



AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS ADAPTADAS À ROEDORES: APLICAÇÕES AO TREINAMENTO EM DIFERENTES MODELOS EXPERIMENTAIS

Claudio Alexandre Gobatto

Maria Alice Rostom de Mello

Fúlvia de Barros Manchado-Gobatto

Marcelo Papoti

Fabício Azevedo Voltarelli

Ricardo Vinícius Ledesma Contarteze

Gustavo Gomes de Araujo

UNESP Rio Claro – Brasil

Resumo: Importante recurso em fisiologia do exercício é a simulação de condições em modelos animais. Nosso Laboratório vem adaptando e desenvolvendo métodos de avaliação e treinamento para roedores em distintas condições experimentais. O objetivo desse artigo foi apresentar e discutir protocolos de avaliação física e sua aplicação à roedores nadadores e corredores. Dentre os testes invasivos aeróbios podemos destacar a máxima fase estável de lactato, o protocolo do lactato mínimo e o método de duplos esforços não exaustivos. Por outro lado, adaptar o modelo não invasivo de potência crítica permite estimativas aeróbias e anaeróbias em ratos e camundongos. A revisão destaca preocupação ao desenvolvimento de ferramentas sensíveis à avaliação da evolução aeróbia e anaeróbia de animais em experimentos envolvendo treinamento físico.

Palavras-chave: Avaliação fisiológica; roedores; treinamento físico; protocolos invasivos e não-invasivos

ADAPTED PHYSIOLOGICAL EVALUATIONS TO RODENTS: APPLICATIONS TO THE TRAINING IN DIFFERENT EXPERIMENTAL MODELS

Abstract: An important resource in exercise physiology is the simulation of conditions in animal models. Our Laboratory has been adapting and developed evaluation protocols and testing on physical training of rodents in different experimental conditions. The objective of this paper was to present and to discuss physical evaluation protocols applications to swimming and running rodents. Among the adapted invasive aerobic tests, we can highlight the maximal lactate steady state, the minimum lactate protocol and the double bouts non-exhaustive method. On the other hand, the non-invasive method adapted to the critical power model provides aerobic and anaerobic estimatives in rats and mice. This review was concerned to the development of sensitive tools to the evaluation of the aerobic and anaerobic evolution of animals in experiments involving physical training.

Key words: Physiological testing; rodents; physical training; invasive and non-invasive protocols.

INTRODUÇÃO

A determinação da zona de transição metabólica na qual há o início da passagem de predominância aeróbia para anaeróbia, caracterizada por um aumento de contribuição fosfagênica e glicolítica para o fornecimento de energia ao exercício, apresenta extrema importância para avaliação física, condicionamento físico e esportes de rendimento, acarretando em uma correta prescrição de atividade física de acordo com o objetivo determinado. Como consequência, um grande número de investigações resultou em diferentes protocolos para identificação dessa zona metabólica inicial de transição em humanos (Wasserman e McIlroy, 1964; Monod e Scherrer, 1965; Kinderman et al., 1979; Sjodin e Jacobs, 1981; Heck et al., 1985; Chassain, 1986 e Tegtbur et al., 1993).

A importância em identificar com precisão a intensidade de exercício não está resumida apenas aos trabalhos nos quais seres humanos são objetos de estudo. Uma ferramenta que tem se mostrado interessante para a observação do organismo frente ao esforço físico é a utilização de modelos experimentais com animais, elaborados para simular aplicações em fisiopatologias, treinamento físico e na associação de ambos (Scalfani, 1984; Oliveira et al., 2005; Braga et al., 2004; Murdes et al, 2004). Nosso grupo de pesquisa vem, há quase duas décadas, testando e padronizando protocolos de avaliação aplicados à ratos, na tentativa de melhor prescrever esforços crônicos à esses animais, em distintas condições fisiológicas, submetidos a dois tipos de exercício: natação e corrida em esteira rolante.

PROTOSCOLOS DE AVALIAÇÃO EM NATAÇÃO PARA RATOS

Devido à facilidade de utilização e excelente resposta dos ratos frente ao treinamento físico nesse ergômetro, a natação é muito utilizada em nosso Laboratório e em estudos divulgados por todo o mundo, em diversas áreas de pesquisa. É importante ressaltarmos que algumas condições experimentais necessitam de controle para o sucesso de experimentos com esse tipo de exercício, dentre elas a temperatura da água ($31 \pm 1^\circ\text{C}$), profundidade e superfície de contato da piscina (preferencialmente profunda e com superfície lisa, impedindo que os animais executem saltos ou descansem durante o esforço) (figura 1) e correta adaptação dos animais ao meio líquido. Após muitas investigações, essas condições já estão bem estabelecidas em nosso Laboratório.



Figura 1. Exemplo de natação para ratos em tanque profundo e com o animal suportando carga atada sobre o dorso.

