

BIOMOTRICITY ROUNDTABLE

BIOMOTRICITY ROUNDTABLE - CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO

BIOMOTRICITY ROUNDTABLE - MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION

Paulo Henrique Silva Marques de Azevedo^{1,2}; Cláudio Gil Soares de Araújo^{3,4}; Fabrizio Caputo⁵; Victor Machado dos Reis^{6,7}

1 Faculdade Anhanguera – Bauru

2 UFSCar – Laboratório de Fisiologia do Exercício

3 UNIVERSIDADE GAMA FILHO – Programa de Pós-Graduação em Educação Física

4 CLINIMEX – Clínica de Medicina do Exercício – Rio de Janeiro, RJ

5 Laboratório de Pesquisas em Desempenho Humano, Centro de Ciências da Saúde e do Esporte, UDESC, Florianópolis.

6 Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

7 Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Vila Real, Portugal

RESUMO

AZEVEDO, P. H. S. M., ARAÚJO, C. G. S.; CAPUTO, F.; REIS, V. M. Biomotricity Roundtable – Consumo máximo de oxigênio. *Brazilian Journal Biomotricity*, v. 4, n. 1, p. 3-13, 2010. Os objetivos do presente artigo foram o de situar qual o conhecimento atual com relação ao consumo máximo de oxigênio (VO_2max), quais as perspectivas de direcionamento futuro para as pesquisas envolvendo o VO_2max e sua aplicação prática, assim como aspectos controversos no tema. Para isto foram convidados 11 pesquisadores com histórico de publicações importantes sobre o VO_2max para responder 8 questões dissertativas. Três pesquisadores atenderam ao convite. Após responderem as questões, os pesquisadores recebiam as respostas dos outros participantes, no sistema cego, para que pudessem contrapor diferentes pontos de vista, baseados na ciência. Houve divergência de opinião entre os pesquisadores convidados em cinco questões (1, 2, 3, 4, 5). Mesmo após cerca de 100 anos de pesquisa acerca do VO_2max , fica a certeza de que: a) mais pesquisas ainda são necessárias para elucidar os mecanismos responsáveis pela limitação do VO_2max ; b) a forma mais adequada para determinar a intensidade associada ao VO_2max não está claramente estabelecida na literatura; c) a obtenção real do VO_2max é altamente dependente da experiência do avaliador e da motivação do avaliado.

INTRODUÇÃO

Tem sido demonstrado que um elevado nível de aptidão aeróbia é necessário para o sucesso em esportes de endurance (BASSET e HOWLEY, 2000; AKALAN *et al.*, 2004) e que o baixo nível de aptidão aeróbia está associado a um risco aumentado para várias doenças degenerativas (AKALAN *et al.*, 2004). Para avaliar este nível de aptidão aeróbia, tem sido sugerido que o VO_2 , medido por meio da ventilação pulmonar durante o exercício incremental ou de carga constante, é uma variável que reflete o ajuste sistêmico do transporte de O_2 e do metabolismo muscular (XU e RHODES, 1999), bem como a integração entre o sistema respiratório, cardíaco, vascular e muscular, responsáveis pela captação, transporte e utilização de O_2 (GRASSI, 2000).

Para a determinação laboratorial do VO_2max , geralmente, utilizam-se testes de exercício máximos com a medida e a análise de gases expirados. O VO_2max pode ser expresso de



maneira absoluta em litros por minuto ($L \cdot \text{min}^{-1}$) ou relativa à massa corporal por minuto ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) (AKALAN *et al.*, 2004). Os valores do VO_2max são afetados pelo modo de exercício, ou seja, é dependente da massa muscular total envolvida no movimento. Geralmente o VO_2max é cerca de 10 a 15% menor em cicloergômetro quando comparado à corrida para sujeitos não ciclistas (AKALAN *et al.*, 2004).

Mesmo após o grande número de publicações científicas sobre VO_2max há muitas controvérsias e dúvidas sobre o assunto. Neste sentido o Brazilian Journal of Biomotricity propôs uma sessão de perguntas e respostas sobre VO_2max (Roundtable) para algumas autoridades no assunto. De 11 pesquisadores convidados, três (Prof. Dr. Cláudio Gil Soares de Araújo; Prof. Dr. Fabrizio Caputo; Prof. Dr. Victor Machado dos Reis) aceitaram o convite de participar deste debate. Todos os pesquisadores receberam as mesmas perguntas, e poderiam responder apenas aquelas que julgassem relevantes dentro do escopo de pesquisa e conhecimento dos mesmos. Depois de respondidas as questões, as mesmas foram encaminhadas ao editor. Cada pesquisador recebeu, então, no sistema cego, as respostas dos outros dois pesquisadores para que pudessem realizar um julgamento crítico e argumentar contrário à resposta, caso discordasse das mesmas.

As questões objetivaram situar qual o estado atual da arte sobre VO_2max , quais as perspectivas de direcionamento futuro para as pesquisas em VO_2max , aplicação prática do VO_2max e questões controversas na literatura.

