



Padrão Respiratório durante o exercício - revisão literária

Breathing Pattern during exercise - literature review

LOPES, R.B.; BRITO, R.R.; PARREIRA, V.F. Padrão Respiratório durante o exercício - revisão literária. **R. bras. Ci e Mov.** 2005; 13(2): 153-160.

RESUMO – O padrão respiratório depende de variáveis relacionadas ao volume e aos tempos respiratórios, sendo seu controle influenciado por mecanismos corticais, periféricos e da musculatura respiratória e de membros. Durante a atividade física, o padrão respiratório depende ainda da fase e da intensidade do exercício, da idade e do sexo, e das propriedades mecânicas do sistema respiratório, o que pode gerar modificações na configuração toracoabdominal e nos componentes do padrão respiratório; modificações estas ainda controversas. Portanto, há alterações do padrão respiratório durante todas as fases do exercício, pelas alterações do volume corrente, da frequência respiratória, dos tempos respiratórios e da atividade do diafragma, dos músculos da caixa torácica e dos músculos dos membros inferiores. Este estudo teve o objetivo de apresentar uma revisão da literatura pertinente ao tema, uma vez que o mesmo é de extrema importância no estudo da fisiologia do exercício. O levantamento bibliográfico foi realizado através da busca em bases de dados da Medline, Lilacs e Scielo, sendo selecionados estudos experimentais e de revisão diretamente relacionados ao tema.

PALAVRAS-CHAVE - Padrão respiratório, configuração toracoabdominal, exercício físico.

LOPES, R.B.; BRITO, R.R.; PARREIRA, V.F. Breathing Pattern during exercise - literature review. **R. bras. Ci e Mov.** 2005; 13(2): 153-160.

ABSTRACT - The breathing pattern depends on respiratory variables related to volume and time, being its control influenced by cortical and peripheral mechanisms as well as respiratory and nonrespiratory muscular activity. During physical activity, the breathing pattern depends on the following factors: exercise's phase, intensity, age, sex and the mechanical properties of the respiratory system, which may modify toracoabdominal configuration and the breathing pattern components. These modifications are still controversial. Thus, during all exercises'phases, the breathing pattern changes because the alterations on volume tidal, respiratory rate, respiratory times, and the activity of diaphragm, other respiratory muscles and non-respiratory muscles. The aim of this study was to present the literature review related to this issue, which shows extremely importance for the study of exercise physiology. The review was based on Medline, Lilacs and Scielo databases and clinical trials as well as review studies related directly to the theme were selected.

KEYWORDS - Breathing pattern, thoracoabdominal configuration, physical exercise

Roberta Berbert Lopes
Raquel Rodrigues Britto
Verônica Franco Parreira

Instituição de filiação dos autores: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Trabalho realizado na UFMG, no Departamento de Fisioterapia.

Recebimento: 27/04/2004
Aceite: 12/12/2004

Correspondência: Roberta Berbert Lopes. R. Bernardo Guimarães, 83, apto 102. Bairro Funcionários. Belo Horizonte/ Minas Gerais - CEP: 30.140 -080.

R. bras. Ci. e Mov. 2005; 13(2): 153-160

Revisão sobre padrão respiratório durante o exercício

O padrão respiratório, com todas as suas variáveis, tem sido investigado, ao longo dos anos, no repouso e durante as diferentes fases do exercício, principalmente em sujeitos saudáveis. Este tema é de grande relevância clínica na área de fisiologia do exercício, principalmente porque, se for bem compreendido em sujeitos normais, podemos considerar suas variáveis em sujeitos portadores de pneumopatias crônicas, atentando para suas limitações ventilatórias.