A proposta inicial para identificação da intensidade de esforço imposta a esses animais na natação foi a padronização de teste com cargas progressivas e observação do lactato, assim como inicialmente sugerido para humanos (Mader et al., 1978,

Weltman et al., 1990, Carter et al., 1999, Forsyth and Reilly, 2004), na tentativa de verificar as respostas funcionais dos ratos na mobilização de substratos energéticos em situação de estresse físico agudo, progressivamente mais intenso (Gobatto et al., 1991). Nessa ocasião, foi relatada a impossibilidade de avaliação do limiar anaeróbio (LAN) em teste progressivo executado em natação com ratos, devido às respostas lactacidêmicas apresentarem-se lineares e não exponenciais durante o protocolo, diferente do que é observado em procedimento similar aplicado à humanos, ou mesmo em ratos avaliados em esteira rolante (Pilis et al., 1993).

Dessa maneira, ainda objetivando identificar a intensidade de exercício nesse ergômetro, outro método de avaliação foi adaptado à ratos em natação: a máxima fase estável de lactato (MFEL), definida como a mais alta intensidade na qual o metabolismo aeróbio ainda prepondera sobre o anaeróbio, e considerada, na atualidade, o método padrão ouro para a determinação da intensidade de transição entre esses metabolismos em exercício contínuo executado por humanos (Beneke, 1995; Beneke, 2003b, Billat et al., 2003). Com esse propósito, Gobatto et al. (2001) avaliaram a MFEL em ratos sedentários adaptados ao meio líquido, submetidos ao exercício de natação, como proposto por Heck et al. (1985) para avaliação de humanos. Para isso, os animais realizaram 20 minutos de esforços contínuos suportando cargas correspondentes a 5, 6, 7, 8, 9 e 10% de seu peso corporal (pc), atadas ao dorso, com coletas sanguíneas sendo realizadas a cada cinco minutos da extremidade distal da cauda dos animais, para posterior determinação da lactacidemia. A MFEL individual foi interpretada como a mais alta intensidade de exercício na qual o aumento da lactacidemia foi igual ou inferior à 1mmol/L, do 10º ao 20º minuto de esforço. Os autores observaram MFEL em intensidade correspondente à 6% do peso corporal, com a concentração de estabilização de 5,5 mmol/L. Esse valor é diferente e superior ao reportado para humanos em distintos exercícios e para ratos realizando esforço em esteira rolante (aproximadamente 4mmol/L).

Em revisão recente sobre a máxima fase estável de lactato, Billat et al. (2003) apontam como representativos para estudos com animais, os achados de Gobatto et al. (2001), especialmente por terem os animais desse estudo sido submetidos ao treinamento físico. Assim, após 8 semanas de treinamento (60 minutos/dia, 5 dias/semana) em intensidade de MFEL, Gobatto et al. (2001) verificaram modificação na carga equivalente a essa intensidade, sem modificação na concentração de lactato associada.

Tendo como base a intensidade equivalente à MFEL, diversos estudos com treinamento aplicados à animais em distintas condições fisiológicas foram executados, dentre eles trabalhos com ratos obesos (Gobatto et al., 2002; Souza et al., 2003; Braga et al., 2006), animais diabéticos (Oliveira et al., 2005), recuperados de desnutrição protéica (Papoti et al., 2003) e ratos sedentários, após exercício agudo e treinados em intensidade de LAN para avaliação do estresse (Prada et al., 2004, Contarteze et al., 2007a). Também investigando a MFEL em Wistar obesos, foi efetuada a comparação desse teste para animais de ambos os gêneros (Araujo et al., in press).

Apesar da importância do estudo de padronização supracitado (Gobatto et al., 2001), a identificação da MFEL necessita de muitos testes físicos e um número significativo de extrações de sangue em cada uma das intensidades contínuas componentes da avaliação. Dessa maneira, o caminho encontrado para continuar a determinação da intensidade esforço em natação foi a adaptação de procedimentos de avaliação simplificados e com características distintas, dentre elas invasivas e não-invasivas, para aumentar a aplicabilidade dos procedimentos e contemplar os autores que utilizam esse tipo de exercício em suas pesquisas.

Em 2002, o teste denominado lactato mínimo, sugerido inicialmente por Tegtbur e colaboradores (1993) para humanos em cicloergômetro, foi adaptado à avaliação de ratos sedentários submetidos ao exercício de natação (Voltarelli et al., 2002). O teste original consiste em submeter o participante ao esforço em intensidade elevada para promoção de hiperlactacidemia e subsequentemente, após recuperação passiva de 8 minutos, execução de um protocolo com cargas progressivas em mesmo ergômetro. De acordo com a proposta do teste, a resposta do lactato no teste incremental apresenta comportamento cinético

