolo de Burnley et al. (2000) foi de exercício contínuo e exercício prévio pesado e o protocolo de Davis e Gass (1981) foi um exercício progressivo seguido de outro progressivo. Davis e Gass (1981) visualizaram que o aumento no VO₂ foi diminuindo

progressivamente (no sentido de se igualar ao valor do primeiro exercício progressivo) com o decorrer do exercício incremental, até que a partir do 14^o minuto, foram atingidos valores similares ao primeiro teste incremental. Este mesmo fenômeno foi encontrado no estudo de Schneider e Berwick (1998). Neste estudo o exercício supramáximo realizado previamente, determinou um aumento significativo no VO_2 até a carga de 120W durante um exercício incremental (incremento de 15W a cada 1 minuto) que terminava quando os sujeitos atingissem a carga de 165W. A VE permaneceu aumentada até 90W e os equivalentes ventilatórios também tiveram valores mais elevados (VE/VO_2 até 60W e VE/VCO_2 até 150W), enquanto que o VCO_2 não sofreu alteração em nenhum momento. Entretanto, em outro estudo com indução prévia à acidose e subsequente exercício incremental até a exaustão, os dados não demonstraram um VO_2 mais elevado para intensidades de exercício entre 60% e o VO_{2max} . Para este fato, os autores sugerem que, se após exercício com indução à acidose a recuperação for feita passivamente (MARGARIA et al. 1933) ou em baixas intensidades (DAVIS e GASS, 1981), possivelmente o VO_2 em excesso estaria sendo utilizado no metabolismo de lactato para a ressíntese de glicogênio. Entretanto, se a intensidade de recuperação é mais intensa (> 60% VO_{2max}), o lactato parece ser utilizado como substrato energético e não haveria um VO_2 em excesso para a formação de glicogênio (PENDERGAST et al. 1983).

3. JUSTIFICATIVA

No decorrer dos anos, muitos pesquisadores vêm tentando entender as respostas da cinética do VO_2 após um exercício prévio de alta intensidade. Gerbino et al. (1996) e Burnley et al. (2000) não encontraram alterações na cinética do VO_2 em exercício moderado precedido tanto com esforço moderado quanto pesado. Entretanto, Davis e Gass (1981) e Schneider e Berwick et al. (1998) em análise das trocas gasosas durante o exercício incremental, encontraram aumento significativo do VO_2 nas cargas iniciais após o exercício supramáximo. Enquanto que Pendergast et al. (1983) não encontraram este aumento do VO_2 em intensidades de exercício entre 60% e o VO_{2max} . Os autores do estudo anterior sugerem que nas cargas iniciais do exercício incremental, é possível que o VO_2 em excesso seja atribuído à ressíntese de glicogênio a partir do lactato e que este fenômeno poderia não acontecer em intensidades acima de 60% VO_{2max} onde o lactato seria utilizado como fonte energética para a contração muscular. Em nosso laboratório (LUCAS et al.

2003), verificamos recentemente que durante um teste incremental realizado 8 minutos após um exercício supramáximo (120% VO_2 max), existiu um aumento significativo do VO_2 nas primeiras cargas de trabalho, enquanto que em intensidades entre 60% e o VO_2 max não foi encontrada alteração do VO_2 , confirmando dados dos estudos citados anteriormente. Estes dados sugerem que a influência do exercício prévio sobre o VO_2 durante o exercício incremental só ocorreria em baixas intensidades de esforço (< 60% VO_2 max). Este modelo entretanto, não permite isolar um possível efeito do tempo do exercício, já que as intensidades mais elevadas sempre foram realizadas após dois ou três estágios, o que pode ter favorecido uma recuperação parcial pelo menos das condições metabólicas. Assim, os dados até o momento não permitem identificar se a normalização do VO_2 durante o exercício incremental é mais dependente do tempo e/ou da intensidade do exercício. Além do mais, nenhum estudo até o momento analisou o efeito do exercício prévio supramáximo sobre o esforço subsequente moderado de carga constante. Assim, pode ser interessante verificar se a influência do exercício supramáximo realizado previamente sobre a cinética do VO_2 , é mais dependente do tempo de exercício e/ou da intensidade na qual o exercício é realizado. Estes dados poderiam auxiliar no entendimento de algumas estratégias de aquecimento para provas de domínio aeróbio e também as eventuais influências do exercício prévio no rendimento do exercício subsequente durante as provas combinadas (duatlo e triatlo).

4. OBJETIVOS

Com base nos dados apresentados anteriormente, os objetivos deste estudo foram:

- a) analisar a influência do exercício supramáximo realizado previamente, sobre os parâmetros da cinética do VO_2 durante a transição repouso-exercício em duas intensidades diferentes (50 e 70% VO_2max).
- b) analisar a influência do exercício supramáximo realizado previamente, sobre as respostas cardiorrespiratórias e metabólicas durante o exercício de carga constante (50 e 70% VO_2max).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Sujeitos

Participaram deste estudo 15 ciclistas bem treinados do sexo masculino. Os sujeitos, após serem informados textual e verbalmente sobre os objetivos e a metodologia desse estudo, assinaram um termo de consentimento (Anexo 1). Os mesmos receberam a partir desse momento, um número de identificação, o qual foi usado para o delineamento experimental. O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências, UNESP, Campus de Rio Claro (CEP-IB-UNESP), protocolo 005246.

Toda e qualquer informação individual obtida durante esse estudo foi totalmente sigilosa entre o pesquisador e o voluntário, inclusive um relatório final, o qual foi entregue lacrado ao voluntário. Os indivíduos foram instruídos a não treinar exaustivamente no dia anterior à avaliação, e comparecer alimentados e hidratados no dia do teste.

5.2. Delineamento experimental

Cada sujeito realizou cinco testes com um espaço total entre eles de 7 a 10 dias. O primeiro teste foi o contínuo progressivo até a exaustão voluntária. Os outros 4 testes foram feitos com carga constante em duas diferentes intensidades e com ordem de execução aleatória. Dois destes testes foram executados a partir do repouso e os outros dois, com as mesmas intensidades dos anteriores, com indução prévia à acidose.

Nos testes foi utilizada uma bicicleta ergométrica com frenagem mecânica (MONARK) equipada com pedais de encaixe, selim e guidom semelhantes aos utilizados em bicicletas de estrada. A rotação foi mantida constante a 70 rpm durante todos os testes. Variáveis cardiorrespiratórias foram medidas utilizando um analisador de gases (Cosmed K4, Roma, Itália), coletando dados respiração a respiração. Antes de cada teste os sistemas de análise do O_2 e CO_2 foram calibrados usando o ar ambiente e um gás com concentrações conhecidas de O_2 e CO_2 , enquanto a turbina bi-direcional (medidor de fluxo) foi calibrada usando uma seringa de 3-L (Cosmed K4b², Roma, Itália). As amostras de sangue foram analisadas através de um analisador eletroquímico de lactato (YSL 2300 STAT), e a frequência cardíaca monitorada através de um frequencímetro (Polar X – Trainer plus).

5.3. Teste contínuo progressivo

O $VO_2\text{max}$, LAn, LL e a relação VO_2 -carga foram determinados a partir de um teste contínuo e incremental. O aquecimento foi de 5 minutos a 70 W. A carga inicial do teste foi de 105 W, com incrementos de 35 W a cada 3 minutos até a exaustão voluntária do sujeito. Foram coletadas amostras sanguíneas (25 μl) ao final de cada carga de trabalho. Para a análise dos dados cardiorrespiratórios deste teste, foi feito um alisamento com 5 pontos e médias dos ciclos respiratórios a cada 20 segundos. O $VO_2\text{max}$ foi o maior valor obtido durante o teste. O LAn foi encontrado através da interpolação linear (lactato x carga), onde foi considerado uma concentração fixa de lactato de 3,5 mM (HECK et al. 1985). O LL foi determinado através do ponto de inflexão da curva lactato x carga, a partir da linha de base (FARREL et al. 1979). A relação VO_2 -carga foi determinada utilizando-se uma regressão linear com os dados obtidos até o LL (HUGHSON et al. 2000).

5.4. Teste de carga constante

Os quatro testes de carga constante foram executados de forma aleatória e em dias separados. Semelhante ao primeiro teste, foi efetuado inicialmente um breve aquecimento de 5 minutos com carga constante a 70 W. Posteriormente, os sujeitos tiveram que pedalar durante 20 minutos em duas intensidades: 50 e 70% do $VO_2\text{max}$. Estas duas intensidades foram realizadas com e sem a execução prévia de um exercício supramáximo.

O exercício supramáximo foi realizado a 120% do $VO_2\text{max}$ (valor encontrado por regressão linear com os dados obtidos até o LL) com dois tiros de 1 minuto, sendo permitido 1 minuto de intervalo entre os mesmos. Nesta condição os testes de carga constante foram realizados após 8 minutos de recuperação passiva, sendo coletadas duas amostras de sangue (1^o e 7^o minuto).

Para todos os testes de carga constante, com e sem indução prévia à acidose, foram analisadas as trocas gasosas e a FC durante todo teste. As amostras de sangue (25 μl) foram coletadas a cada 5 minutos para análise da concentração de lactato. Nestes testes, os valores de VO_2 sofreram um alisamento de 5 pontos e foi obtida uma média das respirações a cada 5 segundos.

5.5. Determinação da cinética do VO_2 na transição repouso-exercício

Na determinação da cinética do VO_2 a fase 1 foi excluída das análises. A cinética do VO_2 foi descrita por uma função mono-exponencial, de acordo com a seguinte equação (BILLAT et al. 2000):

$$VO_2(t) = VO_{2\text{repouso}} + A \times (1 - e^{-t/\tau})$$

onde: $VO_2(t)$ é o consumo de oxigênio no tempo t ; $VO_{2\text{repouso}}$ é o consumo de oxigênio imediatamente antes do início do teste de carga constante; A é a amplitude do consumo de oxigênio ($VO_2 - VO_{2\text{repouso}}$) e; τ é a constante de tempo (BARSTOW e MOLE, 1991).

5.6. Determinação da cinética do VO₂ durante o exercício de carga constante

Através da multiplicação do τVO_2 x 4,6, foi encontrado o momento onde ocorreu a fase-estável do VO₂ (HILL et al. 2001). A partir deste ponto, os dados cardiorrespiratórios e metabólicos foram analisados a cada 5 minutos, até o final do exercício (20^o minuto).

5.7. Análise Estatística

Todos os dados foram expressos em média \pm DP. A ANOVA de dois caminhos para dados repetidos (condição x tempo) foi utilizada para a comparação dos valores cardiorrespiratórios. Foi adotado um nível de significância de $p \leq 0,05$.

6. RESULTADOS

As características físicas dos sujeitos analisados neste estudo estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios \pm DP da idade, massa corporal e estatura dos ciclistas. N = 14.

	Idade (anos)	Massa Corporal (kg)	Gordura Corporal (%)	Estatura (cm)
Média	21,4	68,1	9,4	174,9
DP	3,5	6,8	4,4	4,6

Os índices fisiológicos obtidos durante o protocolo incremental realizado na bicicleta ergométrica estão presentes na Tabela 2. Os valores de $VO_2\max$, $I\dot{V}O_2\max$, LL e LAn demonstram que os indivíduos analisados neste estudo podem ser caracterizados como bem-treinados (JEUKENDRUP et al., 2000).

Tabela 2 – Valores médios \pm DP do consumo máximo de oxigênio (VO_2max) absoluto ($l.min^{-1}$) e relativo ($ml/kg.min^{-1}$), intensidade onde foi atingido o consumo máximo de oxigênio (IVO_2max), limiar de lactato (LL) e limiar anaeróbio (LAn). N= 14.

	VO_2max ($l.min^{-1}$)	VO_2max ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	IVO_2max (W)	LL (W)	LAn (W)
Média	4,3	63,4	348,0	203,5	277,6
DP	0,4	6,5	34,0	14,1	31,2

A Tabela 3 mostra os parâmetros da cinética do VO_2 durante o exercício realizado a 50% e 70% VO_2max com e sem esforço prévio supramáximo. Os valores do VO_2 de linha de base (LB) foram significativamente maiores após o exercício prévio somente para o esforço realizado a 50% VO_2max . A amplitude parcial (A), com a exclusão da fase I, não apresentou diferenças significantes para as duas intensidades após o exercício prévio. Foi observado que o valor absoluto da amplitude do VO_2 (A + LB) foi significativamente maior para as duas intensidades após o exercício prévio. A constante de tempo do VO_2 (τVO_2) não obteve diferenças significantes entre as condições de esforço para as duas intensidades de exercício (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do consumo de oxigênio (VO_2) a 50 e 70 % VO_2max com e sem exercício prévio. LB - VO_2 de linha base; A - amplitude primária a partir de 15 segundos do início do exercício; A + LB - amplitude absoluta; τVO_2 - constante de tempo. N =14

	Sem exercício prévio				Com exercício prévio			
	LB (ml.min ⁻¹)	A (ml.min ⁻¹)	A +LB (ml.min ⁻¹)	τVO_2 (s)	LB (ml.min ⁻¹)	A (ml.min ⁻¹)	A+ LB (ml.min ⁻¹)	τVO_2 (s)
50% VO_2max	503,5 \pm 264,3	1625,9 \pm 263,6	2129,4 \pm 217,3	24,2 \pm 4,6	706,2 * \pm 257,2	1555,8 \pm 379,6	2264,9 * \pm 312,2	26,5 \pm 8,2
70% VO_2max	456,4 \pm 296,4	2513,7 \pm 371,5	2970,2 \pm 289,9	27,1 \pm 5,4	538,5 \pm 266,0	2609,8 \pm 355,8	3148,2 * \pm 318,7	24,6 \pm 6,4

* $p < 0,05$ entre as condições com e sem exercício prévio

As Figuras 3 (50% VO_2max) e 4 (70% VO_2max) mostram o comportamento do VO_2 para um dos sujeitos avaliados no presente estudo. Os dados estão sobrepostos nas duas figuras para as condições com e sem exercício prévio supramáximo. Na condição com exercício prévio, os três primeiros minutos representam os dois tiros supramáximos (120% VO_2max) entremeados por 1 min de intervalo. Após um repouso de 8 min, verifica-se o início do exercício de carga constante. Nota-se na condição com exercício prévio um valor de linha de base do VO_2 maior comparado à condição sem esforço prévio. A amplitude absoluta do VO_2 elevada na condição com esforço prévio, mostra o efeito do exercício supramáximo sobre o esforço subsequente. Nas figuras é possível visualizar ainda a diminuição da amplitude absoluta do

VO_2 em função do tempo de exercício (com esforço prévio), e sua normalização com a demanda energética real representada através do esforço sem exercício prévio.

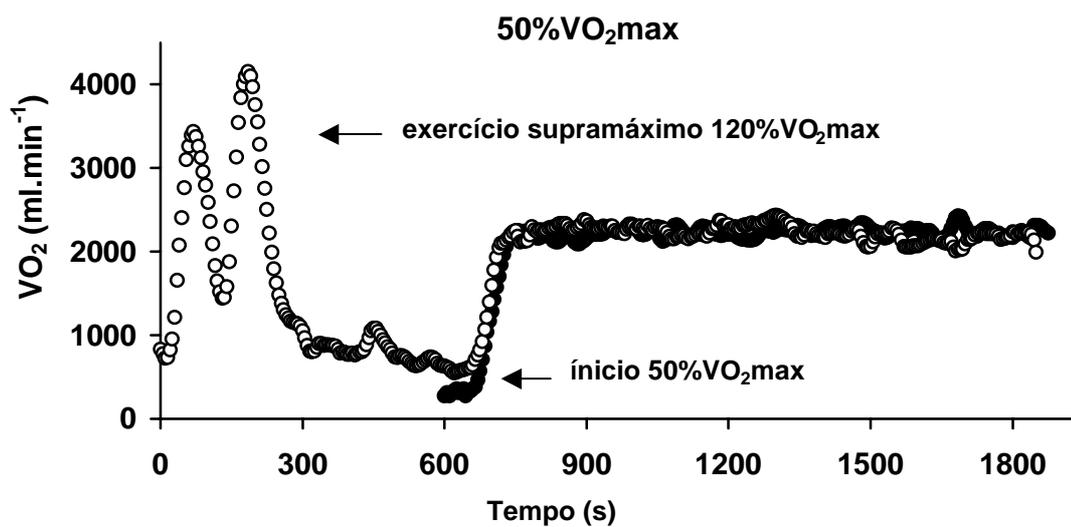


Figura 3 - Cinética do consumo de oxigênio (VO_2) em exercício contínuo a 50% VO_2 max sem (○) e com (●) exercício prévio supramáximo,. A seta superior indica os dois tiros (1 minuto) do exercício prévio a 120% VO_2 max e a seta inferior sinaliza o início do esforço a 50% VO_2 max para as duas condições. Valores do sujeito 1.

