

INDICADORES DE PERFORMANCE ESPORTIVO EM EQUINOS*

INTRODUÇÃO

A busca do melhor desempenho atlético por meio da utilização de suplementos nutricionais lícitos objetivando-se a produção de um efeito ergogênico efetivo, ou seja, o aumento da capacidade de realização de trabalho físico. Outra maneira de aumentar a capacidade atlética é por meio do emprego de práticas ilícitas, mediante a administração de substâncias que melhoram artificialmente o desempenho, caracterizado como doping. Assim, a avaliação do desempenho atlético de equinos submetidos à administração de substâncias ilegais, torna-se necessária. O cotidiano das atividades esportivas equestres mostra a utilização destes agentes com o objetivo de se obter êxito nas competições de elite que estão fortemente relacionadas com aspectos comerciais, sendo o sucesso atlético não somente associado ao prestígio, mas também a uma considerável compensação financeira.

A utilização de testes para a avaliação do desempenho atlético realizados a campo (pista), juntamente com as respostas fisiológicas obtidas pela ação do exercício e do treinamento, pode ser uma valiosa ferramenta para maximização dos resultados obtidos nas competições. O programa de treinamento deixa de ser realizado somente de maneira empírica tornando-se um processo técnico, com embasamento clínico e fisiológico.

O organismo dos animais atletas sofre alterações adaptativas físicas, neurológicas, metabólicas, cardiovasculares, endócrinas e psíquicas, relacionadas com o tipo de esforço, submáximo prolongado ou máximo de curta duração. Sendo assim, ao respeitar a individualidade inerente aos diferentes indivíduos, cada atleta responde ao exercício de modo específico sendo que esse comportamento pode ser avaliado. A fisiologia do exercício é fundamento fundamental para avaliação de programas de treinamento que contribuem para adaptação de atletas da espécie equina aos fatores estressantes presentes numa atividade esportiva.

* Seminário apresentado pelo aluno TIANE FERREIRA DE CASTRO na disciplina BIOQUIMICA DO TECIDO ANIMAL, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no primeiro semestre de 2011. Professor responsável pela disciplina: Félix H. D. González.

FISIOLOGIA DO EXERCÍCIO

A fisiologia do exercício começou a ser estudada na década de 1920, com a espécie humana. Posteriormente, em 1960, por meio da utilização de testes de esforço realizados no campo para avaliação do desempenho, tornou-se ferramenta fundamental no estabelecimento da intensidade do treinamento e avaliação de atletas da espécie equina.

O emprego sistemático de esteira ergométrica permite, sob condições laboratoriais controladas, evidenciar as respostas metabólicas e musculares esqueléticas que ocorrem frente à prática de esforço físico, de modo que tais observações podem ser utilizadas para diversos estudos relacionados ao desempenho esportivo dos cavalos. A fisiologia do exercício tem como objetivo principal avaliar o desempenho atlético por meio da determinação da dinâmica de variáveis fisiológicas, como frequência cardíaca, limiar de lactato, hematologia e as respostas endócrinas.

Durante o exercício físico é possível constatar alterações nos parâmetros destas variáveis, como elevações no hematócrito que podem indicar condições mórbidas, relacionadas com hemoconcentração, decorrente de processos fisiopatogênicos. O esforço físico induz a liberação de catecolaminas que, ao promoverem a contração esplênica com liberação de hemácias para a circulação sanguínea, proporcionam melhor perfusão tecidual, principalmente para o sistema nervoso central e musculatura esquelética. Sendo assim, ao término do esforço físico ocorre a organização do equilíbrio hemodinâmico e esta variável retorna ao seu valor de repouso, sem que a variação represente enfermidade.

As organizações esportivas internacionais possuem um forte posicionamento contra o doping, juntamente com a comunidade científica que se posiciona contra a utilização de substâncias ilegais. Para a proteção do bom atleta e para obtenção de bases científicas sólidas que visam banir o emprego de procedimentos ilegais nas diversas competições esportivas, estudos devem ser conduzidos para determinação dos possíveis efeitos sobre o desempenho atlético e seus riscos à saúde.

Testes de desempenho de equinos devem fornecer parâmetros clínicos e metabólicos capazes de fornecer informações relativas à capacidade adaptativa dos equinos frente ao exercício. Dentre os vários aspectos que envolvem a avaliação da performance esportiva na espécie equina, o estudo da eficiência do metabolismo energético possui papel decisivo para a determinação do potencial de cavalos atletas. Amostras de sangue são frequentemente obtidas durante testes para avaliação do desempenho atlético. Variáveis hematológicas como o hematócrito e a concentração de hemoglobina plasmática podem ser utilizadas para avaliação dos efeitos, tanto do exercício como do treinamento.

A glicose plasmática é principal substrato energético que pode ser utilizado tanto pelo sistema nervoso central como pela fibra muscular esquelética durante o exercício. Contudo, pode ocorrer hiper ou hipoglicemia dependendo da intensidade e duração do exercício. A insulina, o cortisol, a adrenalina e o glucagon são hormônios envolvidos diretamente na regulação e no equilíbrio da glicemia durante o exercício. Outras variáveis fisiológicas, como a frequência cardíaca e a concentração de lactato sanguíneo são largamente empregadas para a avaliação dos efeitos do exercício e do desempenho atlético sendo, atualmente, ferramentas necessárias à maximização de qualquer programa de treinamento.

