

Ergoespirometria computadorizada ou calorimetria indireta: um método não invasivo de crescente valorização na avaliação cardiorrespiratória ao exercício

Paulo Roberto Santos Silva*
Angela Romano*
Paulo Yazbek Jr.**
José Roberto Cordeiro***
Linamara Rizzo Battistella****

UNITERMOS

Ergoespirometria. Análise de Troca Gasosa. Exercício Físico

Introdução

O desenvolvimento tecnológico de sistemas computadorizados utilizados em ergoespirometria ou calorimetria indireta tem sido de grande valor na avaliação de indivíduos com graus variados de capacidade funcional (Yazbek Jr., 1985; Weber & Janicki, 1986; Wasserman e cols., 1987; Jones, 1988; Branson, 1990; Sue, 1994; Yazbek Jr. & Battistella, 1994). A utilização desse método permite a monitoração e o registro, em tempo real, da ventilação pulmonar e das trocas respiratórias, figurando-se como metodologia não invasiva de suma importância na análise mais precisa e adequada das respostas cardiorrespiratórias e metabólicas durante exercício. Mais especificamente, esse método tem sido útil na determinação de fatores ligados a: 1) indicadores preditores de performance (Mac Dougal, 1977; Ready & Quinney, 1982; Kumagai e cols., 1982; Denis e cols., 1984; Tanaka e cols., 1986); 2) identificação de intolerância ao exercício (Hiatt e cols., 1988 e 1990); 3) determinantes de transição metabólica (Kinderman e cols., 1979; Skinner & Mc Lellan, 1980); 4) avaliação clínica e terapêutica de diversas patologias (Sue e cols., 1988; Adnot e cols., 1991; Marzo e cols., 1992; Sue, 1994); 5) prescrição de intensidade do exercício (Wenger & Bell, 1986); 6) índices de eficiência respiratória e cardiovascular (Wasserman e cols., 1987 e 1988; Braunwald, 1992); 7) custo energético (Field e cols., 1981; Lewis

Divisão de medicina de reabilitação - HC-FMUSP (setor de ergometria) & Associação Portuguesa de Desportos - departamento médico (seção de fisiologia do exercício).

* Fisiologista do exercício

** Cardiologista

*** Cardiologista/Vice-Presidente de Medicina da Associação Portuguesa de Desportos

**** Fisiatra e Diretora da Divisão de Medicina de Reabilitação do HCFMUSP

Endereço para correspondência:

Rua Diderot, nº 43 - V. Mariana - CEP 04116 - São Paulo - SP, Brasil.

e cols., 1988); e várias outras possibilidades (Blumberg & Keller, 1979; Danek e cols., 1980; Weismann e cols., 1985; Weber e cols., 1985; Wilson e cols., 1986; Campbell & Kudsk, 1988; Writght e cols., 1990; Smith e cols., 1992; Myers e cols., 1992).

Os vários equipamentos utilizados para ergoespirometria ou calorimetria indireta são microprocessadores compostos por *hardware* e *software*. O primeiro reúne uma central para elaboração dos dados, com unidade de entrada e saída, calculadora com memória e unidade de cálculo. O *software* compreende os programas pre-estabelecidos, através de fórmulas conhecidas, e é onde se encontra o conteúdo de todas as variáveis (frequência respiratória, volume corrente, ventilação pulmonar, consumo de oxigênio, dióxido de carbono, quociente respiratório e/ou razão de troca respiratória, equivalentes ventilatórios de oxigênio e de dióxido de carbono, pulso de oxigênio, espaço morto funcional, pressão expirada final ou fração expirada final de oxigênio e de dióxido de carbono) e que permitem a monitoração contínua e *on line* na maioria dos equipamentos (Quadro 1). Ao encerrar-se o teste, o avaliador retira um relatório tabular, com todas as variáveis ventilatórias para análise dos resultados.