Este estudo teve o objetivo de apresentar uma revisão da literatura sobre o padrão respiratório durante o exercício, focando primariamente o controle respiratório, as alterações das variáveis componentes do padrão e do fator sexo durante as diferentes fases do exercício, em sujeitos saudáveis

Controle do padrão respiratório no início do exercício

Nos últimos anos, avanços consideráveis têm sido feitos para elucidar os mecanismos envolvidos no controle do padrão respiratório. A análise de variáveis como volume corrente (VC), tempo inspiratório (Ti), tempo expiratório (Te), tempo total do ciclo respiratório (Ttot), permitem dizer quem influencia o volume minuto (VM) ou ventilação minuto e a frequência respiratória (FR) do padrão respiratório. Milic-Emili e col²⁷ introduziram o conceito de que o VM é o produto do fluxo inspiratório médio (VC/ Ti) pelo Ti de todo o ciclo respiratório (Ti/Ttot):

$$VM = 60 (VC / Ti) \times (Ti / Ttot)$$

Em que VC/ Ti e Ti / Ttot refletem o *drive* e o *timing* respiratórios, respectivamente. *Drive* respiratório pode ser definido como o estímulo neuromuscular inspiratório capaz de produzir movimentos respiratórios, ou seja, o comando respiratório. *Timing* respiratório é expresso pelo Ti, Te e Ttot, representando os tempos respiratórios. VC /Ti é a transformação mecânica do *drive* inspiratório neuromuscular, que não é afetado pelo reflexo vagal, mas é alterado pelas alterações das propriedades mecânicas dos pulmões e da parede torácica, independente de mudanças na atividade respiratória. Em situações nas quais ocorre incoordenação toracoabdominal, VC/ Ti pode

subestimar o *drive*, visto que não se leva em conta o *drive* necessário para realizar o movimento paradoxal do compartimento. Portanto, não só o VM, mas também VC/ Ti, são freqüentemente medidas imperfeitas da atividade respiratória central²¹. A pressão de boca produzida pelos músculos inspiratórios com a via aérea ocluída no primeiro 0.1 segundo (P0.1), começando pela capacidade residual funcional (CRF), é uma medida mais acurada do *drive* respiratório que o VM e o fluxo, pois representa potencialmente a pressão inspiratória²¹. Porém, a literatura ainda considera VC/ Ti como boa medida do *drive* respiratório, talvez por ser uma medida mais facilmente obtida; e será assim abordada nesta revisão.

Davis e col⁹ estudaram o padrão respiratório através das interrelações de volume e tempo na respiração de 15 sujeitos em repouso, de 22 a 63 anos, e verificaram que houve uma correlação positiva entre: VC e Ti, entre VC e Ttot, sendo a primeira mais significativa; e entre VC e Te, porém bem menos significativa. A correlação entre VC e Ti significa que o fluxo inspiratório médio para cada respiração é relativamente constante no repouso.

Já em relação ao padrão respiratório durante o exercício, a literatura reporta que a transição do repouso para o exercício leve ou moderado é acompanhada de um aumento abrupto na ventilação, que ocorre na primeira respiração e termina por volta do vigésimo segundo, chamada de fase I, seguida por um acréscimo adicional do VM (fase II), até atingir o *steady-state* ou estado de equilíbrio. A fase I é observada não só em exercícios voluntários, mas também em movimentos passivos através de contrações musculares induzidas eletricamente ou de flexo-extensão dos membros inferiores (MMII). A fase I é influenciada por vários fatores, entre eles a postura, a frequência e intensidade do exercício e a idade²⁴.

A figura 1 mostra a dinâmica da ventilação minuto nas fases do exercício e durante a recuperação.

Os mecanismos responsáveis pelo rápido aumento da ventilação na fase I são controversos. O fenômeno psicológico é sugerido como um fator influente na modulação do padrão respiratório durante a