em “U”, reduzindo em intensidades iniciais (remoção superior à produção) e aumentando sucessivamente após ultrapassada a carga correspondente ao limiar anaeróbico (produção superior à remoção). Desse modo, a intensidade de esforço, equivalente ao menor valor de lactato após ajuste matemático, é correspondente ao lactato mínimo ou limiar anaeróbico (LAN), na qual a produção de lactato está em equilíbrio com sua remoção. Em natação para ratos, os animais foram submetidos a 6 minutos de exercício intermitente de salto em piscina (30s de esforço x 30s de recuperação passiva) suportando carga de 50% do peso corporal com o intuito de elevar a lactacidemia. Após 9 minutos de recuperação passiva, os ratos realizaram esforços progressivos com duração de 5 minutos, em intensidades equivalentes à 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 e 7,0% pc, com coletas de sangue ao final de cada esforço. Nesse estudo (Voltarelli et al., 2002), a intensidade de lactato mínimo foi verificada em $4,95 \pm 0,10\%$ pc, em concentração de lactato $7,17 \pm 0,16$ mmol/L, indicando a possibilidade de utilização desse método para na identificação da intensidade de esforço para ratos submetidos à natação. Esse procedimento foi testado após depleção prévia dos estoques de glicogênio muscular e treinamento físico por 4 e 8 semanas, sendo sensível apenas às modificações do condicionamento aeróbio (Voltarelli et al., 2004).

Foi avaliado também o efeito do treinamento físico em intensidade equivalente ao lactato mínimo sobre o metabolismo protéico de ratos (Camargo et al., 2006). Recentemente, foram analisados diferentes procedimentos para indução de hiperlactacidemia em natação de ratos, objetivando identificar o melhor método para promoção desse efeito e posterior determinação do lactato mínimo (Araujo et al., in press). Os resultados obtidos nesse último estudo são promissores, revelando que o melhor método para indução da lactacidemia foi composto por dois exercícios de natação separados por 30s, com os animais suportando carga equivalente a 13% do pc, sendo o primeiro executado por 30s e o segundo, até a exaustão.

Outro protocolo de avaliação padronizado para ratos nadadores foi o teste não invasivo de potência crítica (Marangon et al., 2002), adaptado do modelo proposto em 1965, por Monod e Scherrer, para avaliação humana. Esse método é caracterizado pela necessidade de esforços exaustivos a partir dos quais se efetua análise matemática com os valores de tempos de exaustão e cargas equivalentes, para possível obtenção de dois parâmetros: um aeróbio (potência crítica), já bem validado, e outro anaeróbico (capacidade de trabalho anaeróbico), ainda alvo de muitas investigações. Os resultados encontrados por Marangon et al. (2002) foram positivos, demonstrando possibilidade de aplicação desse modelo para avaliação da capacidade aeróbia (carga crítica - Ccrit) em ratos Wistar.

Após padronização inicial, esse método não-invasivo foi novamente utilizado visando avaliar os efeitos da depleção prévia dos estoques intramusculares de glicogênio promovidos por 12 horas de jejum dos animais (Gobatto et al., 2005). Após manipulação do estado de condição alimentar dos animais, não foram identificadas distinções no parâmetro aeróbio (Ccrit) ($7,38 \pm 0,75\%$ pc e $7,44 \pm 1,080\%$, antes e após manipulação alimentar, respectivamente). Entretanto, a CTA mostrou-se sensível a esse tipo de interferência ($429,51 \pm 62,83$ com ratos alimentados e $283,62 \pm 111,82$ após jejum). Quando comparadas intensidades, tanto os achados de Ccrit obtidos por Marangon et al. (2002) quanto os de Gobatto et al. (2005) superestimaram intensidade de MFEL, resposta essa também relatada em estudo envolvendo o modelo de potência crítica aplicado à seres humanos (Pringle e Jones, 2002). Utilizando esse modelo, foi efetuada ainda investigação acerca do treinamento e afastamento ao treinamento sobre as concentrações de glicogênio muscular e hepático de ratos (Chimin et al., 2007).

Apesar do modelo de potência crítica ser simples e não invasivo há a necessidade de exaustão dos animais durante os esforços para identificação do tempo limite de exercício, reduzindo a aplicabilidade do método. Por esse motivo, foi identificado na literatura um procedimento de avaliação com característica não exaustiva, passível de ser aplicado à animais em diferentes condições fisiopatológicas e de treinamento. Recentemente, nosso grupo conduziu um estudo que objetivou adaptar o protocolo não-exaustivo de duplos esforços (Chassain, 1986) para avaliação aeróbia de ratos exercitados por natação (Manchado et al., 2006b).

O propósito do teste inicialmente sugerido por Chassain é a detecção do “delta nulo” de variáveis fisiológicas a partir de testes de duplos esforços em mesma intensidade. Para isso, ratos machos adultos realizaram quatro testes em diferentes intensidades (4%, 6%, 7% e 8% pc) com intervalos de 48 horas. Os animais foram submetidos a dois esforços de cinco minutos em cada intensidade, separados por dois minutos de repouso entre eles, com coleta de sangue para análise do lactato sanguíneo ao final do primeiro e segundo esforços. Para cada intensidade foi calculado valor de delta lactato subtraindo a concentração ao final do primeiro esforço da lactacidemia ao final do segundo esforço. Uma interpolação linear individual foi plotada com os valores de delta lactato obtido em cada carga, permitindo a determinação do delta lactato nulo, equivalente à carga crítica (Ccrit). Posteriormente, a máxima fase estável (MFEL) foi obtida em três testes contínuos com duração de 25 minutos. A Ccrit estimada foi $4,80 \pm 0,20\%$ pc, com coeficientes de regressões lineares significantes ($R^2=0,90 \pm 0,03$). De maneira surpreendente, a MFEL foi observada à 100% de Ccrit, em concentração de lactato sanguíneo $5,20 \pm 0,10$ mmol/L. Foi demonstrada então a possibilidade de adaptação desse método para determinação da condição aeróbia de ratos, bem como sua igualdade e correlação com a máxima fase estável de lactato durante o exercício de natação para a amostra analisada.

