

Alterações do pH, da P_{O_2} e da P_{CO_2} arteriais e da concentração de lactato sanguíneo de cavalos da raça Árabe durante exercício em esteira de alta velocidade

[Changes in arterial pH, P_{O_2} , P_{CO_2} and blood lactate concentration in Arabian horses during exercise on a high-speed treadmill]

M.J. Watanabe, A. Thomassian, F.J. Teixeira Neto, A.L.G. Alves, C.A. Hussni, J.L.M. Nicoletti

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – UNESP
Distrito de Rubião Júnior, s/n – Caixa Postal 560
18618-000 – Botucatu, SP

RESUMO

Avaliaram-se as alterações do pH, da P_{O_2} e da P_{CO_2} do sangue arterial e da concentração de lactato sanguíneo de 11 cavalos adultos da raça Árabe, submetidos a exercício progressivo em esteira de alta velocidade. Antes do exercício, no intervalo dos 15 segundos finais de cada mudança de velocidade e aos 1, 3 e 5 minutos após o término do exercício foram coletadas amostras de sangue arterial e venoso para a mensuração dos gases sanguíneos e da concentração de lactato. O exercício resultou em diminuição do pH, da pressão parcial de O_2 (P_{O_2}) e da pressão parcial de CO_2 (P_{CO_2}). A concentração de lactato sanguíneo elevou-se exponencialmente a partir da velocidade de 8,0m/s até os momentos após término do exercício.

Palavras-chave: equino, exercício, esteira, hemogasometria, lactato

ABSTRACT

Changes in arterial blood pH, P_{O_2} and P_{CO_2} , and blood lactate concentration in Arabian horses during exercise on a high-speed treadmill were investigated. Eleven horses were submitted to a conditioning period as well as to the incremental exercise test. The arterial and venous blood samples were obtained to evaluate the blood gas values and lactate concentration, prior to the beginning of the exercise, on the last 15 final seconds between every change of speed and at the 1, 3 and 5 minutes after the exercise. A decrease in pH, partial pressure of oxygen (P_{O_2}), and partial pressure of carbon dioxide (P_{CO_2}) and the blood lactate levels exponentially increase beyond the speed of 8m/s, during the incremental exercise test.

Keywords: equine, exercise physiology, treadmill, blood gases, lactate

INTRODUÇÃO

Durante o exercício ocorre considerável aumento das funções de bioenergia muscular, elevando as reações necessárias à resposta ao aumento das trocas gasosas pelos sistemas cardiovascular e respiratório, ou seja, possibilitarem o aumento do fluxo de O_2 para os tecidos e a concomitante remoção de CO_2 (Hodgson e Rose, 1994).

Segundo Evans (2000), nos exercícios realizados em alta velocidade, nas quais as cargas de trabalho estão entre 65% a 85% do consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}), as células mantêm o requisito energético de ATP para a contração muscular por meio do metabolismo anaeróbico da glicose, que resultam no acúmulo do ácido lático nas células musculares com conseqüente desenvolvimento de acidemia sanguínea.

A avaliação global das trocas gasosas pulmonares pode se basear na mensuração das tensões dos gases no sangue arterial, isto é, pressões parciais arteriais de oxigênio (P_{O_2}) e dióxido de carbono (P_{CO_2}). Durante exercícios de alta intensidade desenvolve-se hipoxemia fisiológica, com valores menores que 80 a 84mmHg (Wagner et al., 1989; Bayly, 1989; Manohar et al., 2001), e hipercapnia, com valores da P_{CO_2} maiores que 46 a 50mmHg, quando a carga de trabalho é maior que 85% do VO_{2max} em equínos submetidos aos testes de exercícios progressivos (Bayly, 1989).

Bayly (1989) concluiu que a hipoxemia poderia ser decorrente da limitação do fluxo aéreo para os pulmões, associada com a alta frequência respiratória, em virtude do sincronismo da frequência respiratória com cada galão. Contudo, Bayly et al. (1999) observaram que uma menor frequência respiratória poderia ter efeito benéfico na troca gasosa, para cargas de exercícios de até 60% do VO_{2max} , sem sua interferência no desenvolvimento da hipoxemia em alta intensidade de exercício.