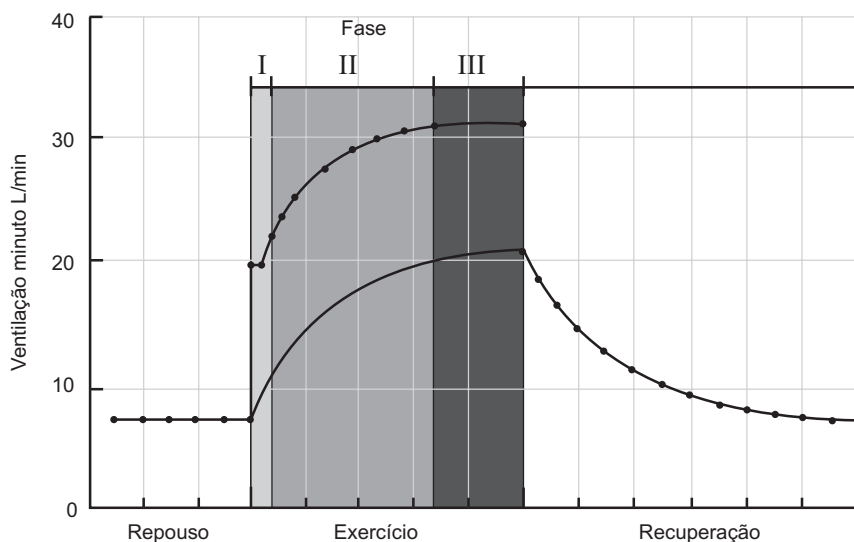
antecipação ao exercício, fato confirmado por Tobin e col³³. Entretanto, é difícil estabelecer o quanto da resposta ventilatória inicial ao exercício é devido a este mecanismo de antecipação³³. Mateika e Duffin²³ afirmam que o rápido ajuste ventilatório ao exercício é proporcional à intensidade do mesmo, enquanto Casey e col⁴, além de não terem encontrado esta evidência, acreditam que a frequência do movimento dos membros é mais importante na determinação da magnitude do aumento inicial da ventilação, e que este componente é independente do *drive* respiratório. Ambos os mecanismos citados podem ser causados por uma via aferente dos membros para o centro respiratório ou causado pelo mecanismo *feedforward*, isto é, um envolvimento supraespinhal na modulação da resposta ventilatória ao exercício, que aumenta a ventilação via centro respiratório cerebral ou via áreas corticais que controlam os músculos respiratórios^{11,15}. A literatura ainda reporta que dois mecanismos neurais são responsáveis pela resposta da fase I: comando central, ativado pelo córtex cerebral ou pelo hipotálamo; e reflexos periféricos, originados da estimulação de mecanorreceptores e barorreceptores²⁴.

Contudo, as respostas ao exercício são uma combinação da influência das propriedades mecânicas do sistema respiratório, incluindo as propriedades intrínsecas dos músculos respiratórios e os reflexos neurais. A identificação separada destas respostas é difícil de ser detectada, pois tanto as propriedades mecânicas intrínsecas (propriedades musculares e considerações de configuração), quanto extrínsecas (resistência das vias aéreas, propriedades elásticas dos pulmões e do tórax), estabelecem uma ligação neural³³.

Daubenspeck e col⁸ avaliaram que as respostas a cargas imperceptíveis refletem principalmente a ação dos reflexos neurais, das características intrínsecas dos músculos respiratórios e da configuração toracoabdominal; e que as respostas do Te indicam que é uma ação dos reflexos neurais subconscientes. Alegam ainda, que o *drive* respiratório aumenta proporcionalmente à carga de trabalho, em comparação com o VM e o fluxo, o que sugere que este aumento seja reflexo.

Porém, evidências indicam que a resposta ventilatória ao exercício pode ser modulada através de aprendizado, de intervenções repetidas³. Fink e col¹¹ mediram o fluxo sanguíneo cerebral através de tomografia

Figura 1. As três fases do aumento da ventilação minuto durante o exercício. Fase I: aumento rápido e curto platô. Fase II: elevação exponencial mais lenta, começa cerca de 20 segundos após o início do exercício. Fase III: os principais mecanismos reguladores já alcançaram valores estáveis.



Fonte: Eldridge, FL, 1994, p.319

computadorizada, durante e após o exercício em humanos, e estabeleceram evidências do envolvimento de áreas de aprendizado corticais e subcorticais que estão associadas ao controle motor dos músculos respiratórios durante a respiração voluntária. Especularam então, que o envolvimento cortical motor no controle da respiração pode ser comportamental ou um fenômeno de aprendizado; fato também confirmado por Helbling e col.¹⁵

A primeira resposta respiratória a uma carga percebida, reflete uma compensação consciente. Acredita-se que seja para minimizar o desconforto subsequente à carga, associado à influência das propriedades mecânicas do sistema respiratório e do reflexo neural¹¹. Esta compensação consciente provavelmente faz com que os ajustes respiratórios individuais variem grandemente, sendo especulado que o prolongamento do T_i e do T_{tot} são respostas atribuídas aos aspectos conscientes e inconscientes do aumento da carga⁸.