1. Qual o principal fator limitante para o VO_2max ? Este fator é o mesmo para sujeitos atletas e não atletas?

Claudio Gil Soares de Araújo - Consoante com o modelo de engrenagens proposto por Wasserman, sucintamente, o consumo máximo de oxigênio é dependente da captação pulmonar, do transporte pela circulação e da utilização mitocondrial. Em condições fisiológicas (indivíduos saudáveis) de exercício ao nível do mar, o sistema pulmonar não é fator limitante. Enquanto persista alguma discussão sobre os papéis relativos central e periférico como principal fator limitante, é possível que, para exercícios de duração relativamente curta e feitos com grandes massas musculares, especialmente a corrida, o débito cardíaco seja o principal fator, modulado primariamente pelas limitações do lusitropismo cardíaco.

Victor Machado Reis - Não existe um factor que possa ser designado como o principal limitador do VO_2max . Basicamente temos 3 mecanismos (cada um deles comportando vários factores) que poderiam teoricamente limitá-lo: i) transporte de O_2 no sangue; ii) difusão de O_2 do sangue até às mitocôndrias; iii) utilização do O_2 nas mitocôndrias.

Dependendo do sujeito em causa qualquer dos 3 pode assumir maior protagonismo como limitador, mas não é fácil definir situações em que um deles se apresente como o principal limitador. Em atletas tudo indica que o transporte não será limitador. Nesta população, a hipótese mais atractiva é que o limite esteja na difusão de O_2 do sangue até à mitocôndria (ver CAIN, 1995). No entanto, dado que em intensidades máximas a exaustão voluntária pode preceder as possibilidades máximas de produção de energia por via aeróbia, é provável que também a difusão de metabolitos da célula para o sangue e conseqüente tamponamento possam limitar o VO_2max (ver BARCLAY, 1995).

Em não atletas a variedade de cenários é maior, dependendo se o sujeito é fisicamente activo ou sedentário, saudável ou portador de patologias. Mas penso que o transporte de O_2 só será limitador em sujeitos com patologias que comprometam a oxigenação do sangue.

Finalmente não esquecer a sequência de activação de unidades motoras. Este mecanismo é ainda pouco conhecido e pode, em minha opinião, justificar modificações no VO_2max , por efeito da selecção diferenciada de vários tipos de fibras em exercício.

Fabrizio Caputo - Recentemente este tópico voltou a ser debatido em um dos *Point:Counterpoint* publicados pelo *Journal of Applied Physiology* (SALTIN e CALBET, 2006; WAGNER, 2006). Apesar da discordância entre os autores, o principal fator limitante em indivíduos saudáveis seria a oferta de O_2 para o músculo, ditada pelo débito cardíaco (fluxo sanguíneo muscular) e pela capacidade de difusão do O_2 para a fibra muscular, sugerindo que a capacidade oxidativa mitocondrial excederia a quantidade máxima de O_2 ofertada para o músculo. Nesse sentido, o aumento no débito cardíaco comumente observado após treinamento aeróbio ou os valores elevados observados por atletas de elite deveriam ser acompanhados também por aumento da capacidade de difusão do O_2 , mantendo assim uma elevada “extração” de O_2 pela musculatura apesar do aumento na velocidade do fluxo sanguíneo. Além disso, existem evidências que em atletas de elite pode também ocorrer uma limitação pulmonar. Dempsey e Wagner (1999) demonstraram que alguns atletas altamente treinados apresentavam uma significativa hipoxemia arterial induzida pelo exercício, e que o VO_2max nestes sujeitos poderia ser aumentado administrando ar com elevada fração de O_2 .

REIS - Ambos os pesquisadores, ARAÚJO e CAPUTO mencionam o débito cardíaco como possível factor limitador. Uma vez que o débito cardíaco apenas representa uma quantidade de sangue, penso que será mais rigoroso mencionar a quantidade de O_2 transportada no sangue como representando essa possível limitação. O débito cardíaco em si apenas poderia ser considerado limitador se realmente existisse o efeito de protecção do miocárdio (por imposição do sistema nervoso) alegado por alguns, mas que não está sustentado em evidências experimentais. Todavia, sendo uma teoria que carece de experimentação, não me oponho a que possa ser válida.

Igualmente me parece algo imprecisa a correspondência entre débito cardíaco e fluxo sanguíneo muscular, defendida por CAPUTO. O fluxo sanguíneo local depende da morfologia dos vasos sanguíneos que penetram no músculo (calibre, extensão e tortuosidade); ou seja, depende da capilarização. A fracção do débito cardíaco que realmente penetra nos músculos é baixa, pelo que não creio que seja o próprio débito que a condiciona.