Hopkins et al. (1998) avaliaram as trocas gasosas de cavalos submetidos a exercício submáximo de longa duração em esteira e observaram que a ventilação alveolar aumentou progressivamente durante o exercício devido ao aumento do volume corrente e da frequência respiratória, resultando na elevação da P_{O_2} e decréscimo da P_{CO_2} . Os autores concluíram que os cavalos mantêm excelente troca gasosa pulmonar durante este tipo de exercício.

Katz et al. (1999) observaram que ao contrário de cavalos da raça Puro Sangue Inglês (PSI), os pôneis não desenvolvem hipoxemia e hiperapnia durante exercícios de alta intensidade. Os autores sugeriram que os PSI começam a desenvolver hipoxemia e hiperapnia para carga de trabalho maiores ou iguais a 90% do VO_{2max} , porque sua demanda metabólica supera a capacidade de seu sistema ventilatório. Os pôneis, porém, podem igualar sua resposta ventilatória à sua necessidade metabólica.

O lactato é produzido como produto do trabalho muscular durante todo tipo de exercício e a relação entre sua concentração sanguínea e a velocidade de exercício pode ilustrar a situação

na qual a contribuição da energia aeróbica começa a ser insuficiente frente aos requisitos energéticos totais (Erickson, 1996). A intensa produção de lactato resulta na diminuição do pH e pode limitar a capacidade para o trabalho por interferir na atividade enzimática muscular (Jones, 1989).

O objetivo deste estudo foi avaliar as alterações do pH, da P_{O_2} , da P_{CO_2} no sangue arterial e da concentração de lactato sanguíneo em cavalos da raça Árabe, saudáveis, submetidos ao teste de exercício progressivo em esteira de alta velocidade, por meio de exames hemogasométricos e bioquímicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Onze equínos da raça Árabe, três machos e oito fêmeas, com idades entre 2,5 a cinco anos, 312±47kg de peso, foram submetidos a um período de pré-condicionamento no qual foram realizados o casqueamento, a adaptação ao manejo nutricional, ao ambiente e a locomoção sobre a manta da esteira de alta velocidade¹. Os animais, mantidos em piquetes, foram alimentados com feno de capim *coast-cross*, ração comercial para equínos² e suplemento mineral³ nas quantidades recomendadas por Lewis (1985). Foram realizados exames de claudicação, cinemático do aparelho locomotor, vídeo-endoscópico do trato respiratório anterior e laringoscópico com o equino durante o exercício sobre a manta da esteira. Pelos exames, verificaram-se possíveis alterações do sistema orgânico que pudessem interferir nas respostas fisiológicas e metabólicas frente ao exercício.

Após a verificação do estado de hígidez, os animais foram submetidos ao período de condicionamento de quatro semanas, seis dias por semana, uma vez por dia, ao protocolo de exercício na esteira e sem inclinação: velocidade inicial de 1,8m/s por cinco minutos; 4,0m/s por três minutos; 6,2m/s por dois minutos; 8,0m/s e 10,0m/s por um minuto cada; 3,0m/s por dois minutos e 1,6m/s por um minuto.