A frequência cardíaca é uma ferramenta fácil de ser aferida durante o exercício e fornece um índice indireto da capacidade e função cardiovasculares, possuindo uma relação linear com o exercício de intensidade crescente. Por outro lado, em exercícios de baixa intensidade, esta relação pode ser influenciada por fatores ambientais que provocam ansiedade e excitação.

A β -oxidação será estimulada para fornecer energia por mecanismo aeróbico. Entretanto, conforme se aumenta a intensidade do exercício atinge-se um ponto em que uma quantidade insuficiente de oxigênio está disponível para a fosforilação oxidativa e uma proporção de NADH₂ é reoxidada, via piruvato, sendo metabolizada a lactato. À medida que a intensidade do exercício aumenta maior quantidade de lactato é produzida e uma maior proporção de energia é suprida pelas vias anaeróbicas.

O acúmulo contínuo de ácido láctico nas fibras musculares em exercício anaeróbico virá, por fim, a exceder a capacidade de tamponamento físico-químico e de transporte dos íons H⁺ pelas células. O pH intracelular diminui, afetando tanto o processo de contração como os mecanismos que regulam a remoção de ADP nos sítios das pontes cruzadas entre a actina e a miosina.

Neste contexto, a atividade de determinadas enzimas musculares pode ser usada para avaliar a capacidade metabólica de determinadas rotas do metabolismo energético. A relação entre as atividades enzimáticas pode ser um indicador útil da capacidade metabólica muscular. Durante exercícios prolongados o metabolismo oxidativo exerce um papel importante na utilização de carboidratos e lipídeos, de modo que estas rotas metabólicas variam em indivíduos com distintos graus de condicionamento.

Adaptações orgânicas

Um desempenho eficiente durante a realização de exercícios de alta, moderada e baixa intensidade requer um correto funcionamento dos sistemas nervoso, respiratório, cardiovascular e musculoesquelético, para que seja preservada e mantida a homeostasia do organismo durante a execução de cada um dos exercícios. A direta participação do sistema nervoso autônomo e

endócrino favorece a mobilização das reservas energéticas, controle da homeostasia cardiovascular e equilíbrio dos fluídos corporais.

Conforme ocorre o condicionamento do animal, o organismo se adapta frente às adversidades orgânicas decorrentes do exercício. Do ponto de vista bioquímico, os principais objetivos do condicionamento ao exercício físico visam melhorar o desempenho atlético a partir do aumento da capacidade aeróbia / anaeróbia, da redução das causas de fadiga como a redução de glicogênio muscular e a adaptação à acidose.

Deve-se destacar a importância do processo de recuperação dos cavalos após realização de esforços físicos devido à diversidade de respostas fisiológicas que ocorrem no organismo.

- **Sistema nervoso:** Maturação das vias nervosas; memorização do ato motor; melhor coordenação motora; redução da atividade simpática; aumento do tônus vagal; adaptação ao estresse físico.

- **Sistema cardiovascular:** Aumento da espessura da parede cardíaca; aumento das dimensões das câmaras cardíacas; aumento do peso cardíaco; aumento da força de contração cardíaca; aumento do débito cardíaco máximo e do volume sistólico; redução da frequência cardíaca de repouso; manutenção da frequência cardíaca máxima; angiogênese cardíaca e periférica; discreta redução da pressão arterial.

- **Sistema pulmonar:** Aumento discreto da capacidade vital; aumento do fluxo máximo respiratório; aumento da ventilação máxima e da ventilação voluntária máxima; manutenção do número de alvéolos; aumento da extração de oxigênio alvéolo-capilar; aumento da extração de oxigênio capilar-tecidual; eliminação do dióxido de carbono mais eficiente; melhor eficiência do equilíbrio ácido-base; redução da fadiga dos músculos respiratórios.

- **Sistema sanguíneo:** Aumento do hematócrito; aumento da concentração de hemoglobina; aumento na concentração dos tampões plasmáticos; aumento da resistência às variações do pH; melhor eficiência no transporte dos gases respiratórios.

- **Sistema renal:** Melhor eficiência na excreção de ácidos para controle do pH; aumento na síntese de eritropoietina.

- **Sistema músculo-esquelético:** Sofre adaptações estruturais e bioquímicas; hipertrofia muscular; hiperplasia muscular; aumento das reservas de glicogênio; aumento na concentração de ATPase; aumento nas reservas de ATP e fosfocreatina; aumento no número e tamanho das mitocôndrias; aumento na concentração das enzimas glicolíticas e oxidativas; aumento nas reservas de mioglobina; aumento nas reservas da enzima CK; aumento da oxidação de glicogênio e ácidos graxos livres; aumento na força de contração muscular; redução da fadiga muscular; modificação nos tipos de fibras musculares, aumentando a proporção de fibras tipo I e

IIA; adaptação do osso subcondral, aumento de trabéculas para diminuir a absorção de impacto; hipertrofia da cartilagem hialina.

- **Sistema endócrino e metabólico:** Aumento da tolerância à glicose; aumento na liberação do hormônio GH; redução nos níveis de colesterol e triglicerídeos; redução nos níveis de cortisol por diminuição do estresse em virtude a adaptação ao exercício; aumento na mobilização dos ácidos graxos livres nos adipócitos; melhora no metabolismo dos carboidratos, lipídeos e proteínas.

ALTERAÇÕES METABÓLICAS NA CLÍNICA ESPORTIVA

Acidose metabólica

A acidose metabólica é a alteração metabólica mais comumente encontrada, se deve por um excesso de ácido ou de íons hidrogênio aos líquidos corpóreos. Os ácidos são constantemente produzidos no organismo como subproduto do metabolismo oxidativo. A quantidade de ácido produzida está relacionada à dieta, à intensidade de exercício e a outros processos fisiológicos, portanto, os sistemas destinados a manter a homeostasia ácido-base devem ser capazes de se adaptar, principalmente, às modificações na carga ácida.

