

**Artigo de revisão**Fábio Yuzo Nakamura
Emerson Franchini

MÁXIMO DÉFICIT ACUMULADO DE OXIGÊNIO COMO PREDITOR DE CAPACIDADE ANAERÓBIA

MAXIMAL ACCUMULATED OXYGEN DEFICIT AS A PREDICTOR OF ANAEROBIC CAPACITY

RESUMO

O máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) vem sendo apontado como uma das medidas mais adequadas de capacidade anaeróbia. Ele se baseia na diferença numérica entre a demanda energética total de um exercício severo e a porção de energia associada ao consumo total de oxigênio. Ainda há debate na literatura sobre seus procedimentos de medida e validade dos pressupostos. A presente revisão foi feita para descrever e discutir esses procedimentos de medida, bem como as evidências de validade do MAOD. Por fim, são discutidas questões críticas da metodologia empregada na medida dessa variável fisiológica.

Palavras-chave: déficit de oxigênio, capacidade anaeróbia, cinética de oxigênio.

ABSTRACT

The maximal accumulated oxygen deficit (MAOD) has been considered as one of the most adequate measures of anaerobic capacity. It is based on the numerical difference between the total energy demand of a severe exercise bout and the energy portion associated to the total oxygen consumption. However, the debate around the measurement procedures and the validity of the assumptions persist. The present review was done to describe and discuss these measurement procedures, as well as the validity evidences of MAOD. Finally, critical questions about the methodology of measurement of this physiological variable are discussed.

Key words: oxygen deficit, anaerobic capacity, oxygen kinetics.

¹Grupo de Estudo das Adaptações Fisiológicas ao Treinamento (GEAFIT- UEL)

²Grupo de Estudo e Pesquisa em Metabolismo, Nutrição e Exercício (GEPEMENE-UEL)

³Faculdade de Educação Física da Universidade Presbiteriana Mackenzie – Barueri/SP.

INTRODUÇÃO

A capacidade anaeróbia é conceituada como a quantidade máxima de energia despendida no exercício a partir da utilização dos estoques intramusculares de fosfagênios (adenosina trifosfato, ATP, e creatina fosfato, CP) e da glicólise anaeróbia, com conseqüente formação de lactato¹. Os testes mais adotados para a medida e avaliação dessa capacidade baseiam-se na quantificação do desempenho mecânico em exercício supramáximo (acima do VO_2max) exaustivo. Nessa abordagem, o teste mais utilizado tem sido o de Wingate, o qual tem duração de 30s e é realizado em cicloergômetro. No entanto, reconhece-se a limitação dessa técnica, uma vez que, mesmo em testes curtos, há contribuição substancial e inevitável do metabolismo aeróbio², dependente da especialização atlética do avaliado³, sem distinção da potência gerada a partir de cada um dos sistemas bioenergéticos. Um teste autêntico de capacidade anaeróbia deve ser capaz de separar e definir quantitativamente as produções aeróbia e anaeróbia de energia⁴.

Nesse sentido, o máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) foi proposto por Medbø et al.⁵. Desde então, tem sido considerado como a medida mais aceita de capacidade anaeróbia¹. Sua principal aplicação é na avaliação de atletas, já que a capacidade anaeróbia não figura entre os componentes essenciais da aptidão física, voltada para a saúde na sociedade contemporânea. Na maior parte dos casos, sua medida ainda se restringe a laboratórios, sendo rara sua aplicação em situações de campo.

Esta revisão teve como base artigos originais e algumas revisões levantadas em bases de dados (Medline) e arquivos pessoais dos autores. O objetivo foi descrever a técnica de determinação do MAOD, discutir a validade de seus pressupostos, e suas possíveis aplicações teórico-práticas.

Procedimentos originais para determinação do MAOD

De acordo com as preconizações de Medbø et al.⁵, o primeiro passo para a determinação do MAOD consiste no estabelecimento de uma relação linear individual entre a demanda de O_2 e a intensidade do exercício, sob condições submáximas (abaixo do VO_2max), com intensidades compreendidas entre 35-100% do VO_2max (figura 1). São necessárias cerca de 10-20 sessões, com 10 min de duração, sendo a demanda de O_2 o valor médio de estado estável de VO_2 (l/min ou ml/kg/min), dos últimos dois minutos de exercício. Essas medidas podem durar vários dias. No entanto, segundo Medbø et al.⁵, o procedimento é necessário, pois há considerável variação (~16%) inter-individual no termo de eficiência mecânica, que pode afetar a precisão da medida do MAOD caso se adote uma reta de regressão comum. A intensidade

do exercício é expressa em unidades específicas, dependendo do ergômetro utilizado. No cicloergômetro, por exemplo, utiliza-se a potência em watts (W) e, na esteira rolante, a velocidade em metros por minuto, ou por segundo (m/min ou m/s).