Alterações do padrão respiratório durante as fases do exercício

É consenso na literatura, que há o aumento do VM durante todo o exercício, e não somente na fase I. Existem duas hipóteses para explicar este aumento durante as diferentes fases do exercício: a primeira relata que no início do exercício, ou seja, na fase de transição de repouso para intensidade leve, o aumento do VM é devido principalmente ao aumento do VC, com nenhuma mudança consistente da FR, do T_i , do T_e e do T_{tot} ²⁴. O aumento do VC deve-se exclusivamente à redução do volume expiratório final, o que indica uma atividade expiratória dos músculos intercostais e/ou aumento da pressão abdominal pela contração ou tônus elevado dos músculos abdominais²¹. A segunda hipótese, bem mais divulgada, refere que durante o exercício intenso, o acréscimo do VM deve-se ao aumento da FR^{20,30,31}.

Portanto, em exercícios de baixa intensidade, há aumento do VC e da FR e consequentemente, há aumento do VM, que varia principalmente em função do VC. Em geral, o VC e a FR estão interrelacionados para promover uma adequada ventilação com o mínimo trabalho ou com mínimo esforço dos músculos respiratórios²⁴.

Já na transição do exercício de intensidade leve para moderada e intensa, tanto o VC quanto a FR contribuem para o aumento do VM, sendo que a FR torna-se mais importante, enquanto o VC apresenta um platô em altas intensidades^{21,28}. Grande parte do aumento do VC é devido ao incremento do volume inspiratório final, e o da FR deve-se principalmente pelo menor T_e , já que o T_i contribui em um terço da redução do T_{tot} ²¹. Mador e Acevedo²² referem que estas mudanças devem-se à duração do exercício e ao trabalho dos músculos respiratórios.

Para Syabbalo e col.³², que compararam o padrão respiratório em 10 sujeitos saudáveis durante exercício intenso e exercício incremental máximo na bicicleta ergométrica, o aumento da FR deve estar relacionado com fadiga dos músculos inspiratórios e/ou alteração da mecânica respiratória.

Entretanto, a resposta do padrão respiratório é diferente de acordo com a intensidade do exercício, e apresenta uma grande variação entre os sujeitos¹. Existem duas possíveis explicações para este fato: deve haver uma relação do aumento da FR com altos níveis de exercício; e exercício intenso está associado a uma variedade de mudanças fisiológicas respiratórias e não respiratórias (cardiovasculares, hormonais, químicas, hemodinâmicas e térmicas), que podem influenciar na resposta do *timing*.

Entretanto, Kay e col.¹⁸ investigaram o padrão respiratório em 5 sujeitos durante o *steady-state* na bicicleta em duas diferentes frequências de pedalada e na esteira, e verificaram que não houve ligação entre a frequência do movimento e a FR tanto para a esteira quanto para a bicicleta em exercício sub-máximo. Portanto, a seleção do padrão respiratório parece ser independente do *drive*.

Para exercícios a altos níveis de ventilação, é possível que o padrão respiratório seja ditado pelo *feedback* mecânico respiratório, como receptores vagais e receptores da parede torácica¹².

O padrão respiratório durante o exercício em sujeitos normais, expressado pelas relações de VC com T_i e T_e , tem sido estudado por vários investigadores. Achados como constante T_i quando VC aumenta nos primeiros minutos da bicicleta ergométrica¹⁷; T_i/T_{tot} aumentado durante exercício máximo e submáximo⁶; e T_e que necessita ser diminuído para acomodar



o prolongamento do T_i e para manter constante o T_{tot} ³⁴, são relatados.

O T_i é dependente do volume pulmonar em baixas e altas intensidades, sendo que a atividade muscular expiratória já ocorre em baixas intensidades^{21,24}, combinada com o controle do fluxo expiratório, do volume expiratório final e do T_e , à medida que a FR aumenta. Além disso, T_i/T_{tot} aumenta com o VM e com a intensidade do exercício, indicando que o T_e diminui com alta intensidade. Esta mudança no aumento do T_i/T_{tot} presumivelmente reduz o custo de oxigênio para uma dada demanda ventilatória induzida por exercício.