ARAÚJO – A equação clássica de Fick apresenta que o débito cardíaco (frequência cardíaca vezes volume sistólico) é diretamente proporcional ao VO_2 e inversamente proporcional a diferença artério-venosa de O_2 (conteúdo arterial de O_2 menos conteúdo venoso de O_2). O débito cardíaco é uma medida de fluxo (sigla Q com um ponto em cima) normalmente expressa em L/min. O modo pelo qual o nosso organismo regula o aporte de O_2 para os tecidos e particularmente para os músculos esqueléticos ativos é primariamente exercida pelas variações de fluxo sanguíneo e não do conteúdo arterial e/ou venoso de O_2 . Em um exercício bastante intenso em um indivíduo jovem e saudável, o débito cardíaco aumenta cerca de 4 a 6 vezes (cerca de 3 vezes na frequência cardíaca e 1,5 a 2x no volume sistólico), com a grande maior parte desse incremento sendo direcionada para os músculos esqueléticos em atividade. Em uma abordagem mais ampla, analisando o comportamento do débito cardíaco no exercício em indivíduos severamente enfermos – ex. miocardiopatia dilatada, insuficiência cardíaca congestiva, estenose aórtica severa ou cardiomiopatia hipertrófica septal assimétrica – é possível observar uma acentuada intolerância ao esforço, com VO_2 máximo muitas vezes inferiores a 3 ou 4 METs (1 MET corresponde a $3,5 \text{ mL}/(\text{kg}\cdot\text{min})^{-1}$ ou o consumo de oxigênio em repouso), exatamente pela incapacidade em aumentar o volume sistólico e

consequentemente a vazão cardíaca, isso é, o débito cardíaco. Nesses indivíduos não há, em termos gerais, qualquer comprometimento da quantidade de O₂ disponível no sangue arterial. Quanto ao papel do débito cardíaco como limitador do desempenho aeróbico em indivíduos saudáveis ou em atletas, é verdade que há algumas discordâncias, porém, assumindo que o coração é uma bomba intermitente – sístole e diástole -, parece lógico assumir que com uma duração de diástole inferior a 0,1 segundos (como acontece quando a FC se aproxima de 200 bpm) que seja difícil incrementar o volume diastólico final e assim conseguir um volume sistólico crescente mesmo que a fração de ejeção ventricular seja mantida em níveis ótimos, tais como 65 ou 70%. Dessa forma, parece-nos apropriado considerar que, senão em quase todas as situações, na maioria das vezes o débito cardíaco desempenha um importante papel como limitador do desempenho aeróbico.

CAPUTO – Concordo com REIS a respeito da influência da capilarização sobre o fluxo sanguíneo muscular. No entanto, independente do que condiciona a quantidade do débito cardíaco que passa pela musculatura, que no caso da presente discussão seria uma disputa entre a necessidade metabólica e regulação da pressão arterial para exercícios com grandes grupos musculares, isolando esse aspecto (i.e. maior ou menor fluxo pelos capilares) ou outros (calibre, extensão e tortuosidade), maior o débito cardíaco maior será o fluxo sanguíneo muscular, como demonstrado por Calbet *et al.* (2007). Nesse sentido, quando me referi ao aumento da “extração” de O₂, estava considerando que junto com um elevado débito cardíaco, elevado transporte de O₂ e fluxo sanguíneo muscular, deveria ter uma excepcional difusão (condutância) de O₂ dos capilares musculares até a mitocôndria, para suportar uma elevada extração de O₂ através de um rápido fluxo sanguíneo muscular. Em outras palavras, para “vencer” essa rápida passagem de O₂ (fluxo sanguíneo) através da musculatura, e manter uma elevada extração de O₂, é necessário também uma grande capilarização da musculatura.

2. O que representa fisiologicamente o VO₂max e o VO₂pico?

ARAÚJO - Entendemos que o consumo máximo de oxigênio é o valor obtido no último minuto (usando todos os valores nos últimos sessenta segundos) de um exercício máximo, mais comumente obtido em um protocolo progressivo de teste de exercício que envolveu grandes grupos musculares e que durou pelo menos três minutos. Já o VO₂ pico reflete o maior valor alcançado em uma coleta, aceitando-se normalmente, um tempo mínimo de oito a dez segundos e não apenas um único ciclo respiratório nos equipamentos *breath-by-breath*. O valor de pico pode, muitas vezes, diferir importantemente do VO₂ máximo definido anteriormente.

CAPUTO - O VO₂max ou o VO₂pico representa a mais alta taxa na qual o O₂ pode ser captado, transportado e utilizado pelo corpo durante o exercício, refletindo a integração dos sistemas pulmonar, cardiovascular e muscular sendo frequentemente utilizado para indicar a aptidão aeróbia de um indivíduo. De maneira geral o padrão ouro para determinação do VO₂max tem sido considerado quando ocorre um platô no VO₂ durante um teste incremental, i.e. nenhuma ou pouca variação no VO₂ ($\leq 2,1 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) apesar do aumento na intensidade do exercício. Quando não é observada a ocorrência desse platô ou o maior valor de VO₂ pode ser diferente dependendo do tipo de exercício (e.g. menores valores no ciclismo comparado à corrida para indivíduos sedentários) é utilizado o termo VO₂pico.

REIS - A distinção é apenas operacional.

O VO₂max representa um limite fisiológico e o VO₂pico um valor efectivamente medido sob certas condições. Penso que fisiologicamente não representam nada de diferente. Em



última análise nunca saberemos se conseguimos medir o verdadeiro $VO_2\max$ do sujeito, pelo que esta distinção é meramente operacional. Mas esta minha opinião parte do pressuposto que o $VO_2\text{pico}$ é realmente medido em condições de exercício que teoricamente permitissem atingir o $VO_2\max$ (duração e intensidade suficientes, bem como exaustão evidente do sujeito).