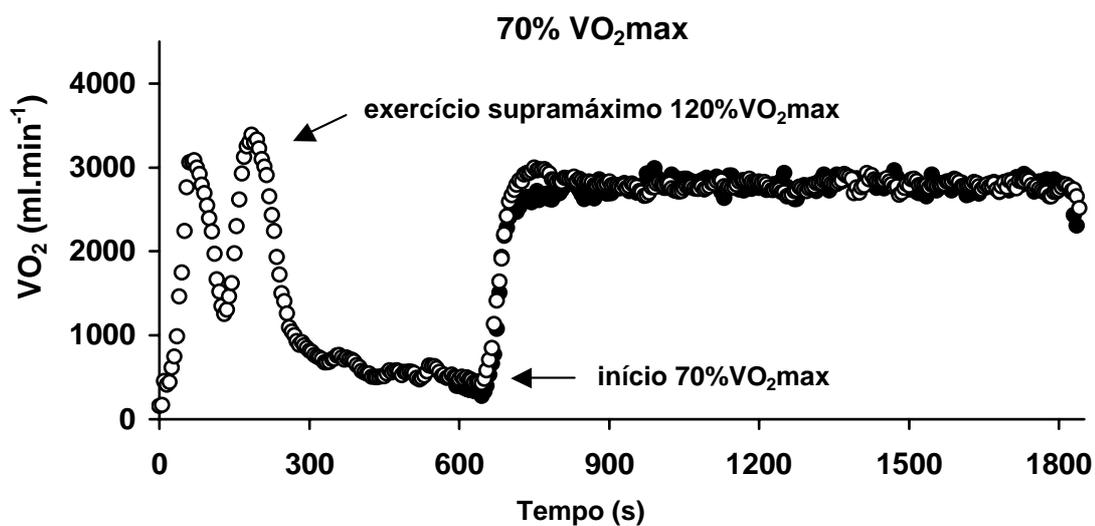


Figura 4 - Cinética do consumo de oxigênio (VO₂) em exercício contínuo a 70% VO₂max sem (○) e com (●) exercício prévio supramáximo. A seta superior indica os dois tiros (1 min) do exercício prévio a 120%VO₂max, e a seta inferior sinaliza o início do esforço a 70%VO₂max para as duas condições. Valores do sujeito 1.

A Tabela 4 mostra os valores de consumo de oxigênio, ventilação pulmonar e frequência cardíaca a 50%VO₂max com e sem exercício prévio supramáximo.

Tabela 4 - Valores médios \pm DP a cada 5 minutos dos parâmetros cardiorrespiratórios a 50%VO₂max com e sem exercício prévio. VO₂ – consumo de oxigênio; VE – ventilação pulmonar; FC – frequência cardíaca. N =14.

	50% VO ₂ max - sem exercício prévio				50% VO ₂ max - com exercício prévio			
	5 ^o min	10 ^o min	15 ^o min	20 ^o min	5 ^o min	10 ^o min	15 ^o min	20 ^o min
VO ₂ (ml.min ⁻¹)	2125 \pm 223	2134 \pm 245	2164 \pm 259	2140 \pm 241	2242 ^b \pm 311	2201 ^c \pm 272	2181 ^a \pm 266	2154 ^a \pm 274
VE (l.min ⁻¹)	49,0 \pm 4,16	51,0 \pm 4,9	51,7 ^a \pm 5,1	51,9 ^a \pm 5,2	53,5 ^b \pm 7,5	52,8 \pm 5,9	52,2 \pm 5,2	52,1 \pm 5,16
FC (bpm)	122 \pm 10	117 ^a \pm 31	124 ^a \pm 11	125 ^a \pm 11	129 ^b \pm 13	131 ^c \pm 13	130 ^d \pm 12	129 ^e \pm 11

^a p<0,05 em relação ao 5^o minuto dentro da mesma condição

^b p<0,05 em relação ao 5^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^c p<0,05 em relação ao 10^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^d p<0,05 em relação ao 15^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^e p<0,05 em relação ao 20^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

Os valores do VO₂ durante o exercício realizado a 50% VO₂max sem esforço prévio, não foram significativamente diferentes em função do tempo. Na condição com exercício prévio, o VO₂ foi significativamente menor no 15^o e 20^o min em relação ao 5^o min de exercício. Na comparação entre as condições (com e sem exercício prévio), o VO₂ foi significativamente maior no 5^o e 10^o min para o esforço com exercício prévio (Tabela 4 e Figura 3). A VE na condição sem esforço prévio, foi significativamente maior no 15^o e 20^o min em relação ao 5^o min. Na condição com exercício prévio, a VE não foi significamente

diferente em função do tempo de exercício. Na comparação entre as condições (com e sem exercício prévio), a VE só foi significativamente maior com o exercício prévio no 5^o min (Tabela 3). A FC na condição sem esforço prévio foi significativamente diferente no 5^o min em relação aos demais momentos do exercício. Na análise com exercício prévio, não houve diferença significativa em função do tempo de exercício. Na comparação entre as condições com e sem exercício prévio, a FC foi significativamente diferente em todos os momentos analisados (Tabela 3).

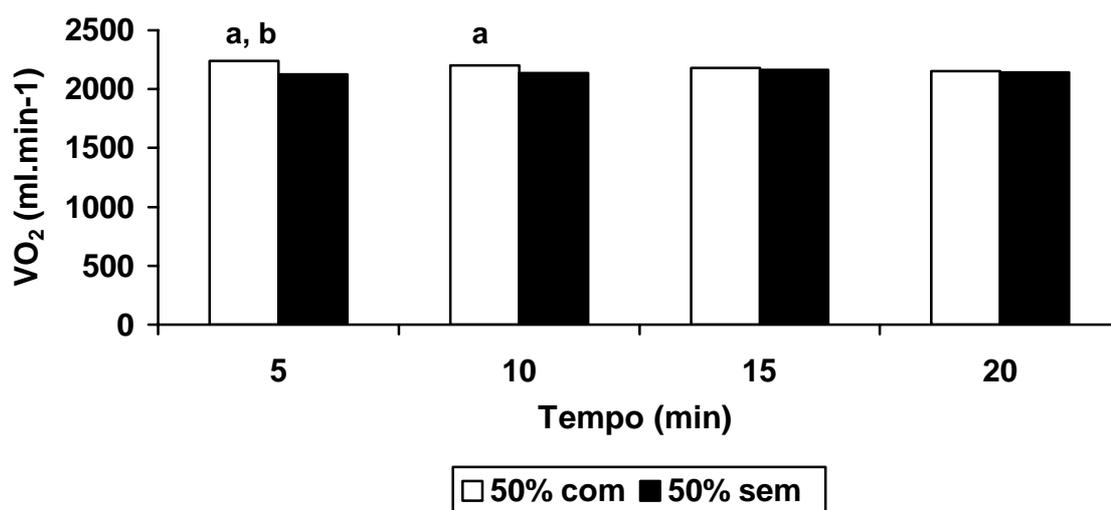


Figura 5 – Valores médios do consumo de oxigênio (VO_2) a cada 5 minutos de exercício realizado a $50\%VO_{2max}$, com e sem exercício prévio supramáximo. N =14.

^a $p < 0,05$ em relação à condição sem exercício prévio

^b $p < 0,05$ ao 15^o e 20^o min dentro da mesma condição

A Tabela 5 mostra os valores de consumo de oxigênio, ventilação pulmonar e frequência cardíaca a 70%VO₂max com e sem exercício prévio supramáximo.

Tabela 5 - Valores médios \pm DP a cada 5 minutos de parâmetros cardiorespiratórios a 70%VO₂max com e sem exercício prévio. VO₂ – consumo de oxigênio; VE – ventilação pulmonar; FC – frequência cardíaca. N =14.

	70% VO ₂ max - sem exercício prévio				70% VO ₂ max - com exercício prévio			
	5 ^o min	10 ^o min	15 ^o min	20 ^o min	5 ^o min	10 ^o min	15 ^o min	20 ^o min
VO ₂ (ml.min ⁻¹)	2973 \pm 299	3005 \pm 318	3118 \pm 319	3042 ^a \pm 336	3112 ^b \pm 308	3074 ^c \pm 295	3054 \pm 297	3056 \pm 316
VE (l.min ⁻¹)	70,3 \pm 6,8	71,8 \pm 6,5	72,6 \pm 6,8	72,9 ^a \pm 6,7	73,8 ^b \pm 8,3	73,9 \pm 6,8	74,3 \pm 6,2	74,4 \pm 6,5
FC (bpm)	145 \pm 10	150 ^{a f} \pm 10	151 ^a \pm 10	152 ^a \pm 11	151 ^b \pm 10	155 ^{a c} \pm 10	155 ^{a d} \pm 11	155 ^{a e} \pm 10

^a p<0,05 em relação ao 5^o minuto dentro da mesma condição

^b p<0,05 em relação ao 5^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^c p<0,05 em relação ao 10^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^d p<0,05 em relação ao 15^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^e p<0,05 em relação ao 20^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^f p<0,05 em relação ao 20^o minuto dentro da mesma condição

O VO₂ durante o exercício realizado a 70% VO₂max sem esforço prévio, foi significativamente maior somente no 20^o min em relação ao 5^o min. Na condição com exercício prévio, os valores de VO₂ não foram significativamente diferentes em função do tempo. Na comparação entre as condições (com e sem exercício prévio), o VO₂ foi significativamente maior no 5^o e 10^o min para o esforço com exercício prévio (Tabela 5 e Figura 4). A VE na condição sem esforço prévio, foi significativamente maior no 20^o min em relação ao 5^o min. Na condição com exercício prévio, a VE não foi significativamente diferente em

função do tempo de exercício. Na comparação entre as condições (com e sem exercício prévio), a VE só foi significativamente maior com o exercício prévio no 5^o min (Tabela 5). A FC foi significativamente diferente no 5^o min em relação aos demais momentos do exercício nas duas condições, com e sem esforço prévio. Na comparação entre as condições com e sem exercício prévio, a FC foi significativamente diferente em todos os momentos analisados (Tabela 5).

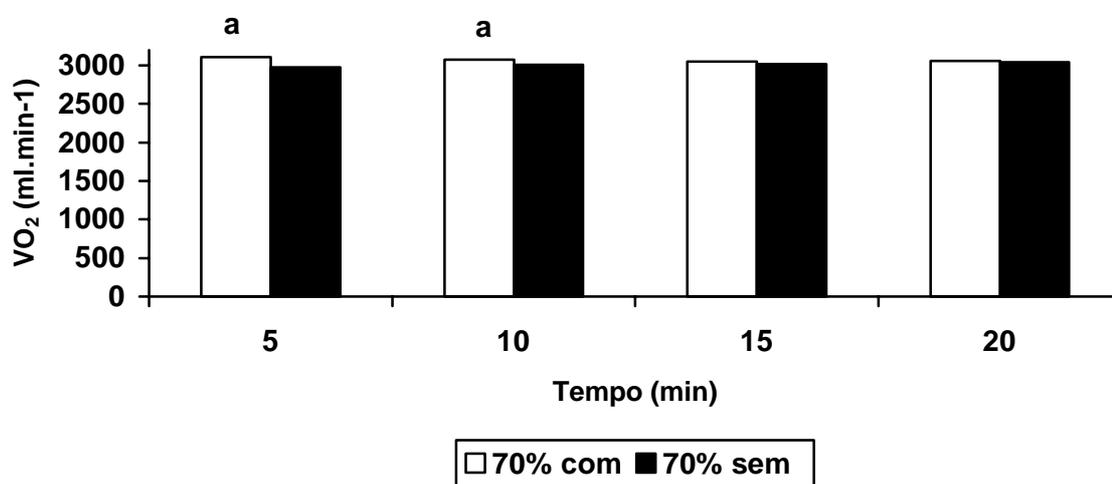


Figura 6 – Valores médios do consumo de oxigênio (VO_2) a cada 5 minutos de exercício realizado a 70% VO_{2max} com e sem exercício prévio supramáximo. N = 14.

^a $p < 0,05$ entre as condições com e sem exercício prévio.

A Tabela 6 mostra os valores de produção de gás carbônico, os equivalentes ventilatórios do gás carbônico e do oxigênio e o quociente respiratório a 50% VO_{2max} com e sem exercício prévio supramáximo.

Tabela 6 - Valores médios \pm DP a cada 5 minutos de parâmetros respiratórios a 50%VO₂max com e sem exercício prévio. VCO₂ – produção de gás carbônico; VE/VCO₂ – equivalente ventilatório do gás carbônico; VE/VO₂ – equivalente ventilatório do oxigênio; R – quociente respiratório. N =14.

	50% VO ₂ max - sem exercício prévio				50% VO ₂ max - com exercício prévio			
	5 ^o min	10 ^o min	15 ^o min	20 ^o min	5 ^o min	10 ^o min	15 ^o min	20 ^o min
VCO ₂ (ml.min ⁻¹)	1842 \pm 157	1896 ^a \pm 183	1916 ^a \pm 192	1906 ^a \pm 182	1727 ^b \pm 202	1818 ^{a c} \pm 188	1869 ^{a g} \pm 193	1886 ^{a g} \pm 202
VE/VCO ₂	25,6 \pm 1,5	25,9 \pm 1,4	26,0 \pm 1,4	26,2 \pm 1,5	30,0 ^b \pm 2,7	28,1 ^{a c} \pm 2,0	27,0 ^{a d g} \pm 1,7	26,7 ^{a g} \pm 1,7
VE/VO ₂	22,3 \pm 1,7	23,1 ^a \pm 1,5	23,1 ^a \pm 1,4	23,4 ^a \pm 1,5	23,0 ^b \pm 1,7	23,2 \pm 1,5	23,2 \pm 1,5	23,4 \pm 1,6
R	0,87 \pm 0,05	0,89 ^a \pm 0,05	0,88 ^a \pm 0,05	0,89 ^a \pm 0,05	0,77 ^b \pm 0,05	0,82 ^{a c} \pm 0,06	0,86 ^{a d g} \pm 0,05	0,87 ^{a g h} \pm 0,06

^a p<0,05 em relação ao 5^o minuto dentro da mesma condição

^b p<0,05 em relação ao 5^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^c p<0,05 em relação ao 10^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^d p<0,05 em relação ao 15^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^e p<0,05 em relação ao 20^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^f p<0,05 em relação ao 20^o minuto dentro da mesma condição

^g p<0,05 em relação ao 10^o minuto dentro da mesma condição

^h p<0,05 em relação ao 15^o minuto dentro da mesma condição

O VCO₂ foi significativamente menor no 5^o min em relação aos demais momentos do exercício para as duas condições (com e sem esforço prévio). Na condição com exercício prévio, os valores de VCO₂ no 15^o e 20^o min foram significativamente maiores em relação ao 10^o min. Na comparação entre as condições (com e sem esforço prévio), os valores de VCO₂ no 5^o e no 10^o min foram significativamente menores para o esforço com exercício prévio (Tabela

6). Na condição sem esforço prévio, o VE/VCO_2 não foi diferente em nenhum momento do exercício. Enquanto que na condição com esforço prévio, houve diferença significativa entre o 5^o min e os demais momentos do exercício, e entre o 10^o min em relação ao 15^o e 20^o min. Na comparação entre as condições, o VE/VCO_2 foi significativamente maior no 5^o, 10^o e 15^o min no esforço com exercício prévio (Tabela 6). Na condição sem esforço prévio, o VE/VO_2 foi significativamente menor no 5^o min em relação aos demais momentos do exercício. No exercício com esforço prévio, o VE/VO_2 não foi diferente em função do tempo. Já na comparação entre as condições, somente o 5^o min foi significativamente maior no esforço com exercício prévio (Tabela 6). O quociente respiratório (R) na condição sem exercício prévio, foi significativamente diferente no 5^o min em relação aos demais momentos do exercício. No esforço com exercício prévio, os valores do R foram significativamente diferentes entre todos os momentos do exercício (Tabela 6).

A Tabela 7 mostra os valores de produção de gás carbônico, os equivalentes ventilatórios do gás carbônico e do oxigênio e o quociente respiratório a 70% VO_2 max com e sem exercício prévio supramáximo.

Tabela 7 - Valores médios \pm DP a cada 5 minutos de parâmetros respiratórios a 70% VO_2max com e sem exercício prévio. VCO_2 – produção de gás carbônico; VE/VCO_2 – equivalente ventilatório do gás carbônico; VE/VO_2 – equivalente ventilatório do oxigênio; R – quociente respiratório. N =14.