Estão relacionados à ocorrência desta alteração metabólica principalmente a concentração insuficiente enzimas musculares oxidativas para a produção de ATP, de modo que ocorre um aumento da produção de ATP por via anaeróbica, bem como a conversão de piruvato em lactato.

Quando o animal é submetido de exercício intenso ocorre um recrutamento fibras de contração rápida (não-oxidativas), que acarreta em aumento da produção e acúmulo de lactato, Este acúmulo de lactato é devido a produção de lactato exceder a taxa de remoção para o plasma, resultando na acidificação do meio celular do músculo.

Em todas as intensidades de exercício há produção de lactato, contudo em exercício de alta intensidade as concentrações de enzimas musculares oxidativas são insuficientes para a produção de ATP necessária para a manutenção da atividade. Sendo assim, ocorre um aumento da produção de ATP por via glicólise anaeróbica, com conversão de piruvato a lactato.

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.

Alcalose metabólica

Na realização de atividade física intensa o calor produzido pode aumentar de 40 a 60 vezes acima dos valores de repouso e está relacionado com a taxa de utilização de oxigênio. Entretanto, dentro de limites bastante amplos, o calor produzido pelo esforço muscular é eficientemente dissipado. A principal via de perda de calor no equino é a evaporação de suor, atuando a evaporação por meio da respiração de forma secundária. Embora a atividade metabólica seja elevada nos cavalos que realizam exercícios de intensidade máxima, o reduzido período de duração destes trabalhos, impede o desenvolvimento de alterações graves no estado de equilíbrio de eletrólitos séricos e na osmolalidade sanguínea.

Entretanto, se houver sudorese excessiva por longos períodos, como no caso das provas de enduro, haverá perdas de cloreto, sódio e potássio, que concomitantemente com a desidratação, promoverá a ativação do sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA). Deste modo, teremos uma maior retenção renal de bicarbonato compensatório a perda de cloreto, na tentativa de manter o equilíbrio aniônico. Tal fato resulta em alcalose metabólica hipoclorêmica, bem como maior excreção de hidrogênio, ocasionando acidúria paradoxal.

TABELA 1. Valores médios±desvios-padrão do pH(v), pCO₂(v) (mmHg), pO₂(v) (mmHg), cHCO₃⁻(vP) (mmol/L) e cBase(v) (mmol/L) de equinos submetidos à prova de enduro de 60 km de extensão

Variável	M0	M1	M2	Valores de referência*
pH(v)	7,35±0,01 ^C	7,46±0,01 ^A	7,43±0,01 ^B	7,32 a 7,44
pCO ₂ (v)	42,67±1,64 ^B	45,47±3,05 ^{AB}	48,73±4,85 ^A	38 a 46
pO ₂ (v)	40,81±3,20 ^B	47,61±4,43 ^A	33,41±4,67 ^C	35 a 40
cHCO ₃ ⁻ (vP)	23,26±2,00 ^B	32,36±2,18 ^A	32,35±3,60 ^A	24 a 30
cBase(v)	-1,2±1,9 ^B	9,1±2,0 ^A	7,9±3,1 ^A	-2 a +2

M0= basal em repouso; M1= após os 60 km; M2= 1 hora após o término do enduro.

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha divergem pelo teste Tukey (P<0,05).

Acidose respiratória

Durante o exercício intenso, os músculos produzem grande quantidade de dióxido de carbono (CO_2), porém a ventilação alveolar não aumenta proporcionalmente à produção de CO_2 o suficiente para eliminá-lo, ocorrendo hipercapnia. A hipercapnia pode afetar o desempenho de equinos durante o exercício, retardando a regulação do íon hidrogênio, particularmente aquele produzido nos músculos em atividade. Quando a velocidade do exercício ultrapassa o limiar de 85% do consumo máximo de oxigênio ($\text{VO}_2 \text{ max}$), ocorre em equinos, além da hipoxemia arterial, a desnaturação da hemoglobina, diferentemente do que acontece em outras espécies.

A diferença entre as pressões de O_2 alveolar e arterial, cujo valor médio em repouso se mantém em torno de 4 mmHg, se elevam durante o exercício podendo atingir 30 mmHg, o que pode impedir a difusão do O_2 dos alvéolos para o sangue. O impedimento da difusão de O_2 do alvéolo para o sangue é relatado como a principal causa de ocorrência de hipoxemia nos exercícios de intensidade máxima. Se a hemoglobina estiver com 100% de saturação de O_2 , cada 100 mL de sangue contém de 27 a 31 mL de O_2 . No entanto, a SO_2 diminui de, aproximadamente, 95% durante o repouso, para 85% durante exercício intenso, justificando também a hipoxemia arterial com valores de PO_2 menores que 80 mmHg e hipercapnia com valores da PCO_2 maiores que 50 mmHg.

Alcalose respiratória

É a alteração metabólica geralmente associada a cavalos que desempenham provas de resistência. Sua ocorrência encontra-se associada à realização de exercício intenso em temperaturas elevadas, que ocasionam um aumento da frequência respiratória, aumentando a ventilação em busca de uma maior perda de calor via evaporação respiratória. Deste modo, ocorre um aumento na liberação de dióxido de carbono alveolar.