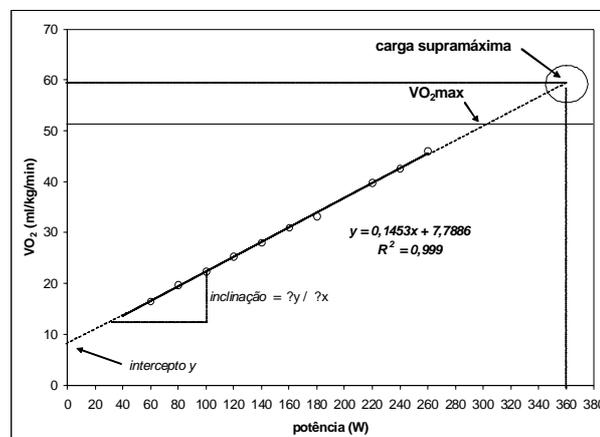


Figura 1. Relação linear entre VO_2 e cargas submáximas em cicloergômetro, e extrapolação da relação para carga acima do VO_2max (supramáxima), indicada com o círculo.

A relação linear entre demanda de O_2 e a potência, no exemplo da figura 1, é extrapolada para estimativa da demanda energética para cargas maiores que a correspondente ao VO_2max . Normalmente, cargas retangulares na faixa de 110-125% do VO_2max induzem a exaustão em torno de 2-7 min, as quais parecem pertencer à faixa adequada de duração dos testes exaustivos para estimativa do MAOD. Cargas com menos de dois minutos não permitem a manifestação completa do MAOD, enquanto testes com mais de 10 minutos parecem requerer maior motivação por parte do indivíduo avaliado, e podem, assim, ocasionar erros mais significativos na medida.

A demanda de O_2 acumulada em testes supra- VO_2max é dada pela multiplicação da demanda de O_2 extrapolada (figura 1) pelo tempo de exercício até a exaustão. A diferença entre a demanda acumulada de O_2 e o VO_2 acumulado no teste, resulta no MAOD (figura 2). No exemplo dado na figura 2, a demanda acumulada de O_2 e o VO_2 acumulado foram fracionados a cada 20 s de duração do teste. Nesse caso, o MAOD seria a soma das áreas marcadas com linhas diagonais.

O chamado procedimento 3 de Medbø et al.⁵, que consiste na adoção de um intercepto y comum a todos os indivíduos, de 5 ml/kg/min, permite que menos testes submáximos sejam realizados, desde que os outros pontos disponíveis, de demanda de O_2 , incluam intensidades muito próximas ao VO_2max . Essa é uma alternativa que parece melhorar a aplicabilidade do MAOD, já que, segundo os proponentes, gera estimativas próximas às obtidas pelo procedimento original.

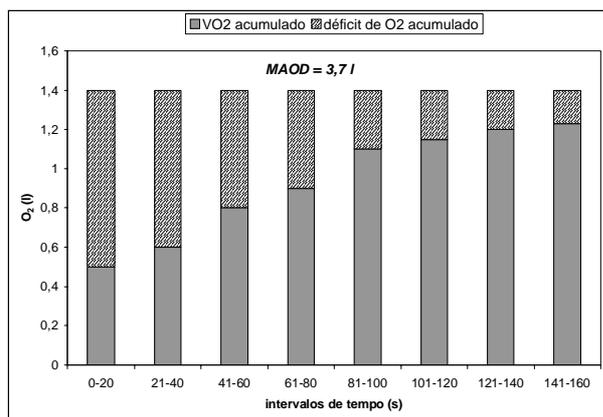


Figura 2. Comportamento do VO₂ e do déficit de O₂ acumulados em diferentes instantes de um teste supramáximo exaustivo. Os valores de VO₂ e déficit de O₂ acumulados em cada período de 20 s foram expressos no eixo y em seus valores reais, e não extrapolados para um minuto. A demanda acumulada de O₂ é a soma de todos os retângulos.

Procedimento alternativo para determinação do MAOD

O maior problema operacional na mensuração do MAOD, segundo as recomendações originais feitas por Medbø et al.⁵ diz respeito ao número elevado de testes submáximos necessários para determinação da relação entre demanda energética e carga de trabalho. Hill⁶, em vista desse problema de aplicabilidade, propôs uma técnica em cicloergômetro que envolve a realização de apenas quatro testes para a estimativa do MAOD.