PROTOS PARA AVALIAÇÃO DE RATOS SUBMETIDOS À CORRIDA EM ESTEIRA ROLANTE

Por ser demasiadamente utilizada em estudos com animais, a corrida em esteira rolante é uma importante modalidade de exercício envolvendo ratos (figura 2). Esse ergômetro apresenta extrema facilidade com relação à mensuração da intensidade do esforço, sendo controlada pela velocidade, inclinação ou associação desses elementos. Dentre as desvantagens de sua utilização, é possível incluir o elevado custo do equipamento, a realização de calibrações periódicas da velocidade, a necessidade de seleção dos animais corredores e, em alguns casos isolados, a presença de choque elétrico.



Figura 2. Exemplo de corrida em esteira rolante para ratos.

Devido sua vasta utilização, foi admitida a necessidade de padronização de protocolos de avaliação destinados à corrida para ratos. Dessa maneira, inicialmente foi estudada a melhor forma de seleção de ratos corredores (Manchado et al., 2005), eliminando a necessidade de estímulo elétrico, já que o lactato sanguíneo, por exemplo, sofre extrema influência dessa manipulação.

Por ser considerado procedimento padrão ouro para determinação da intensidade de transição aeróbia/anaeróbia e ainda não ter sido investigado em corrida, um estudo de padronização objetivou determinar a máxima fase estável de lactato em ratos corredores adultos (Manchado et al., 2005). Para isso, ratos Wistar machos e adultos foram submetidos à testes de

corrida em intensidades equivalentes à 15, 20, 25, 30 e 35 m/min. A seqüência de velocidades foi distribuída aleatoriamente e cada teste consistiu na realização de corridas contínuas por 25 minutos em cada velocidade ou até a exaustão voluntária do animal. Com a extração de amostras sanguíneas a cada cinco minutos de exercício foi possível a obtenção de curvas lactacidêmicas para cada uma das intensidades. A MFEL individual foi interpretada como a mais alta intensidade de exercício na qual o aumento da lactacidemia foi igual ou inferior à 1mmol/L, do 10º ao 25º minuto de esforço. Os ratos corredores apresentaram MFEL em 20 m/min, com o metabólito permanecendo estável em $3,9 \pm 0,3$ mmol/L. A intensidade de LAn obtida em no estudo de Manchado et al. (2005) foi inferior à descrita por Pillis et al. (1993) e Langfort et al. (1996) verificada em teste com velocidades progressivas. Por outro lado, a concentração lactacidêmica sanguínea apresentou resposta similar à observada em humanos, submetidos ao mesmo procedimento de avaliação (Heck et al, 1985; Billat et al., 1995; Beneke et al., 1995). Desse modo, os resultados de Manchado et al. (2005) sugerem que o teste de MFEL parece ser bem aplicado à avaliação aeróbia de ratos, em exercício de corrida.

Assim como já relatado, a concentração de lactato associada à máxima intensidade de exercício aeróbio descrita em corrida em esteira rolante para ratos foi similar à encontrada com humanos, porém diferente da relatada para ratos nadadores (Gobatto et al., 2001; Manchado et al., 2005). É comum a prescrição de treinamento para humanos baseada em valores lactacidêmicos fixos, tais com 4,0 ou 4,5mmol/L. Também já é bem estabelecido que os níveis de lactato no sangue podem apresentar variações que dependem do protocolo de exercício utilizado na avaliação ou mesmo do tipo de exercício ao qual o indivíduo é submetido. Desse modo, foi investigada a possibilidade de ergômetro dependência nas concentrações de MFEL de lactato em ratos exercitados (Manchado et al., 2006a). Nesse estudo foi verificado que, da mesma forma com que é observado em humanos (Beneke et al., 2001), há uma real ergômetro-dependência das concentrações de lactato sanguíneo na MFEL de ratos. Em corrida na esteira, a concentração média de lactato nessa intensidade é 4mmol/L, similar à encontrada em avaliações de corrida executadas em ratos (Pillis et al., 1993) e humanos (Heck et al., 1985). Já na natação, a lactacidemia apresenta estabilização em valores superiores (5,5 mmol/L), distintamente do ocorrido com nadadores humanos, para os quais a concentração de lactato sanguíneo em intensidade de MFEL parece ser aproximadamente 3,5mmol/L (Pereira et al., 2002). Esse resultado infere sobre a necessidade de cautela na prescrição de intensidade de exercício com base em concentrações fixas de lactato e confirma a ergômetro-dependência da MFEL também em ratos.