CAPUTO - ARAÚJO estaria um pouco equivocada em relação a sua definição de $VO_2\max$ e $VO_2\text{pico}$. A literatura não apresenta um critério bem definido, mas é comumente caracterizado como $VO_2\max$ ou $VO_2\text{pico}$, o maior valor de VO_2 , que é obtido agrupando os dados brutos em médias que variam de 15 a 30 segundos entre os estudos. Entre os dois critérios, a literatura coloca o $VO_2\text{pico}$ como o maior valor de VO_2 efetivamente medido sob certas condições e observado próximo ou no momento da exaustão, ou seja, ao final do teste. No entanto, como colocado no tópico 5, ficaria difícil de garantir que esse VO_2 seria efetivamente o máximo obtido nesta condição (teste incremental pedalando por exemplo). Assim para garantir que o maior valor de VO_2 medido seja considerado máximo, este valor não deveria mudar mesmo o indivíduo conseguindo aumentar a intensidade do exercício, ou seja, a ocorrência do platô. Independente desses critérios que estão bem estabelecidos, alguns autores colocam que o aparecimento de um platô no VO_2 durante um teste incremental pedalando, não poderia ser chamado de $VO_2\max$, porque valores ainda mais elevados poderiam ser obtidos, por exemplo, em um teste incremental de corrida para indivíduos sem treinamento. Deste modo, poderia ser caracterizado como $VO_2\max$ a situação na qual em nenhum outro tipo de teste ou modalidade esportiva esse valor poderia ser superado.

ARAÚJO – Considerando que a definição de consumo máximo de oxigênio foi proposta ao redor de 1950, época em que se realizava um teste máximo com diversos estágios de intensidade progressiva separados pelo descanso de alguns minutos e utilizando balões meteorológicos para a quantificação do volume expirado e a técnica de Scholander para a análise de amostras das frações expiradas dos gases, é fácil entender essas divergências conceituais. Naquela época, aceitava-se que o platô de VO_2 – diferenças entre medidas sucessivas inferiores a 150 mL de O_2 - era um achado comum e que até serviria como critério para caracterizar um teste como máximo. No contexto atual, privilegiando protocolos contínuos e incrementais em formato de rampa para testes máximos e com a utilização de ventilômetros e analisadores de gases com tempo de resposta bastante rápida e sofisticadamente informatizados, as evidências são outras e é necessário um repensar desses conceitos clássicos, porém inadequados, para a realidade atual. Interessantemente o platô de VO_2 pode acontecer tanto em atletas de alto condicionamento aeróbico como em isquemia miocárdica severa ou disfunção ventricular esquerda grave. Dessa forma, a sua presença ou ausência deve ser considerada em um contexto fisiológico e clínico mais amplo. Nesse sentido, mantemos a proposta inicialmente feita de diferenciar VO_2 máximo e VO_2 pico, como primariamente resultantes de diferenças amostrais dos dados ventilatórios.

3. A ocorrência do $VO_2\max$ ou $VO_2\text{pico}$ implica em alguma estratégia diferente para a prescrição do treinamento aeróbico?

ARAÚJO - Entendemos que o VO_2 máximo é muito mais reprodutível e deverá ser usado preferencialmente para a prescrição do exercício físico em saudáveis e não-saudáveis.

CAPUTO - Geralmente o treinamento é prescrito através da intensidade relativa a esses índices. Sendo assim, a ocorrência do $VO_2\max$ (platô) ou $VO_2\text{pico}$ poderia implicar em intensidades diferentes, uma vez que o $VO_2\max$ seria atingido em uma intensidade inferior aquela atingida no $VO_2\text{pico}$, neste último caso seria a intensidade atingida no final do teste incremental. Independente da diferença na intensidade, o treinamento poderia

ser prescrito com mais precisão se associado aos limiares de transição metabólica relacionados à resposta do lactato sanguíneo.

REIS - Não, desde que o $VO_{2\text{pico}}$ seja atingido em condições que teoricamente permitissem atingir o $VO_{2\text{max}}$ (duração e intensidade suficientes, bem como exaustão evidente do sujeito).