Os testes de exercício progressivo foram

¹ KAGRA 2200 – Mustang, Suíça

² Proequi 13- Guabi Ltda, São Paulo

³ Centauro 80 - Guabi Ltda, São Paulo

realizados dois dias após o último dia do período de condicionamento, nos quais os animais foram preparados por meio do cateterismo da artéria facial transversa (Rose e Hodgson, 1994) e do cateterismo da veia jugular, empregando-se nesses circuitos tubos extensores e torneiras de três vias para possibilitar a colheita de amostras durante o exercício, sem a parada da manta da esteira. Com o animal em repouso, colheram-se as amostras de sangue arterial e venoso (M0). O exercício consistiu da inclinação da esteira a +6%, velocidade a 1,8m/s por cinco minutos (M1), a 4,0m/s por três minutos (M2), a 6,0m/s por dois minutos (M3) e fases a 8,0m/s (M4), 9,0m/s (M5), 10,0m/s (M6) e 11,0m/s (M7) por um minuto cada, de modo que a manta da esteira foi parada quando os cavalos não conseguiram acompanhar a sua velocidade e sem a realização de período de desaquecimento. No intervalo dos 15 segundos finais de cada mudança de velocidade e aos 1min (M8), 3min (M9) e 5min (M10) após o término do exercício, foram colhidas amostras de sangue arterial, em seringas contendo heparina de lítio⁴, para a realização de exames hemogasométricos⁵, e amostras de sangue venoso em tubos sem anticoagulante para a determinação da concentração de lactato no sangue total, utilizando equipamento portátil⁶. Os resultados foram submetidos à análise multivariada de medidas repetidas (Morrison, 1990) comparando os valores do pH, da P_{O_2} , da P_{CO_2} e da concentração de lactato com o efeito dos momentos (velocidade da esteira).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sete cavalos completaram a fase de velocidade de exercício de 10,0m/s e quatro cavalos completaram a fase de velocidade de 11,0m/s. As respostas ao exercício estão na Tab. 1.

A diminuição do pH arterial a partir de M5 (Fig.1) foi decorrente da difusão do ácido láctico produzido pelas células musculares para a circulação sanguínea, correspondente a exercícios de moderada a alta intensidade, nos quais o requisito energético das células musculares foi mantido predominantemente pelo metabolismo anaeróbico da glicose. A acidemia

sanguínea também foi observada por Ducharme (1999), com diminuição do valor de repouso de 7,42 para 7,27 para carga de trabalho de 100% da frequência cardíaca máxima em equinos submetidos a exercício progressivo em esteira. Nos momentos após o término do exercício observou-se, ainda, diminuição do pH arterial, sugerindo a continuidade da difusão do ácido láctico muscular para a circulação sistêmica.

Observaram-se diminuição significativa da P_{O_2} arterial M4 e valores semelhantes nos momentos subseqüentes ao exercício (Fig. 2). Em virtude da dificuldade do acompanhamento da temperatura sanguínea durante o teste, a não correção da temperatura para o processamento das amostras provavelmente subestimou os valores obtidos, como ressaltado por Jones et al. (1989). Contudo, verificou-se que no início do teste o organismo conseguiu manter o requisito de O_2 com relação à carga de trabalho. Com o aumento da velocidade e, conseqüentemente, do requisito de O_2 , desenvolveu-se hipoxemia, já relatada por Wagner et al. (1989), Bayly (1989) e Manohar et al. (2001), considerada leve neste experimento. A hipoxemia foi relacionada à combinação dos efeitos da alta frequência respiratória durante o galope, relatadas como maiores que 110mpm (Bayly, 1989), e da limitação do fluxo aéreo para os pulmões, em virtude do sincronismo dos movimentos respiratórios com cada galão durante os exercícios em alta velocidade (Bayly, 1999).

Ainda, em relação à P_{O_2} , nos momentos pós-exercício observou-se intenso aumento da P_{O_2} em relação aos valores de M6 e M0. Esse rápido aumento da concentração de oxigênio do sangue foi relacionado com o mecanismo de hiperventilação alveolar. Segundo Carlson (1995), após o término do exercício, estímulos físicos e químicos, como a diminuição do pH e o aumento da temperatura sanguínea, promovem a elevação da frequência respiratória. Após o exercício, observou-se diminuição da P_{CO_2} também decorrente do mecanismo de hiperventilação.

Observaram-se valores semelhantes da P_{CO_2} no início do exercício, com diminuição no M3 e manutenção dos valores para os outros momentos do exercício, diferente da literatura, que cita o desenvolvimento de hipercapnia em equinos submetidos aos testes de exercícios

⁴ BD Preset – BD Vacutainer Systems, USA.

⁵ Aparelho Rapidpoint 400 – Bayer, Alemanha.

⁶ Accutrend – Roche, Alemanha

Alterações do pH...

progressivos (Bayly, 1989; Christley et al., 1999).