Esse método utiliza o cálculo da produção de calor através de medidas de troca gasosa respiratória, especificamente por meio de mensurações do consumo de oxigênio (VO_2) e produção de dióxido de carbono (VCO_2).

Ergoespirômetros ou calorímetros indiretos são aparelhos conhecidos como de "circuito aberto", que medem o VO_2 pela diferença entre as concentrações de gases inspirados e expirados e pela ventilação pulmonar (V_E) por minuto. A metodologia de circuito aberto utiliza basicamente

três técnicas: câmara de mistura *mixing-chamber*, respiração-a-respiração *breath-by-breath* e diluição *dilution* (Branson, 1990).

Técnica de Câmara de Mistura

A maioria dos ergoespirômetros ou calorímetros indiretos, disponíveis comercialmente, usam câmara de mistura. Esses sistemas podem ser utilizados para executar medições em indivíduos que respiram espontaneamente, através de um bocal de borracha acoplado a uma válvula ou máscara.

O gás expirado pelo indivíduo é direcionado para dentro da câmara de mistura, onde dispositivos que desviam ou controlam o fluxo de gás interrompem-no e impedem a corrente e as concentrações irregulares do fluxo. Na extremidade da câmara de mistura, uma bomba de vácuo retira uma pequena amostra de gás expirado misto para medições das frações expiradas de oxigênio (FEO_2) e de dióxido de carbono (FECO_2), pelos analisadores de oxigênio (O_2) e de dióxido de carbono (CO_2). Um transdutor de pressão é parte desse circuito para garantir que os gases medidos sejam compensados adequadamente. Essa amostra de gás é devolvida à câmara de mistura após análise.

A intervalos pré-selecionados, os analisadores também medem a concentração dos gases inspirados para determinação das diferenças inspiradas e expiradas. Então, o volume total de gases sai através de um transdutor de volume para medição da ventilação pulmonar. Um termostato é usado para correção de temperatura de volumes. O microprocessador controla as funções do ergoespirômetro ou calorímetro, registra os dados

QUADRO 1
Variáveis espirométricas encontradas em vários modelos de ergoespirômetros

Siglas	Significado
VE(BTPS)	= Volume de ar expirado por minuto, em litros (VE=FR vs. VC)
FR	= Frequência respiratória
VC (BTPS)	= Volume corrente, em mililitros
VO_2 (STPD)	= Volume de oxigênio consumido por minuto, em mililitros
$\text{VO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$ (STPD)	= Volume de oxigênio consumido por minuto, em mililitros por quilograma de peso corpóreo
$V_E \cdot \text{VO}_2^{-1}$	= Equivalente ventilatório ou respiratório de oxigênio
$V_E \cdot \text{VCO}_2^{-1}$	= Equivalente ventilatório ou respiratório de dióxido de carbono
QR, RER ou R	= Quociente respiratório ou razão de troca respiratória (VCO_2/VO_2)
PEO_2 (mmHg)	= Pressão expirada de oxigênio, em milímetros de mercúrio
PETCO_2 (mmHg)	= Pressão expirada de dióxido de carbono, em milímetros de mercúrio
FEO_2 (%)	= Fração expirada de oxigênio, em porcentagem
FECO_2 (%)	= Fração expirada de dióxido de carbono, em porcentagem
Vd/Vt	= Relação entre o espaço morto funcional (estimado) pelo volume corrente
$\text{VO}_2 \cdot \text{FC}^{-1}$	= Pulso de oxigênio (quantidade de O_2), em mililitros por batimento cardíaco

na memória e executa os cálculos necessários (Branson, 1990).

Técnica de Respiração-a-Respiração:

A tecnologia de respiração-a-respiração e de circuito aberto difere do sistema de câmara de mistura, onde as medições são feitas a cada respiração e o local da amostragem e das medidas de volume são realizadas instantaneamente pelas vias aéreas.