	70% VO_2max - sem exercício prévio				70% VO_2max - com exercício prévio			
	5 ^o min	10 ^o min	15 ^o min	20 ^o min	5 ^o min	10 ^o min	15 ^o min	20 ^o min
VCO_2 ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	2673 ± 232	2712 ± 234	2710 ± 240	2727 $\pm 232,9$	2502 ^b ± 182	2644 ^{a c} ± 194	2711 ^{a g} ± 218	2736 ^{a g} ± 247
VE/VCO_2	25,5 $\pm 2,0$	25,6 $\pm 2,1$	25,9 $\pm 2,0$	25,9 $\pm 2,0$	28,8 ^b $\pm 2,4$	27,2 ^{a c} $\pm 2,0$	26,7 ^{a d} $\pm 1,8$	26,5 ^{a g} $\pm 1,9$
VE/VO_2	23,0 $\pm 2,1$	23,2 $\pm 2,1$	23,4 $\pm 2,1$	23,3 $\pm 2,1$	23,0 $\pm 1,8$	23,4 $\pm 2,0$	23,6 ^a $\pm 1,7$	23,6 ^a $\pm 1,7$
R	0,90 $\pm 0,05$	0,90 $\pm 0,05$	0,90 $\pm 0,05$	0,89 $\pm 0,05$	0,80 ^b $\pm 0,04$	0,86 ^{a c} $\pm 0,04$	0,88 ^{a g} $\pm 0,04$	0,89 ^{a g} $\pm 0,04$

^a $p < 0,05$ em relação ao 5^o minuto dentro da mesma condição

^b $p < 0,05$ em relação ao 5^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^c $p < 0,05$ em relação ao 10^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^d $p < 0,05$ em relação ao 15^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^e $p < 0,05$ em relação ao 20^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^f $p < 0,05$ em relação ao 20^o minuto dentro da mesma condição

^g $p < 0,05$ em relação ao 10^o minuto dentro da mesma condição

O VCO_2 na condição sem esforço prévio não foi significativamente diferente em função do tempo de exercício. Na condição com exercício prévio, os valores de VCO_2 no 5^o e 10^o min foram significativamente diferentes entre si e em relação aos demais momentos do exercício. Na comparação entre as condições, os valores de VCO_2 no 5^o e no 10^o min foram significativamente menores para o esforço com exercício prévio (Tabela 7). O VE/VCO_2 na condição sem esforço prévio, não foi diferente em nenhum momento do

exercício. Enquanto que na condição com esforço prévio, houve diferença significativa entre o 5^o min e os demais momentos do exercício, e entre o 10^o min em relação ao 20^o min. Na comparação entre as condições, o VE/VO₂ foi significativamente maior no 5^o, 10^o e 15^o min no esforço com exercício prévio (Tabela 7). Na condição sem esforço prévio, o VE/VO₂ não foi significativamente diferente em função do tempo de exercício. No exercício com esforço prévio, o VE/VO₂ foi significativamente maior no 10^o e 20^o min em relação ao 5^o min. Não houve diferença significativa na comparação entre as condições (Tabela 7). O R não foi significativamente diferente em função do tempo de exercício na condição sem exercício prévio. Na condição com exercício prévio, o R foi significativamente menor no 5^o min em relação aos demais momentos do exercício, e o 15^o e 20^o min foram significativamente maiores em relação ao 10^o min. Na comparação entre as condições, os valores do R no 5^o e 10^o min foram menores no esforço com exercício prévio (Tabela 7).

A Tabela 8 mostra as concentrações de lactato no 1^o e 7^o min durante o repouso após exercício prévio supramáximo (120%VO₂max) e a cada 5 minutos para todas as condições durante os exercícios submáximos (50 e 70 %VO₂max).

Tabela 8 – Valores médios \pm DP das concentrações de lactato ([Lac]) medidos a cada 5 minutos do exercício realizado a 50% e 70%VO₂max sem (50% e 70% sem) e com exercício prévio supramáximo (50 e 70% com). A = concentração de lactato 1 minuto após o exercício supramáximo; B = concentração de lactato 1 minuto antes do início do exercício submáximo de carga constante. N = 14.

	A	B	5 ^o min	10 ^o min	15 ^o min	20 ^o min
50% sem [Lac] mM	-	0,9 \pm 0,2	1,1 \pm 0,2	0,9 \pm 0,2	0,9 \pm 0,2	0,9 \pm 0,2
50% com [Lac] mM	8,2 \pm 1,9	9,4 ^d \pm 2,6	5,0 ^{a e} \pm 2,7	2,6 ^{a b f} \pm 1,4	1,6 ^{a b} \pm 0,7	1,2 ^{a b c} \pm 0,4
70% sem [Lac] mM	-	0,9 \pm 0,2	2,0 ^a \pm 0,6	1,8 ^a \pm 0,6	1,7 ^a \pm 0,7	1,7 ^a \pm 0,6
70% com [Lac] mM	7,0 \pm 1,9	8,5 ^d \pm 2,9	4,9 ^{a e} \pm 2,4	2,9 ^{a b} \pm 1,4	2,2 ^{a b} \pm 1,2	2,0 ^{a b} \pm 0,9

^a p<0,05 em relação a B dentro da mesma condição

^b p<0,05 em relação ao 5^o minuto dentro da mesma condição

^c p<0,05 em relação ao 10^o minuto dentro da mesma condição

^d p<0,05 em relação a B entre as condições com e sem esforço prévio

^e p<0,05 em relação ao 5^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

^f p<0,05 em relação ao 10^o minuto entre as condições com e sem esforço prévio

Na condição sem exercício prévio para as duas intensidades, as concentrações de lactato não foram diferentes em nenhum momento durante o exercício submáximo. Na condição com exercício prévio a 50%VO₂max, as concentrações de lactato 1 minuto antes do exercício submáximo e no 5^o min de exercício foram significativamente diferentes entre si e maiores do que os demais momentos do exercício (10^o, 15^o e 20^o min). A concentração de lactato no 10^o min foi significativamente maior do que no 20^o min. Na

comparação entre as condições, as concentrações de lactato 1 minuto antes do exercício submáximo, no 5^o e 10^o min foram significativamente maiores no esforço com exercício prévio (Tabela 8 e Figura 5). Na condição com exercício prévio a 70%VO₂max, as concentrações de lactato 1 minuto antes do exercício submáximo e no 5^o min de exercício foram significativamente diferentes entre si e maiores do que os demais momentos do exercício (10^o, 15^o e 20^o min). Na comparação entre as condições, as concentrações de lactato 1 minuto antes do exercício submáximo e no 5^o min foram maiores no esforço com exercício prévio (Tabela 8 e Figura 7).

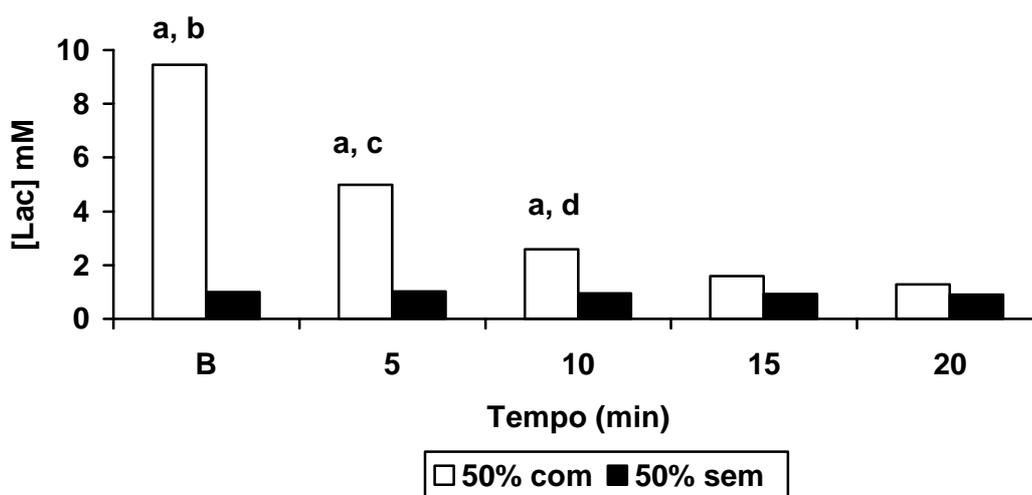


Figura 7 – Valores médios das concentrações de lactato a cada 5 minutos do exercício realizado a 50%VO₂max com e sem esforço prévio supramáximo. B = 1 minuto antes do início do exercício. N =14.

^a p<0,05 em relação às condições com e sem esforço prévio

^b p<0,05 em relação ao 5^o, 10^o, 15^o e 20^o minuto dentro da mesma condição

^c p<0,05 em relação ao 10^o, 15^o e 20^o minuto dentro da mesma condição

^d p<0,05 em relação ao 20^o minuto dentro da mesma condição

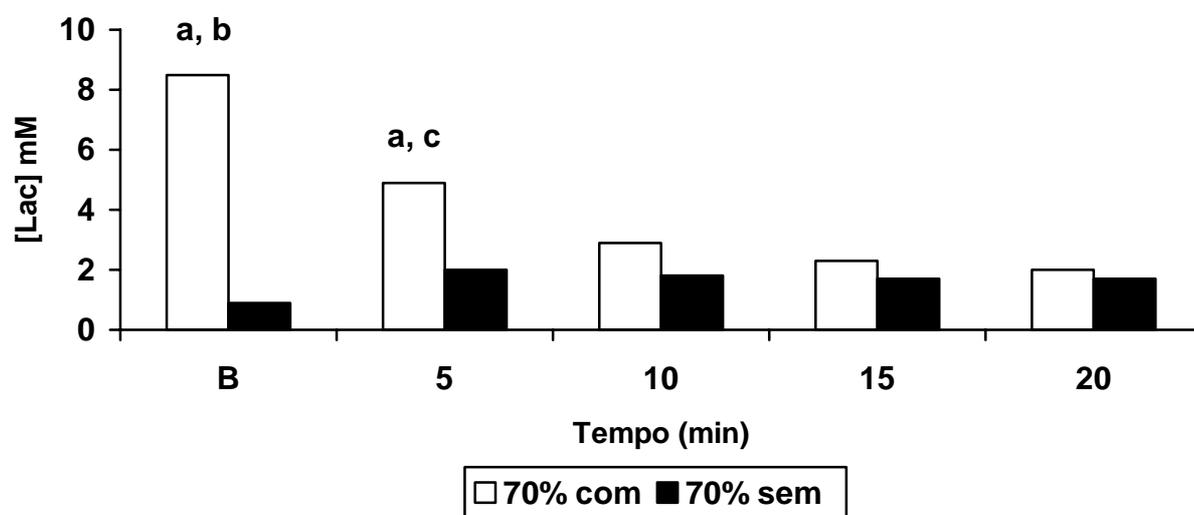


Figura 8 - Valores médios das concentrações de lactato a cada 5 minutos do exercício realizado a 70%VO₂max com e sem esforço prévio supramáximo. B = 1 minuto antes do início do exercício. N =14.

^a p<0,05 em relação às condições com e sem esforço prévio

^b p<0,05 em relação ao 5^o, 10^o, 15^o e 20^o minuto dentro da mesma condição

^c p<0,05 em relação ao 10^o, 15^o e 20^o minuto dentro da mesma condição

7. Discussão

No presente estudo verificou-se que o exercício prévio de alta intensidade determinou elevação do VO_2 nos primeiros minutos do exercício subsequente, independente da intensidade de esforço analisada (50 e 70 % VO_{2max}). Nestas duas intensidades de exercício, o aumento médio do VO_2 determinado pelo esforço prévio nos primeiros 5 minutos de exercício foi de 5%. No decorrer do exercício subsequente, a retomada do VO_2 ao valor do exercício sem esforço prévio, ocorreu no mesmo momento (10^o min) para as duas intensidades. Com isso, verifica-se que o tempo e não a intensidade do exercício, possa ser o fator de normalização do VO_2 , quando o exercício é precedido por um esforço supramáximo. É importante ressaltar que apesar do VO_2 ter atingido o valor “normal” no 10^o minuto para as duas intensidades, o mesmo não ocorreu com a resposta metabólica. A diminuição das concentrações de lactato em direção ao valor do esforço sem exercício prévio, foi mais rápida a 70% VO_{2max} (5^o minuto) do que a 50% VO_{2max} (10^o minuto).

Entretanto, a concentração de lactato é maior a 70%VO₂max, o que pode ter influenciado sua retomada aos valores do exercício com esforço prévio já no 5^o minuto. Na comparação entre as condições, com e sem exercício prévio, a velocidade de ajuste do VO₂ (τ VO₂) não sofreu alterações significantes para as duas intensidades.

No presente estudo, o exercício de carga constante possibilitou isolar os possíveis efeitos do tempo e da intensidade do exercício, verificando-se quais destes fatores poderia ser o mais importante para o retorno do VO₂ aos valores de controle. Esta possibilidade não está presente nos estudos com exercício subsequente incremental, onde a intensidade e o tempo de exercício aumentam simultaneamente. No estudo de Davis e Gass (1981) foi relatado que o exercício prévio incremental determinou aumento do VO₂ nos primeiros estágios de esforço até o 14^o minuto durante o exercício subsequente incremental (30W a cada minuto). Lucas et al. (2003) relataram que somente no primeiro estágio (3 primeiros minutos) do exercício incremental (35W a cada 3 minutos) após esforço prévio supramáximo, o VO₂ estava significativamente aumentado em relação ao controle. Schneider e Berwick et al. (1998) notificaram um VO₂ elevado nos primeiros 8 minutos do exercício incremental (15W a cada minuto) após esforço prévio supramáximo. Contudo, as diferenças entre os estudos anteriores com relação ao tempo de esforço em cada carga, taxa do incremento, estado de treinamento dos sujeitos avaliados (% do VO₂max e % da potência aeróbia máxima, onde ocorre o componente lento), podem ter influenciado o momento onde ocorreu a normalização do VO₂. Para ciclistas treinados e durante exercício de carga constante, os resultados do

presente estudo demonstram que a 50 e 70%VO₂max, o tempo foi o fator de estabilização do VO₂ e não a intensidade.

Similar ao encontrado por outros autores (BURNLEY et al. 2000; GERBINO et al. 1996; CARTER et al., 2004), foi observado no presente estudo que a cinética do VO₂ (τ VO₂) no domínio moderado não foi acelerada pelo exercício prévio. Alguns estudos (GERBINO et al. 1996; MacDONALD et al. 1997), mas nem todos (BURNLEY et al. 2000; BURNLEY et al. 2002), têm verificado que o exercício prévio realizado no domínio pesado acelerou significativamente a cinética do VO₂ durante o exercício subsequente realizado no mesmo domínio. Entretanto, é importante diferenciar a resposta total da cinética do VO₂ e a resposta da fase primária do VO₂. Assim sendo, diferenças nos modelos de ajustes da resposta do VO₂, podem explicar estes dados antagônicos na velocidade de ajuste da cinética do VO₂ durante o exercício pesado. Enquanto Gerbino et al. (1996) utilizaram um modelo monoexponencial ou resposta total (constante de tempo efetiva), Burnley et al. (2000) separaram a resposta do VO₂ em três componentes (cardiodinâmica, fase primária e fase lenta). Nestas condições, Burnley et al. (2000) verificaram que não houve aceleração da fase primária da cinética do VO₂ no exercício moderado e pesado após exercício pesado ou moderado. Ou seja, os possíveis mecanismos (limitação central e/ou periférica) da velocidade de ajuste da fase primária do VO₂ não foram alterados em função do exercício prévio pesado. Entretanto, na análise da resposta total (constante de tempo efetiva), igualmente ao relatado por Gerbino et al. (1996), Burnley et al. (2000) encontraram aceleração da cinética do VO₂ no exercício pesado somente após

exercício prévio pesado. Com isso, Burnley et al. (2000) concluem que é provável que a diminuição do componente lento acarretou o ajuste mais rápido da cinética total do VO_2 . No exercício moderado, o exercício prévio pesado ou moderado, não acelerou a resposta total da cinética do VO_2 (BURNLEY et al. 2000), concordando com os resultados de Gerbino et al. (1996). Assim, os resultados do presente estudo e dos anteriores (BURNLEY et al. 2000; GERBINO et al. 1996), mostram que independente da intensidade do exercício prévio (moderado, pesado ou supramáximo), a constante de tempo efetiva do VO_2 não é acelerada durante o exercício subsequente moderado.

O presente estudo e outros (BURNLEY et al. 2000; CARTER et al. 2004; GERBINO et al. 1996), não encontraram efeito do exercício prévio sobre a amplitude parcial (componente primário) do exercício subsequente moderado. Burnley et al. (2000) não citam diferenças na amplitude absoluta do VO_2 no esforço moderado após exercício prévio pesado. Neste estudo (BURNLEY et al. 2000), a análise da curva da cinética do VO_2 do exercício moderado foi bi-exponencial com separação da fase I e II. Se fossem somados os valores de linha de base do VO_2 , amplitude da fase I e II, notificar-se-ia que houve aumento no valor da amplitude absoluta do VO_2 de aproximadamente 100 $\text{mLO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$ (1,98 contra 2,08 $\text{LO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$, para o esforço moderado sem e com esforço prévio pesado, respectivamente), o que corresponde a um aumento de 5%. Em nosso estudo, o aumento médio de 6% na amplitude absoluta do VO_2 foi semelhante e estatisticamente significativa. Entretanto, no estudo de Burnley et al. (2000) não há informações se existe diferença significativa na amplitude

absoluta do VO_2 entre as condições no exercício moderado após exercício pesado.