Relação das alterações do padrão respiratório durante o exercício e a musculatura respiratória e não respiratória

McCool e col²⁶ num estudo sobre a distorção da caixa torácica durante respirações voluntárias e involuntárias em 7 adultos do sexo masculino, sugeriram que a taquipnéia fadiga predominantemente o diafragma, enquanto que a respiração resistida impõe maior carga aos músculos da caixa torácica, em comparação com o diafragma. Isto sugere que a fadiga dos músculos da caixa torácica, em comparação com a fadiga diafragmática, afeta mais o padrão respiratório durante o exercício. Existem dois possíveis mecanismos para explicar este fato:

- o alto VM ser resultado do aumento da excitação colateral do centro respiratório, causado pelo aumento do *drive* respiratório, devido à necessidade dos MMII de manter o mesmo trabalho;
- a depleção do glicogênio nos músculos dos MMII, que aumenta o VM.

Concordando com esta última hipótese, Spengler e col³¹, relataram que as alterações do padrão respiratório no final de exercício exaustivo são devido às mudanças na musculatura dos MMII em comparação com as mudanças da musculatura respiratória. Portanto, as alterações do padrão respiratório durante exercício intenso podem ser geradas pela fadiga dos músculos da caixa torácica, mais que a do diafragma, ou por fadiga dos músculos dos MMII.

Durante o exercício, além do aumento do VM, a demanda metabólica aumenta o consumo máximo de oxigênio (VO_2), a produção de gás carbônico (VCO_2), o fluxo inspiratório, a pressão intrapleural e a força da musculatura inspiratória. As mudanças no volume e no fluxo são associadas às mudanças do comprimento dos músculos respiratórios e da velocidade de contração. A força máxima de contração muscular diminui quando o músculo encurta ou quando há o aumento da velocidade de contração²⁰.

Para os músculos respiratórios, a habilidade do músculo inspiratório em gerar pressão diminui com o aumento do volume pulmonar. Devido ao aumento do volume inspiratório final e do fluxo inspiratório, há uma demanda de trabalho aumentada e uma redução na capacidade de exercício relacionada aos músculos inspiratórios, sendo que os músculos expiratórios têm um importante papel na preservação da CI¹⁹.

Portanto, durante o exercício, a demanda de trabalho aumentada da musculatura respiratória, associada ao aumento da intensidade, da frequência e da velocidade de contração, e ao decréscimo da capacidade da musculatura respiratória, contribuem para o estresse da musculatura inspiratória. O recrutamento da musculatura expiratória é importante na ativação do controle do volume expiratório final através da diminuição do volume pulmonar inspiratório final e pelo aumento da capacidade dos músculos inspiratórios²⁰.

Mudanças na configuração toracoabdominal durante o exercício

Segundo Crawford e col⁷, quando a ventilação aumenta involuntariamente durante o exercício, o padrão de mudança no volume das porções superior e inferior da caixa torácica é similar ao que se observa durante respiração tranqüila ou durante relaxamento passivo, ou seja, mesmo com o aumento da atividade muscular respiratória, as mudanças volumétricas relativas às partes alta e baixa da caixa torácica foram similares àquelas determinadas pelas características passivas da caixa torácica.

Porém, mesmo que a atividade muscular respiratória seja mínima, ocorrem mudanças na configuração da caixa torácica.

Como a parte inferior da caixa torácica forma uma parte variável do compartimento abdominal, é aceitável que, aumentando-se a complacência abdominal a baixos volumes, pode resultar no aumento da complacência da parte inferior da caixa torácica⁷. Usando a Pletismografia Respiratória por Indutância, Leblanc e col²⁰ verificaram que a redução inicial do volume expiratório final quando os sujeitos estão pedalando numa bicicleta ergométrica sem carga, varia de 4 a 5%, sem nenhuma redução adicional com o exercício progressivo, fato não confirmado por Lind²¹, que concluiu que o volume expiratório final reduz progressivamente com o exercício. Mesmo que não haja mudança neste volume, o grau de liberdade entre a caixa torácica e o abdome poderia alongar o diafragma e encurtar os intercostais, ou vice-versa. O volume abdominal foi reduzido no início do exercício, consistente com o alongamento do diafragma, mas nenhuma mudança adicional no volume abdominal foi verificada no exercício de alta intensidade²¹. Grimby e col¹⁴ também observaram redução do volume abdominal, tanto durante o exercício (principalmente com carga pesada) como no repouso, em alguns sujeitos testados.