As amostras de gases das frações inspiradas e expiradas de O_2 e de CO_2 são analisadas a cada respiração, como é o volume corrente. Portanto, como não há nenhuma câmara de mistura, é feita a média aritmética das medidas num tempo pre-estabelecido ou selecionado pelo avaliador, a fim de obter valores expirados mistos. Em alguns sistemas, o dispositivo de medição de volume é movido das vias aéreas para um local mais distante, para evitar erros de medição causados por umidade e secreções (Branson, 1990).

Técnica de Diluição

O princípio dessa técnica é uma modificação da técnica de circuito aberto. Um preciso sistema gerador de fluxo, que dilui os gases expirados com o ar ambiente, substitui o aparelho que mede volume dando esse nome ao princípio. Durante medições em indivíduos ventilando mecanicamente, os gases expirados são direcionados para a câmara de mistura onde os gases expirados mistos (FEO_2 e $FECO_2$) são medidos. Após a passagem pela câmara de mistura, os gases são diluídos com o ar ambiente pelo gerador de fluxo, igualando então o fluxo total que entra e que sai pelo sistema (Branson, 1990).

Descrição de algumas variáveis espirométricas e o seu comportamento gráfico durante exercício progressivo (fig. 1)

Ventilação Pulmonar ($V_{E\text{ BTPS}}$): Do ponto de vista fisiológico, o aumento da V_E durante exercício é proporcional à produção de dióxido de carbono (VCO_2). A V_E atinge nível máximo quando o indivíduo atinge sua capacidade máxima durante o teste ergoespirométrico progressivo. A produção de CO_2 em cargas de leve

a moderada é linear, até se atingir o limiar anaeróbio ventilatório (ponto de transição entre os metabolismos aeróbio e anaeróbio). Em seguida o VCO_2 aumenta desproporcionalmente com o incremento da intensidade do exercício até o máximo (Wasserman e cols., 1987).

Consumo de Oxigênio ($VO_{2\text{ STPD}}$): Durante esforço físico o VO_2 flutua na dependência de fatores constitucionais dentro de uma certa amplitude de variação fisiológica. As diferenças constitucionais sobre o VO_2 são influenciadas pela economia diferente nos trabalhos muscular, circulatório e respiratório, a capacidade de transporte de O_2 do sangue, a capilarização, a capacidade oxidativa periférica e o tamanho da massa muscular envolvida. De um modo geral, o VO_2 depende dos seguintes fatores: 1) **Exógenos** (temperatura ambiente, pressão barométrica, umidade relativa do ar, característica do esforço, tipo de treinamento, etc.) e 2) **Endógenos** (idade, sexo, condições patológicas, predisposição genética, etc.). A magnitude do VO_2 máximo é uma variável confiável e representativa da capacidade funcional cardiorrespiratória do organismo durante esforço. Ao analisar cada caso individualmente, é necessário levar em consideração os seguintes fatores: 1) **Determinantes:** margem de erro dos métodos, o tipo de ergômetro utilizado (esteira, bicicleta, manivela e outros), nível e especificidade de treinamento, fator genético, idade, sexo, etc.) 2) **Limitantes:** ventilação pulmonar, difusão alveolo-capilar, sistema transportador de oxigênio e diferença artério-venosa de oxigênio (Smith e cols., 1976; Davis e cols., 1976 e 1979; Dimri e cols., 1980; Field e cols., 1981; Fairster e cols., 1983; Bouchard & Lortie, 1984; Bouchard e cols., 1986; Braunwald, 1992; Pina e cols., 1995).