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE ESPORTIVA

Bioenergética

A produção e utilização adequadas de energia são essenciais para o ótimo desempenho do equino atleta. Os equinos têm grande capacidade atlética devido à grande capacidade de consumo de oxigênio, a reserva esplênica de hemácias e a grande quantidade de energia acumulada na forma de glicogênio muscular.

O exercício físico é uma atividade que demanda energia, sendo que em equinos o gasto de energia para a realização de atividades físicas de alta intensidade é 50 vezes superior à necessária no repouso.

A biodisponibilidade de adenosina trifosfato (ATP) é requisito básico para a sustentação da intensidade de exercício. Embora a ATP não seja a única molécula transportadora de energia celular, ela é a mais importante, e sem quantidades suficientes de ATP a maioria das células morre rapidamente. Quando a ATP é hidrolisada pela ação enzimática da ATPase ocorre a formação de adenosina difosfato (ADP) e do fosfato inorgânico (Pi). O ADP e o Pi são unidos por uma ligação de alta energia e quando a enzima ATPase rompe essa ligação, a energia é liberada e pode ser utilizada para realização de trabalho, como a contração muscular.

As fibras musculares dos equinos armazenam quantidades limitadas de ATP. Setenta e cinco por cento da energia gerada pela hidrólise da ATP é liberada na forma de calor. Portanto, o restante desta energia é utilizado nos processos que envolvem a contração muscular, como o deslocamento dos filamentos de miosina na célula muscular e o bombeamento do cálcio de volta para seus sítios de estocagem celular. Por esta razão, como o exercício muscular requer um suprimento constante de ATP para fornecer a energia necessária à contração, deve-se existir vias metabólicas celulares com capacidade de produção rápida de ATP.

O tipo de produção de energia está relacionada ao tipo de fibra muscular predominante no equino atleta. Existem dois tipos básicos de fibras: fibras musculares do tipo I, de contração lenta e adaptadas a exercícios aeróbicos (alta concentração de mioglobina), e as fibras musculares do tipo II, de contração rápida e adaptadas para exercícios de potência (sendo a IIA altamente oxidativas e IIB com baixa capacidade oxidativa). As fibras I e II são determinadas geneticamente, mas as IIA e IIB são influenciadas pelo treinamento. Estudos demonstram que cavalos que atuam em provas de resistência, como provas de enduro, possuem alta porcentagem de fibras do tipo I e tipo IIA e menor de IIB, que vão determinar maior potencial de obtenção de energia pela via aeróbica. Já cavalos de corrida de longa distância, da raça Puro Sangue Inglês (PSI), bem treinados apresentam maiores proporções de fibras do tipo IIA, em relação às do tipo IIB, e menores áreas das fibras do tipo I. Nos cavalos de explosão como os Quarto de Milha, há a predominância das fibras IIB, onde a obtenção de energia ocorre predominantemente por via anaeróbica láctica.

Outro fator que limita o metabolismo aeróbico, além da intensidade do exercício, é a disponibilidade de oxigênio e a capacidade de utilização do mesmo.

A produção de ATP poderá ocorrer através da degradação do glicogênio muscular e com a degradação das moléculas de glicose por via anaeróbica e/ou por via aeróbica. Na glicólise anaeróbica, a glicose é convertida em duas moléculas de piruvato que, por sua vez, na ausência

de oxigênio, capta elétrons e é transformado em ácido láctico, gerando somente quatro ATPs para cada mol de glicose usada. Esta forma de produção de energia é rápida. Já na glicólise aeróbica, ou seja, na presença de oxigênio, o piruvato entra no ciclo de Krebs e é metabolizado até dióxido de carbono e água, gerando 38 ATPs para cada mol de glicose. Além das formas supracitadas de produção de energia, existe o sistema ATP-fosfocreatina que representa a forma mais simples e rápida para a produção de ATP. Essa reação fornece energia suficiente para o início do exercício ou para a manutenção de exercícios de curta duração e alta intensidade (exercícios com menos de 5 segundos de duração).

Em consequência da descrição acima, é possível dizer que numa atividade muscular intensa, a concentração de ATP nos músculos estriados só é capaz de proporcionar energia por um ou dois segundos. A fonte seguinte de energia a ser usada é o sistema constituído por fosfocreatina, suficiente para trabalhos intensos e de baixa duração – de 6 a 8 segundos. Esta fase de obtenção de energia é denominada de anaeróbica aláctica.

O sistema fosfagênio, representado pelos estoques de creatina fosfato, fornece um grupamento fosfato para produção de ATP durante o início e nos primeiros segundos de contração muscular. Esta reação é catalisada pela enzima creatina quinase (CK), sendo esta via conhecida como aláctica na produção anaeróbia de energia. Inicialmente estes estoques de ATP são restabelecidos pela via glicolítica e posteriormente pela via aeróbia, sendo que esta última utiliza primeiramente glicogênio e em seguida lipídeos como substratos.

Quando se esgotam as reservas ATP e fosfocreatina, a próxima fonte de energia é a glicólise anaeróbica com produção de lactato (fase anaeróbica láctica), usada para exercícios intensos com duração de um a dois minutos. Neste nível de intensidade de exercício, o ácido láctico é produzido pela descarboxilação do piruvato, tendo como catalisador da reação a enzima lactato desidrogenase (LDH). Este ácido láctico formado é rapidamente tamponado em parte pelo bicarbonato extracelular, resultando na produção de lactato.