Todos os testes são conduzidos até a ocorrência da exaustão. As cargas devem ser escolhidas de forma que suas durações encontrem-se entre 1,5-10 minutos. Em cada teste, são computados o VO₂ acumulado, a potência gerada e o tempo de exercício. A equação abaixo descreve a relação entre essas três variáveis medidas e as duas incógnitas (demanda de O₂ e déficit de O₂):

$$\text{VO}_2 \text{ acumulado (ml)} = [\text{demanda de O}_2 \text{ (ml/min/W)} * \text{potência (W)} * \text{tempo (s)}] - \text{déficit de O}_2 \text{ (ml)}$$

Os valores de demanda de O₂ e déficit de O₂ são estimados através de procedimento de regressão linear disponível em programas de estatística. Adicionalmente, deve-se subtrair 2,3 ml/kg do déficit de O₂ para excluir da medida os estoques corporais de O₂ que, por natureza, não pertencem às fontes anaeróbias de energia⁶.

O MAOD obtido pela técnica de Hill⁶ apresentou uma correlação de 0,96 com a medida convencional. O coeficiente de determinação (R²) do modelo matemático foi de 0,99. Isso significa que os dados experimentais estavam bem ajustados à equação proposta. Além disso, o erro padrão de estimativa foi de 12% do déficit de O₂ e de 3% da demanda de O₂, evidenciando uma precisão relativamente alta nas

medidas. Nakamura⁷ encontrou correlação moderada ($r = 0,63$) entre o MAOD obtido pelo procedimento simplificado de Hill e a capacidade de trabalho anaeróbio, estimada de acordo com os pressupostos do modelo de potência crítica⁸. Esses resultados indicam a viabilidade do procedimento simplificado de mensuração do MAOD que, ainda assim, merece atenção em estudos futuros por conta da insipiência das investigações.

Evidências de validade do MAOD

No estudo original de Medbø et al.⁵, os sujeitos foram submetidos a um teste para determinação do MAOD sob condição hipóxica, com redução da concentração inspirada de O₂ para 13,5%, a qual simula ascensão aguda para uma altitude de 3.500 metros acima do nível do mar. A tolerância ao esforço foi diminuída e o VO₂max sofreu prejuízo; no entanto, o MAOD permaneceu invariável. Esse achado reforça a natureza anaeróbia do parâmetro e, de certa forma, constitui evidência de validade.

O MAOD estimado por Bangsbo et al.⁹, em exercício cíclico de extensão de apenas um joelho (91,6 mmol ATP por kg de músculo ativo), aproximou-se sobremaneira da medida feita de forma mais direta, por meio da mudança de concentrações teciduais de ATP, CP e inosina monofosfato (IMP), juntamente com a estimativa de produção de lactato (91,2 mmol ATP por kg de músculo ativo). Em adição, Medbø e Tabata¹⁰ demonstraram alta correlação ($r = 0,94$) entre a estimativa da taxa de utilização das fontes de energia anaeróbia, feita a partir da mudança de concentrações de metabólitos musculares associados a essa via metabólica, e a estimativa feita a partir da técnica original de Medbø et al.⁵ para o déficit de O₂. Os esforços foram empreendidos até a exaustão no cicloergômetro, com durações de 30, 60 s e 2-3 min. Bangsbo¹¹, no entanto, sugere que a análise dos pontos experimentais mostra que dentro de cada faixa de duração não houve tal correlação, e que a alta correlação encontrada resultou de um artefato provocado pelo agrupamento de todos os dados experimentais, que tinham durações bastante diferentes.

Em investigação conduzida por Green et al.¹², o MAOD de ciclistas de elite não se correlacionou ($P > 0,05$) com a produção anaeróbia de ATP, calculada a partir das mudanças nas concentrações de fosfagênicos e lactato em amostras de tecido do vasto lateral, além de apresentar correlações negativas significantes com a capacidade de tamponamento muscular ($r = -0,50$), com a atividade das enzimas fosforilase ($r = -0,39$) ou fosfofrutoquinase ($r = -0,22$). Cabe mencionar que a produção anaeróbia de ATP correlacionou-se positivamente com a capacidade de tamponamento ($r = 0,81$), e com a atividade da fosforilase ($r = 0,69$), provendo suporte para sua validade. Uma das causas das possíveis fontes de

erro na determinação do MAOD, apontada pelos autores é que as regressões individuais entre VO_2 e potência foram feitas somente em intensidades sublimiar de lactato, o que pode ter afetado a estimativa de demanda de O_2 , sobretudo nos velocistas, os quais potencialmente poderiam manifestar maior componente lento da cinética de VO_2 acima do limiar de lactato (ver em *Questões metodológicas na determinação do MAOD*).