Equivalente Ventilatório ou Respiratório de Oxigênio (V_E/VO_2): O termo V_E/VO_2 foi introduzido por Bauer e Knipping no diagnóstico funcional clínico. O V_E/VO_2 indica quantos litros (L) ou centímetros cúbicos (cm^3) de ar devem ser ventilados para consumir 1 L ou 1 cm^3 de O_2 . Ele é medido por meio da razão entre a ventilação pulmonar (V_E), medida em BTPS (*body temperature pressure saturated*), ou seja, a 37° , pressão atmosférica ambiente e saturada com vapor d'água; enquanto o VO_2 é medido em STPD (*standard temperature pressure dry*), ou seja, o gás é admitido a $0^\circ C$, 760 mmHg e seco. Durante esforço submáximo crescente, o V_E/VO_2 diminui ao mínimo para logo em seguida aumentar progressivamente até o final do exercício máximo. No repouso, observa-se valores aproximados de 23 a 28 L de ar para consumir 1 L de O_2 . Entretanto, com os equipamentos mais modernos e mais sensíveis é

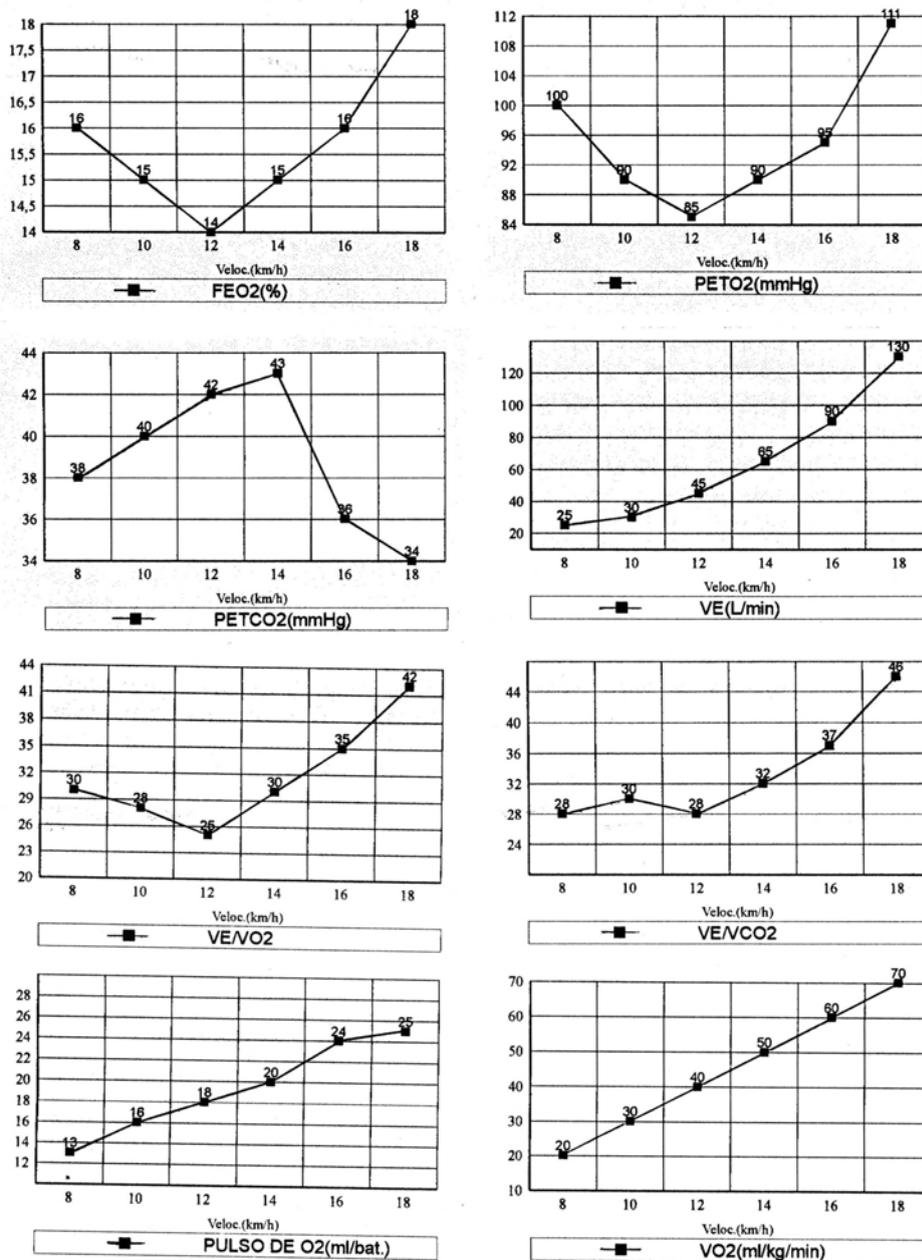


Fig. 1 Representação gráfica do comportamento das variáveis espirométricas (FEO₂, PETO₂, PETCO₂, VE, VE/VO₂, VE/VCO₂, PULSO DE O₂ e VO₂ em jogadores de futebol profissional durante exercício dinâmico progressivo (Associação Portuguesa de Desportos-Fisiologia)

possível observar valores superiores a 60 L no exercício máximo. O quociente é útil na análise da economia ventilatória durante exercício (Mellerowicz, 1985).

Equivalente Ventilatório ou Respiratório de Dióxido de Carbono (V_E/VCO_2): Em indivíduos saudáveis o V_E/VCO_2 também diminui inicialmente durante o exercício e atinge valores mais altos no limiar anaeróbio, para, logo após

esse ponto, aumentar acentuadamente no pico do exercício. O V_E/VCO_2 permanece estável entre 50 e 80% do VO_{2max} (Wasserman e cols., 1987).

Pulso de Oxigênio (VO_2/FC): Essa variável demonstra a quantidade de O₂ que é transportada a cada sístole cardíaca e reflete o volume de O₂ extraído pelos tecidos ou transportado pelo sangue por batimento cardíaco; indiretamente expressa a capacidade da ação do coração para