No presente estudo, o aumento significativo da amplitude absoluta do VO_2 a $50\% \text{VO}_{2\text{max}}$ poderia ter sido causado pelo maior VO_2 de base ($202 \text{ mL O}_2 \cdot \text{min}^{-1}$ significativamente maior para o exercício com esforço prévio), pois quando este foi somado com a amplitude parcial do VO_2 (sem diferença significativa), notificou-se aumento significativo na amplitude absoluta do VO_2 ($135,5 \text{ mL O}_2 \cdot \text{min}^{-1}$ maior para a condição com esforço prévio). Entretanto, a $70\% \text{VO}_{2\text{max}}$ a diferença significativa na amplitude absoluta do VO_2 ($177,9 \text{ mL O}_2 \cdot \text{min}^{-1}$ maior para a condição com esforço prévio) parece não estar relacionada com o valor de linha de base do VO_2 , e nem à amplitude parcial do VO_2 , já que nenhuma das duas variáveis isoladamente, apresentou modificação significativa após o exercício prévio.

No exercício pesado, tem sido demonstrado em diversos estudos, que a amplitude absoluta e primária (amplitude parcial) da cinética do VO_2 atingem um valor superior quando o exercício pesado é precedido por exercício moderado ou por um *sprint* (BEARDEN e MOFFATT, 2001; FUBUKA et al., 2002; KOPPO e BOUCKAERT, 2000; SCHENERMANN et al., 2001). Nestes estudos, foi demonstrado que o valor da linha de base do VO_2 era maior no início do segundo exercício, atribuindo-se em parte a este fenômeno (VO_2 de linha de base aumentado), o aumento da amplitude absoluta e primária da cinética do VO_2 . Entretanto, outros pesquisadores estenderam a duração da recuperação de 6 minutos (BURNLEY et al. 2000; GERBINO et al. 1996), para 12 minutos (BURNLEY et al. 2002) e 15 minutos (PATEL et al. 2001), permitindo que o

valor de linha de base do VO_2 retorna-se ao valor pré-exercício. Apesar disto, foi encontrado para exercício pesado que ambos, o valor absoluto da amplitude do VO_2 (VO_2 de linha de base + a amplitude da fase II) e a amplitude da fase primária (parcial) do VO_2 , obtiveram valores significativamente maiores no segundo esforço (BURNLEY et al. 2002). Assim, o fator responsável pelo aumento da amplitude absoluta e primária provavelmente não foi o valor de linha de base do VO_2 (Burnley et al. 2002). Todos estudos relataram que o aumento das amplitudes da cinética do VO_2 (absoluta e primária) foram causadas pela diminuição da amplitude componente lento do VO_2 (BURNLEY et al. 2002; BURNLEY et al. 2000; BEARDEN e MOFFATT, 2001; FUBUKA et al. 2002; KOPPO e BOUCKAERT, 2000; PATEL et al. 2001; SCHENERMANN et al. 2001).

No presente estudo, o descanso de 8 minutos que separou o exercício prévio do exercício subsequente, não foi suficiente para a recuperação total do VO_2 de linha de base a $50\%\text{VO}_2\text{max}$, porém a $70\%\text{VO}_2\text{max}$ este tempo foi suficiente. O exercício prévio e o tempo de recuperação para o início do exercício subsequente foram os mesmos para as duas intensidades. A causa para esta discrepância pode estar na forma de ajuste da curva do VO_2 utilizada no presente estudo. No ajuste utilizado, a escolha do valor é realizada livremente pelo programa, podendo diferir muitas vezes do valor fisiológico da linha de base do VO_2 , o que pode ter alterado os resultados deste parâmetro do VO_2 entre as intensidades. Entretanto, é importante ressaltar que o valor absoluto do VO_2 não sofre influência do ajuste da curva utilizado no presente estudo.

Para os estudos onde foi encontrado que o exercício prévio (incremental ou supramáximo) elevou o VO_2 durante o exercício incremental subsequente, é possível que não tenha havido aumento da amplitude parcial do VO_2 e sim aumento da amplitude absoluta do VO_2 ou assintota (DAVIS e GASS 1981, LUCAS et al. 2003; SCHNEIDER e BERWICK et al. 1998). Após o exercício prévio para estes estudos, o VO_2 aumentado (assintota) no início da primeira carga e das cargas subsequentes pode estar ou não relacionado ao aumento do valor de linha de base do VO_2 (DAVIS e GASS 1981, LUCAS et al. 2003; SCHNEIDER e BERWICK et al. 1998). Nestes estudos (DAVIS e GASS 1981, LUCAS et al. 2003; SCHNEIDER e BERWICK et al. 1998) o modelo de exercício (incremental) e o protocolo utilizado não fornecem dados de parâmetros da cinética do VO_2 (DAVIS e GASS 1981, LUCAS et al. 2003; SCHNEIDER e BERWICK et al. 1998). É importante ressaltar que o valor da assintota representa o valor absoluto do VO_2 para a carga de trabalho (somatória do VO_2 de linha de base e da amplitude parcial do VO_2), e a amplitude parcial do VO_2 representa o quanto de O_2 é necessário para gerar o trabalho requerido. Assim um valor de linha de base do VO_2 alterado poderia influenciar diretamente o valor da assintota nestes estudos (DAVIS e GASS 1981, LUCAS et al. 2003; SCHNEIDER e BERWICK et al. 1998).

No presente estudo, para as duas intensidades, o VO_2 no início do exercício, representado pela amplitude absoluta do VO_2 , foi 6% maior no exercício com esforço prévio. Após o atendimento do estado estável (ver metodologia), a média do VO_2 durante os 5 minutos seguintes foi 5% maior para o exercício com esforço prévio, caindo esta diferença para 3% no 10^o

minuto. Este efeito no qual o VO_2 aumentado diminuiu no decorrer do exercício subsequente, poderia ser resultado do “pagamento” do débito de O_2 contraído após o exercício prévio supramáximo (McARDLE et al. 1998). Foram necessários 18 minutos (8 minutos em repouso + 10 minutos de exercício) para que o débito de O_2 fosse “pago”. O mais interessante foi que este momento de retorno do VO_2 aos valores de controle (sem exercício prévio), foi o mesmo nas duas intensidades (10⁰ minuto), independentemente se o VO_2 de linha de base estava (50% VO_2max) ou não (70% VO_2max) significativamente maior. Entretanto, como foi dito anteriormente, o ajuste utilizado pode ter influenciado estes dados de linha de base do VO_2 .

Entre os fatores que podem contribuir para o débito de O_2 , conhecido também como EPOC (consumo excessivo de oxigênio após exercício prévio) podemos citar: ressíntese de ATP e CP; reconversão de lactato para glicogênio (ciclo de Cori); oxidação de lactato; restaurar oxigênio no sangue; efeitos termogênicos da temperatura central elevada; efeitos termogênicos das catecolaminas; efeitos da FC e VE elevadas e/ou outros níveis elevados da função fisiológica (McARDLE et al. 1998).

Assim, não se pode descartar que é possível que o pagamento do débito de O_2 representado pelo tempo de esforço, sejam causados pelo EPOC, pelo menos a 50% VO_2max . Entretanto, pesquisadores num estudo mais recente relatam que o esforço prévio pesado, mesmo após restauração completa do VO_2 de base (ou pagamento do débito de O_2), acarreta elevação na amplitude absoluta do exercício pesado subsequente (BURNLEY et al. 2002). Os autores relatam que o aumento na amplitude absoluta do VO_2 pode estar ligada a

mudanças no recrutamento de fibras musculares (verificado por análise eletromiográfica) no início do exercício pesado (BURNLEY et al. 2002). Jones et al. (2003) especulam que o exercício prévio pesado poderia causar fadiga em algumas fibras recrutadas (possivelmente as fibras fadigadas seriam as do tipo II) e que estas não estariam totalmente recuperadas para o exercício subsequente, o que alteraria o padrão de recrutamento. Se as fibras do tipo II não são recrutadas no início do exercício subsequente, uma maior quantidade de fibras do tipo I seria necessário para realizar o trabalho requerido. Além do mais, a eficiência das fibras do tipo I é relativamente reduzida em cargas altas comparado à baixas (HE Z-H et al. 2000), ou seja, o consumo de O_2 por Watt gerado se torna superior em cargas altas para estas fibras. Com isso, haveria como consequência, aumento na amplitude e ganho do componente primário, já que mais fibras consumidoras de O_2 e com eficiência reduzida seriam recrutadas (JONES et al. 2003).

No presente estudo entretanto, mesmo que tenha existido um eventual aumento no recrutamento de fibras do tipo I a 50 e 70% VO_2 max após esforço prévio supramáximo, as fibras do tipo I parecem manter sua eficiência nestas intensidades baixas (HE Z-H et al. 2000). Até o momento, nenhum estudo utilizando análise eletromiográfica, verificou se existe alteração no recrutamento de fibras durante o exercício moderado após exercício prévio supramáximo. Assim, não se pode afirmar se houve ou não aumento no recrutamento de fibras do tipo I e se este aumento poderia elevar significativamente o VO_2 no exercício moderado após esforço prévio supramáximo.

No estudo de Burnley et al. (2002), os 12 minutos de recuperação entre os dois exercícios, foram suficientes para restabelecer o VO_2 de base após exercício pesado. Entretanto, de acordo com McArdle et al. (1998), quanto mais intenso é o exercício mais tempo é necessário para que o VO_2 de linha de base retorne aos valores de repouso. Em nosso estudo, o exercício prévio foi executado numa intensidade bem mais elevada do que no estudo de Burnley et al. (2002). Assim, para o presente estudo, a falta de dados disponíveis inviabiliza especular qual efeito, pagamento de débito de O_2 e/ou alteração de recrutamento de fibras, estaria ocorrendo no início e nos primeiros 10 minutos do exercício.

Outro aspecto que deve ser comentado, é o fato do exercício a $70\%VO_{2max}$ se aproximar mais do domínio de intensidade pesado de esforço do que a $50\%VO_{2max}$. Não se sabe se este fato poderia ou não dar mais ou menos ênfase aos fatores (pagamento de débito de O_2 e/ou alteração de recrutamento de fibras) que podem acarretar o efeito de aumento do VO_2 no exercício subsequente. A literatura relata que o domínio de esforço moderado termina no LL (GAESSER e POOLE, 1996) e que acima desta intensidade existe a presença de componente lento. No presente estudo, todos os sujeitos apresentaram o ponto de inflexão do lactato (LL) igual ou acima de $70\%VO_{2max}$, o que garante que o exercício foi executado no domínio moderado de esforço. Além do mais, nenhum sujeito apresentou componente lento a $70\%VO_{2max}$.

Recentemente, Krstrup et al. (2004) analisaram se um exercício prévio (3 horas a $40\%VO_{2max}$) que pode determinar uma grande depleção de

glicogênio em fibras de contração lenta, acarretaria alterações no recrutamento de fibras musculares durante um exercício subsequente moderado e conseqüentemente, modificações na cinética do VO_2 . Os autores analisaram três diferentes grupos. O grupo controle (CON), que ao final de 15 horas em jejum (final da tarde do dia anterior até a manhã seguinte), executou um exercício de carga constante durante 20 minutos a $50\%VO_{2max}$. O grupo depletado (CHO-DEP) executou um exercício prévio de 3 horas ($40\%VO_{2max}$) na tarde do dia anterior, cumpriu o mesmo período em jejum do grupo CON (15 horas) e depois executou o esforço constante de 20 minutos a $50\%VO_{2max}$. Já o terceiro grupo (CHO-RE), fez o mesmo exercício prévio do grupo CHO-DEP no dia anterior, ingerindo entretanto, uma dieta rica em carboidrato nas 15 horas que separavam o exercício prévio e o exercício subsequente. A análise histológica demonstrou que menos de 1% das fibras musculares estavam totalmente depletadas nos grupos CON e CHO-RE. No grupo CHO-DEP, a quantidade de glicogênio das fibras de contração lenta estava três vezes menor do que no grupo CON. A concentração de glicogênio nas fibras de contração rápida estava 2,4 vezes maior do que a concentração de glicogênio das fibras de contração lenta no grupo CHO-DEP. Enquanto que para o grupo CON não houve diferença na quantidade de glicogênio entre fibras lentas e rápidas. A cinética do VO_2 (τVO_2) durante o exercício subsequente foi similar entre os grupos CON e CHO-RE. Entretanto, no grupo CHO-DEP o VO_2 foi maior do que no grupo CON do 2º ao 20º minuto de exercício, aumentando progressivamente no decorrer do tempo (8 % maior no final do exercício). Para o CHO-DEP, foi encontrado que no exercício subsequente (20 minutos a

50%VO₂max) a quantidade de glicogênio das fibras do tipo I quase não se alterou. Entretanto, diminuiu para as fibras do tipo II, confirmando fisiologicamente que houve alteração no padrão de recrutamento de fibras. Não houve diferença entre os grupos CON e CHO-DEP para a constante de tempo do componente primário do VO₂, entretanto a amplitude do componente rápido (parcial) foi superior para CHO-DEP comparado ao grupo CON ($1,59 \pm 0,06$ versus $1,51 \pm 0,05$ L.min⁻¹). O mais interessante neste estudo, foi a presença de componente lento no grupo CHO-DEP. Os autores concluíram que a depleção prévia de glicogênio das fibras do tipo I eleva o gasto energético total e causa componente lento em exercício moderado (sem acúmulo de lactato sanguíneo e muscular). Além do mais, o grupo CON não apresentou componente lento, apesar da ventilação pulmonar, FC, temperatura muscular e catecolaminas plasmáticas terem aumentado no decorrer do exercício. Mais ainda, estes resultados sugerem que o gasto energético é maior em fibras do tipo II do que em fibras do tipo I durante o exercício em humanos, e substancia que o recrutamento de fibras do tipo II tem um importante papel no desenvolvimento do componente lento (KRUSTRUP et al. 2004).

Contrariando os resultados de Krustup et al. (2004), em outro estudo com o mesmo objetivo de analisar o efeito da depleção de glicogênio e padrão de recrutamento de fibras musculares, Carter et al. (2004) não relataram nenhuma influência do exercício prévio de alta intensidade (10 x 1 minuto a 120%VO₂max com 5 minutos de repouso entre os tiros) e nem de baixa intensidade (3 horas a 30 %VO₂max) sobre a cinética do VO₂ em exercício moderado (6 minutos a 80 %LL). O tempo de repouso entre o exercício prévio

(depleção de glicogênio) e o subsequente foi de pelo menos uma hora. Somente a FC (foi mais elevada ao final do esforço) e o quociente respiratório (diminuiu no final do exercício) sofreram alterações após as duas formas de exercício prévio para o esforço moderado realizado subsequentemente. Quando o exercício pesado foi realizado subsequentemente, somente a depleção das fibras do tipo II (exercício prévio de alta intensidade) foi capaz de alterar a cinética do VO_2 . Foi relatado aumento da amplitude do componente primário e diminuição do componente lento no esforço pesado. A FC e o quociente respiratório sofreram alterações para as duas formas de depleção de glicogênio muscular (aumento da FC e diminuição do quociente respiratório) durante o exercício pesado. Carter et al. (2004) concluíram que o aumento da amplitude do componente primário e a diminuição do componente lento, após a depleção de glicogênio das fibras do tipo II, suportam a hipótese de que o padrão de recrutamento de fibras influencia a resposta do VO_2 durante o exercício pesado (e não o moderado). É possível que as diferenças nos protocolos entre os estudos de Krustup et al. (2004) e Carter et al. (2004), determinaram as diferenças nos resultados para o exercício moderado. O tempo de recuperação entre a depleção e o exercício subsequente (15 horas e 1 hora, respectivamente), a duração do esforço analisado (20 minutos e 6 minutos, respectivamente), a intensidade do exercício (50 % VO_{2max} e 80 %LL, respectivamente) e a intensidade do exercício prévio (40 % VO_{2max} e 30 % VO_{2max} , respectivamente) podem ter causado respostas diferentes na cinética do VO_2 . A porcentagem de fibras do tipo I depletadas ou quase depletadas após esforço de baixa intensidade, foi de aproximadamente 51 e 44

%, respectivamente, no estudo de Krstrup et al. (2004). No experimento de Carter et al. (2004), somente 6% das fibras do tipo I estavam com as concentrações normais de glicogênio. Com isso, a diferença de apenas 1% na quantidade de fibras totalmente carregadas de glicogênio parece não ser um fator de importância para contrapor os resultados dos estudos. Contudo, são necessários outros estudos para analisar o efeito do exercício prévio capaz de depletar o glicogênio das fibras musculares e a resposta da cinética do VO_2 em exercício moderado.