Ainda comparando a MFEL em esteira e natação e pensando no nível de estresse promovido por cada um dos ergômetros em questão, um artigo recentemente publicado comparou os valores de ACTH e corticosterona sérico após exercícios realizados em natação e corrida em intensidades equivalentes a MFEL e 25% superior a ela (Contarteze et al., 2007b). Em ambas as intensidades, os resultados de ACTH revelaram ser superiores em exercício de natação e as concentrações de corticosterona foram elevadas após ambos os esforços, quando comparadas com grupo controle. Dessa maneira, esse estudo revelou que, com relação aos biomarcadores de estresse avaliados, a natação em intensidade igual ou superior à MFEL apresenta valores mais pronunciados.

Devido à suas interessantes características e aplicabilidade do protocolo não-invasivo de potência crítica sugerido por Monod e Scherer (1965), foi efetuada em esteira rolante, a padronização desse teste para avaliação aeróbia e anaeróbia de ratos corredores (Manchado et al., 2006c). Os animais foram submetidos à exercícios contínuos e exaustivos em intensidades supra-limiar anaeróbio. Com os registros de velocidade e tempo de exercício até a exaustão, foi utilizado um modelo matemático para estimar a máxima intensidade aeróbia (velocidade crítica – Vcrit) e a capacidade de corrida anaeróbia (CCA) de ratos Wistar. O modelo se mostrou suscetível à adaptação para avaliação de ratos corredores. A Vcrit foi identificada em $22,8 \pm 0,7$ m/min e a CCA, $26,81 \pm 2,6$ m. Quando comparadas, a intensidade de Vcrit e MFEL (20m/min) foram diferentes, porém altamente correlacionadas. Desse modo, o experimento supracitado relata a possibilidade de utilização da metodologia simples

e não-invasiva para avaliação aeróbia de ratos em esteira rolante. Quanto à CCA, os autores sugerem mais investigações para efetivas conclusões (Manchado et al., 2006c).

Assim como executado em natação, o método de duplos esforços de Chassain (1986) foi adaptado para a avaliação de ratos corredores (Gobatto et al., 2006). Esse procedimento apresentou resultados satisfatórios e extremamente importantes para avaliação de animais em esteira rolante, haja vista sua característica não exaustiva, que permite a aplicação do teste à animais em distintas condições de treinamento ou acometidos por doenças crônico-degenerativas tão investigadas na atualidade.

AVALIAÇÃO AERÓBIA EM CAMUNDONGOS

Apesar da vasta utilização de ratos Wistar em nossas pesquisas, é possível verificar na literatura um crescente número de estudos que aplicam exercício à camundongos (Billat et al., 2005, Ferreira et al., 2007). Entretanto, escassos são os métodos para avaliação desses roedores de pequeno porte. Desse modo, há a necessidade de estendermos os importantes achados com ratos, para avaliação de camundongos e outras linhagens de roedores.

Nesse sentido, um estudo inicial com camundongos determinou a MFEL para esses animais submetidos à exercício de natação (Gobatto et al., 2007), procedimento esse que já havia sido executado em corrida (Ferreira et al., 2007). Para isso, 27 camundongos adultos foram adaptados ao meio líquido por duas semanas, em tanque profundo com a temperatura da água mantida em $31 \pm 1^\circ\text{C}$. Posteriormente, os camundongos foram submetidos ao protocolo de MFEL, que consistiu da aplicação de 5 testes contínuos nas intensidades equivalentes à 3, 4, 5, 6 e 7% do pc, atadas ao dorso, com duração de 25 minutos de esforço, separados por intervalo de 48 horas. Em todos os testes houve coleta de sangue da extremidade distal da cauda dos camundongos nos tempos repouso, 5, 10, 15, 20 e 25 minutos de exercício, para posterior análise do lactato sanguíneo. A MFEL determinada individualmente, foi encontrada, em média, na intensidade de 4,0%pc, em concentração de lactato média de $5,20 \pm 0,22$ mmol/L. Em intensidades superiores à 5%, grande parte da amostra não suportou 25 minutos de execução do exercício.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, os resultados obtidos até a presente data sugerem ser possível a padronização e utilização de protocolos invasivos e não invasivos para avaliação aeróbia e anaeróbia de ratos Wistar submetidos à exercícios de natação e corrida em esteira rolante, bem como a determinação de intensidade de esforço para o controle rígido do treinamento adotado em modelos experimentais. Os diferentes procedimentos elencados e discutidos devem ser adotados de acordo com as condições físicas dos animais utilizados e das possibilidades do laboratório em que os experimentos serão efetuados.