CAPUTO - Como colocado pelo ARAÚJO, parece existir a possibilidade de escolha entre o $VO_{2\text{max}}$ e $VO_{2\text{pico}}$, e que preferencialmente deveria ser utilizado o $VO_{2\text{max}}$ por ser mais reprodutível. No entanto na prática isso não parece existir. Por que o $VO_{2\text{max}}$ seria mais reprodutível que $VO_{2\text{pico}}$? Sempre é possível determinar o $VO_{2\text{max}}$? É possível escolher entre a determinação do $VO_{2\text{max}}$ e $VO_{2\text{pico}}$ em um teste incremental? Na realidade a definição equivocada do $VO_{2\text{max}}$ e $VO_{2\text{pico}}$ leva a essas interpretações. Quando se pensa em prescrição do treinamento geralmente se associa determinados percentuais do $VO_{2\text{max}}$ ou $VO_{2\text{pico}}$ com uma intensidade ou velocidade, na qual será utilizada para o controle da carga. Quando se usa diretamente o maior valor de VO_{2} obtido no teste (seja $VO_{2\text{max}}$ ou $VO_{2\text{pico}}$), calcula-se um percentual e observa-se no teste qual foi a intensidade referente a esse % VO_{2} . Neste caso, essa intensidade independe se foi observado $VO_{2\text{max}}$ ou $VO_{2\text{pico}}$. Por outro lado, se forem calculados percentuais a partir do $VO_{2\text{max}}$, poderão ocorrer diferenças nas intensidades calculadas devido a diferenças na $VO_{2\text{max}}$ quando da ocorrência do platô (aumento da intensidade sem aumento no VO_{2} , portanto $VO_{2\text{max}}$ ou não ($VO_{2\text{pico}}$)).

ARAÚJO – Ver comentários anteriores

4. Com relação à avaliação do sujeito após certo período de treinamento, o que representa o aumento do $VO_{2\text{max}}$ absoluto e relativo à massa magra?

ARAÚJO - São duas variáveis importantes, dependendo de sua posterior utilização. Por exemplo, o valor absoluto é mais importante para a prescrição de exercícios em cicloergômetros, enquanto o relativo é fundamental para a prescrição em esteira rolante. Muito embora a expressão por massa magra seja teoricamente interessante e pertinente, ela não foi adequadamente validada, mesmo em obesos submetidos à treinamento e dieta, de modo que julgamos prematuro o seu uso prático rotineiro.

REIS - Um aumento no $VO_{2\text{max}}$ absoluto representa um efetivo acréscimo na aptidão de utilizar O_2 nos músculos em exercício. Um acréscimo no $VO_{2\text{max}}$ relativo pode ou não equivaler ao significado anterior, dependendo de possíveis alterações na massa corporal (ou massa magra quando esta for avaliada).

CAPUTO - Essa resposta representaria um aumento em maior ou menor grau tanto na oferta quanto na utilização de O_2 pelo corpo que serão dependentes da intensidade e duração do treinamento.

- O maior transporte de O_2 decorrente do maior débito cardíaco máximo ocorre em função do aumento da complacência e cavidade ventricular esquerda, aumento do volume plasmático, todos afetando o volume diastólico final e o volume de ejeção.
- Aumentos na quantidade de O_2 no sangue são decorrentes da maior concentração de hemoglobina.
- A melhora da difusão do O_2 para o tecido ocorre devido ao maior número de capilares que aumentam o tempo de transição e diminuem a distância de difusão.

Aumento no número e tamanho das mitocôndrias elevando a capacidade oxidativa muscular e assim a utilização de O_2 .



REIS - Acho que a prescrição deve sempre ser feita com base no VO_2 relativo à massa corporal (não necessariamente magra). Um exemplo. Comparemos um sujeito que pesava 70 kg e após 2 anos aumenta 10 kg de massa corporal. É possível que o seu VO_2 absoluto se mantenha igual (desde que não fosse um sujeito muito treinado) e nesse caso o que diminui claramente é o seu VO_2 relativo. Uma prescrição com base no VO_2 absoluto determinaria intensidades de treino iguais para o mesmo sujeito nos dois momentos, o que me parece incorrecto.

CAPUTO – Concordo com REIS nesse sentido, apenas gostaria de destacar, como já abordado no item 3, que não necessariamente a prescrição feita com base no VO_2 relativo à massa corporal irá garantir que as respostas fisiológicas e provavelmente as adaptações ao treinamento sejam semelhantes, uma vez que o mesmo percentual do VO_2 relativo pode estar em domínios fisiológicos diferentes, dependendo do estado de treinamento do sujeito.

5. As variáveis concentração de lactato maior que 8 mM, atingir a frequência cardíaca máxima estimada pela fórmula $220 - \text{idade}$ e QR maior que 1,15 ao final de um teste incremental, são realmente confiáveis para julgar que o $VO_{2\text{max}}$ foi atingido?

ARAÚJO - Nenhum desses critérios é definitivo ou até mesmo válido. A conjunção de alguns deles tende a tornar a situação algo melhor, porém, ainda assim, continuamos entendendo que a melhor forma de assegurar um teste verdadeiramente máximo depende da experiência do avaliador e da enorme colaboração e motivação do avaliado em alcançar sua exaustão máxima voluntária. Dos critérios listados, certamente o pior é o baseado em FC. Escalas subjetivas de cansaço como o CR-10 ou CR100 de Borg podem oferecer alguns subsídios interessantes.

REIS - Não. Sobretudo em populações treinadas. Em sujeitos muito treinados em regime aeróbio é comum que nenhum desses 3 critérios seja cumprido. Ironicamente é precisamente nesta população em que julgo termos mais garantias que efectivamente medimos um limite fisiológico. Em indivíduos treinados julgo que a exaustão evidente é mais importante do que os restantes critérios. Em indivíduos pouco treinados ou mesmo sedentários, por outro lado, embora esses indicadores possam ser mais úteis, a exaustão evidente é sempre imprescindível para declarar o $VO_{2\text{max}}$. Em ambos os casos, o acréscimo de carga sem acréscimos no VO_2 é igualmente um critério importante (mas não condição necessária).