A predominância da via energética dependerá tanto da intensidade do exercício como da sua duração. Deve-se considerar que a única forma de se obter elevação em curto período de tempo da produção de energia, é por meio da glicólise anaeróbia concomitante à produção de lactato, o que não parece ser deletério para a saúde ou indutor de fadiga, como tem sido postulado, por vezes. Atualmente, aceita-se que o lactato seja um substrato energético para o coração e musculatura esquelética durante o exercício. Sendo assim, parte do lactato produzido pelos músculos esqueléticos é transportado ao fígado através do sangue. Ao entrar no fígado, o lactato pode ser convertido em glicose pela gliconeogênese. O ciclo do lactato a glicose entre os músculos e o fígado é denominado ciclo de Cori.

Lactato

A concentração de lactato sanguíneo é utilizada tanto para avaliação do condicionamento físico como para prescrever a intensidade de treinamento e detectar adaptações decorrentes da prática de exercício crônico. A determinação do limiar de lactato, que pode por vezes ser denominado limiar anaeróbio, é empregada intensivamente para o diagnóstico da capacidade aeróbia que está correlacionada com a resistência. Existem vários testes com incrementos gradativos da intensidade de esforço que avaliam a resposta da lactacidemia para o diagnóstico aeróbio.

O metabolismo do lactato varia entre os indivíduos, a medida que se intensifica o exercício, aumenta a quantidade de lactato produzida. Há uma correlação positiva entre o aumento da concentração de lactato no sangue e a intensidade do exercício, de modo que uma elevada concentração de lactato é representativa de uma situação onde a contribuição aeróbica passou a ser insuficiente frente aos requerimentos energéticos totais, reforçando a descrição já feita de que as fontes de produção de energia atuam de forma concomitante. A relação entre lactato plasmático e performance é determinada principalmente pela V4, que representa a velocidade de corrida na qual a concentração de lactato atinge 4 mmol/L.

Isto pode ser utilizado para comparar o condicionamento atlético dos animais, visto que quanto maior esta velocidade, melhor a condição física do equino e maior a sua capacidade de se exercitar. O V4 representa o ponto no qual começa a haver acúmulo do lactato produzido pelos músculos em atividade e a partir do qual diversos processos fisiológicos importantes sofrem alteração, por exemplo, aumento da ventilação pulmonar para eliminação de CO₂ visando a manutenção do pH sanguíneo.

Um dos efeitos esperados do treinamento é aumentar o potencial aeróbico do músculo esquelético, melhorando a capacidade cardiorrespiratória do animal através de exercícios crônicos e repetitivos. Deste modo, há um aumento da intensidade do exercício na qual o lactato começa a se acumular (limiar anaeróbico). Porém, para afirmar que o treinamento aumentou a quantidade de fibras oxidativas é necessário um estudo histoquímico.

De modo geral, o aumento da concentração de lactato plasmático poderá ser usado para indicar a capacidade atlética do cavalo visto que animais que apresentam grande capacidade aeróbica geralmente têm baixas elevações das concentrações de lactato em resposta ao exercício ou apresentam uma *clearance*, taxa de remoção do lactato produzido pelo músculo, melhorando a capacidade tamponante citoplasmática, mais eficiente.

É indiscutível a importância da determinação do limiar de lactato, tanto para a definição de métodos de treinamento para cavalos atletas, como para a própria avaliação da eficácia de um determinado treinamento.

Uma consideração importante que deve ser ressaltada é o fator racial. Diversos estudos têm avaliado muitas raças de cavalos no mundo esportivo com resultados satisfatórios, além de serem também utilizadas em provas de longa distância. Sendo as principais raças estudadas o PSI, Quarto de Milha, Puro Sangue Árabe (PSA), Mustang, Appaloosa, Morgans e Andaluz, além de muares. Como exemplo, a raça PSA, submetida a provas de resistência e longas distâncias, apresenta maior capacidade oxidativa em virtude da composição de suas fibras musculares. O menor acúmulo de lactato sanguíneo durante o exercício torna esta raça melhor adaptada às provas de longa duração e baixa intensidade, pois lhe confere maior resistência metabólica.

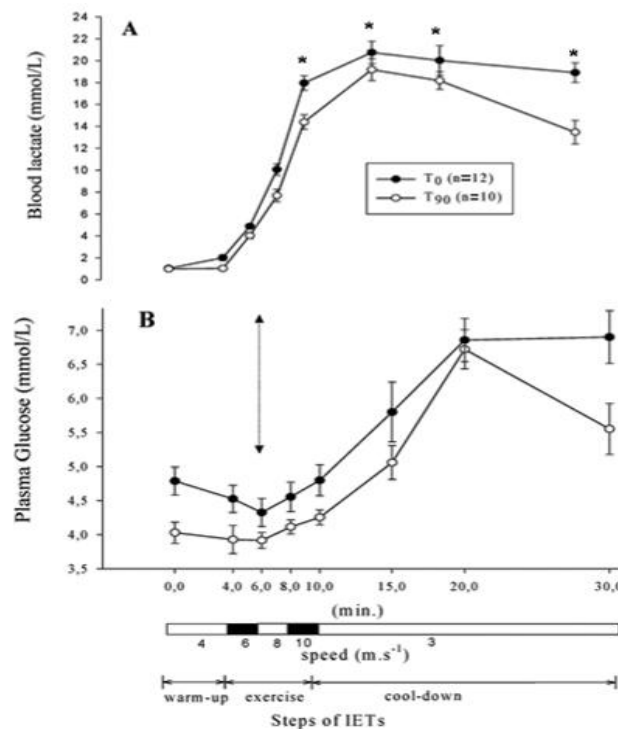


Figure 1. Changes in blood lactate (A) and plasma glucose (B) concentrations in Purebred Arabian horses before (T₀) and after 90 day training (T₉₀) that were submitted to an incremental exercise test on a treadmill. * indicates a significant reduction ($P < 0.05$) in blood lactate concentration. The arrow indicates physiological coincidence between lactate threshold and glucose inflection point.