bombear sangue. No exercício máximo o valor do pulso de oxigênio eleva-se principalmente porque aumenta a diferença artério-venosa de oxigênio ($A-VO_2$ dif.) (Braunwald, 1992).

Quociente Respiratório (QR) e/ou Razão de Troca Respiratória (RER ou R): Essa variável significa a relação entre a produção de dióxido de carbono (VCO_2) e o volume de oxigênio consumido (VO_2) e é dado pela seguinte razão: QR, RER ou $R = VCO_2/VO_2$. Durante a oxidação biológica de carboidratos, proteínas e lípides formam-se grandes quantidades de CO_2 . Segundo investigação de Zuntz (1901), durante a combustão de 1 g de carboidrato forma-se 830 cm^3 de CO_2 ; de 1 g de lípidos, 1430 cm^3 e de 1 g de proteína, 770 cm^3 de CO_2 . Portanto, pelo comportamento dessa variável, é possível estimar a participação proporcional do substrato energético que está sendo utilizado durante exercício. Ao realizar exercício com R de 0,70 significa, na prática, que estamos consumindo proporcionalmente mais lípidos (gordura); 0,80 mais proteína e, ao atingir o valor de 1,00 consumimos mais carboidrato. A medida que ocorre incremento na intensidade do exercício aumenta-se o R. A velocidade desse aumento depende, principalmente, de alguns fatores como: intensidade do exercício, nível de treinamento e condições patológicas (Wasserman e cols., 1987).

Pressão Expirada de Oxigênio ($PETO_2$): Ao nível do mar a $PETO_2$ diminui transitoriamente logo após o início do exercício, desde que o aumento na V_E seja mais lento que o aumento no VO_2 . Então, os valores diminuem próximo dos valores de repouso. Ao ultrapassar o limiar anaeróbio ventilatório, a $PETO_2$ aumenta 10 a 30 mmHg ao atingir o exercício máximo devido à hiperventilação provocada pela acidose metabólica. A $PETO_2$ em repouso é de ± 90 mmHg e aumenta com o incremento da intensidade do exercício. A fração expirada de oxigênio (FEO_2) tem o mesmo comportamento durante exercício progressivo (Wasserman e cols., 1987).