A medida do MAOD parece estar intimamente relacionada à quantidade de massa muscular mobilizada durante os teste exaustivos, já que quanto maior essa massa, maior o potencial de transferência de energia pelos processos anaeróbios. Evidência a favor dessa hipótese foi estabelecida a partir da observação¹³ de que o ciclismo com apenas um dos segmentos inferiores gerou um MAOD absoluto de 52% do valor alcançado com os dois segmentos, em um grupo constituído por homens e mulheres. Adicionalmente, a diferença significativa era eliminada ao se expressar o MAOD em termos relativos ao volume dos segmentos livre de gordura. A correlação entre MAOD nas duas situações e o volume dos segmentos livre de gordura foi de 0,94.

Em outras formas de exercício, o fenômeno se reproduziu. Na natação, utilizando-se apenas das braçadas, atletas da modalidade exibiram MAOD equivalente a 73,3% do valor alcançado no nado convencional, que inclui braçadas e pernadas¹⁴, ao passo que na corrida em esteira, quanto maior a inclinação, maior o MAOD¹⁵. A 1% de inclinação, sujeitos não treinados apresentaram MAOD equivalente a 39,5 ml/kg. Já a 15% (71,7 ml/kg) e a 20% (69,4 ml/kg), os índices foram significativamente maiores. Argumenta-se que na corrida com maior inclinação, há maior participação da fase concêntrica das contrações musculares em detrimento das excêntricas. Nas concêntricas, a demanda energética é duas a cinco vezes maior, justificando o aumento do MAOD. Além disso, segundo Sloniger et al.¹⁶, a inclinação na esteira exige recrutamento de maior volume de massa muscular das extremidades inferiores que a corrida em plano horizontal, o que também pode ser uma explicação para a alteração no MAOD. Esses resultados, apesar de fornecerem evidências de validade do MAOD, também suscitam precauções na comparação dos resultados obtidos por indivíduos, em diferentes protocolos de teste, sobretudo com a manipulação da quantidade de massa muscular envolvida. Ainda nessa linha, Bangsbo et al.¹⁷ mostraram que remadores testados em remoergômetro tiveram MAOD 36% maior que na corrida, evidenciando não só o efeito da massa muscular, como também da especificidade do treinamento.

No estudo de Olesen¹⁵, na esteira, verificou-se que indivíduos treinados em provas anaeróbias do atletismo (400 a 1500 m) apresentaram valores

superiores de MAOD a 15% de inclinação, quando comparados com não treinados. Isso reforça a validade da medida. No entanto, surpreendentemente, a 1% essa diferença não foi estatisticamente significativa, apesar dos valores médios terem sido distanciados (39,5 versus 56,9 ml/kg).

O MAOD, tanto absoluto (em litros) quanto relativo à massa corporal (ml/kg), normalmente costuma ser maior nos homens do que nas mulheres, sejam adolescentes¹⁸ ou adultos¹⁹. Na amostra de Naughton et al.¹⁸, foram investigados jogadores e jogadoras de *badminton*. Os rapazes apresentaram MAOD de 71,5 ml/kg, em teste conduzido a 120% do VO_{2max} na esteira rolante, ao passo que as moças apresentaram o valor equivalente a 58,6 ml/kg. Confirmando esses resultados, as concentrações de amônia (NH_3) e de lactato plasmáticos foram significativamente superiores nos rapazes, em coletas feitas em até 20 min após o término do teste. O pH sanguíneo foi maior nas moças, indicando menor perturbação no equilíbrio ácido-base do organismo. Essas diferenças parecem ser explicadas pelo dimorfismo sexual relacionado à quantidade de massa muscular recrutada na tarefa, áreas relativas de fibras de contração rápida e lenta e atividade das enzimas glicolíticas. Ao terem a massa muscular potencialmente ativa (MMA), no teste de MAOD em cicloergômetro, estimada pela técnica de absorptometria radiológica de dupla energia (DEXA), os homens adultos foram superiores (126,3 ml/kg MMA) às mulheres em relação ao indicador de capacidade anaeróbia (108,3 ml/kg MMA)¹⁹. O mesmo ocorreu quando o índice foi expresso em relação à massa corporal (46,3 versus 38,2 ml/kg, respectivamente).

Em trabalho bastante interessante, Scott et al.⁴ verificaram que o MAOD discriminava a capacidade anaeróbia de corredores fundistas (56,9 ml/kg), que não diferiam do grupo controle sedentário (56,1 ml/kg), mas eram inferiores aos velocistas (78,3 ml/kg) e meio-fundistas (74,2 ml/kg). O desempenho no teste de Wingate entre as amostras não foi diferente. Portanto, não apresentou capacidade discriminatória. Resultados semelhantes foram relatados por Gastin e Lawson²⁰. Atletas de velocidade e de *endurance* do ciclismo apresentaram MAOD absolutos diferentes (4,82 versus 3,82 l), apesar de terem alcançado a mesma quantidade de trabalho mecânico em teste exaustivo de 90 s. Quando expresso em termos relativos à massa corporal elevada a 2/3, essas diferenças permaneciam consistentes. No entanto, as diferenças desapareciam ao se expressar o MAOD em termos relativos à massa corporal elevada a um, que é a expressão convencional. Esse estudo aponta a necessidade de melhor compreensão das correções alométricas, utilizadas na expressão relativa do MAOD, pois elas parecem interferir nas interpretações fisiológicas e de performance do índice.