CAPUTO - Esta ainda é uma questão polêmica. Como saber se o maior valor de VO_2 obtido em um teste incremental é realmente o $VO_{2\text{max}}$ quando não se tem a ocorrência de um platô. Infelizmente por variações individuais que podem ocorrer nos valores máximos de algumas variáveis fisiológicas, fica difícil de definir um segundo critério que seria extremamente confiável e objetivo suficiente para correta determinação do $VO_{2\text{max}}$. Especificamente a combinação da concentração de lactato e razão de trocas gasosas aumentam a probabilidade de que o maior VO_2 alcançado seja o $VO_{2\text{max}}$.

REIS - Concordo com o ARAÚJO. Apenas discordo no CAPUTO quanto à importância que este atribui ao platô. Está demonstrado que a existência de platô não é condição necessária para se declarar um $VO_{2\text{max}}$ (ver WALSH *et al.*, 1990).

CAPUTO – Na prática, eu particularmente não atribuo tanta importância assim ao platô como posso ter deixado transparecer no meu comentário. A ocorrência do platô vai ser bastante dependente do tipo de teste e da capacidade anaeróbia para sustentar altas intensidades por tempo suficiente para que o VO_2 estabilize. Na minha prática acadêmica tive isolados casos de ocorrência de platô (que também dependerão do critério) e todos

estes em protocolos com estágios de 1min. No entanto, eu ainda acredito que a única condição em que se pode garantir que o maior valor medido de VO_2 é o VO_{2max} quando se aumenta a intensidade do exercício sem alteração no valor do VO_2 . Além disso, gostaria de reforçar que não diminuo a aplicação prática e significado fisiológico do VO_{2max} ou VO_{2pico} obtido em outras situações.

6. Qual a intensidade que devemos considerar como a associada ao VO_{2max} ? Por quê?

ARAÚJO - O VO_2 máximo pode ser obtido com diferentes razões de incremento em um teste de exercício e estar, portanto associado a distintas participações das vias anaeróbicas. De modo simplista, a velocidade máxima da esteira em um protocolo incremental de rampa, com pelo menos oito a dez minutos de duração, é um bom indicador da intensidade máxima de exercício daquele indivíduo.

REIS - A intensidade (carga externa) correspondente ao VO_{2max} quando obtida através da recta de regressão entre *steady-state* VO_2 e intensidade (carga externa). Metodologicamente esta opção é mais correcta. Outras aproximações podem parecer mais práticas sob o ponto de vista do controle do treino de atletas, mas carecem de objectividade e rigor metodológico. Julgo que na maioria das vezes os investigadores não optam pela primeira apenas pela morosidade do protocolo.

CAPUTO - A grande maioria dos estudos que tem determinado e analisado a IVO_{2max} , utilizaram a corrida como modo de exercício. Nestes estudos, diferentes critérios têm sido utilizados para identificar a IVO_{2max} , podendo estes ser basicamente divididos em dois grupos: a) critérios que a partir das relações submáximas entre o VO_2 e a velocidade de corrida, procuram determinar a IVO_{2max} que teoricamente pode ser sustentada apenas pelo metabolismo aeróbio; b) critérios que analisam a velocidade obtida diretamente no teste incremental, que por estar acima do limiar anaeróbio (LAN), envolvem um componente anaeróbio para a determinação da IVO_{2max} . Embora os valores médios de IVO_{2max} gerados por estes critérios possam ser semelhantes, alguns estudos têm verificado uma variabilidade intraindividual bem elevada, sugerindo que o significado fisiológico da IVO_{2max} , pode depender do critério e do indivíduo analisado. Em princípio, a escolha de um critério deveria ser feita com base na sua finalidade dentro do processo de avaliação (predição de performance, controle ou prescrição do treinamento) e/ou da disponibilidade de equipamentos para a análise de gases. Finalmente, especial atenção deve ser dada na comparação dos valores de IVO_{2max} entre os estudos, já que estes podem ser dependentes do critério e/ou protocolo utilizado.

7. O que o teste em rampa e incremental pode influenciar no valor de VO_{2max} e na sua intensidade associada?

ARAÚJO - Os protocolos em rampa são a melhor maneira de determinar o VO_2 máximo. Por outro lado, associar valores obtidos nesse protocolo com a intensidade de treinamento demanda alguns cálculos e ajustes, especialmente em transferir dados de corrida em esteira rolante para corrida na rua, onde há um importante componente de resistência do ar.

REIS - As características do teste não influenciarão o valor do VO_{2max} porque, por definição, este é um limite fisiológico!

Mas o cálculo da intensidade associada ao VO_{2max} pode variar muito em função do protocolo usado. E como vimos acima, pode igualmente variar em função do método usado para o seu cálculo. Uma vez que defendo a sua estimativa através da regressão

VO₂-intensidade; naturalmente defendo a inevitável utilização de protocolos incrementais, descontínuos e com intervalos de recuperação individuais.