No presente estudo, houve aumento significativo da amplitude absoluta do VO_2 e este aumento permaneceu até o 10^o minuto de exercício, nas duas intensidades. Este fenômeno representa uma resposta da cinética do VO_2 ao exercício prévio, diferente da encontrada nos estudos de Carter et al. (2004) e Krstrup et al. (2004). No presente estudo, os dois tiros de 1 minuto a 120% VO_2max , provavelmente não causaram depleção significativa do glicogênio muscular. Este fato inviabiliza comparações entre os estudos de Carter et al. (2004) e Krstrup et al. (2004) com o presente estudo. No estudo de Carter et al. (2004), o exercício prévio de baixa e alta intensidade não causou nenhuma mudança na cinética do VO_2 no exercício moderado. O nível de depleção das fibras musculares causada pelo exercício prévio e o tempo de recuperação entre o exercício prévio e o subsequente do estudo de Carter et al. (2004), difere em muito do presente estudo (2 tiros vs. 10 tiros de 1 minuto a 120% VO_2max e 8 minutos contra 1h de repouso, para presente estudo e Carter et al. 2004, respectivamente). Segundo Carter et al. (2004), o período de 1 hora entre o esforço prévio e o subsequente foi utilizado para restaurar a

temperatura muscular, metabólitos sangüíneos e VO_2 aos valores de repouso. No presente estudo, a concentração de lactato antes do exercício subsequente foi em média 8 mM, o que diferencia as condições dos experimentos. O mais interessante é que no estudo de Krusturp et al. (2004), foi dado um período de descanso de 15 horas entre os exercícios e foi encontrada alteração na cinética do VO_2 no exercício moderado.

Apesar dos dados aparentemente antagônicos (protocolo e resultados) dos estudos citados acima, e algumas diferenças relatadas na literatura com relação a cinética do VO_2 entre o exercício moderado e pesado (GAESSER e POOLE, 1996), Koppo et al. (2003) relatam que após 6 minutos de um exercício prévio pesado (concentração de lactato de $6,2 \pm 3,1$ mM), o componente lento do VO_2 no exercício subsequente diminuiu significativamente em 106 mL O_2 , após 15 minutos houve uma significativa redução de 160 mL O_2 (concentração de lactato de $5,8 \pm 2,7$ mM) e um efeito não significativo após 60 minutos de descanso, quando a concentração de lactato havia retornado aos valores de repouso ($1,4 \pm 0,4$ mM). Com isso, é possível que a presença de lactato ou ainda de outros metabólitos (K^+) com tempos de recuperação semelhantes após o exercício pesado (no músculo e/ou no sangue), sejam os eventuais fatores causadores de mudanças na cinética do VO_2 observadas no exercício pesado (JONES et al., 2003).

Além do VO_2 , outros parâmetros cardiorrespiratórios analisados no presente estudo demonstraram alterações em função do exercício prévio. Nas duas intensidades, a FC durante todo o exercício com esforço prévio, foi significativamente maior em relação ao esforço sem exercício prévio. No 5^o

minuto, momento no qual havia maior aumento do VO_2 entre as condições, a FC estava elevada em 7 e 6 batimentos a 50 e 70 % VO_{2max} com esforço prévio, respectivamente. Segundo Kitamura et al. (1972), o consumo de O_2 do músculo cardíaco é de $\sim 0,2$ mL O_2 /batimento, o que representa um gasto energético de 1,4 mL O_2 e 1,2 mL O_2 a 50 e 70% VO_{2max} , respectivamente. Ou seja, estes valores mostram que a FC, *per se*, parece não contribuir significativamente para o aumento do VO_2 no exercício com esforço prévio. Além do mais, a manutenção elevada da FC durante todo exercício não corresponde ao comportamento do VO_2 (aumento e depois volta aos valores normais).

Davis e Gass (1981) relataram aumento significativo da VE do início ao fim do exercício incremental após exercício prévio incremental. Schneider e Berwick et al. (1998) e Lucas et al. (2003), notificaram aumento significativo da VE nos primeiros 6 e 9 minutos do exercício incremental após exercício prévio supramáximo, respectivamente. A VE no presente estudo se recuperou mais rapidamente do que a VE dos estudos Davis e Gass (1981) e Lucas et al. (2003). Na comparação entre as condições, a VE do exercício de carga constante a 50 e 70 % VO_{2max} foi significativamente maior até o 5^o minuto do exercício com esforço prévio.

Segundo Aaron et al. (1992) o consumo de O_2 por litro de ar ventilado pelos pulmões corresponde a 1,8 mL O_2 . No presente estudo, a VE no 5^o minuto de exercício com esforço prévio estava aumentada em 4,5 e 3,5 L.min⁻¹ a 50 e 70% VO_{2max} , respectivamente. Com isso, a contribuição da VE para o aumento do VO_2 no 5^o minuto foi de aproximadamente 8,1 mL O_2 e 6,3 mL O_2 a

50 e 70%VO₂max, respectivamente. Assim sendo, a FC e a VE contribuíram juntamente com 8% e 5% do aumento total do VO₂ no 5^o minuto (a 50 e 70%VO₂max, respectivamente). Com isso, os resultados demonstram que a FC e a VE pouco influenciaram sobre o aumento do VO₂ e que outros fatores somado a estes, elevaram significativamente o VO₂ nos esforços após exercício prévio.

Durante o exercício de carga constante, foi encontrado que em intensidades baixas (29 e 45 %VO₂max), a taxa de remoção de lactato foi superior a intensidades mais elevadas (60-80 %VO₂max) (BELCASTRO e BONEN, 1975). Comparando a taxa de remoção a 50 e 70%VO₂max, os resultados do presente estudo mostraram que, após exercício prévio supramáximo, a remoção de lactato foi significativamente maior nos primeiros 10 minutos de exercício a 50%VO₂max. Nos 5 minutos iniciais, a média de redução nas concentrações de lactato foi de $4,37 \pm 1,2$ e $3,35 \pm 1,5$ mM a 50 e 70%VO₂max, respectivamente. E do 5^o ao 10^o minuto, a remoção foi em média de $2,48 \pm 1,4$ e $1,85 \pm 1,33$ mM, a 50 e 70%VO₂max, respectivamente.

No presente estudo o momento de “normalização” do VO₂ foi o mesmo para as duas intensidades. Entretanto, para as concentrações de lactato o momento de “normalização” foi diferente entre as intensidades. Na comparação das condições (com e sem exercício prévio) a 50%VO₂max, os resultados demonstraram que no 5^o e 10^o minuto as concentrações de lactato estavam significativamente maiores para o exercício com esforço prévio. Entretanto, a 70%VO₂max com exercício prévio a concentração de lactato somente foi significativamente maior no 5^o minuto. Com isso, pode-se afirmar que a

70%VO₂max as concentrações de lactato se estabilizaram mais rapidamente do que a 50%VO₂max. Entretanto, se a taxa de remoção do lactato foi superior a 50%VO₂max, era de se esperar que as concentrações de lactato se normalizassem mais rapidamente. Esta incompatibilidade possivelmente ocorreu pelo fato da concentração de lactato ser maior nas cargas correspondentes a 70%VO₂max. Assim para o presente estudo, o protocolo utilizado permitiu afirmar que as concentrações de lactato se estabilizaram em momentos diferentes, mas não se pode sugerir que a intensidade foi determinante para a retomada das concentrações de lactato aos valores de controle, já que a taxa de remoção foi diferente.

Pendergast et al. (1983) sugerem que após exercício prévio, o VO₂ em excesso durante o exercício incremental (cargas abaixo de 60%VO₂max) pode ser atribuído em parte à ressíntese de glicogênio a partir do lactato. Segundo os autores, este fenômeno poderia não acontecer em intensidades acima de 60% VO₂max, onde o lactato seria mais utilizado como fonte energética para a contração muscular. No presente estudo, a taxa de diminuição do VO₂ a cada 5 minutos, não foi diferente entre as intensidades (116 vs. 139 mL O₂ no 5^o minuto; e 67 vs. 68 mL O₂ no 10^o minuto, a 50 e 70%VO₂max, respectivamente). Como foi citado acima, a taxa de remoção de lactato foi significativamente superior a 50%VO₂max, isso quer dizer que o lactato utilizado para a oxidação e/ou ressíntese de glicose (ou glicogênio), não corresponde à quantidade de O₂ consumido durante a normalização do VO₂. Assim sendo, se realmente houve pagamento de débito de O₂ no início do exercício com esforço prévio, a remoção de lactato parece não ser a

responsável, pelo menos proporcionalmente, já que a maior taxa de remoção não acarretou maior aumento ou maior diminuição no VO_2 .

Em um exercício de 20 min a $50\%VO_{2max}$, Krstrup et al. (2004) encontraram aumento (comparando valores do 3^o minuto e 20^o minuto) da temperatura do músculo, da concentração de epinefrina, da FC e VE sem notificar aumento do VO_2 . No presente estudo, a temperatura muscular e as concentrações de epinefrina não foram mensuradas. Assim, comparando os resultados do estudo de Krstrup et al. (2004) com o presente estudo, pode-se especular que, após exercício prévio supramáximo, o aumento do VO_2 nos primeiros 10 minutos de exercício e sua subsequente normalização, parece não ser causada ou influenciada pela FC (que permanece elevada do 5^o ao 20^o minuto), VE (elevada somente no 5^o minuto), taxa de remoção de lactato (diferente entre as intensidades) ou aumento da temperatura e epinefrina (sugerido em função dos resultados de KRUSTRUP et al. 2004).

Outro parâmetro cardiorespiratório analisado no presente estudo foi o VCO_2 , que obteve o mesmo momento de normalização (10^o minuto) apresentado pelo VO_2 . A explicação para este fato, pode ser que a VE excessiva após o exercício prévio a $120\%VO_{2max}$, durante o repouso e nos 5 primeiros minutos de exercício, diminuiu os estoques de CO_2 do organismo. O exercício subsequente elevou a produção de CO_2 e normalizou com o valor do exercício sem esforço prévio no 10^o minuto. Notificou-se resultados diferentes com relação ao VCO_2 durante o exercício incremental. Davis e Gass (1981) não relataram diferenças no VCO_2 do exercício incremental após exercício prévio incremental. Schneider e Berwick et al. (1998) também não notificaram

alterações no VCO_2 do exercício incremental após exercício prévio supramáximo.

No presente estudo, a VE/VCO_2 foi significativamente maior do 5^o ao 15^o minuto para o exercício com esforço prévio nas duas intensidades. A VE aumentada juntamente com o VCO_2 diminuído durante o exercício com esforço prévio, pode ter causado este aumento do VE/VCO_2 . Schneider e Berwick et al. (1998) notificaram aumento do VE/VCO_2 do início ao 10^o minuto do exercício incremental após exercício prévio supramáximo.

Notificou-se no presente estudo, que apenas a 50% VO_{2max} a VE/VO_2 foi significativamente maior no 5^o minuto para o exercício com esforço prévio. A 70% VO_{2max} não houve diferenças entre as condições. O concomitante aumento do VO_2 e da VE pode ter causado esta falta de diferenças estatísticas do VE/VO_2 entre as condições. Entretanto, Schneider e Berwick et al. (1998) notificaram aumento do VE/VO_2 do início ao 4^o minuto do exercício incremental após exercício prévio supramáximo. Contudo, o presente estudo mostrou que o fator de normalização do VO_2 , VE e VCO_2 foi o tempo e não a intensidade de esforço, pelo menos no exercício constante a 50 e 70% VO_{2max} .

8. CONCLUSÃO

Com base nos resultados do presente estudo pode-se concluir que:

1) O exercício prévio supramáximo determinou aumento da amplitude absoluta do VO_2 (assintota) do exercício subsequente, sem modificar entretanto a amplitude parcial do VO_2 e a constante de tempo da resposta total (τVO_2), independente da intensidade de exercício analisada (50 e 70 % VO_2max).

2) Dentro do domínio moderado de esforço (50 e 70 % VO_2max), o tempo de exercício e não a intensidade, foi o fator que permitiu a normalização do VO_2 no decorrer do exercício de carga constante após o esforço prévio de intensidade supramáxima.

3) Embora o tempo necessário para a normalização do VO_2 tenha sido semelhante, a taxa de remoção e o momento de retorno das concentrações de lactato aos valores de controle, foram diferentes entre as duas intensidades de exercício.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARON, E. A.; SEOW, K.C. et al. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.72, p. 1818-1825, 1992.

BABCOCK, M.A., PATERSON, D.H., CUNNINGHAM, D.A. Effects of aerobic endurance training on gas exchange kinetics of older man. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.26, p. 447-452, 1994.

BANGSBO, J. Muscle oxygen uptake in humans at onset of and during intense exercise. **Acta Physiologica Scandinavica**, Stockholm, v.168, p. 457-464, 2000.

BANGSBO, J.; KRUSTRUP, P.; GONZALEZ-ALONSO, J. et al. ATP production and efficiency of human skeletal muscle during intense exercise: effect of previous exercise. **American Journal Physiology**, Baltimore, v. 280, p.E956-64, 2001.

BARSTOW, T.J.; MOLE, P.A. Simulation of pulmonary oxygen uptake during exercise in humans. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.63, p. 2253-2261, 1987.

BARSTOW, T.J.; LAMARRA, N.; WHIPP, B.J. Modulation of muscle and pulmonary O₂ by circulatory dynamics during exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.,68 p.979-89, 1990.

BARSTOW, T.J.; MOLE, P.A. Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.71, p.2099-2106, 1991.

BARSTOW T.J. et al. O₂ uptake kinetics and the O₂ deficit as related to exercise intensity and blood lactate. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.75, p. 755-762, 1993.

BARSTOW, T.J. Characterization of VO₂ kinetics during heavy exercise **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.26, p. 1327-1334. 1994.

BARSTOW, T.J; JONES, A.M.; NGUYEN, P.H.; CASABURI, R. Influence of muscle fiber type end pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.81, n.4, p. 1642-50, 1996.

BEARDEN, S.E.; MOFFATT, R.J. VO₂ and heart rate kinetics in cycling: transitions from an elevated baseline. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.90, p.2081-7, 2001.

BELCASTRO, A.N.; BONEN, A. Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.39, p.932-936, 1975.

BESSMAN, S.P.; CARPENTER, C.L. The creatine-creatine phosphate energy shuttle. **Annual Review of Biochemistry**, Palo Alto, v.54, p. 831-62, 1985.

BILLAT, V.L., MILLE-HAMARD, L., PETIT, B. et al. The role of cadence on the VO₂ slow component in cycling and running in triathletes. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.20, p.429-437, 1999b.

BILLAT, V. et al. Oxygen kinetics and modeling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.82, p.178-87, 2000.

BILLAT, V. L., MILLE-HAMARD, L., DEMARLE, A., et al. Effect of training in humans on off- and on-transient oxygen uptake kinetics after severe exhausting

intensity runs. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.87, p.496-505, 2002.

BINZONI, T.; CERRETELLI, P. Bioenergetic approach to transfer function of human skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.77, n.4, p.1784-9, 1994.

BOHNERT, B.; WARD, S.A.; WHIPP, B.J. Effects of prior arm exercise on pulmonary gas exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. **Experimental Physiology**, New York, v.83, p. 557-70, 1998.

BORRANI, F.; CANDAU, R.; MILLET, G.Y.; PERREY, S.; FUCHSLOCHER, J.; ROUILLON, J.D. Is the slow component dependent on progressive recruitment of fast-twitch fibers in trained runners. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.90, p.2212-20, 2001.

BRITAIN, C.J. et al. Effect of prior metabolic rate on the kinetics of oxygen uptake during moderate-intensity exercise. **European Journal Applied Physiology**, Berlin, v.86, p. 125-134, 2001.

BURNLEY, M.; JONES, A.M.; CARTER, H.; et al. Effects of prior heavy exercise on phase II pulmonary oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.89, p. 1387-96, 2000.

BURNLEY, M; DOUST, J.H.; BALL, D.; et al. Effects of prior exercise on VO_2 kinetics during the on-transient of heavy exercise are related to changes in muscle activity. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.93, p. 167-74, 2002.

BURNLEY, M; DOUST, J.H.; BALL, D.; et al. Effects of prior arm exercise on VO_2 kinetics during heavy cycle exercise [abstract]. **Proceeding of the European College of Sport Sciences Congress**, Athens, jul, p.24-28, 2002.

CANDAU, R.; BELLI, A.; MILLET, G.Y.; GEORGES, D.; BARBIER, B.; ROUILLON, J.D. Energy cost and running mechanics during a treadmill run to voluntary exhaustion in humans. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 77, p.479-485, 1998.

CARRA, J.; CANDAU, R.; et al. Addition of inspiratory resistance increases the amplitude of the slow component of O₂ uptake kinetics. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.94, p:2448-55,2003.

CARTER H., JONES A. M., BARSTOW T. J et. al. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.89, p:899-907, 2000a.

CARTER, H., JONES A. M., BARSTOW T. J., et al. Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.89, p.1744-1752, 2000b.

CARTER, H.; PRINGLE, J. S. M., BOOBS, L.; et al. Muscle glycogen depletion alters oxygen kinetics during heavy exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.36, p.965-972, 2004.

CROW, M.T. & KUSHMERICK, M.J. Chemical energetics of slow and fast-twitch muscles of the mouse. **The Journal of General Physiology**, New York, v. 79, p.147-166, 1982.

DAVIS, A. H. & GASS, G.C. The anaerobic threshold as determined before and during lactic acidosis. **European Journal Applied Physiology**, Berlin, v.47, p. 141-149, 1981.