O MAOD estimado em esteira rolante apresenta altas correlações negativas com os tempos obtidos por uma amostra composta, em sua maioria, por corredores, nas distâncias de 100 m ($r = -0,88$), 400 m ($r = -0,82$) e correlação moderada com o tempo em 800 m ($r = -0,61$)²¹. Vale ressaltar que o VO_2 max desses indivíduos correlacionou-se fortemente ($r = -0,92$) com a performance nos 800 m, e não apresentou correlação significativa com o tempo nos 100 m, indicando que, a partir de uma distância próxima a 800 m, a potência aeróbia passa a ser maior determinante para o desempenho, e não a capacidade anaeróbia. Prova disso é que Craig e Morgan²² não encontraram correlação significativa entre o MAOD obtido na esteira e o desempenho nos 800 m na pista, em uma amostra de corredores mais homogênea em termos de performance. Além disso os autores reportaram elevada correlação ($r = 0,80$) entre o MAOD e o pico de lactato alcançado um minuto após o término do próprio teste. Scott et al.⁴ encontraram correlação de $-0,76$ entre MAOD e o melhor tempo de corrida nos 300 m.

Além disso, estudos têm mostrado que o MAOD se correlaciona com outros testes de capacidade anaeróbia, como, por exemplo, o teste máximo de corrida anaeróbia (MART)²³, teste de corrida bidirecional (*shuttle run*) com distância total de 300 m, dentro de um percurso de 20 m²⁴, e capacidade de trabalho anaeróbio prevista pelo modelo de potência crítica²⁵.

Estudos longitudinais têm mostrado que o MAOD pode ser melhorado em cerca de 10-28%, em resposta a programas de treinamento de curto prazo que envolvem sessões intermitentes de alta intensidade (116 a 170% do VO_2 max)^{26,27}, ao passo que pode permanecer inalterado em resposta a programas de treinamento contínuo, submáximo (70% do VO_2 max), a despeito de alteração positiva no VO_2 max²⁷. Uma limitação para o cálculo do déficit acumulado de oxigênio como indicador de capacidade anaeróbia é que cerca de 400-600 ml de oxigênio endógeno (presente nos pulmões, fluidos corporais, hemoglobina e mioglobina) são utilizados durante o exercício supramáximo de curta duração e contribuem para o valor final de déficit de oxigênio de maneira reduzida, porém não negligenciável. Além disso, na transição do repouso para o exercício, o consumo de oxigênio mensurado por meio dos gases expirados pela boca/nariz, subestima o consumo de oxigênio tecidual em decorrência de mudanças na mioglobina tecidual e nos estoques de oxigênio do sangue venoso. Contudo, o treinamento tem pouca influência sobre a contribuição que os estoques de oxigênio endógeno representam para o déficit acumulado de oxigênio, indicando que sua elevação está realmente relacionada à capacidade anaeróbia (especialmente ao componente láctico)¹.

A suplementação de creatina (20 g por dia,

cinco dias) aumentou o MAOD significativamente de 4,04 para 4,41 L²⁸. Esse aumento se deu pela maior tolerância ao esforço a 125% do VO_2 max (130,9 versus 134,0 s). Esse efeito não foi verificado no grupo controle.

Quanto à reprodutibilidade da técnica de medida da capacidade anaeróbia, sabe-se que em uma situação de teste-reteste, não houve diferença significativa do MAOD (65,2 versus 66,3 ml/kg) em protocolo em esteira realizado com inclinação de 10,5%²¹. Além de não diferirem entre si, os resultados de MAOD alcançados em pares de testes, realizados a 110% e 120% do VO_2 max, apresentaram elevado índice de reprodutibilidade, apontado pelo coeficiente de correlação intra-classe, que foi de 0,95 para a intensidade de 110% e de 0,97 para a intensidade de 120% do VO_2 max²⁹. Em adição, não foram encontradas diferenças entre as estimativas de MAOD feitas a partir das intensidades de 120 e 130% do VO_2 max na esteira, entre adolescentes²¹. O coeficiente de correlação intra-classe foi de 0,96.

Questões metodológicas na determinação do MAOD

Metodologicamente, o cálculo do MAOD pelos procedimentos de MedbØ et al.⁵ baseia-se em dois pressupostos importantes: (1) a demanda de O_2 pode ser estimada a partir da extrapolação linear do VO_2 de estado estável de cargas submáximas e; (2) a demanda de O_2 é constante durante o teste retangular na carga supra- VO_2 max.