Glicose

A glicose constitui uma importante fonte de energia para a fibra muscular. O metabolismo anaeróbico de glicose representa um importante e rápido mecanismo de geração de energia, embora seja de baixa produção. Vários fatores regulam a atividade glicolítica, como a disponibilidade de oxigênio e as concentrações de ATP/ADP. Diminuições na relação ATP/ADP estimulam a glicólise anaeróbica aumentando até 100 vezes a produção de moléculas de piruvato. Em exercícios de intensidades baixa ou moderada, a grande maioria do piruvato produzido penetra na mitocôndria e participa do ciclo de Krebs.

Fatores endócrinos como insulina, glucagon, adrenalina e noradrenalina atuam como importantes reguladores dos níveis de glicose durante o exercício. Uma redução na relação molar de insulina/glucagon é o estímulo primário para a glicogenólise hepática, de modo que ocorre um aumento na glicemia durante o exercício de baixa intensidade. No mesmo contexto, a adrenalina pode estimular a produção hepática de glicose durante atividade física.

A insulina é o hormônio anabólico mais potente que estimula a captação de aminoácidos para a síntese protéica e muscular. Contudo, a supressão da insulina durante o esforço agudo tem sido relatada em equinos, assim como em outras espécies. Tal fato ocasiona um aumento na taxa de glicogenólise para manter as concentrações de glicose sanguínea durante o exercício. Da mesma maneira, outras pesquisas relatam que depois de uma série de exercícios de diversas intensidades e durações, a insulinemia diminuiu drasticamente pela ação direta das catecolaminas inibindo as secreções pancreáticas.

Creatina quinase (CK)

A CK é uma enzima de alta especificidade para lesões musculares, sendo encontrada principalmente no citossol das células musculares (músculos esquelético e cardíaco), mas também nos rins, cérebro, diafragma, trato gastrointestinal, útero e bexiga urinária (CARDINET, 1997). Após sua liberação pelas células musculares a CK não entra na corrente sanguínea diretamente e transita através da linfa pelo líquido intersticial. Sua ação é catalisar, de forma reversível, a fosforilação da adenosina difosfato (ADP) do fosfato de creatina, tornando-o adenosina trifosfato (ATP) disponível para a contração muscular.

Existem três isoenzimas, MM, MB e BB, nas formas muscular (M) e cerebral (B). Embora exista muita divergência de opiniões a maioria dos estudos aponta a predominância do dímero MM no músculo esquelético e cardíaco; no cérebro principalmente o dímero BB; e no intestino os dímeros MB e BB. Contudo, a torva de CK entre o líquido cérebro-espinhal e o plasma é praticamente nula, de modo que aumentos significativos na atividade de CK plasmática correspondem a lesões cardíacas ou musculares.

As concentrações de CK variam de acordo com a aptidão do cavalo. A média da concentração de CK em cavalos de salto da raça Sela Belga foi de 51,2 UI/L em repouso. Em equinos da raça PSI os valores fisiológicos encontram-se no intervalo de referência de 2-147 UI/L; já equinos de trote apresentaram concentrações médias entre 18-217 UI/L. Tendo em vista estas particularidades, estima-se que aumentos de três a cinco vezes na atividade de CK plasmática correspondem a necrose ou miólise de aproximadamente 20 g de músculo.

Aspartato aminotransferase (AST)

A enzima AST é responsável por catalisar a reação de transaminação reversível de L-aspartato e α -cetoglutarato em oxalacetato e glutamato. Apresenta duas isoenzimas sendo uma citoplasmática (CAST) e mitocondrial (MAST) presentes em diversos tecidos, com maior destaque para fígado e músculos esquelético e cardíaco, sendo, portanto, bastante usada no diagnóstico de afecções acometendo estes órgãos.

A permeabilidade da membrana mitocondrial está associada à intensidade do exercício. A relação entre a proporção da elevação das enzimas plasmáticas e o grau de condicionamento físico do animal, o grau de exigência atlética ou a suscetibilidade das fibras musculares a lesões ocasionadas pela atividade física ainda necessitam de mais esclarecimentos. Contudo, estudos evidenciaram que o treinamento gera aumento na atividade de AST em até 30% em comparação com animais não treinados. Assim como, níveis superiores a 100% pós-exercício podem ser considerados anormais independentes do condicionamento do animal ou da intensidade de exercício.

Lactato desidrogenase (LDH)

A lactato desidrogenase catalisa a oxidação reversível do lactato em piruvato com co-fator NAD^+ . A concentração de LDH nos eritrócitos é 150 vezes maior que a plasmática, de modo que devem ser utilizadas amostras não hemolisadas. Pode ser encontrada na maioria dos tecidos, sendo assim, sua avaliação não é específica para lesões musculares. É um tetrapeptídeo constituído por combinações de dois peptídeos diferentes, H (coração) e M (músculo), que formam as cinco isoenzimas conhecidas (LDH_1 a LDH_5). Estudos evidenciaram que o treinamento físico eleva a porcentagem de LDH_1 e LDH_4 e diminui a de LDH_5 no músculo esquelético.