Katz et al. (1999) citaram que alguns atletas humanos submetidos a exercício supramáximo desenvolvem hipocapnia secundariamente à hiperventilação. O desenvolvimento da hipercapnia em cavalos seria decorrente, em parte, da inadequada resposta ventilatória ao exercício que limita as trocas gasosas e contribui para o desenvolvimento de acidose.

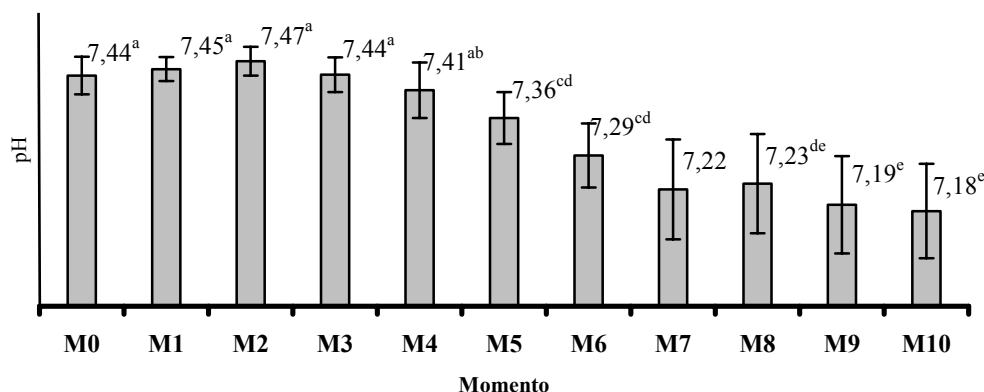
Valores diferentes da literatura consultada foram obtidos provavelmente pelo fato de o processo ventilatório dos cavalos do grupo experimental

ter sido suficiente para eliminar o CO₂ produzido durante o exercício, similar ao resultado de Taylor et al. (1995), que verificaram hipocapnia em cavalos da raça Árabe, justificada também pelo processo de hiperventilação durante os exercícios de rápida aceleração. Ainda, provavelmente os cavalos tiveram menor taxa metabólica, comparados aos animais estudados na literatura quanto à retenção de CO₂ durante o exercício de alta intensidade. Katz et al. (1999) observaram que cavalos PSI desenvolveram hipercapnia e pôneis hipocapnia para a mesma carga de trabalho, sugerindo que nos PSI as demandas metabólicas superaram a capacidade de seu sistema ventilatório.

Tabela 1. Valores médios e desvios-padrão da média do pH, pressão parcial de O₂ (P_{O₂}), pressão parcial de CO₂ (P_{CO₂}) arteriais e concentração de lactato sanguíneo durante teste de exercício progressivo de acordo com o momento (M) de avaliação

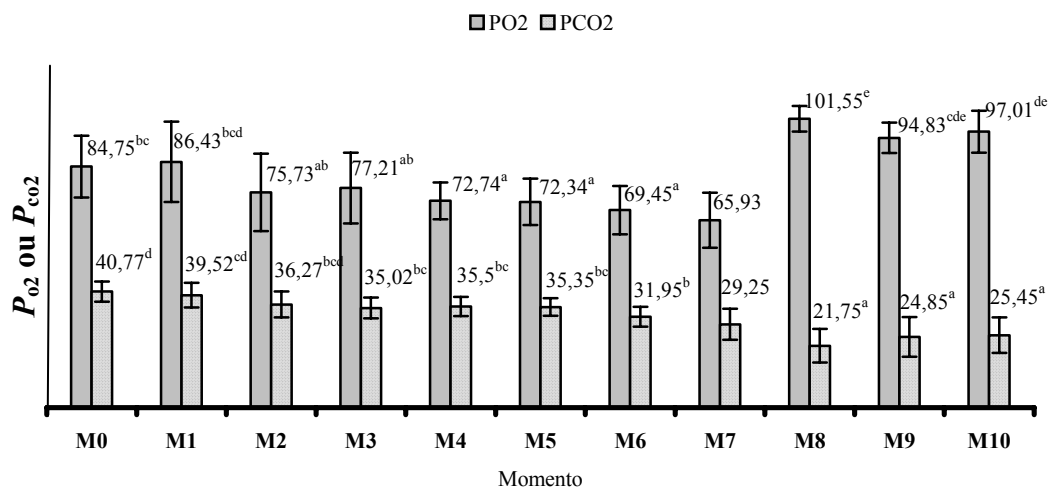
	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7*	M8	M9	M10
pH	7,44 ±0,04	7,45 ±0,02	7,47 ±0,03	7,44 ±0,03	7,41 ±0,05	7,36 ±0,05	7,29 ±0,06	7,22 ±0,10	7,23 ±0,10	7,19 ±0,09	7,18 ±0,09
P _{O₂} (mmHg)	84,75 ±10,82	86,43 ±14,15	75,73 ±13,62	77,21 ±12,38	72,74 ±6,45	72,34 ±8,14	69,45 ±8,50	65,93 ±9,70	101,55 ±4,48	94,83 ±5,35	97,01 ±7,33
P _{CO₂} (mmHg)	40,77 ±3,56	39,52 ±4,33	36,27 ±4,51	35,02 ±3,69	35,51 ±3,35	35,35 ±3,09	31,95 ±3,50	29,25 ±5,46	21,75 ±5,93	24,85 ±7,03	25,45 ±6,21
Lactato (mmol/l)	1,7 ±0,1	1,7 ±0,3	2,4 ±0,8	3,5 ±1,3	4,0 ±1,4	6,2 ±2,5	9,1 ±3,6	9,8 ±1,9	13,6 ±3,6	12,8 ±3,9	14,7 ±3,9