Com relação à validade do pressuposto (1), o argumento contrário é o fenômeno de componente lento da cinética do VO_2 , descrito por Whipp e Wasserman³⁰ e, mais recentemente, revisto e interpretado à luz de um modelo de domínios de esforço, por Gaesser e Poole³¹. De acordo com as descrições desses autores, o valor de estado estável de VO_2 em intensidades superiores ao limiar de lactato (acima do domínio moderado), tido como a primeira elevação da concentração desse metabólito no sangue, em teste incremental, é atrasado (domínio intenso) ou não ocorre até que o VO_2 max seja atingido (domínio severo). Portanto, o fenômeno do componente lento da cinética de VO_2 pode acarretar em aumento não linear do VO_2 em função da carga de trabalho³².

Nesse sentido, a escolha da forma de imposição das cargas e a duração dos testes submáximos podem interferir diretamente nos parâmetros da reta de regressão linear entre VO_2 e carga. No trabalho de Green e Dawson³³, testou-se um protocolo contínuo de cargas progressivas, as quais eram aumentadas em 44 W, a cada quatro minutos, versus testes descontínuos (separados por intervalo de 15 min para diminuição do VO_2 para valor de repouso) de intensidades equivalentes, tomando a média das leituras de VO_2 nos seguintes intervalos

temporais: 4-6, 8-10 e 13-15 min. Foram encontradas diferenças significativas entre as inclinações das retas de regressão geradas, sendo elas progressivamente maiores (de 11,9 a 12,5 ml/W/min) quanto maior duração do intervalo até a coleta da amostra de VO_2 . Não foi observada diferença no intercepto y. Isso fez com que os resultados do teste contínuo subestimasse a demanda de O_2 (5,8 l/min) em uma carga supra- VO_{2max} fixa, de 432 W, em relação à mesma estimativa feita a partir das coletas entre 8-10 (6,0 l/min) e 13-15 min (6,1 l/min). Os resultados desse estudo sugerem que o MAOD pode ser protocolo-dependente, sobretudo em função da escolha da duração dos testes submáximos.

O procedimento 3 de Medbø et al.⁵ não foi adotado no estudo anterior, assim como na maior parte dos estudos disponíveis na literatura, ficando livre a estimativa do intercepto y da relação entre demanda de O_2 e a intensidade de esforço.

Ao realizar 10 testes descontínuos de 10 min de duração cada, Buck e McNaughton³⁴ compararam as medidas de MAOD geradas a partir das retas de regressão obtidas pelas medidas de VO_2 , nos intervalos de 2-4, 4-6 e 6-8 min, com a estimativa feita pelo padrão estabelecido por Medbø et al.⁵, de coleta aos 10 min. A diferença entre a estimativa originada pelas coletas de 2-4 min (39,6 ml/kg) e de 8-10 min (53,4 ml/kg) foi considerável, sendo a única a alcançar significância estatística.

No trabalho de Gardner et al.³⁵, no entanto, não houve diferença entre os parâmetros da reta de regressão entre potência e VO_2 (intercepto y e inclinação) quando as medidas de VO_2 durante as cargas submáximas de 100, 125, 150, 175 e 200 W de ciclistas foram feitas a partir das médias obtidas entre 1-3, 4-6 ou 8-10 minutos de exercício. Com isso, a estimativa da demanda acumulada de O_2 e do MAOD, a partir de quaisquer das retas de regressão, não diferiu de forma significativa das outras duas, ficando entre 9,8 a 10,0 l, e 50,9 a 54,1 ml/kg, respectivamente. Esses achados divergem dos resultados encontrados por Green e Dawson³³ e por Buck e McNaughton³⁴, e da descrição do componente lento da cinética de VO_2 .

No geral, pode-se afirmar que a validade do pressuposto (1) é no mínimo questionável. Ainda não há uma solução aceita para esse problema. Com relação ao pressuposto (2), Bangsbo¹¹ apresenta contestações à sua validade. Ele demonstrou experimentalmente que nos instantes iniciais (20 s) de exercícios supramáximos, a demanda de O_2 é superior aos instantes finais (> 2 min). Com isso, ao que parece, a eficiência mecânica não é constante ao longo dos testes para determinação do MAOD, inviabilizando o pressuposto (2). As evidências na literatura não atacam diretamente a essa refutação do pressuposto (2). Mas, apresentam-se evidências a favor da constância da demanda de O_2 em testes

retangulares de durações diversas.