CAPUTO - Com relação aos valores de VO₂max o tipo de protocolo (rampa, incremental, intermitente ou de cargas constantes) teria mínimas influências quando garantido (se possível) que indivíduo atingiu o esforço máximo. Tem sido demonstrado que em indivíduos não treinados protocolos com estágios maiores que 3min poderiam comprometer o VO₂max alcançado. No entanto, a limitação destes estudos é que eles foram conduzidos em indivíduos não treinados que podem responder diferentemente a um exercício incremental ou que são menos motivados a continuar em intensidades altas de exercício comparado a indivíduos treinados. Em indivíduos treinados o tipo de protocolo não influencia no valor de VO₂max, mas interfere em outras variáveis submáximas que podem estar sendo determinadas no mesmo teste. Além disso, tem sido demonstrado que VO₂max pode ser determinado em um teste de carga constante até a exaustão em intensidades acima da potência crítica (POOLE *et al.*, 1990) até aproximadamente 120% IVO₂max (CAPUTO e DENADAI, 2008).

Já para a intensidade associada ao VO₂max (IVO₂max) alterações seja na intensidade, na duração do incremento ou testes intermitentes vs. contínuos, refletirão em diferentes valores de IVO₂max, caso essas modificações não sejam proporcionais entre eles, i.e. dobrar a intensidade do incremento (1 km/h para 2 km/h) e dobrar a duração do estágio (1min para 2min). Por exemplo, aumentos na duração dos incrementos sem alteração concomitante na intensidade resultarão em diminuições na IVO₂max.

8. Com o avanço da biologia molecular aplicada ao esporte, a análise do VO₂max perde força no meio científico? Quais as perspectivas futuras?

ARAÚJO – O VO₂ máximo é e deverá continuar por muitos anos como a variável mais importante para refletir a condição aeróbica de um indivíduo, gerando importantes implicações em termos de desempenho desportivo, qualidade e expectativa de vida. Não acredito que as importantes descobertas da biologia molecular reduzam o significado biológico e epidemiológico do VO₂ máximo.

REIS - Não se trata de perder força. Trata-se sim de que sendo um indicador investigado há quase 100 anos, naturalmente que os avanços que possam surgir são progressivamente menos prováveis. Essa menor possibilidade não tem nada a ver com o avanço da biologia molecular. Pelo contrário. A biologia molecular, ou mais precisamente a nano tecnologia associada a ela, poderão futuramente permitir ir mais longe no entendimento do mecanismo limitador do VO₂max (que eu creio estar muito provavelmente associado á difusão do O₂ do sangue para dentro da fibra muscular, bem como à activação sequencial das unidades motoras dos músculos em exercício).

CAPUTO - Depende para que intuito o VO₂max esta sendo mensurado. Se for para quantificar a aptidão aeróbica do individuo de uma maneira geral pela integração dos sistemas pulmonar, cardiovascular e respiratório, eu acredito que não. Se for utilizado como uma variável determinante do rendimento e treinamento esportivo, a algum tempo o VO₂max já vem perdendo sua força, especificamente quando analisado em atletas de elite. E finalmente a medida do VO₂max, como determinante do exercício, relacionando-se aos possíveis mecanismos de fadiga, tem perdido grande espaço para biologia molecular e aos elegantes ensaios com músculos e fibras isoladas. Como uma perspectiva futura eu imagino a possibilidade de isolar genes que seriam responsáveis pelas diferenças individuais (e.g. mais fortes, mais rápidos, mais resistentes), entendendo as fundamentais diferenças entre os genótipos e os fenótipos e o quanto o treinamento é capaz de alterar essas características.