Para avaliação aeróbia de animais nadadores e corredores, a MFEL ainda deve ser interpretada como o método padrão ouro, porém os testes do lactato mínimo e de duplos esforços não exaustivos propostos na literatura são capazes de estimar a máxima intensidade com predominância aeróbia de maneira muito satisfatória, haja vista suas padronização com base na máxima fase estável de lactato. Em caso da impossibilidade de análise lactacidêmica, uma sugestão interessante é a utilização do modelo exaustivo de potência crítica para avaliação aeróbia e anaeróbia de ratos, já que esse método necessita apenas de um ergômetro e um cronômetro.

Todos os esforços descritos nesse artigo de revisão denotam a necessidade e a preocupação em oferecermos ferramentas capazes de avaliar a evolução dos parâmetros aeróbio e anaeróbio de animais envolvidos em experimentos, cujo treinamento

físico seja abordado como condição fisiológica. Em nosso laboratório, além da padronização de grande parte dos modelos aqui apresentados, muitas investigações já têm aplicado com grande sucesso avaliações fisiológicas de ratos para a identificação de intensidades alvo, para aplicações em treinamentos contínuo (Souza et al., 2003; Voltarelli et al., 2004), intervalado (Braga et al., 2004; Braga et al., 2006) e periodizado (Papoti et al., 2007); além de respostas de performances decorrentes de manipulações dietéticas (Voltarelli et al., 2004, Gobatto et al., 2005); obesidade (Gobatto et al., 2002; Souza et al., 2003), diabetes experimental (Oliveira et al., 2005); condições ambientais (Manchado et al., 2007) e destreinamento (Chimin et al., 2007).

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, G.G.; PAPOTI, M.; MANCHADO, F.B.; MELLO, M.A.R.; GOBATTO, C.A. Protocols for hyperlactatemia induction in the lactate minimum test adapted to swimming rats. *Comparative Biochemistry Physiology. A, Molecular & Integrative Physiology*, in press.
- ARAUJO, G.G.; Araújo, M.B.; D'Angelo R.A.; MANCHADO, F.B.; Mota, C.S.A.; Ribeiro C.; MELLO, M.A.R. Máxima fase estável de lactato em ratos obesos de ambos os gêneros. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, no prelo.
- BENEKE, R. Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.27, n.6, p.863-7, 1995.
- BENEKE, R. Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. *European Journal of Applied Physiology*, v. 89, p.95-9, 1995.
- BENEKE, R.; LEITHAUSER, R.; HUTLER, M. Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *British Journal of Sports Medicine*, v.35, p.192-196, 2001.
- BENEKE, R. Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. *European Journal of Applied Physiology*, v.88, p.361-9, 2003a.
- BENEKE, R. Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. *European Journal of Applied Physiology*, v.89, p.95-9, 2003b.
- BILLAT, V. L.; GRATAS-DELMARCHE, A.; MONNIER, M.; DELAMARCHE, P. A test to approach maximal lactate steady-state in 12-years old boys and girls. *Archives of Physiology and Biochemistry*, v.103, p.65-72, 1995.
- BILLAT, V.L.; SIVERENT, P.; PY, G.; KORALLSZTEIN, J-P.; MERCIER, J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Medicine*, v.33, n.6, p.407-26, 2003.
- BILLAT, V. L.; MOUISEL, E.; ROBLOT, N.; MELKI, J. Inter- and intra-strain variation in mouse critical running speed. *Journal of Applied Physiology*, v.98, n.4, p.1258-63, 2005.
- BRAGA, L.R.; MELLO, M.A.R.; GOBATTO, C.A. Exercício contínuo e intermitente: efeitos do treinamento e do destreinamento sobre a gordura corporal de ratos obesos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, v. 54, n. 1, p. 58-65, 2004.
- BRAGA, L.R.; MELLO, M.A.R.; MANCHADO, F.B.; GOBATTO, C.A. Exercício contínuo e intermitente: efeitos do treinamento e destreinamento sobre o peso corporal e metabolismo muscular de ratos obesos. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, v.6, p.160-169, 2006.
- CAMARGO, P. B.; VOLTARELLI, F.A.; OLIVEIRA, C.A.M.; PAIVA, M.F.; GOBATTO, C.A.; MELLO, M.A.R. Metabolismo protéico no músculo esquelético de ratos submetidos a exercício em intensidade equivalente ao limiar anaeróbico. *Lecturas Educacion Fisica y Deportes*, v. 93, p. 1-12, 2006.