DENADAI, B.S. **Avaliação Aeróbia: Determinação indireta da resposta do lactato sangüíneo**. Rio Claro, São Paulo: Motrix 2000.

DEMARLE, A. P., SLAWINSKI, J. J., LAFFITE, L. P., et al. Decrease of O₂ deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.90, p.947-953, 2001.

DIAMOND, L.N. et al. Kinetics of gas exchange and ventilation in transitions from rest or prior exercise. . **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.43, p.704-708, 1977.

di PRAMPERO, P.E. et al. An analysis of O₂ debt contracted in submaximal exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.29, p.547-551, 1970.

ENGELEN, M., PORZASZ, J., RILEY, M. et al. Effects of hypoxic hypoxia on O₂ uptake and heart rate kinetics during heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 81, p. 2500-2508, 1996.

FARREL, P.A. et al. Plasma lactate accumulation and distance running performance **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 11, p.338-344, 1979.

FUBUKA, Y.; HAYASHI, N. KOGA, S. et al. VO₂ kinetics in heavy exercise is not altered by prior exercise with a different muscle group. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.92, p. 2467-74, 2002.

GAESSER, G.A. & POOLE, D.C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exercise and Sports Science Review**, Baltimore, v. 24, p.35-70, 1996.

GERBINO, A. et al. Effect of prior exercise on pulmonary gas- exchange kinetics during high intensity exercise in humans. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.80, p.99-107, 1996.

CERRETELLI, P.; PENDERGAST, D.; PAGANELLI, W.C.; RENNIE, D.W. Effects of specific muscle training on VO₂ on-response and early blood lactate. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.47, n.4, p.762-9, 1979.

GAUSCHE, M.A.; HARMON, T.; LAMARRA, N.; et al. Pulmonary O₂ uptake kinetics in humans are speeded by a bout of prior exercise above, but not below, the lactate threshold [abstract]. **Journal of Physiology**, London, v.417, p.138p, 1989.

GRASSI, B., POOLE, D.C., RICHARDSON, R.S. et al. Muscle O₂ uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.80, p.988-998, 1996.

GRASSI, B., GLADEN, L.B., SAMAJA, M., et al. Faster adjustment of O₂ delivery does not affect VO₂ on-kinetics in isolated in situ canine muscle. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.85, p.1394-1403, 1998a.

GRASSI, B., GLADEN, L.B., STARY, C.M. et al. Peripheral O₂ diffusion does not affect VO₂ on-kinetics in isolated in situ canine muscle. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.85, p.1404-1412, 1998b.

GRASSI, B. Skeletal muscle VO₂ on-kinetics: set by O₂ delivery or by O₂ utilization? New insights into an old issue. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.32, p.108-116, 2000.

GRASSI, B., HOGAN, M.C., KELLEY, K.M., et al. Role of convective O₂ delivery in determining VO₂ on-kinetics in canine muscle contracting at peak VO₂. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.89, p.1293-1301, 2000b.

GRASSI, B. Regulation of oxygen consumption at exercise onset: is it really controversial? **Exercise and Sport Science Review**, Baltimore, v.3, p.134-138, 2001.

GREENHAFF, P.L.; TIMMONS, J.A. Interaction between aerobic and anaerobic metabolism during intense muscle contraction. **Exercise and Sport Science Review**, Baltimore, v.26, p.1-30, 1998.

HAGBERG, J.M., HICKSON, R.C. EHSANI, A.A., et al. Faster adjustment to and recovery from submaximal exercise in trained state. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.48, p.218-224, 1980.

HANSEN, J.E. et al. Relation of oxygen uptake to work rate in normal men and men with circulatory disorders. **The American Journal of Cardiology**, New York, v. 59, p. 669-674, 1987.

HAYASHI, N.; ISHIHARA, M.; TANAKA, A.; YOSHIDA, T. Impeding O₂ unloading in muscle delays oxygen uptake response to exercise onset in humans. **American Journal of Physiology: Regulatory Integrative Comparative Physiology**, Bethesda, v.46, p.R1274-R81, 1999.

HEBESTREIT, H.; KRIEMLER, S.; HUGHSON, R.L.; BAR –OR, O. Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise in boys and men. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.85, n.5, p.1833-41, 1998.

HECK, H. et al. Justification of the 4mmol/l lactate threshold. **International Journal of Sports Medicine**, Auckland, v. 6, p.117-130, 1985.

HE Z-H; BOTTINELLI, R.; PELLEGRINO, M.A.; et al. ATP consumption and efficiency of human single muscle fibers with different myosin isoform composition. **Biophysical Journal**, New York, v.79, p.945-61, 2000.

HILL, D. W. & STEVENS, E.C. The VO₂ Response at the onset of severe intensity exercise. **Canadian Journal of Applied Physiology**, Champaign. v.26; p. 350-355. 2001.

HILL, D.W.; POOLE, D.C.; SMITH, J.C. The relationship between power and the time to achieve VO₂max. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.34, n.4, p.709-714, 2001.

HUGHSON, R.L. & MORRISEY, M. Delayed kinetics of respiratory gas exchange in the transition from prior exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.52, p.921-929, 1982.

HUGHSON, R.L.; XING, H.C.; BORKHOFF, C.; BUTLER, G.C. Kinetics of ventilation and gas exchange during supine and upright cycle exercise. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.63, p.300-7, 1991.

HUGHSON, R.L; COCHRANE, J.E.; BUTLER, G.C. Faster O₂ uptake kinetics at onset of supine exercise with than without lower body negative pressure. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.75, n.5, p. 1962-7, 1993.

HUGHSON, R.L; KOWALCHUK, J.M. Kinetics of oxygen uptake for submaximal exercise in hyperoxia, normoxia, and hypoxia. **Canadian Journal of Applied Physiology**, Champaign, v.20, n.2, p.198-210, 1995.

HUGHSON, R.L. et al. Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise near or above peak oxygen uptake. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.88; p.1812-1819, 2000.

HUGHSON, R.L. et al. Regulation of oxygen consumption at the onset of exercise. **Exercise and Sports Science Review**, Baltimore, v. 29, n.3, p.129-133, 2001.

JONES, A.M.; KOPPO, K.; BURNLEY, M. Effects of prior exercise on metabolic and gas exchange responses to exercise. **Sports Medicine**, Auckland, v.33, p.929-971, 2003.

KALLIOKOSKI, K.K.; KEMPPAINEN, J.; LARMOLA, K. et al. Muscle blood flow and flow heterogeneity during exercise studied with positron emission tomography in humans. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.83, p. 395-401, 2000.

KITAMARA, K.; JORGENSEN, C. R.; GOBEL, F. L.; et al. Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise. **Journal of Physiology**, London, v.32, p. 516-522, 1972.

KOPPO, K.; BOUCKAERT, J. In humans the oxygen slow component is reduced by prior exercise of high as well as low intensity. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.83, p.559-65, 2000.

KOPPO, K.; JONES, A.M.; DE VRIENT, E.; et al. Effect of exercise intensity and training status on the on-transient VO_2 kinetics. **Proceedings of the European College of Sport Science Congress**. Athens, Jul, p. 24-8, 2002.

KOPPO, K.; JONES, A.M.; BOUCKAERT, J. Effect of prior heavy arm and leg exercise on VO_2 kinetics during heavy leg exercise. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.88, p.593-600, 2003.

Koppo et al. (2003) apud, JONES, A.M.; KOPPO, K.; BURNLEY, M. Effects of prior exercise on metabolic and gas exchange responses to exercise. **Sports Medicine**, Auckland, v.33, p.929-971, 2003.

KRUSTRUP, P.; GONZALEZ-ALONSO, J.; QUISTORFF, B.; et al. Muscle heat production and anaerobic energy turnover during repeated intense dynamic exercise in humans. **Journal of Physiology**, London, v.563, p. 947-56, 2001.

KRUSTRUP, P.; SÖDERLUND, K.; MOHR, M.; BANGSBO, J. Slow –twitch fiber glycogen depletion elevates moderate-exercise fast – twitch fiber activity and O_2 uptake. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.36, p.973-982, 2004.

LAMARRA, N.; WHIPP, B.J.; BLUMENBERG, M.; WASSERMAN, K. **Model-order estimation of cardiorespiratory dynamics during moderate exercise**. In: WHIP B.J.; WIBERG D.M. (eds) Modeling and control of breathing. Elsevier Biomedical, Oxford, UK. 1983.

LUCAS, R.D.; ROCHA, R.; BURINI, R.C.; GRECO, C.C.; DENADAI, B.S. The Lactate Minimum Test protocol provides valid measures of cycle ergometer VO_2 peak . **Journal of Sports and Medicine Physical Fitness**, Torino, v.43, p.279-84, 2003.

McARDLE, W.D.; KATCH, F.I.; KATCH, V.L. **Fisiologia do Exercício: energia, nutrição e desempenho humano**. Rio de Janeiro: Guanabara koogan, 4ª ed. 1998.

MacDONALD, M., PEDERSEN, P.K., HUGSON, R.L. Acceleration of VO_2 kinetics in heavy submaximal exercise by hyperoxia and prior high-intensity exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.83, p.1318-1325, 1997.

MADER, A.; HECK, H.; HOLLMAN, W. A computer simulation model of energy output in relation to metabolic rate and internal environment. In: KNUTTGEN, H.G.; VOGEL, J.A.; POORTMANN, J. (Eds). **Biochemistry of exercise**. Champaign: Human Kinetics, 1983, v.13.

MARGARIA, R. et al. The possible mechanisms of contracting and paying the debt and the role of lactic acid in muscular contraction. **American Journal of Physiology**, Baltimore, v. 106, p. 689-715, 1933.

MALLORY, L.A. et al. Influence of VO_2 and muscle fiber type on the efficiency of moderate exercise **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.34, p.1279-87, 2002.

MILSUM, J.H. **Biological control systems analysis**. MacGraw-hill. New York, 1966.

NORRIS S.R. & PETERSEN S.R. Effects of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. **Journal of Sports Science**, London, v.16, p.733-738, 1998.

ÖZYENER, F.; ROSSITER, H.B.; WARD, S.A.; WHIPP, B.J. Influence of exercise intensity on the on-and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. **Journal of Physiology**, London, v.533, n.3, p. 891-902, 2001.

PATEL, R.; ROSSITER, H.; WHIPP, B.J.; The effect of recovery time between repeated bouts of high intensity exercise on the on-transient VO_2 kinetics in humans **Journal of Physiology**, London, v.533P, p.141-142P.

PATERSON, D.H.; WHIPP, B.J. Asymmetries of oxygen uptake transients at the on- and offset of heavy exercise in humans. **Journal of Physiology**, London, v.443, p. 575-86, 1991.

PENDERGAST, D.; LEIBOWITZ, R.; WILSON, D.; CERRETELLI, P. The effect of preceding anaerobic exercise on aerobic and anaerobic work. **European Journal Applied Physiology**, Berlin, v.52, p. 29-35, 1983.

PHILLIPS, S. M., GREEN, H. J., MACDONALD, M. J. et al. Progressive effect of endurance training on VO_2 kinetics at the onset of submaximal exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.79, p.1914-1920, 1995.

PRINGLE, J.S.M.; DOUST, J.H.; CARTER, H.; TOLFREY, K.; JONES, A.M. Effect of pedal rate on primary and slow-component oxygen uptake responses during heavy-cycle exercise. **Journal of Applied physiology**, Bethesda, v.94, p.1501-1507, 2003.

RICHARDISON, R.S.; HASELER, L.J.; NYGREN, A.T.; et al. Local perfusion and metabolic demand during exercise a non-invasive MRI method of assessment. **Journal of Applied physiology**, Bethesda, v.91, 1845-53, 2001.

ROSSITER, H.B.; WARD, S.A.; DOYLE, V.L.; HOWE, F. A. GRIFFITHS, J. R.; WHIPP, B. J. Inferences from pulmonary O_2 uptake with respect to intramuscular [phosphocreatina] kinetics during moderate exercise in humans. **Journal of physiology**, London, v.518, n.3, p. 921-32, 1999.

SCHNEIDER, D. A. & BERWICK, J. P. VE and VCO_2 remain tightly coupled during incremental cycling performed after a bout of high-intensity exercise. **European Journal Applied Physiology**, Berlin, v. 77, p.72-76, 1998.

SCHENERMANN, B.; HOELTING, B.D.; NOBLE, M.I.; et al. The slow component of O_2 uptake is not accompanied by changes in muscle EMG during repeated bouts of heavy exercise in humans. **Journal of Physiology**, London, v.531, p.245-56, 2001.

STAINSBY, W.N. Biochemical and physiological bases of lactate production. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.18, n.3, p. 341-3, 1986.

TIMMONS, J.A.; GUSTAFSSON, T.; SUNDBERG, C.J.; JANSSON, E.; GREENHAFF, P.L. Muscle acetyl group availability is a major determinant of oxygen deficit in humans during submaximal exercise. **American Journal of Physiology**, Baltimore, v.274, p.E377-E380, 1998.

TSCHAKOVSKY, M.E. & HUGHSON, R.L. Interaction of factors determining oxygen uptake at onset of exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.86; p.1101-13, 1999.

VOLLESTAD, N.K. & BLOM, P.C.S. Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibers. **Acta Physiologica Scandinavica**, Stockholm, v. 125, p. 395-405, 1985.

XU, F. & RHODES, E.C. Oxygen uptake kinetics during exercise. **Sports Medicine**, Auckland, v.27, p.313-27, 1999.

WASSERMAN, K., et al. Cardiodynamic hyperpnea: hyperpnea secondary to cardiac output increase. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.36; p.457-464, 1974.

WHIPP, B.J., et al., Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.52; p.1506-1513, 1982.

WHIPP, B.J. & WASSERMAN, K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant load work. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.33; p.351-356, 1972.

WHIPP, B.J. & MAHLER, M. **Dynamics of pulmonary gas exchange during exercise**. In: Pulmonary Gas Exchange, v. II, J.B. West. New York: Academic, 1980, p.33-95.

WILKERSON, D.P.; KOPPO, K.; BURNLEY, M. et al. Prior heavy exercise increases the time to exhaustion during subsequent peri-maximal exercise in humans. **Journal of Physiology**, London, v.547P, p. PC15, 2003.

WILLIAMS, C.A.; CARTER, H.; JONES, A.M.; DOUST, J.A. Oxygen uptake kinetics during treadmill running in boys and men. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.90, p. 1700-06, 2001.

WILLIS, W.T.R. & JACKMAN, M.R. Mitochondrial function during heavy exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.26, p.1347-54, 1994.

WHIPP, B.J.; WARD, S.A. Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 22, p. 62-71, 1990.

YOSHIDA, T., UDO, M., OHMORI, T., et al. Day-to-day changes in oxygen uptake kinetics at the onset of exercise strenuous endurance training. **European Journal Applied Physiology**, Berlin, v.64, p.64-78, 1992.

ABSTRACT

The appearance of an equipment that permits the oxygen consumption analysis (VO_2) breath by breath has arisen a huge interest in factors which can influence its dynamics in the beginning of exercise (*on* response). Among the more studied factors, are the exercise intensity and training status. Meanwhile, few studies have analyzed the possible effects of previous exercise on the VO_2 response during exercise at moderate domain. In our lab, we have verified recently that during an incremental test performed eight minutes after a supramaximum exercise ($120\% \text{VO}_{2\text{max}}$), there was a significant VO_2 increase in the first stage, while, at the intensities between 60% and $\text{VO}_{2\text{max}}$, no alteration of VO_2 was found, in accordance with the results existent in the literature. These results suggest that the influence of a previous exercise on the VO_2 during the incremental exercise would just occur at low intensities ($< 60\% \text{VO}_2 \text{ max}$). This model, meanwhile, does not permit to isolate a possible time effect of the exercise, once the highest intensities were always done after two or three stages, which could have favored a recovery, at least partially, of the metabolic conditions. In this way, the data until the present moment do not permit to identify if the normalization of VO_2 during the incremental exercise is more dependent on the time and/or the exercise intensity. Therefore, the aims of this study were: a) to analyze the influence of the previous supramaximum exercise on the VO_2 kinetics during the rest-exercise transition carried out at 50 and $70\% \text{VO}_{2\text{max}}$, and b) to analyze the influence of the previous supramaximum exercise on the cardiorespiratory and metabolic responses during the constant loading exercise performed at 50 and $70\% \text{VO}_{2\text{max}}$. Fourteen well-trained male cyclists ($\text{VO}_{2\text{max}} = 63.4 \pm 6.5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$; age = 21.4 ± 3.5 years; body mass = 68.1 ± 6.8 kg; height = 174.9 ± 4.6 cm) performed the following tests: 1) progressive continuous exercise until voluntary exhaustion to determine the $\text{VO}_{2\text{max}}$ and the loading correspondent to 50 , 70 , and $120\% \text{VO}_{2\text{max}}$, and 2) four tests of constant workload, executed in a random order and different days. In these tests, the individuals pedaled during 20 minutes at two different intensities (50 and $70\% \text{VO}_{2\text{max}}$) with and without a

previous supramaximum exercise (120% VO_2max). It was analyzed the VO_2 response and, also, the cardiorespiratory and metabolic responses. The baseline (BL) VO_2 value was significantly higher with previous exercise only at 50% VO_2max (50% $\text{VO}_2\text{max} = 503.5 \pm 264.3$ vs. 706.2 ± 257.2 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, 70% $\text{VO}_2\text{max} = 456.4 \pm 294.4$ vs. 538.5 ± 266.0 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, without and with a previous exercise, respectively). The partial amplitude (A), with the exclusion of stage I (cardiodynamic), was not significantly different for both intensities after previous exercise. It was noticed that the absolute value of the amplitude of VO_2 (A + BL) was significantly higher for both intensities after previous exercise (50% $\text{VO}_2\text{max} = 2129.4 \pm 217.3$ vs. 2264.9 ± 312.2 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$; 70% $\text{VO}_2\text{max} = 2513.7 \pm 371.5$ vs. 3148.2 ± 318.7 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, without and with previous exercise, respectively). The time constant VO_2 (τVO_2) did not present significant difference between the efforts conditions for both exercise intensities (50% $\text{VO}_2\text{max} = 24.2 \pm 4.6$ vs. 26.5 ± 8.2 s.; 70% $\text{VO}_2\text{max} = 27.1 \pm 5.4$ vs. 24.6 ± 6.4 s, with and without previous exercise, respectively). The VO_2 was significantly higher just at 5th and 10th min for the effort with previous exercise in both intensities. Comparing the conditions (with and without previous exercise) for both exercise intensities, the VE was only significantly higher in the 5th min, once the HR was significantly different in all the analyzed moments. Therefore, according to the results, within the moderate effort domain (50 and 70% VO_2max), the time exercise, not the intensity, was the factor that permitted the normalization of the VO_2 along the constant loading exercise after the previous effort of supramaximum intensity.