No estudo um do artigo de Gastin et al.³⁶, comparou-se os resultados de testes realizados com potência constante em um cicloergômetro Cybex® para membros inferiores, os quais geravam 110 e 125% do VO_{2max} , e outro teste realizado com carga variável e máxima possível para cada instante (“all-out”), até a exaustão. Todos eles apresentaram durações diferentes, respectivamente de 186 ± 13 , 94 ± 7 e 62 ± 2 s, sendo que o teste realizado com carga variável teve como média a potência equivalente a 149% do VO_{2max} , com valor máximo de 206% do VO_{2max} . Apesar de todas as diferenças na condução da intensidade e ritmo, os três testes resultaram em valores de MAOD semelhantes (42,0 - 44,1 ml/kg). No estudo dois de Gastin et al.³⁶, o teste com carga variável foi realizado em uma Monark® adaptada. O objetivo era gerar a maior potência média, em 90 s de esforço, sendo que a carga externa era diminuída a cada 30 s, em 0,020 kg/kg de massa corporal, iniciando em 0,095 kg/kg de massa corporal e finalizando em 0,055 kg/kg de massa corporal. Os resultados desse teste foram comparados aos realizados no mesmo ergômetro, contra uma potência constante de 110% do VO_{2max} . Novamente, na comparação, o MAOD nas duas situações não foi diferente (51,2 vs 52,1 ml/kg), apesar das diferenças individuais nesse ergômetro terem sido expressivas, variando de 0 a 13,2 ml/kg.

Resultados de Craig et al.³⁷ mostraram que a especialidade atlética de ciclistas influenciou na duração ótima para que o maior valor de MAOD fosse encontrado. Velocistas alcançaram MAOD equivalente a 66,9 ml/kg, em teste “all-out” de 70 s, que não diferiu do resultado do teste de 120 s, mas que foi maior que nos testes de 300 s e na intensidade fixa de 115% do VO_{2max} . Já fundistas tenderam ($P = 0,07$) a apresentar o melhor resultado (62,1 ml/kg) no teste de 300 s. A cinética mais rápida do aumento do VO_2 dos fundistas e mais lenta dos velocistas pode constituir parte da explicação das diferenças encontradas, já que o menor acúmulo de déficit de O_2 dos fundistas nos instantes iniciais justificaria o tempo maior de esforço para esgotar a capacidade anaeróbia, sendo o inverso verdadeiro para os velocistas. Esses resultados não parecem contrariar o pressuposto de constância da demanda de O_2 , durante os teste supramáximos, mas sim apontar para o cuidado na escolha da duração do teste para determinação do MAOD, dependendo do grau de especialização do atleta avaliado, em provas de curta ou longa duração.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O MAOD vem sendo citado na literatura como uma das técnicas indiretas de quantificação da capacidade anaeróbia mais promissora. No meio esportivo, ele já apresenta resultados que reforçam