CONCLUSÃO

Mesmo que o $VO_2\text{max}$ seja um índice fisiológico exaustivamente estudado, houve divergência de opinião entre os pesquisadores convidados em 5 questões (1, 2, 3, 4, 5) das 8 enviadas. Apesar das controvérsias sobre o assunto, a literatura tem apontado que o principal fator limitante seria a oferta de O_2 para musculatura, ditada pelo débito cardíaco, conteúdo de O_2 e condutância (difusão) para a fibra muscular. Descartando a capacidade oxidativa mitocondrial. No qual vários estudos já demonstraram aumento de $VO_2\text{max}$ quando foram feitas manipulações na oferta de O_2 . Foi levantada a hipótese do $VO_2\text{max}$ ser limitado também pela capacidade de tamponamento de metabólitos celulares advindos do maior trabalho muscular, e pela sequência de ativação de unidades motoras (princípio do tamanho), abrindo novas perspectivas de pesquisa. Adicionalmente, o sistema pulmonar foi citado como sendo potencial limitador do $VO_2\text{max}$ em atletas altamente treinados, por promover a hipoxemia arterial. Segundo os autores a distinção entre $VO_2\text{max}$ e $VO_2\text{pico}$ é apenas operacional, determinada pelo modo do exercício, massa muscular total envolvida e tempo de ajuste (alisamento) dos valores de VO_2 obtidos durante teste incremental com duração mínima de três minutos. Ainda, classicamente, quando não é observado platô do VO_2 o termo mais apropriado seria $VO_2\text{pico}$. Como não há distinção fisiológica entre $VO_2\text{max}$ e de pico, segundo os autores, não parece ter motivos para diferentes objetivos de treinamento quando da obtenção de qualquer um dos dois frente ao teste de esforço. A prescrição da intensidade de treinamento será afetada caso seja optado em utilizar intensidades relativas ao $VO_2\text{max}$ ou pico. Para individualização das intensidades do treinamento é recomendado que se determine os limiares metabólicos. O aumento do $VO_2\text{max}$ absoluto é representativo de maior VO_2 pelos músculos ativos. Nenhum dos critérios estabelecidos na literatura são garantias de que o sujeito atingiu realmente o $VO_2\text{max}$. A obtenção do $VO_2\text{max}$ é dependente principalmente da motivação para a realização do teste, garantindo assim que o teste seja finalizado devido a exaustão voluntária do indivíduo, além da experiência do avaliador. Não houve consenso sobre a intensidade associada ao $VO_2\text{max}$, sendo que um dos pesquisadores julga que a velocidade máxima da esteira em um protocolo incremental de rampa, com pelo menos oito a dez minutos de duração, é um bom indicador da intensidade máxima de exercício daquele indivíduo. O outro traz uma abordagem mais objetiva matematicamente, dizendo que a intensidade associada ao $VO_2\text{max}$ é a intensidade (carga externa) correspondente ao $VO_2\text{max}$ quando obtida através da recta de regressão entre *steady-state* VO_2 e intensidade (carga externa). O protocolo empregado não determina mudanças significativas no valor do $VO_2\text{max}$ obtido, porém terá influência importante na sua intensidade associada. Pela sua importância associada à integração dos sistemas fisiológicos e relação com a condição aeróbica e de saúde o $VO_2\text{max}$ não parece perder força com o passar dos anos. Uma condição futura parece ser a união dos conhecimentos já adquiridos a partir da determinação do $VO_2\text{max}$ com os futuros advindos da biologia molecular.

REFERÊNCIAS

- AKALAN, C.; KRAVITZ, L.; ROBERGS, R.A. $VO_2\text{max}$.: Essentials of the most widely used test in exercise physiology. Health & Fitness Journal. v. 8, n. 3, p. 5-9, 2004.
- ARAÚJO, C. G. S.; PINTO, V. L. M. Frequência cardíaca máxima em testes de exercício em esteira rolante e em cicloergômetro de membros inferiores. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, v. 85, n. 1, p. 45-50, 2005.



- ARAÚJO, C. G. S. Terminologia aeróbica ou aeróbia. *Jornal do DERC/SBC*. v. 8, n. 25, p. 13-15, 2002
- BARCLAY, J. Mechanisms which control VO_2 near VO_2 max: the functional unit. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*, v. 27, p. 35-36, 1995.
- BASSET, D. R.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*, v. 32, n. 1, p. 70-84, 2000.
- CAIN, S. Mechanisms which control VO_2 near VO_2 max: an overview. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*, v. 27, p. 60-64, 1995.
- CAPUTO, F.; DENADAI, B. S. The highest intensity and the shortest duration permitting attainment of maximal oxygen uptake during cycling: effects of different methods and aerobic fitness level. *European Journal of Applied Physiology*, v. 103, p. 47-57, 2008.
- CASTRO, C. L. B.; ARAÚJO, C. G. S. Princípios da prescrição do exercício físico e critérios para realização sob supervisão médica. *Revista da Sociedade Brasileira de Cardiologia/RJ*. v. 13, n. 3, p. 198-200, 2000.
- DEMPSEY, J. A.; WAGNER, P. D. Exercise-induced arterial hypoxemia. *Journal of Applied Physiology*, v. 87, p. 1997-2006, 1999.
- GRASSI, B. Skeletal muscle VO_2 on-kinetics: set by O_2 delivery or by O_2 utilization? New insights into an old issue. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*, v. 32, n. 1, p. 108-116, 2000.
- MONTEIRO, W.; ARAÚJO, C. G. S. Respostas cardiorrespiratórias e perceptivas para as mesmas velocidades de caminhada e corrida. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 93, n. 4, p. 418-425, 2009.
- OLIVEIRA, R. B.; MYERS, J.; ARAÚJO, C. G. S.; ABELLA, J.; MANDIC, S.; FROELICHER, V. Maximal exercise oxygen pulse as a predictor of mortality among male veterans referred for exercise testing. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*, v. 16, n. 3, p. 358-364, 2009.
- POOLE, D. C.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology*, v. 59, p. 421-429, 1990.
- SALTIN, B.; CALBET, J. A. Point: in health and in a normoxic environment, VO_{2max} is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow. *Journal of Applied Physiology*, v. 100, p. 744-745, 2006.
- WAGNER, P. D. Counterpoint: in health and in normoxic environment VO_{2max} is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow. *Journal of Applied Physiology*, v. 100, p. 745-747, 2006.
- XU, F.; RHODES, E.C. Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Medicine*, v. 27, n. 5, p. 313-327, 1999.