Key words: VO_2 kinetics, Moderate-intensity exercise, Prior exercise, Constant-load exercise.

APÊNDICE I

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

a) Teste contínuo progressivo

Será feito um teste contínuo com cargas incrementais a cada 3 minutos. O aquecimento será de 5 minutos a 70W. A carga inicial do teste será de 105W, com aumentos de 35W a cada 3 minutos até a exaustão voluntária do sujeito. Serão coletadas amostras sanguíneas (25 μ l) ao final de cada carga de trabalho.

b) Teste de carga constante

Os sujeitos terão que pedalar durante 20 minutos com carga constante em cada um dos quatros testes que serão realizados. Serão realizadas duas intensidades (50 e 70% do VO_2 max) com e sem a realização de um exercício prévio de característica supramáxima (120% do VO_2 max). Os testes serão realizados sempre com pelo menos 24 horas de intervalo.

DIREITOS DA PESSOA SUBMETIDA AOS TESTES

Toda pessoa submetida aos testes terá acesso aos seus dados, assim como aos resultados finais. Nenhum resultado será divulgado ou levado ao conhecimento de pessoas estranhas ao Laboratório de Avaliação da Performance Humana, sem a autorização expressa do sujeito submetido ao teste.

Todo participante poderá abandonar os testes a qualquer momento, sem prestar qualquer tipo de esclarecimento, mas devendo comunicar sua decisão ao responsável dos testes o quanto antes.

Os resultados dos testes poderão ser utilizados para pesquisa, sendo assegurado o anonimato do sujeito, desde que autorizado expressamente neste termo de consentimento.

RISCOS DOS TESTES

Os riscos pertinentes ao protocolo, são aqueles inerentes a qualquer prática de exercícios extenuantes. Estes riscos podem ser esclarecidos a qualquer momento pelo responsável dos testes, e tendem a ser minimizados pelas condições de pronto atendimento em caso de acidente.

<p>Eu, _____ _____ portador do RG nº _____ _____</p> <p>tenho ciência dos meus direitos e deveres, e concordo em me submeter a este teste.</p> <p>Rio Claro, ____/____/____</p>	<p>Autorizo a utilização dos dados deste teste para fins de pesquisa do Laboratório de Avaliação da Performance Humana – UNESP - Rio Claro.</p> <p>Rio Claro, ____/____/____</p>	<p>Autorizo a divulgação dos resultados deste teste através de qualquer meio de divulgação, desde que seja assegurado o anonimato.</p> <p>Rio Claro, ____/____/____</p>
<p>De acordo (Assinatura)</p>	<p>De acordo (Assinatura)</p>	<p>De acordo (Assinatura)</p>

APÊNDICE II

Valores individuais referentes aos dados apresentados neste estudo.

Tabela 9 – Valores individuais da idade, massa corporal, percentual de gordura e estatura dos ciclistas. N = 14.

Sujeitos	Idade (anos)	Massa corporal (kg)	Gordura corporal (%)	Estatura (cm)
1	24	70	9	174
2	24	72	10	180
3	25	72	6	178
4	23	65,1	10	167
5	22	67	5	178
6	21	62,5	9,5	178
7	19	56	6	170
8	14	69,5	12	169
9	16	74,5	12	178
10	23	68,5	9	181
11	21	55	4	180
12	18	67	6	174
13	25	78	22	172
14	25	77	11	170

Tabela 10 – Valores individuais do consumo máximo de oxigênio ($VO_2\text{max}$) absoluto ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) e relativo ($\text{ml}/\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$), intensidade onde foi atingido o consumo máximo de oxigênio ($iVO_2\text{max}$), limiar de lactato (LL) e limiar anaeróbio (LAn). N= 14.

Sujeitos	VO_2 ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$)	VO_2 ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	iVO_2 (W)	LL (W)	Lan (W)	Peso (kg)
1	4,63	66,27	402	-	330	70
2	3,76	53	315	-	-	72
3	3,89	54,83	350	-	-	72
4	4,68	72	385	210	303	65,1
5	4,32	64,52	365	210	287	67
6	4,09	65,5	298	175	221	62,5
7	4,12	75	315	175	250	56
8	4,12	59,41	345	210	270	69,5
9	4,32	58	315	210	255	74,5
10	4,45	65	315	210	265	68,5
11	3,73	65,48	-	-	-	55
12	4,27	63,81	385	210	285	67
13	4,35	55,77	350	210	272	78
14	5,39	69,4	385	210	319	77

Tabela 11 - Valores individuais dos parâmetros da cinética do consumo de oxigênio (VO_2) a $50\% \text{VO}_2\text{max}$ com e sem exercício prévio. LB - VO_2 de linha base; A - amplitude primária a partir de 15 segundos do início do exercício; A + LB - amplitude absoluta; τVO_2 - constante de tempo. N =14

Sujeitos	50% VO_2max sem exercício prévio				50% VO_2max com exercício prévio			
	LB ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	A ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	A +LB ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	τVO_2 (s)	LB ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	A ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	A+ LB ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	τVO_2 (s)
1	487,7	1689,5	2177,2	24,2	1188	1261,3	2449,3	28,4
2	114,9	1881	1995,9	28,5	584,7	1608,5	2193,2	23,6
3	355,7	1287,5	1643,2	31,7	781	995,4	1776,4	40
4	404	1758,7	2162,8	18,3	397	1771,7	2169,2	24,6
5	568,2	1644	2212,5	25,7	948,4	1232	2280,6	19,5
6	426,37	1630,9	2057,3	22,3	420,07	1639,6	2059,7	19,8
7	300	2053,3	2353,3	19,7	714	1530,32	2244,5	14,7
8	579,9	1615,9	2196	24,7	732,2	1576,4	2308,6	18
9	575,1	1622,5	2197,6	16,7	455,7	2210,6	2606,3	27,6
10	1082	1239,6	2321,6	20,9	1002,3	1182,65	2184	21,9
11	161,7	1588,8	1750,4	26,2	660,4	1301,5	1961,9	40
12	724,7	1406,9	2131,6	26,7	822,14	1285,9	2108,04	40
13	887,33	1274,5	2161,83	32	292,1	1976,1	2268,2	27,3
14	381,3	2069,8	2451,1	21,6	889,5	2209,9	3099,4	26

Tabela 12 - Valores individuais dos parâmetros da cinética do consumo de oxigênio (VO_2) a $70\%VO_{2max}$ com e sem exercício prévio. LB - VO_2 de linha base; A - amplitude primária a partir de 15 segundos do início do exercício; A + LB - amplitude absoluta; τVO_2 - constante de tempo. N =14

Sujeitos	70% VO_{2max} sem exercício prévio				70% VO_{2max} com exercício prévio			
	LB ($ml \cdot min^{-1}$)	A ($ml \cdot min^{-1}$)	A +LB ($ml \cdot min^{-1}$)	τVO_2 (s)	LB ($ml \cdot min^{-1}$)	A ($ml \cdot min^{-1}$)	A+ LB ($ml \cdot min^{-1}$)	τVO_2 (s)
1	528,9	2347,5	2876,4	28,2	113	3227	3340	41,6
2	153	2606	2760	36	381,3	2720,8	3100,2	31,3
3	21,5	2817,2	2838,7	35,4	420	2560,8	2980,8	27
4	176,4	3241,8	3418	26,3	1082,5	2702	3784,5	18,1
5	1061,5	1883,6	2945,1	22,2	712,9	2515	3227,9	20,4
6	180,3	2674,4	2854,7	25,5	610,07	2268,7	2878,7	21,6
7	245	2511,9	2757,2	24,6	651	2186,5	2837,5	18,7
8	888,8	2017,2	2906	34,4	886	2103,4	2989,4	22,2
9	429,3	2491,6	2921	28,9	328,5	2781,7	3110,2	31,8
10	419	2638,5	3057,5	27,8	797,4	2297,6	3095	20,4
11	406,2	1977,8	2384	18,8	289,9	2246,5	2536,4	20,9
12	668,2	2421,5	3089,7	19,8	343,8	2922,35	3266,1	24,7
13	538,6	2703,6	3242,2	22,6	381,2	2916,3	3297,5	21,4
14	673,8	2859,1	3532,9	29,3	541,8	3089,2	3631	25,2

Tabela 13 - Valores individuais de consumo de oxigênio a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a 50%VO₂máx. VO₂ – consumo de oxigênio (ml.min⁻¹). N=14

Sujeitos	VO ₂ – 50VO ₂ max% sem exercício prévio				VO ₂ – 50VO ₂ max% com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	2155,2	2190,7	2200	2197,5	2434,6	2334,9	2275,9	2236,5
2	1984	2001,9	2029,9	2006,9	2155	2079	2003	1950,2
3	1636,9	1624,5	1623,7	1639,8	1697	1699,6	1681,6	1584
4	2137,8	2067,9	2088,3	2047,9	2159,05	2094	2077,2	2044
5	2214,3	2225,5	2264,7	2223,4	2288	2282	2170,8	2167
6	2056,1	1982	1998,3	2000,3	2029,8	2021,1	2003,3	1988,8
7	2324,9	2326,9	2329,8	2260,2	2233,2	2174,8	2200,6	2121
8	2223,3	2296,7	2307,2	2260,4	2307,5	2275,2	2248,3	2211,9
9	2200,9	2240,3	2356,2	2270,7	2561,2	2364,5	2394,6	2285,5
10	2337,0	2364,4	2392,8	2384,4	2193,3	2213,6	2200	2266
11	1721,9	1736,3	1768,1	1777,8	1924	1985	2029,6	2028,3
12	2144,7	2082,8	2056,2	2027,2	2156,4	2168,5	2149	2145,3
13	2165,4	2191,8	2271,8	2321,9	2203,5	2190,2	2213,3	2271,87
14	2456,8	2549,4	2612,3	2552,5	3047,6	2942,9	2896,4	2862,8

Tabela 14 - Valores individuais de consumo de oxigênio a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a 70%VO₂máx. VO₂ – consumo de oxigênio (ml.min⁻¹). N=14

Sujeitos	VO ₂ - 70%VO ₂ max sem exercício prévio				VO ₂ - 70%VO ₂ max com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	2900	2910	2943,7	2965,6	3150,6	3079,9	3087,9	3036,9
2	2754,6	2778,3	2822	2728,7	2997,3	2956	2965	2905,7
3	2776	2873	2878,7	2896	2967,2	3012,5	3006,8	3036,3
4	3445,7	3505,82	3494,9	3503,9	3756,9	3594,9	3515,5	3458,8
5	2956,3	2929	2903,8	2901,5	3180,9	3106,3	3048,5	3043,6
6	2881,9	2944,4	2965,4	3085,8	2901,9	2871,4	2731,9	2686,5
7	2770,3	2788,3	2792,2	2804,8	2813,6	2778,4	2810,4	2758,6
8	2888,6	2828,6	2875,5	2853	2971,02	2857,3	2869,9	2857,6
9	2962,9	2986,6	2988	3038,6	3100,5	3151,6	3109,5	314
10	3085	3056	3060,9	3107,6	3101,3	3028,9	2950,2	3016,8
11	2360,4	2377,5	2421,4	2430,8	2524,6	2471	2479,5	2472,9
12	3079,2	3198,4	3136,6	3200	3206,7	3279,4	3308,9	3435,3
13	3215,4	3268,9	3235,9	3296,3	3301,7	3366,5	3337,2	3380,8
14	3555,2	3634,9	3742,8	3782,6	3603,5	3490,3	3545	3556,5

Tabela 15 - Valores individuais da ventilação pulmonar (VE) a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a 50%VO₂máx. VE - ventilação pulmonar (l.min⁻¹). N=14

Sujeitos	VE - 50%VO ₂ max sem exercício prévio				VE - 50%VO ₂ max com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	45,8	49,4	49,6	50,3	53,3	51	50,7	49,9
2	48	49,6	50,8	50,1	56,3	53,1	51,1	50,1
3	40,23	40,62	41,98	42,8	40,07	41,58	41,75	41,37
4	47,6	48,6	48,7	48,5	59,4	53,5	49	48,8
5	49,33	52,05	54,47	55,66	56,19	54,28	53,44	52,66
6	48,2	49	48	49	50	48	48,3	48
7	50	51	51,88	50	46,6	47,8	50,3	48,65
8	52,47	56	55	56	56,4	56	55,6	55,2
9	54,6	58,7	60,5	60,9	63,5	61,4	61,4	58,9
10	50,5	54,5	55,5	55,6	55,6	57,7	57,1	59,2
11	46,7	47,4	47,5	47,2	46,3	48,9	50,2	51,7
12	44,3	45,8	45,9	46,8	47,8	48,8	48,7	50,7
13	54,09	54,93	57,27	59,08	49,84	53,05	52,97	55,56
14	54,9	57,3	57,6	55,8	68,6	64,4	61,1	60

Tabela 16 - Valores individuais da média da ventilação pulmonar (VE) a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a 70%VO₂máx. VE - ventilação pulmonar (l.min⁻¹). N=14

Sujeitos	VE - 70%VO ₂ máx sem exercício prévio				VE - 70%VO ₂ máx com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	66,4	67,3	67,6	68,1	69	68,7	70,8	70,2
2	75,9	75,2	76,5	74,5	81	83,3	81,3	79,6
3	68,18	72,61	72,54	71,14	69,05	72,08	72,91	73,69
4	72	74	75	75,7	92	82	79,8	77
5	69,59	67,41	68,11	68,62	70,65	72,82	72,28	70,82
6	63,7	66	66,2	68	71	67,5	65,3	65,5
7	57	59	60,2	59,4	59	60,27	64,55	62,12
8	78	78	80	80	77,7	75,4	76,6	76,5
9	74,2	76,2	77	77,4	78,2	82,3	81,7	81,9
10	75,8	77	78	80	75,8	77	78	80
11	62,4	63	64,6	64,3	63,5	65,5	64,7	65,3
12	65	69,6	68,8	72	71,3	72	74	78,7
13	76,3	77,95	78,23	78,14	72,92	75,2	77,02	79,05
14	80,3	81,7	84,3	83,5	82,9	80,7	81,7	81,8

Tabela 17 - Valores individuais da média da frequência cardíaca (FC) a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a 50%VO₂máx. FC – frequência cardíaca (bpm). N=14

Sujeitos	FC - 50%VO ₂ max sem exercício Prévio				FC - 50%VO ₂ max com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	121	127	126	128	133	133	131	131
2	116	118	120	120	116	121	121	120
3	110	109	109	109	108	110	110	107
4	115	116	117	119	124	126	128	127
5	111	112	115	114	125	129	128	128
6	126	127	125	124	135	140	140	137
7	140	146	149	150	147	149	148	143
8	123	130	126	130	132	133	131	132
9	129	130	130	130	139	138	138	136
10	134	137	139	140	137	141	139	140
11	131	131	131	132	135	136	132	133
12	115	15	114	115	123	124	125	124
13	104	109	112	113	104	106	107	109
14	135	136	136	134	151	154	148	142

Tabela 18 - Valores individuais da média da frequência cardíaca (FC) a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a 70%VO₂máx. FC – frequência cardíaca (bpm). N=14