M0: em repouso; M1: 6% de inclinação da esteira, velocidade 1,8m/s, duração 5min; M2: 6% de inclinação, 4,0m/s, 3min; M3: 6% de inclinação, 6,0m/s, 2min; M4 a M7: 6% de inclinação, velocidades de 8,0m/s, 9,0m/s, 10,0m/s e 11,0m/s, 1min; M8 a M10: 6% de inclinação, 15s finais e 1min, 3min e 5min após o término do exercício; *M7: média e desvio-padrão dos quatro cavalos que completaram essa fase.



Valores seguidos de pelo menos uma letra igual não diferem entre si (P>0,05). M0: em repouso; M1: 6% de inclinação da esteira, velocidade 1,8m/s, duração 5min; M2: 6% de inclinação, 4,0m/s, 3min; M3: 6% de inclinação, 6,0m/s, 2min; M4 a M7: 6% de inclinação, velocidades de 8,0m/s, 9,0m/s, 10,0m/s e 11,0m/s, 1min; M8 a M10: 6% de inclinação, 15s finais e 1min, 3min e 5min após o término do exercício; *M7: valor não avaliado estatisticamente pelo fato de apenas quatro cavalos completarem essa fase.

Figura 1. Médias, desvios-padrão e resultados da análise estatística do pH arterial durante o teste de exercício progressivo.



Valores seguidos de pelo menos uma letra igual não diferem entre si ($P > 0,05$). M0: em repouso; M1: 6% de inclinação da esteira, velocidade 1,8m/s, duração 5min; M2: 6% de inclinação, 4,0m/s, 3min; M3: 6% de inclinação, 6,0m/s, 2min; M4 a M7: 6% de inclinação, velocidades de 8,0m/s, 9,0m/s, 10,0m/s e 11,0m/s, 1min; M8 a M10: 6% de inclinação, 15s finais e 1min, 3min e 5min após o término do exercício; *M7: valor não avaliado estatisticamente pelo fato de apenas quatro cavalos completarem essa fase.

Figura 2. Médias, desvios-padrão e análise estatística das pressões parciais de O₂ (P_{O_2}) e de CO₂ (P_{CO_2}) arteriais, em mmHg, durante o teste de exercício progressivo.

Observaram-se valores da concentração de lactato no sangue total semelhantes em M0, M1, M2, M3 e M4. A partir de M5, observou-se elevação exponencial (Fig.3), valor maior do que o obtido por Seeherman e Morris (1990), com equinos submetidos a exercício em esteira com inclinação de 10%, e ponto de inflexão da curva da concentração de lactato na velocidade de 5,4m/s. Provavelmente, essa menor velocidade comparada à deste estudo foi decorrente da maior inclinação da esteira, que aumentou a carga de trabalho imposta.