Bicarbonato (HCO_3^-)

O exercício físico promove alterações significativas no equilíbrio ácido-básico. Em detrimento do metabolismo anaeróbico das células musculares, ocorre elevação na concentração de lactato. No intuito de prevenir as variações de pH e a manutenção do equilíbrio ácido-básico, ocorre a ativação de mecanismos compensatórios, como o consumo de bicarbonato (HCO_3^-), e redução de PCO_2 .

Exercícios por períodos prolongados ocasionam a perda de cloro e consequente retenção de HCO_3^- , considerado o segundo íon negativo mais abundante no organismo, visando manter a

eletroneutralidade de cargas negativas. O resultado é um excesso de HCO_3^- e o desencadeamento da alcalose metabólica hipoclorêmica.

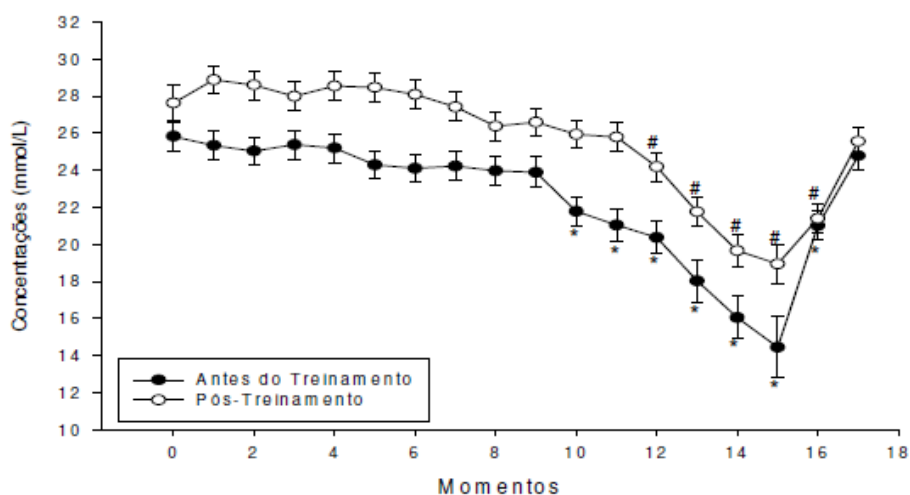


Figura 20. Representação gráfica da concentração de bicarbonato (mmol/L) no sangue venoso antes (M0), durante (M1 a M14), ao final (M15) e 20 (M16) e 50 minutos após (M17) o exercício, em equinos submetidos a exercício de intensidade progressiva, antes e após o treinamento físico em esteira rolante. Valores médios seguidos de * indicam diferença significativa em relação ao valor basal antes do treinamento e # pós-treinamento ($p \leq 0,01$). FCAV/UNESP, Jaboticabal, 2008.

Eletrólitos

A manutenção da termorregulação corporal dos equinos durante o exercício prolongado é mantida às expensas de fluidos e eletrólitos por meio da sudorese. A depleção de fluidos corporais e de eletrólitos representa uma limitação importante para o desempenho contínuo durante exercícios prolongados. Distúrbios substanciais na composição dos fluidos durante exercícios exaustivos podem levar a um aumento do risco de lesões e a vários problemas clínicos.

Na sudorese, o equino perde grandes quantidades de sódio, potássio e cloro e pequenas quantidades de magnésio e cálcio. A concentração de sódio plasmático está relacionada com o equilíbrio hídrico do organismo. Estudos relatam o aumento na concentração plasmática de sódio em virtude da dos níveis de cloro pode ser devido a uma saída de sódio do meio celular e/ou devido a uma diminuição proporcional na taxa de excreção de sódio na urina e suor. As concentrações anormais de sódio plasmático refletem o excesso de água (hiponatremia) ou o déficit de água (hipernatremia), sendo importante assegurar o adequado fornecimento de sódio na dieta dos equinos atletas e consumo de sal ou de suplemento eletrolítico.

Durante o exercício físico, ocorrem perdas corporais de cloro devido à sudorese que levam a alterações primárias como sede e cansaço. Contudo há registros de aumentos de cloro nos meios extra e intracelular, independente do acúmulo de fluído no intersticial, atribuídos ao fato de não ocorrer troca deste íon através da membrana celular. Durante o exercício há um aumento na concentração de fósforo no plasma, demonstrando que não ocorre perda a partir da musculatura.