Sujeitos	FC - 70%VO ₂ max sem exercício Prévio				FC - 70%VO ₂ max com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	148	150	149	150	150	150	148	147
2	138	140	143	140	144	148	147	147
3	135	141	143	143	142	148	148	149
4	144	149	150	151	148	154	155	154
5	134	140	140	140	145	149	149	148
6	157	161	158	159	160	165	163	162
7	167	171	173	174	164	171	173	171
8	140	147	151	154	155	155	157	158
9	161	168	168	171	168	169	168	169
10	151	156	157	159	164	166	164	164
11	139	144	147	147	139	139	138	139
12	140	146	149	150	144	149	149	149
13	129	136	134	138	138	141.7	142	143
14	151	157	160	162	166	170	172	172

Tabela 19 - Valores individuais da média da produção de gás carbônico (VCO_2) a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a $50\%VO_{2max}$. VCO_2 – produção de gás carbônico ($ml.min^{-1}$). N=14

Sujeitos	VCO_2 - $50\%VO_{2max}$ sem exercício Prévio				VCO_2 - $50\%VO_{2max}$ com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	1832,5	1947	1962	1961,2	1797,3	1860,7	1949,1	1967,5
2	1826,1	1869,1	1900,3	1846,3	1702,6	1753	1744	1729,2
3	1428,5	1441,6	1465,1	1483,2	1368,5	1510,5	1548,2	1531,7
4	1819,2	1824,4	1863,7	1862	1574,6	1569,2	1586,7	1650,3
5	1900,5	1982,4	2037,3	2047,2	1633,6	1790,5	1823,8	1844
6	1743,3	1702,6	1713,6	1718,8	1536,5	1604,5	1685,9	1693,7
7	1930,4	1937,5	1926	1844,8	1677,9	1776,9	1868,3	1841,5
8	1840,2	1959,1	1931,8	1936,7	1832,5	1915,8	1957,3	1962,1
9	1886	1991	2050,6	2061,7	1928,2	1900,2	1984,7	1871,1
10	1909,6	2018,1	2029,5	2002,8	1733,1	1879,2	1905,9	1986,4
11	1808,4	1830,7	1842,7	1848,3	1793,9	1964,4	2050,9	2131,5
12	1816,3	1837,7	1791,4	1784,6	1639,9	1763,9	1810,4	1847,1
13	1868,1	1939,1	2005,7	2047,5	1717,6	1900,7	1977,8	2054,9
14	2188,7	2269,9	2313,8	2243,6	2241,7	2264,4	2285,1	2303,6

Tabela 20 - Valores individuais da média da produção de gás carbônico (VCO_2) a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a 70% VO_{2max} . VCO_2 – produção de gás carbônico ($ml.min^{-1}$). N=14

Sujeitos	VCO_2 – 70% VO_{2max} sem exercício prévio				VCO_2 – 70% VO_{2max} com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	2784,1	2792,1	2784	2782,8	2514,2	2648	2830,2	2921,3
2	2579,7	2606,6	2604,9	2571,4	2489	2644,5	2704,4	2668,8
3	2519,8	2662,5	2645,6	2616,1	2468,8	2647,8	2663,9	2689,1
4	2868	2945	2927	2919	2733,9	2815,9	2902,5	2905
5	2632,8	2589,7	2574,6	2588,9	2349,3	2516,9	2555,9	2549,9
6	2327,7	2397,2	2386,9	2477,8	2306,5	2374,6	2363,8	2343,4
7	2555,1	2617,1	2647,9	2658,8	2197,6	2371,1	2489,3	2454,9
8	2655,8	2630,1	2676,8	2646,6	2417,6	2498,7	2567,7	2545,8
9	2572,9	2597,4	2603	2656,8	2619,3	2776,5	2790,5	2835,2
10	2803,3	2797	2792,6	2841,3	2468,6	2563,4	2589,4	2680
11	2375,4	2397,5	2420,9	2428,3	2355,6	2449,1	2481,2	2508,4
12	2707,1	2848,7	2739,7	2818,8	2559,4	2836	2994,4	3130,6
13	2774,2	2769,9	2767,1	2803,1	2658,6	2880,1	2917,1	2957,6
14	3272,9	3322,4	3382,7	3371,5	2891,4	2995,4	3109,9	3126

Tabela 21 - Valores individuais da média do equivalente ventilatório do gás carbônico (VE/VCO_2) a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a $50\%VO_{2max}$. VE/VCO_2 - equivalente ventilatório do gás carbônico. N=14

Sujeitos	VE/VCO_2 – $50\%VO_{2max}$ sem exercício prévio				VE/VCO_2 – $50\%VO_{2max}$ com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	24	24,5	24,4	24,7	24	24,5	24,4	24,7
2	25,4	25,4	25,6	25,9	25,4	25,4	25,6	25,9
3	27	27	27,5	27,6	27	27	27,5	27,6
4	25	25,5	25	25	25	25,5	25	25
5	25,02	25,31	25,78	26,21	25,02	25,31	25,78	26,21
6	26,4	27,3	26,8	27,5	26,4	27,3	26,8	27,5
7	24,97	25,8	25,9	25,9	24,97	25,8	25,9	25,9
8	27,5	27,5	27,8	28	27,5	27,5	27,8	28
9	27,8	28,4	28,5	28,5	27,8	28,4	28,5	28,5
10	25,6	26	26,4	26,8	25,6	26	26,4	26,8
11	24,7	24,8	24,7	24,5	24,7	24,8	24,7	24,5
12	23,5	24	24,7	25,3	23,5	24	24,7	25,3
13	28,34	27,7	27,7	27,98	28,34	27,7	27,7	27,98
14	24,1	24,2	23,9	23,9	24,1	24,2	23,9	23,9

Tabela 22 - Valores individuais da média do equivalente ventilatório do gás carbônico (VE/VCO_2) a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a $70\%VO_{2max}$. VE/VCO_2 - equivalente ventilatório do gás carbônico. N=14

Sujeitos	$VE/VCO_2 - 70\%VO_{2max}$ sem exercício prévio				$VE/VCO_2 - 70\%VO_{2max}$ com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	23,1	23,3	23,5	23,7	26,5	25,1	24,3	23,4
2	28,5	27,9	28,4	28	31,6	30,5	29,1	29,9
3	25,8	26	26,6	26,4	27	26,3	26,5	26,5
4	24,3	24,4	24,7	25	32,8	28,3	26,6	25,7
5	25,6	25,2	25,6	25,6	29,1	28	27,3	26,8
6	26,4	26,5	26,7	26,6	29,9	27,5	26,6	27
7	21,5	21,8	21,9	21,5	25,9	24,5	25	24,4
8	28,4	28,8	29	29,5	31	29	29	29
9	27,9	28,3	28,6	28,1	28,9	28,6	28,3	27,9
10	26,3	26,7	27,1	27,4	32,7	30,9	30	29,2
11	25,3	25,3	25,7	25,5	26,9	26,7	26	26
12	23,2	23,7	24,3	24,7	27	24,6	24	24,4
13	26,7	27,8	27,5	27,15	26,6	25,4	25,7	26
14	23,8	23,8	24,2	24	27,8	26,1	25,4	25,3

Tabela 23 - Valores individuais da média do equivalente ventilatório do oxigênio (VE/VO_2) a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a $50\%VO_2$ máx. VE/VO_2 - equivalente ventilatório do oxigênio. N=14

Sujeitos	VE/VO_2 – $50\%VO_2$ max sem exercício prévio				VE/VO_2 – $50\%VO_2$ max com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	20,4	21,7	21,8	22,1	21	21	21,4	21,5
2	23,4	23,7	23,9	23,8	25	24,5	24,5	24,7
3	23,4	24,2	24,6	25	23,5	24,5	24,8	25,6
4	21,2	22,4	22,4	22,6	26,4	24,2	22,5	22,7
5	21,6	22,4	23,3	23,9	23,6	22,7	23,5	23,3
6	22,3	23,4	23	23,6	23,5	22,7	23	23
7	20,6	21,6	21,3	21,2	20	21	22	21,8
8	22,8	23,4	23,3	23,9	23,4	23,6	23,7	23,8
9	23,8	25,3	24,8	25,7	23,7	24,9	24,6	25
10	20,9	22,3	22,4	22,5	24,5	25,1	25,1	25,2
11	26	26,2	25,8	25,5	23,8	24,9	24,9	25,2
12	19,9	21,1	21,6	22,2	21,2	21,5	21,8	22,6
13	24,4	24,3	24,5	24,7	21,7	23,4	23,1	23,6
14	21,4	21,7	21,2	21	21,7	21	20,2	20,1

Tabela 24 - Valores individuais da média do equivalente ventilatório do oxigênio (VE/VO_2) a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a $70\%VO_{2max}$. VE/VO_2 - equivalente ventilatório do oxigênio. N=14

Sujeitos	$VE/VO_2 - 70\%VO_{2max}$ sem exercício prévio				$VE/VO_2 - 70\%VO_{2max}$ com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	22,2	22,4	22,2	22,2	21,1	21,5	22,2	22,4
2	26,7	26,3	26,5	26,1	26,2	27,3	26,5	26,4
3	23,6	24,3	24,4	23,9	22,5	23,1	23,5	23,4
4	20,4	20,6	20,8	20,7	23,7	22,2	21,9	21,7
5	22,8	22,2	22,7	22,8	21,4	22,6	22,8	22,5
6	21,3	21,6	21,6	21,4	23,8	22,7	23	23,5
7	19,9	20,4	20,8	20,4	20,1	20,9	22,1	21,6
8	26	26,8	27	27,4	25	25,5	26	25,8
9	24,3	24,6	24,8	24,7	24,4	25,2	25,4	25,2
10	23,9	24,5	24,8	25	23,9	24,5	24,8	25
11	25,4	25,5	25,7	25,4	25,1	26,4	26,1	26
12	20,4	21,1	21,2	21,6	21,5	21,3	21,7	22,2
13	23,1	23,3	23,4	23	21,5	21,7	22,5	22,8
14	22	21,8	21,8	21,4	22,3	22,4	22,3	22,2

Tabela 25 - Valores individuais da média do quociente respiratório (R) a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a 50%VO₂máx. R – quociente respiratório (R). N=14

Sujeitos	R – 50%VO ₂ max sem exercício Prévio				R– 50%VO ₂ max com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	0,85	0,88	0,89	0,89	0,73	0,79	0,85	0,87
2	0,92	0,93	0,93	0,91	0,79	0,84	0,87	0,88
3	0,87	0,88	0,90	0,90	0,80	0,88	0,92	0,96
4	0,85	0,88	0,89	0,90	0,72	0,74	0,76	0,80
5	0,85	0,89	0,89	0,92	0,71	0,78	0,84	0,85
6	0,84	0,85	0,85	0,85	0,75	0,79	0,84	0,85
7	0,83	0,83	0,82	0,81	0,75	0,81	0,84	0,86
8	0,82	0,85	0,83	0,85	0,79	0,84	0,87	0,88
9	0,85	0,88	0,87	0,90	0,75	0,80	0,82	0,81
10	0,81	0,85	0,84	0,83	0,79	0,84	0,86	0,87
11	1,05	1,05	1,04	1,03	0,93	0,98	1,01	1,05
12	0,84	0,88	0,87	0,88	0,76	0,81	0,84	0,86
13	0,86	0,88	0,88	0,88	0,77	0,86	0,89	0,90
14	0,89	0,89	0,88	0,87	0,73	0,76	0,78	0,80

Tabela 26 - Valores individuais da média do quociente respiratório (R) a cada 5 minutos sem e com exercício prévio a 70%VO₂máx. R – quociente respiratório (R). N=14

Sujeitos	R – 70%VO ₂ max sem exercício Prévio				R– 70%VO ₂ max com exercício prévio			
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	0,96	0,95	0,94	0,93	0,79	0,85	0,91	0,96
2	0,93	0,93	0,92	0,94	0,83	0,89	0,91	0,91
3	0,90	0,92	0,91	0,90	0,83	0,87	0,88	0,88
4	0,83	0,84	0,83	0,83	0,72	0,78	0,82	0,83
5	0,89	0,88	0,88	0,89	0,73	0,81	0,83	0,83
6	0,80	0,81	0,80	0,80	0,79	0,82	0,86	0,87
7	0,92	0,93	0,94	0,94	0,78	0,85	0,88	0,88
8	0,91	0,92	0,93	0,92	0,81	0,87	0,89	0,89
9	0,86	0,86	0,87	0,87	0,84	0,88	0,89	0,90
10	0,90	0,91	0,91	0,91	0,79	0,84	0,87	0,88
11	1,00	1,00	0,99	0,99	0,93	0,99	1,00	1,01
12	0,87	0,89	0,87	0,88	0,79	0,86	0,90	0,91
13	0,86	0,84	0,85	0,85	0,80	0,85	0,87	0,87
14	0,92	0,91	0,90	0,89	0,80	0,85	0,87	0,87

Tabela 27 - Valores individuais das concentrações de lactato ([Lac]) medidos a cada 5 minutos do exercício realizado a 50%VO₂max sem e com exercício prévio supramáximo. A = concentração de lactato (mM) 1 minuto após o exercício supramáximo; B = concentração de lactato (mM) 1 minuto antes do início do exercício submáximo de carga constante. N = 14.

Sujeitos	50%VO ₂ max sem exercício prévio					50%VO ₂ max com exercício prévio					
	B	5 min	10 min	15 min	20 min	A	B	5 min	10 min	15 min	20 min
1	0,73	0,77	0,73	0,64	0,73	9,66	12,36	5,91	2,31	1,44	0,99
2	0,91	1,2	1,26	0,99	0,91	10,77	12,24	8,43	5,52	3,51	2,58
3	0,9	0,87	0,75	0,87	0,9	7,44	7,47	2,79	1,71	1,23	1,2
4	0,72	0,78	0,72	0,64	0,72	11,49	14,49	12,24	6	3	1,86
5	0,78	1,02	0,87	0,78	0,78	8,4	8,4	4,59	2,46	1,47	0,99
6	1,34	1,35	1,4	1,33	1,34	6,87	10	5,37	2,49	1,88	1,56
7	1,2	1,33	1,16	1,26	1,2	4,62	8,25	2,61	1,28	0,97	0,89
8	1	1,31	1,03	0,96	1	7,83	8,37	4,02	1,98	1,56	1,4
9	0,88	1,03	1,04	0,98	0,88	6,81	7,8	3,09	1,8	1,14	0,95
10	0,65	0,8	0,66	0,62	0,65	8,7	7,92	4,65	2,54	1,04	1,65
11	0,81	0,66	0,63	0,75	0,81	9,42	10,53	4,32	1,92	1,11	0,81
12	0,82	0,95	0,82	0,8	0,82	7,83	8,58	5,1	2,3	1,37	1,07
13	1,11	1,41	1,11	1,23	1,11	5,25	4,26	1,41	0,99	0,81	0,84
14	0,99	1,05	1,11	1,05	0,99	10,22	11,82	6,78	3,18	1,83	1,35

Tabela 28 - Valores individuais das concentrações de lactato ([Lac]) medidos a cada 5 minutos do exercício realizado a 70%VO₂max sem e com exercício prévio supramáximo. A = concentração de lactato (mM) 1 minuto após o exercício supramáximo; B = concentração de lactato (mM) 1 minuto antes do início do exercício submáximo de carga constante. N = 14.

Sujeitos	70%VO ₂ max sem exercício prévio					70%VO ₂ max com exercício prévio					
	B	5 min	10 min	15 min	20 min	A	B	5 min	10 min	15 min	20 min
1	0,73	1,65	1,26	1,23	1,17	7,14	9,9	4,26	1,95	1,31	1,35
2	0,91	2,94	3,21	3,69	3,18	9,63	9,84	7,11	5,49	5,31	4,65
3	0,9	1,41	1,71	1,65	1,59	-	-	-	-	-	-
4	0,72	1,35	1,35	0,92	1,11	10,44	13,92	10,68	5,4	3,09	2,4
5	0,78	1,8	1,65	1,2	1,17	8,64	10,2	5,88	3,18	2,1	1,78
6	1,34	1,35	1,13	1,19	1,63	7,8	9,51	4,68	2,57	2,23	2,04
7	1,2	1,86	1,35	1,3	1,34	7,5	6,6	2,23	1,23	1,04	1,04
8	1	3,12	2,67	2,58	2,76	7,44	9	5,43	3,48	2,9	2,72
9	0,88	2,47	2,22	1,9	1,71	3,5	5,85	3,33	2,09	1,74	1,72
10	0,65	2,86	2,58	1,83	2,16	6,09	8,52	5,58	3,63	3,33	2,84
11	0,81	1,65	1,2	1,2	1,26	6,87	8,7	4,08	1,65	1,17	1,02
12	0,82	1,62	1,63	1,61	1,68	5,31	11,16	6,69	3,96	2,98	2,62
13	1,11	1,95	1,8	1,6	1,53	4,83	3,09	1,59	1,63	1,32	1,44
14	0,99	2,16	2,1	1,95	2,04	5,52	4,41	2,22	1,5	1,32	1,44