sua validade, pois, em geral, apresenta correlação com a performance em provas de curta duração e sensibilidade aos efeitos específicos do treinamento. Entretanto, seus principais pressupostos encontram-se sob tensão teórica e experimental. Eles ainda devem ser elucidados de forma a melhor subsidiar a aplicação prática da técnica. Em estudos futuros, outras formas de exercício que reproduzam os padrões de movimentos de modalidades esportivas, até então pouco exploradas, devem ampliar a utilização do MAOD enquanto preditor da capacidade anaeróbia muscular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gastin PB. Quantification of anaerobic capacity. *Scand J Med Sci Sports* 1994;4:91-112.
- Franchini E, Takito MY, Bertuzzi RCM, Kiss M.A.P.D.M. Solicitação fisiológica e metabólica do exercício intermitente com membros superiores. *Motriz* 2003;9:33-40.
- Granier P, Mercier B, Mercier J, Anselme F, Prefaut C. Aerobic and anaerobic contribution to Wingate test performance in sprint and middle-distance runners. *Eur J Appl Physiol* 1995;70:58-65.
- Scott CB, Roby FB, Lohman TG, Bunt JC. The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:618-624.
- Medbø JI, Mohn A-C, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J Appl Physiol* 1998;64:50-60.
- Hill DW. Determination of accumulated O₂ deficit in exhaustive short-duration exercise. *Can J Appl Physiol* 1996;21:63-74.
- Nakamura FY. Validade e significado fisiológico dos parâmetros do modelo de potência crítica. [Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Motricidade]. Rio Claro (SP): Universidade Estadual Paulista; 2005.
- Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 1965;8:329-338.
- Bangsbo J, Gollnick PD, Graham TE, Juel C, Kiens B, Mizuno M, Saltin B. Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *J Physiol* 1990;422:539-559.
- Medbø JI, Tabata I. Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J Appl Physiol* 1993; 75:1654-1660.
- Bangsbo J. Oxygen deficit: A measure of the anaerobic energy production during intense exercise? *Can J Appl Physiol* 1996; 21:350-363.
- Green S, Dawson BT, Goodman C, Carey MF. Anaerobic ATP production and accumulated O₂ deficit in cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28:315-321.
- Weyand PG, Cureton KJ, Conley DS, Higbie EJ. Peak oxygen deficit during one- and two-legged cycling in men and women. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25:584-591.
- Ogita F, Hara M, Tabata I. Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking and whole body swimming. *Acta Physiol Scand* 1996; 157:435-441.
- Olesen HL. Accumulated oxygen deficit increases with inclination of uphill running. *J Appl Physiol* 1992;73:1130-1134.
- Sloniger MA, Cureton KJ, Prior BM, Evans EM. Anaerobic capacity and muscle activation during horizontal and uphill running. *J Appl Physiol* 1997;83:262-269.
- Bangsbo J, Michalsick L, Petersen A. Accumulated O₂ deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. *Int J Sports Med* 1993;14:207-213.
- Naughton GA, Carlson JS, Buttifant DC, Selig SE, Meldrum K, McKenna MJ et al. Accumulated oxygen deficit measurements during and after high-intensity exercise in trained male and female adolescents. *Eur J Appl Physiol* 1997;76:525-531.
- Weber CL, Schneider DA. Maximal accumulated oxygen deficit expressed relative to the active muscle mass for cycling in untrained male and female subjects. *Eur J Appl Physiol* 2000;82:255-261.
- Gastin PB, Lawson DL. Influence of training status on maximal accumulated oxygen deficit during all-out cycle exercise. *Eur J Appl Physiol* 1994;69:321-330.
- Ramsbottom R, Nevill AM, Nevill ME, Newport S, Williams C. Accumulated oxygen deficit and short-distance running performance. *J Sports Sci* 1994;12:447-453.
- Craig IS, Morgan DW. Relationship between 800-m running performance and accumulated oxygen deficit in middle-distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:1631-1636.
- Maxwell NS, Nimmo, MA. Anaerobic capacity: A maximal anaerobic running capacity test versus the maximal accumulated oxygen deficit. *Can J Appl Physiol* 1996;21:35-47.
- Moore A, Murphy A. Development of an anaerobic capacity test for field sport athletes. *J Sci Med Sport* 2003;6:275-284.
- Chatagnon M, Pouilly JP, Thomas V, Busso T. Comparison between maximal power in the power-endurance relationship and maximal instantaneous power. *Eur J Appl Physiol* 2005;94:711-717.
- Medbø JI, Burgers S. Effect of training on the anaerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22:501-507.
- Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:1327-1330.
- Jacobs I, Bleue S, Goodman J. Creatine ingestion increases anaerobic capacity and maximum accumulated oxygen deficit. *Can J Appl Physiol* 1997;22:231-243.
- Weber CL, Schneider DA. Reliability of MAOD measured at 110% and 120% of peak oxygen uptake for cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1056-1059.
- Whipp BJ, Wasserman K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol* 1972;33:351-356.
- Gaesser GA, Poole D. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev* 1996;24:35-70.
- Zoladz JA, Rademaker AC, Sargeant AJ. Non-linear relationship between O₂ uptake and power output at high intensities at exercise in humans. *J Physiol* 1995;488:211-217.

-
33. Green S, Dawson BT. Methodological effects on the VO_2 -power regression and the accumulated O_2 deficit. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:392-397.
34. Buck D, McNaughton L. Maximal accumulated oxygen deficit must be calculated using 10-min time periods. *Med Sci Sports Med* 1999;31:1346-1349.
35. Gardner A, Osborne M, D'Auria D, Jenkins D. A comparison of two methods for the calculation of accumulated oxygen deficit. *J Sports Sci* 2003;21:155-162.
36. Gatin PB, Costill DL, Lawson DL, Krzeminski K, McConell, GK. Accumulated oxygen deficit during supramaximal all-out and constant intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:255-263.
37. Craig NP, Norton KI, Conyers RAJ, Woolford SM, Bourdon PC, Stanef T, et al. Influence of test duration and event specificity on maximal accumulated oxygen deficit of high performance track cyclists. *Int J Sports Med* 1995;16:534-540.
-

Endereço para correspondência

Fábio Yuzo Nakamura
Grupo de Estudo e Pesquisa em Metabolismo, Nutrição
e Exercício.
Centro de Educação Física e Desportos
Universidade Estadual de Londrina
Rod. Celso Garcia Cid, km 380, Campus Universitário
CEP 86051-990 - Londrina, PR - Brasil
E-mail: fabioy_nakamura@yahoo.com.br

Recebido em 2/06/05
Revisado em 12/09/05
Aprovado em 16/09/02