- CHIMIN, P.; ARAUJO, G.G.; MANCHADO-GOBATTO, F.B.; GOBATTO, C.A. Efeito do treinamento e afastamento ao treinamento físico de natação sobre as concentrações de glicogênio muscular e hepático de ratos Wistar. *Revista de Educação Física*, v. 18, p. 94-97, 2007.
- CHASSAIN, A. Méthode d'appréciation objective de la tolérance de l'organisme á l'effort: application á la mesure des puissances de la fréquence cardiaque et de la lactatémie. *Science & Sports*, v.1, p.41-8, 1986.
- CONTARTEZE, R.V.L.; MANCHADO, F.B.; GOBATTO, C.A.; MELLO, M.A.R. Biomarcadores de estresse em ratos exercitados por natação em intensidades igual e superior à máxima fase estável de lactato. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v.13, p.169-174, 2007a.
- CONTARTEZE, R.V.L.; MANCHADO, F.B.; GOBATTO, C.A.; MELLO, M.A.R. Stress biomarkers in rats submitted to swimming and treadmill running exercises. *Comparative Biochemistry Physiology. A, Molecular & Integrative Physiology*, in press, 2007b.
- FERREIRA, J.C.B.; ROLIM, N.P.L.; BATHOLOMEU, J.B.; GOBATTO, C.A.; KOKUBUN, E.; BRUM, P.C. Maximal lactate steady state in running mice: effects of exercise training. *Clinical Experimental Pharmacology and Physiology*. v. 34, n. 8, p. 760-765, 2007.
- FORSYTH, J.J.; REILLY, T. Circadian rhythms in blood lactate concentration during incremental ergometer rowing. *European Journal of Applied Physiology*, v.92, p.69-74, 2004.
- GOBATTO, C.A.; KOKUBUN, E.; SIBUYA, C. Y.; MELLO, M. A. R. Efeitos da desnutrição protéico-calórica e do treinamento físico na produção de ácido láctico em ratos machos adultos após teste de cargas progressivas. Resultados preliminares. *Ciência e Cultura*, v.43, p.725-6, 1991.
- GOBATTO, C.A.; MELLO, M.A.R.; SIBUYA, C.Y.; AZEVEDO, J.R.M.; SANTOS, L.A.; KOKUBUN, E. Maximal lactate steady state in rats submitted to swimming exercise. *Comparative Biochemistry Physiology. A, Molecular & Integrative Physiology*, v.130A, p.21-7, 2001.
- GOBATTO, C.A.; MELLO, M.A.R.; SOUZA, C.T.; RIBEIRO, I.A. The monosodium glutamate (MSG) obese rat as a model for the study of exercise in obesity. *Research Communication Molecular Pathology and Pharmacology*, v. 111, n. 1-4, p. 89-102, 2002.
- GOBATTO, C.A.; MANCHADO, F.B.; VOLTARELLI, F.A.; CONTARTEZE, R.V.L.; MELLO, M.A.R. Non-invasive critical load determination in swimming rats: effects of muscle glycogen depletion. *Medicine and Science in Sports and Exercise (suppl)*, v.37, n.5, p.S331, 2005.
- GOBATTO, C.A.; MANCHADO, F. B.; CONTARTEZE, R. V. L.; MELLO, M. A. R. Double bouts test for non-exhaustive aerobic evaluation of running rats. *Medicine and Science in Sports and Exercise (suppl)*, v. 35, p. S517, 2006
- GOBATTO, C.A.; CARNEIRO, L.G.; MANCHADO, F.B.; ARAÚJO, G.G.; REIS, I.M. Padronização do protocolo de máxima fase estável de lactato para avaliação aeróbia de camundongos em natação. *Anais da II Reunião Regional da FESBe*, v.1, p. 11.006, 2007.
- HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MÜCKE, S.; MÜLLER, R.; HOLLMANN, W. Justification of the 4-mmol/L lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, v.6, p.117-30, 1985.
- KINDERMANN, W.; SIMON, G.; KEUL, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, v.42, p.25-34, 1979.
- LANGFORT, J.; ZARZECZNY, R.; PILIS, W.; KACIUBA-USCILKO, H.; NAZAR, K.; PORTA, S. Effect of sustained hyperadrenalinemia on exercise performance and lactate threshold in rats. *Comparative Biochemistry Physiology. A, Molecular & Integrative Physiology*, v.114A, p.51-5, 1996.