Pressão Expirada de Dióxido de Carbono ($PETCO_2$): O comportamento da $PETCO_2$ ao nível do mar varia de 36 a 42 mmHg, aumenta 3 a 8 mmHg durante exercício de intensidade leve a moderada (dependendo do padrão respiratório) e diminui no exercício máximo. A $PETCO_2$ torna-se negativa em relação aos valores iniciais em mais de 95% dos indivíduos saudáveis ao atingir o esforço máximo. A fração expirada de dióxido de carbono ($FECO_2$) tem o mesmo comportamento durante o exercício de carga crescente (Wasserman e cols., 1987).

Dentro da fisiologia do exercício, uma das áreas que mais têm recebido atenção é a

relacionada com o metabolismo energético. Isso parece ocorrer porque é, principalmente, a partir dessas informações que se pode realizar a avaliação, prescrição e controle de treinamento físico, a predição da performance em diferentes tipos de exercícios e a identificação de possíveis mecanismos relacionados com a fadiga.

Na ergoespirometria, dentre os vários parâmetros ventilatórios que podemos obter, dois têm sido bastante valorizados e merecem uma atenção especial, a saber o consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) e o limiar anaeróbio (LA).

VO_{2max} .

O VO_{2max} tem sido considerado um dos parâmetros de grande importância, pois a capacidade do ser humano para realizar exercícios de média e de longa duração depende principalmente do metabolismo aeróbio. É, portanto, um índice muito utilizado para classificar a capacidade funcional cardiorrespiratória.

O conceito de VO_{2max} é caracterizado pela sua estabilidade, a despeito do incremento da sobrecarga de trabalho. Atualmente, a *American Heart Association* (AHA) sugere que o termo VO_{2max} seja empregado somente nesses casos. Ao contrário, quando essa estabilidade não ocorre, o termo mais adequado seria **VO_{2pico}** .

Apesar de esse critério ser antigo e bastante aceito pela maioria dos autores, alguns têm verificado que poucos conseguem atingir "platô" no final do esforço.

Cumming e Borystyk (1972) testaram sessenta e cinco homens com idade entre 40 e 65 anos e somente 43% conseguiram atingir platô no VO_{2max} . Resultados semelhantes foram verificados por Freedson e cols. (1986), que verificaram 40% de platô ao avaliarem trezentos e um indivíduos. Cunningham e cols. (1977) e Astrand (1986), ao avaliarem indivíduos jovens, verificaram "platô" abaixo de 50% dos indivíduos testados.

Entretanto, muitos investigadores aceitam a estabilização do VO_2 no final do exercício como critério para padronização do VO_{2max} , se o indivíduo atingir uma das seguintes condições: 1) concentração de ácido láctico sanguíneo maior que 8 $mmol.L^{-1}$ nos primeiros 5 minutos de recuperação; 2) RER maior que 1,00 ao final do teste; 3) FC máxima superior a 85% da máxima predita para a idade ao fim do exame; 4) aumento do VO_2 menor que 150 ml ou 2,1 $ml.kg^{-1} min^{-1}$, no final do exercício, para um incremento de 2,5% na velocidade da esteira (Taylor e cols.; 1955); 5)

aumento no VO_2 menor que $2,0 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ para um incremento de 5 a 10% na intensidade do exercício (Shephard, 1971).

O VO_2 pode ser expresso em valores absolutos (L.min^{-1} ou ml.min^{-1}) ou em valores relativos ao peso corporal ($\text{ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$). Como a necessidade de energia varia em função da superfície corporal, esse parâmetro é geralmente expresso em valores relativos. Isso permite comparar indivíduos de diferentes biotipos, sobretudo quando se exercitam em situações em que é necessário transportar o peso corpóreo, como ocorre na corrida. Segundo alguns autores (Eriksson e cols., 1978; Wilmore e Costill, 1994) a capacidade de "performance" em eventos de 'endurance' é melhor relacionada com o $\text{VO}_{2\text{max}}$, expresso de maneira absoluta em esportes em que é necessário utilizar a sustentação do corpo, como é o caso da natação.