O potássio está relacionado com as atividades neuromusculares, bem como está envolvido com importantes funções orgânicas, particularmente com a atividade neuromuscular, que é imprescindível no equino atleta. Como menos de 2% do potássio corporal encontra-se no líquido extracelular, os valores sanguíneos do potássio podem não refletir as alterações orgânicas, apesar disso, a hipocalemia ocorre com frequência nos equinos atletas quando submetidos à fadiga muscular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EATON, M. D.; ROSE R. J.; EVANS, D.L.; The assessment of anaerobic capacity of thoroughbred horses using maximal accumulated oxygen deficit. **Australian Equine Veterinarian**, Palmerston North, v. 10, n. 86, 1992.
- EVANS, D. L. Training and fitness in athletic horses. Sydney: **RIRDC**, p. 64, 2000.
- FOSS, M. J.; KETEVAN, S. J. **Bases fisiológicas do exercício e do esporte**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 560p.
- FERRAZ, G. C.; TEIXEIRA-NETO, A. R.; D'ANGELIS, F. H. F.; LACERDA-NETO, J. C.; QUEIROZ-NETO, A. Long-term creatine supplementation improves the aerobic capacity of horses. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 514-519, 2006.
- FERRAZ, G. C.; TEIXEIRA-NETO, A. R.; PEREIRA, M. C.; LINARDI, R. L.; LACERDA-NETO, J. C.; QUEIROZ-NETO, A. Influência do treinamento aeróbio sobre o cortisol e glicose plasmáticos em equinos. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.62, n.1, p.23-29, 2010.
- GONDIM, F. J.; ZOPPI, C. C.; SILVEIRA, L.R.; SILVA, L. P.; MACEDO, D.V. Possible relationship between performance and oxidative stress in endurance horses. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 29, n. 4, p. 206-212, 2009.
- GORDON, M. E.; MCKEEVER, K. H.; BETROS, C. L.; MANSO, F. H. C. Exerciseinduced alterations in plasma concentrations of ghrelin, adiponectin, leptin, glucose, insulin, and cortisol in horses. **The Veterinary Journal**, London, v. 84, n. 7, p. 1682- 1690, 2006
- HODGSON, D. R.; ROSE, R. J. **The Athletic Horse**. Philadelphia: W.B. Saunders, 1994, p. 497.
- HYPPÄ, S. Endocrinal responses in exercising horse. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 92, p. 113-121, 2005.
- INOUE, Y.; MATSUI, A.; ASAI, Y.; AOKI, F.; MATSUI, T.; YANO, H. Effect of exercise on iron metabolism in horses. **Biological Trace Element Research**, Totowa, v. 107, n.1, p. 33-42, 2005.
- KAWAI, M.; MINAMI, Y.; SAYAMA, Y.; KAWANO, A.; HIGARA, A.; MIYATAI, H. Muscle Fiber Population and Biochemical Properties of Whole Body Muscles in Thoroughbred Horses. **The Anatomical Record**, v. 292, p. 1663–1669, 2009.

- KUIPERS H. Doping in Sport: Exercise scientists have to take responsibility. **International Journal of Sports Medicine**, New York, v. 22, n. 8, p. 545, 2001.
- LINDNER, A.; MOSEN, H.; KISSENBECK, S.; FUHRMANN, H.; SALLMANN, H. P. Effect of blood lactate-guided conditioning of horses with exercises of differing durations and intensities on heart rate and biochemical blood variables **J Anim Sci**, v. 87, p. 3211-3217, 2009.
- LINDNER, A. Relationships between racing times of Standardbreds and v4 and v200. **Journal of Animal Science**, v. 88, p. 950-954, 2010.
- MALINOWSKI, C.L.; BETROS, L.; FLORA, C.; MCKEEVER, K.H. Effect of training on age-related changes in plasma insulin and glucose. **Equine Veterinary Journal, New Market**, v. 34, Suppl, p. 147-152, 2002.
- POWERS, K. S. Metabolismo do Exercício. In: **Fisiologia do Exercício – Teoria e aplicação ao condicionamento ao desempenho**. Flórida: University of Flórida, p.45, v.3, 2000.
- ROBERGS, R.A.; GHIASVAND, F.; PARKER, D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. **American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology**. v. 287, n. 3, p. R502-R516, 2004.
- SABEV, S. Effect of the jumping activity in the course of training exercise on the level of the serum cortisol, blood lactate and heart rate in horses. **Trakia Jour of Sci**, Vol. 9, No 1, pp 78-82, 2011.
- SILVA, M. A. G. Concentração de lactato, eletrólitos e hemogasometria em equinos não treinados e treinados durante testes de esforço progressivo. **Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias**, Jaboticabal, 2008.
- THOMASSIAN, A.; CARVALHO, F.; WATANABE, M. J.; SILVEIRA, V. F.; ALVES, A. L. G.; HUSSNI, C. A.; NICOLETTI, J. L. M. Atividades séricas da aspartato aminotransferase, creatina quinase e lactato desidrogenase de equinos submetidos ao teste padrão de exercício progressivo em esteira. **Braz. J. Vet. Res. anim. Sci.**, v. 44, n.3, p. 183-190, 2007
- TOPLIFF, D. R. Electrolytes, Cations and Anions in the Performance Horse. **Proceedings of the 3rd European Equine Nutrition & Health Congress**, Ghent University, Merelbeke, Belgium, Mar. 17-18, 2006.
- TRILK, J. L.; LINDNER, A. J.; GREENE, H. M.; ALBERGHINA, D.; WICKLER, S. J. A lactate-guided conditioning programme to improve endurance performance. **Equine Veterinary Journal. Supplement**, Newmarket, v. 34, p. 122-125, 2002.
- TYLER-MCGOWAN, C. M.; GOLLAND, L. C.; EVANS, D. L.; HODGSON, D. R.; ROSE, R. J. Haematological and biochemical responses to training and overtraining. **Equine Veterinary Journal. Supplement**, Newmarket, v. 30, p. 621-625, 1999.
- WATANABE, M. J.; THOMASSIAN, A.; TEIXEIRA NETO, F. J.; ALVES, A. L. G.; HUSSNI, C. A.; NICOLETTI, J. L. M. 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. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 58, n. 3, p. 320-326, 2006.
- ZOBBA, R.; ARDU, M.; NICCOLINI, S.; CUBEDDU, F.; DIMARU, C.; BONELLI, P.; DIP, C. D.; VISCO, S.; PARPAGLIA, M. L. P. Physical, hematological and biochemical responses to acute intense exercise in polo horses. **Equine Veterinary Journal. Supplement**, xxx, p. 1-7, 2011.