Chapman e col⁵ mediram, em 11 sujeitos saudáveis, as contribuições da caixa torácica e do abdome durante exercício físico na esteira com velocidade constante e com inclinação de até 15 graus, e constatarem uma larga variação na resposta do VC entre os indivíduos. Atribuíram esta variação primariamente à contribuição da caixa torácica para o VC, pois a relação desta contribuição com a ventilação, analisada por regressão linear, foi significativa. Estes resultados estão de acordo com os de Grimby e col¹⁴. Entretanto, o padrão de comportamento dos compartimentos torácico e abdominal durante o exercício não foi uniforme entre os indivíduos, existindo uma maior variação da contribuição da caixa torácica em altos níveis de ventilação. Portanto, a grande movimentação da caixa torácica observada durante o exercício, parece resultar da ação dos músculos inspiratórios da caixa torácica, e não da ação alterada do diafragma ou dos músculos abdominais⁵.

Diferenças do padrão respiratório entre os sexos

Rabinowicz e col²⁹ mostraram que há diferenças na estrutura do córtex cerebral entre homens e mulheres. Outros autores sugerem que as mulheres limitam a ativação ou acentuam a inibição do sistema nervoso simpático de forma mais eficaz que os homens¹⁶. Há evidências também nas diferenças na função pulmonar: tipicamente, as mulheres têm pulmões menores, taxas menores de pico de fluxo expiratório, menor superfície de difusão, o que diminui a ventilação pulmonar máxima²⁵. As explicações para estas diferenças não são totalmente satisfatórias. Ocorrem em parte porque as mulheres geralmente têm menor estatura e menor tamanho de tronco, mas estas diferenças persistem mesmo quando o tamanho do corpo é levado em consideração³². Contudo, todas estas diferenças podem afetar as respostas ventilatórias no início do exercício²⁴.

A literatura documenta bem a comparação das variáveis respiratórias entre os sexos no repouso, porém existem poucos estudos que as comparam durante o exercício. Um estudo feito por Blackie e col², mostrou que o VM no final do exercício foi maior em homens que em mulheres, mas que não houve diferença entre os sexos na relação entre VM e ventilação voluntária máxima (VVM), VM/VVM. Já o VC no final do exercício foi maior em homens, mas quando o mesmo é corrigido pela CVF, as diferenças desapareceram. A FR foi relacionada com o VM, mas não mostrou diferenças entre os sexos. O VM foi mais relacionado com a quantidade de exercício realizada (medida pelo VO₂) e com o VCO₂. Nenhuma medida no repouso, sozinha ou em combinação, é bem relacionada com o VM como as medidas diretas de troca gasosa durante o exercício, pois a ventilação é primariamente conduzida pelas necessidades metabólicas. Portanto, não é surpresa que exista grande variabilidade na performance ao exercício em sujeitos saudáveis².

Em comparação com o estudo de Blackie e col², Kilbride e col¹⁹ relataram que não houve diferenças significativas do padrão respiratório no repouso, mas durante exercícios progressivos no cicloergômetro, o aumento do VM observado em ambos os



sexos foi pela adoção de uma FR significativamente maior pelas mulheres, enquanto que para os homens, foi pelo aumento do VC.

Há evidências de variações diurnas nas respostas ventilatórias e cardiorrespiratórias em mulheres durante o exercício submáximo: o VM não variou significativamente durante o dia, mas o VO₂ e o VCO₂ foram maiores à tarde, comparando com a manhã¹³. O envolvimento de diferentes hormônios nas fases folicular (pré-ovulação) e lútea (pós-ovulação) do ciclo menstrual levam a um impacto na capacidade e na performance ao exercício³⁰.