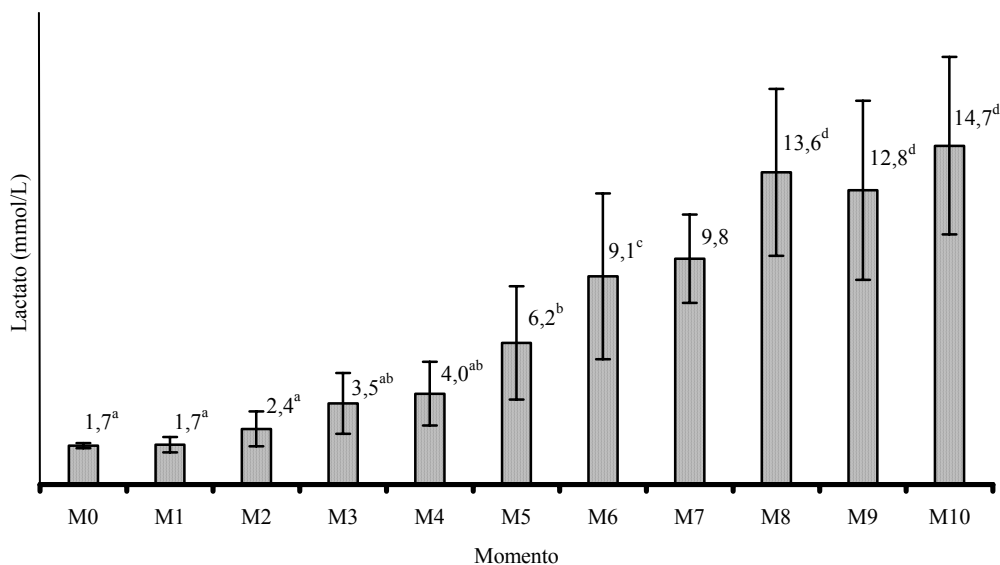
Em M8, M9 e M10 houve elevação da concentração de lactato, semelhante aos estudos de Rainger et al. (1994) e Räsänen et al. (1995). A manutenção da elevação da concentração de lactato foi decorrente do marcado efluxo de lactato do músculo para a corrente sanguínea, mesmo após o término do exercício. Resultados

semelhantes foram obtidos por Seeherman e Morris (1990), que observaram aumento gradativo concentração sanguínea de lactato durante alguns minutos após o término do exercício, com pico médio de 15,2 mmol/l.

CONCLUSÕES

O protocolo de exercício proposto mostrou-se eficaz na indução de respostas metabólicas e fisiológicas para várias intensidades de exercício de cavalos da raça Árabe durante o trabalho físico em esteira de alta velocidade. O pH, a pressão parcial de O₂ e a pressão parcial de CO₂ no sangue arterial diminuem para altas velocidades de exercício. A concentração de lactato sanguíneo aumenta exponencialmente a partir da velocidade de exercício de 8,0m/s e se mantém alta após o término do exercício.

Alterações do pH...



Valores seguidos de pelo menos uma letra igual não diferem entre si ($P>0,05$). M0: em repouso; M1: 6% de inclinação da esteira, velocidade 1,8m/s, duração 5min; M2: 6% de inclinação, 4,0m/s, 3min; M3: 6% de inclinação, 6,0m/s, 2min; M4 a M7: 6% de inclinação, velocidades de 8,0m/s, 9,0m/s, 10,0m/s e 11,0m/s, 1min; M8 a M10: 6% de inclinação, 15s finais e 1min, 3min e 5min após o término do exercício; *M7: valor não avaliado estatisticamente pelo fato de apenas quatro cavalos completarem essa fase.

Figura 3. Médias, desvios-padrão e resultados da análise estatística e da concentração de lactato (mmol/l) no sangue venoso durante o teste de exercício progressivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYLY, W.; HODGSON, D.R.; SCHULZ, D.A. et al. Exercise-induced hypercapnia in the horse. *J. Appl. Physiol.*, v.67, p.1958-1966, 1989.