- MADER, A.; HECK, H. A theory of metabolic origin of the anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, v.7, p.45-65, 1986.
- MANCHADO, F.B.; GOBATTO, C.A.; CONTARTEZE, R.V.L.; PAPOTI, M.; MELLO, M.A.R. Maximal lactate steady state in running rats. *Journal of Exercise Physiology online*, v.8, p.29-35, 2005.
- MANCHADO, F.B.; GOBATTO, C.A.; CONTARTEZE, R.V.L.; PAPOTI, M.; MELLO, M.A.R. Máxima fase estável é ergômetro-dependente em modelo experimental utilizando ratos. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v.12, n.5, p.259-262, 2006a.
- MANCHADO, F.B.; GOBATTO, C.A.; VOLTARELLI, F.A.; MELLO, M.A.R. Non-exhaustive test for aerobic capacity determination in swimming rats. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, v.31, p.731-736, 2006b.
- MANCHADO, F.B.; CONTARTEZE, R.V.L.; GOBATTO, C.A.; PAPOTI, M.; MELLO, M.A.R. Critical velocity and anaerobic running capacity determination of running rats. *Medicine and Science in Sports and Exercise (suppl)*, v.38, p.516, 2006c.
- MANCHADO, F.B.; MOTA, C.S.A.; RIBEIRO, C.; ARAÚJO, G.G.; CONTARTEZE, R.V.L.; GOBATTO, C.A.; ARAUJO, M. B.; MELLO, M.A.R. Efeitos do ciclo claro-escuro na determinação da velocidade crítica e capacidade de corrida aneróbia de ratos Wistar. *Motriz (supp)*, v. 13, p. 96-97, 2007.
- MARANGON, L.; GOBATTO, C.A.; MELLO, M.A.R.; KOKUBUN, E. Utilization of an hyperbolic model for the determination of the critical load in swimming rats. *Medicine and Science in Sports and Exercise (suppl)*, v.34, n.5, p.149, 2002.
- MONOD, H.; SCHERER J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, v.8, p.329-38, 1965.
- MURDES, J.P.; BORTEL, R.; BLANKNHIN, E.P.; ROSSIN, A.A.; GARNIER, D.L. Rats models of type I diabetes: genetics, environment and autoimmunity. *Ilac Journal*, v. 45, p. 278-91, 2004.
- OLIVEIRA, C.A.M.; LUCIANO, E.; MELLO, M.A.R. The role of exercise on long term effects of alloxan administered in neonatal rats. *Experimental Physiology*, v.90, p.79-86, 2005.
- PAPOTI, M.; ALMEIDA, P.B.; PRADA, F.J.A.; ELENO, T.G.; HERMINI, H.A.; GOBATTO, C.A.; MELLO, M.A.R. Máxima fase estável de lactato durante a natação em ratos recuperados de desnutrição protéica. *Motriz*, v. 9, n. 2, p. 103-110, 2003.
- PAPOTI, M.; ARAUJO, G.G.; GOBATTO, C.A. Efeitos de 12 semanas de treinamento periodizado em natação sobre as concentrações séricas de glicose em ratos Wistar. *Anais da II Reunião Regional da FESBe*, v.1, p. 11.009, 2007.
- PEREIRA, R.R.; ZAGATTO, A.M.; PAPOTI, M.; GOBATTO, C.A. Validação de dois protocolos de teste para determinação do limiar anaeróbio em natação. *Motriz*, v.8, p.63-8, 2002.
- PILIS, W.; ZARZECZNY, R.; LANGFORT, J.; KACIUBA-USCILKO, H.; NAZAR, K.; WOJTYNA, J. Anaerobic threshold in rats. *Comparative Biochemistry Physiology. A, Molecular & Integrative Physiology*, v.106A, p.285-9. 1993.
- PRADA, F.J.P.; VOLTARELLI, F.A.; OLIVEIRA, C.A.M.; GOBATTO, C.A.; MACEDO, D.V.; MELLO, M.A.R. Condicionamento aeróbio e estresse oxidativo em ratos treinados por natação em intensidade equivalente ao LAn. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, v.12, n.2, p.29-34, 2004.
- PRINGLE, J.S.M.; JONES, A.M. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *European Journal of Applied Physiology*, v.88, p.214-26, 2002.
- SCALFANI, A., Animal models of obesity: classification and characterization. *International Journal of Obesity*, v.8, p.491-508, 1984.
- SOUZA, C.T.; NUNES, W.M.S.; GOBATTO, C.A.; MELLO, M.A.R. Insulin secretion in monosodium glutamate (MSG) obese rats submitted to aerobic exercise training. *Physiological Chemistry and Physics and Medical Nmr*, v. 35, p. 43-53, 2003.
- SJÖDIN, B.; JACOBS, I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International Journal of Sports Medicine*, v.2, p.23-6, 1981.

- TEGTBUR, U.; BUSSE, M.W.; BRAUMANN, K.M.. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.25, p.620-7, 1993.
- VOLTARELLI, F.A.; GOBATTO, C.A.; MELLO, M.A.R. Determination of anaerobic threshold in rats using the lactate minimum test. *Brazilian Journal of Medical and Biology Research*, v.35, p.1-6, 2002.
- VOLTARELLI, F.A.; MELLO, M.A.R.; GOBATTO, C.A. Limiar Anaeróbio determinado pelo Teste do Lactato Mínimo em Ratos: Efeito dos Estoques de Glicogênio Muscular e do Treinamento Físico. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, v. 4, n. 3, p. 16-25, 2004.
- WASSERMAN, K.; McILROY, M. B. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *American Journal of Cardiology*, v.14, p. 844-52, 1964.
- WELTMAN, A.; SNEAD, D.; STEIM, P.; SEIP, R.; SCHURRER, R.; RUTT, R.; WELTMAN, J. Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations and VO_{2max} . *International Journal of Sports Medicine*, v.11, n.1, p.26-32, 1990.

Contatos

Universidade Estadual Paulista
Fone: (19) 35264330
Endereço: Avenida 24-A, 1515, Bairro Bela Vista - Rio Claro - São Paulo CEP.: 13506-900
E-mail: cgobatto@uol.com.br

Tramitação

Recebido em: 01/12/07
Aceito em: 13/03/08