Comparando-se as fases do ciclo menstrual, Matsuo e col²⁴ realizaram um estudo para elucidar se há diferenças entre estas fases e entre o sexo feminino e o masculino no início do exercício. Os voluntários realizaram exercícios de flexo-extensão dos MMII com peso de 2,5% do peso corporal, além de exercícios passivos também de flexo-extensão, sem peso. Os autores concluíram que a ventilação é praticamente a mesma nas fases lútea e folicular do ciclo menstrual, e que não houve diferenças ventilatórias entre os sexos, tanto para os exercícios passivos quanto para os ativos. Existem poucos estudos sobre o efeito do ciclo menstrual no limiar aeróbio e no VO₂, que são os maiores determinantes da capacidade de exercício, porém, Redman e col³⁰, afirmaram que estas variáveis não são influenciadas pelas fases do ciclo menstrual.

Conclusão

Muitos estudos têm sido realizados sobre as alterações do padrão respiratório durante as fases do exercício e suas causas, porém existem controvérsias acerca de alguns assuntos relacionados a este tema.

O padrão respiratório varia com os níveis de ventilação adotados durante atividades físicas, com a fase e a intensidade do exercício, além de apresentar grande variabilidade entre os sujeitos. A análise das interrelações e alterações das variáveis componentes do volume e tempo do padrão respiratório durante o exercício em sujeitos normais é de extrema importância para o profissional que atua com fisiologia do exercício.

Portanto, esta revisão bibliográfica sobre o padrão respiratório em sujeitos saudáveis durante o exercício traz algumas respostas e algumas questões que devem ser elucidadas por estudos futuros, como a melhor determinação dos parâmetros de intensidade de exercício, associado ao estudo dos volumes e tempos respiratórios e das mudanças de configuração toracoabdominal. Tornam-se necessários mais estudos que comparem as variáveis respiratórias entre os sexos durante o exercício, além da elucidação das questões sobre a influência das fases do ciclo menstrual nas respostas ventilatórias no repouso e no exercício. Os achados existentes são inconsistentes e contraditórios, talvez pelas diferenças nos métodos usados para definir função menstrual normal, pelas dificuldades na identificação das fases do ciclo e da escolha de qual fase estudar.

Referências Bibliográficas

1. Babb, TG, Rodarte, JR. Lung volumes during low-intensity steady-state cycling. **J Appl Physiol**. 1991; 70:934-37.
2. Blackie, SP, Fairbairn, MS, McElvaney, NG, Wilcox, PG, Morrison, NJ, Pardy, RL. Normal values and ranges for ventilation and breathing pattern at maximal exercise. **Chest**. 1991; 100:136-42.
3. Bloch, KE, Barandun, J, Sackner, MA. Effect of mouthpiece breathing on cardiorespiratory response to intense exercise. **Am J Resp Crit Care Med**. 1995; 151:1087-92.
4. Casey, K, Duffin, J, McAvoy, GV. The effect of exercise on the central-chemoreceptor threshold in man. **J Physiol**. 1987; 383: 9-18.
5. Chapman, KR, Perl, A, Zamel, N, Rebuck, AS. Thoracoabdominal motion during hypercapnia, hypoxia, and exercise. **Can J Physiol Pharmacol**. 1985; 63:188-92.
6. Clark, JM, Hagerman, FC, Gelfand, R. Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen. **J Appl Physiol**. 1983; 55: 440-46.
7. Crawford, ABH, Dodd, D, Engel, LA. Changes in rib cage shape during quiet breathing, hyperventilation and single inspirations. **Respir Physiol**. 1983; 54: 197-209.
8. Daubenspeck, J A, Bennett, FM. Immediate human breathing pattern responses to loads near the perceptual threshold. **J Appl Physiol**. 1983; 55:1160-66.