BAYLY, W.M.; REDMAN, M.J.; SIDES, R.H. Effect of breathing frequency and airflow on pulmonary function in high-intensity equine exercise. *Equine Vet. J.*, v.30, suppl., p.19-23, 1999.

CARLSON, G.P. Interrelationships between fluid, electrolyte and acid-base balance during maximal exercise. *Equine Vet. J.*, v.18, suppl., p.261-265, 1995.

CHRISTLEY, R.M.; EVANS, D.L.; HODGSON, D.R. et al. Effects of training on the development of exercise-induced arterial hypoxemia in horses. *Am. J. Vet. Res.*, v.58, p.653-657, 1997.

DUCHARME, N.G.; HACKETT, R.P.; GLEED, R.D. et al. Pulmonary capillary pressure in horses undergoing alteration of pleural pressure

by imposition of various upper airway resistive loads. *Equine Vet. J.*, v.30, suppl., p.27-33, 1999.

ERICKSON, H.H. Fisiologia do exercício. In: SWENS, M. J.; REECE, W.O. *Dukes fisiologia dos animais domésticos*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1996. p.278-296.

EVANS, D.L. *Training and fitness in athletic horses*. Sidney: RIRDC, 2000. 87p.

HODGSON, D.R.; ROSE, R.J. Evaluation of performance potential. In: _____. *The athletic horse*. Philadelphia: W. B. Saunders, 1994. p.231-243.

HOPKINS, S.R.; BAYLY, W.M.; SLOCOMBE, R. F. et al. Effect of prolonged heavy exercise on pulmonary gas exchange in horses. *J. Appl. Physiol.*, v. 84, p. 1723-1730, 1998.

JONES, W.E. Performance profiling. In: _____. *Equine sports medicine*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1989. p.205-214.

KATZ, L.M.; BAYLY, W.M.; HINES, M.T. et al. Differences in the ventilatory responses of

horses and ponies to exercise of varying intensities. *Equine Vet. J.*, v.30, suppl., p.45-51, 1999.

LEWIS, L.D. *Alimentação e cuidados do cavalo*. São Paulo: Roca, 1985. p.73-90.

MANOHAR, M.; GOETZ, T.E.; HASSAN, A.S. Effect of prior high-intensity exercise on exercise-induced arterial hypoxemia in Thoroughbred horses. *J. Appl. Physiol.*, v.90, p.2371-2377, 2001.

MORRISON, D.F. *Multivariate statistical methods*. São Paulo: Mc Graw Hill, 1990. 450p.

OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN, S.V.; CLAYTON, H.M. Advantages and disadvantages of track vs. treadmill tests. *Equine Vet. J.*, v.30, suppl., p.645-647, 1999.

RAINER, J.E.; EVANS, D.L.; HODGSON, D.R. et al. Blood lactate disappearance after maximal exercise in trained and detrained horses. *Res. Vet. Sci.*, v.57, p.325-331, 1994.

RÄSÄNEN, L.A.; LAMPINEN, K.J.; PÖSÖ, A.R. Responses of blood and plasma lactate and

plasma purine concentrations to maximal exercise and their relation to performance in Standardbred trotters. *Am. J. Vet. Res.*, v.56, p.1651-1656, 1995.

ROSE, R.J.; HODGSON, D.R. Clinical exercise testing. In: HODGSON, D. R.; ROSE, R. J. *The athletic horse*. Philadelphia: W. B. Saunders, 1994. p.246-257.

SEEHERMAN, H.J.; MORRIS, E.A. Methodology and repeatability of the standardized treadmill exercise test for clinical evaluation of fitness in horse. *Equine Vet. J.*, v.9, suppl., p.20-25, 1990.

TAYLOR, L.E.; FERRANTE, P.L.; WILSON, J.A. et al. Arterial and mixed venous acid-base status and strong ion difference during repeated sprints. *Equine Vet. J.*, v.18, suppl., p.326-330, 1995.

WAGNER, P.D.; GILLESPIE, J.R.; LANDGREN, G.L. Mechanism of exercise-induced hypoxemia in horses. *J. Appl. Physiol.*, v.66, p.1227-1233, 1989.