9. Davis, JN, Stagg, D. Interrelations of the volume and time components of individual breaths in resting man. **J Appl Physiol.** 1975; 245: 481-98.
10. Eldridge, FL. Central integration of mechanisms in exercise hyperpnea. **Med Sci Sports Exerc.** 1994; 26: 313-321.
11. Fink, GR et al. Hyperpnoea during and immediately after exercise in man: Evidence of motor cortical involvement. **J Physiol.** 1995; 489: 663-75.
12. Gallagher, CG, Brown, E, Younes, M. Breathing pattern during maximal exercise and during submaximal exercise with hypercapnia. **J Appl Physiol.** 1987; 63: 238-44.
13. Giacomoni, M, Bernard, T, Gavarry, O, Altare, S, Falgairette, G. Diurnal variations in ventilatory and cardiorespiratory responses to submaximal treadmill exercise in females. **Eur J Appl Physiol.** 1999; 80:591-97.
14. Grimby, G, Bunn, J, Mead, J. Relative contribution of rib cage and abdomen to ventilation during exercise. **J Appl Physiol.** 1968; 24:159-66.
15. Helbling, D, Boutellier, U, Spengler, CM. Modulation of the ventilatory increase at the onset of exercise in humans. **Respir Physiol.** 1997; 109:219-29.
16. Hinojosa-Laborne, C, Chapa, I, Lange, D, Haywood, JR. Gender differences in sympathetic nervous system regulation. **Clin Exp Pharmacol Physiol.** 1999; 26:122-26.
17. Jennett, S, Russell, T, Warnock, KA. The duration of inspiration during changing states of ventilation in man. **J Physiol.** 1974; 238: 54-55.
18. Kay, JDS, Strange Petersen, E, Vejby-Christensen, H. Breathing in man during steady-state exercise on the bicycle at two pedalling frequencies, and during treadmill walking. **J Physiol.** 1975; 251:645-56.
19. Kilbride, E, McLoughlin, P, Gallagher, CG, Harty, HR. Do gender differences exist in the ventilatory response to progressive exercise in males and females of average fitness? **Eur J Appl Physiol.** 2003; 89:595-602.
20. LeBlanc, P, Summers, E, Inmam, MD, Jones, EJ, Campbell, EJM, Killian, KJ. Inspiratory muscles during exercise: a problem of supply and demand. **J Appl Physiol.** 1988; 64:2482-89.
21. Lind, FG. Respiratory drive and breathing pattern during exercise in man. **Acta Physiol Scand.** 1984; 1-47.
22. Mador, MJ, Acevedo, FA. Effect of respiratory muscle fatigue on breathing pattern during incremental exercise. **J Appl Physiol.** 1991; 70:2059-65.
23. Mateika, JH, Duffin, J. Ventilatory responses to exercise performed below and above the first ventilatory threshold. **J Appl Physiol** 1994; 68: 327-35.
24. Matsuo, H, Katayama, K, Ishida, K, Muramatsu, T, Miyamura, M. Effect of menstrual cycle and gender on ventilatory and heart rate responses at the onset of exercise. **Eur J Appl Physiol.** 2003; 90:100-08.
25. McClaran, SR, Harms, CA, Pegelow, DF, Dempsey, JA. Smaller lungs in women affect exercise hyperpnea. **J Appl Physiol.** 1998; 84: 1872-81.
26. McCool, FD, Loring, SH, Mead, J. Rib cage distortion during voluntary and involuntary breathing acts. **J Appl Physiol.** 1985; 58:1703-12.
27. Milic-Emili, J, Grunstein, MM. Drive and timing components of ventilation. **Chest.** 1976; 70:131-33.
28. Paek, D, McCool, FD. Breathing patterns during varied activities. **J Appl Physiol.** 1992; 73:887-93.
29. Rabinowicz, T et al. Structure of the cerebral cortex in men and women. **J Neuropathol Exp Neurol.** 2002; 61: 6-57.
30. Redman, LM, Scroop, GC, Norman, RJ. Impact of menstrual cycle phase on the exercise status of young, sedentary women. **Eur J Appl Physiol.** 2003; 90: 505-13.
31. Spengler, CM, Knopfli-Lenzin, C, Birchler, K, Trapletti, A, Boutellier, U. Breathing pattern and exercise endurance time after exhausting cycling or breathing. **Eur J Appl Physiol.** 2000; 81:368-74.
32. Syabbalo, NC, Krishnan, B, Zintel, T, Gallagher, CG. Differential ventilatory control during constant work rate and incremental exercise. **Respir Physiol.** 1994; 97:175-87.
33. Tobin, MJ, Perez, W, Guenther, SM, D'Alonzo, G, Dantzker, DR. Breathing pattern and metabolic behavior during anticipation of exercise. **J Appl Physiol.** 1986; 60:1306-1312.
34. Yasukouchi, A, Serita, F. Changes in breathing pattern at loads near perceptual threshold at different work levels. **Eur J Appl Physiol.** 1990; 60: 337-45.