LA:

O LA é a transição entre os metabolismos aeróbico e anaeróbico. Hollmann e cols., no final dos anos 50 e início dos anos 60, com o objetivo de mensurar o desempenho cardiorrespiratório, introduziram o conceito de "início do metabolismo anaeróbico". Nesse estudo, os autores observaram que, durante o exercício, com incremento de cargas de 3 minutos, atingia-se um ponto onde a ventilação pulmonar (V_E) aumentava, proporcionalmente, mais que o VO_2 . Como as mudanças na V_E e no ácido láctico sanguíneo eram coincidentes, Hollmann definiu esse momento do exercício como "ponto de ótima eficiência ventilatória".

Mais tarde, Wasserman & McIlroy (1964), estudando indivíduos com doenças cardiovasculares, introduziram o termo "limiar anaeróbico", propondo que parâmetros ventilatórios pudessem ser utilizados para estimar o ponto de inflexão da curva de lactato sanguíneo.

O LA, dentro da história recente da fisiologia do exercício, é considerado polêmico e controvertido, sendo inúmeros os conceitos e critérios para sua determinação, o que tem dificultado sua padronização (Wasserman e cols., 1973; Hagberg e cols., 1982; Beaver e cols., 1986; Gaesser & Poole, 1986; Gomes, 1989).

Entretanto, há algumas razões práticas que justificam sua aferição. De acordo com Shimizu e cols. (1991), alguns fatores são responsáveis pela variabilidade do LA. Eles verificaram que, em 82% dos casos analisados, a variação era devido ao tipo de protocolo utilizado; em 14% aos vários métodos e critérios de determinação e, finalmente,

em 4% a variabilidade devia-se à experiência dos especialistas (Quadro 2).

Tem sido alvo de interesse dos clínicos em cardiologia o estudo do impacto do LA sobre o desempenho ventricular durante exercício. Normandi e cols. (1993), estudando indivíduos com fração de ejeção (FE) menor que 40%, compararam métodos (Reserva de Frequência Cardíaca [FC], percentual da FC máxima) tradicionais de treinamento físico (TF) contra métodos que se utilizavam do LA para a prescrição. Verificaram que a intensidade do TF, assim como a função ventricular, encontrava-se acima do considerado ideal nos pacientes que se submetem ao programa baseado na FC. Sabe-se que o exercício realizado numa intensidade acima do LA provoca um aumento abrupto nos níveis de catecolaminas e renina (Lehman e cols., 1985; Gleim e cols., 1984), podendo expor pacientes com condições cardíacas de alto risco a arritmias, hipertensão, isquemia e insuficiência cardíaca.

Goodman e cols. (1991), estudando indivíduos saudáveis e o desempenho ventricular, mediram o LA e concluíram que o mecanismo de Frank-Starling (Volume Diastólico Final) e a contratilidade miocárdica (Volume Sistólico Final) exercem funções proporcionalmente diferentes antes e após o LA. Os resultados encontrados sugerem que antes do LA o mecanismo de Frank-Starling é mais operante e a contratilidade miocárdica, ao contrário, é mais efetiva em intensidades acima do LA.

Boucher e cols. (1985), também estudando indivíduos saudáveis, verificaram o comportamento da função ventricular, analisando o comportamento da FE do repouso para o LA e deste até a intensidade máxima de exercício. A FE aumentou do repouso para o LA, mas a mesma resposta não foi verificada do LA para o exercício máximo. Eles concluíram que o maior incremento da FE ocorre em estágios de esforço aquém do LA, sendo que, após, a resposta pode ser variável e um aumento uniforme não é necessariamente esperado em indivíduos normais.

Num estudo realizado no Instituto do Coração (InCor) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP, em 1990, foram avaliados pacientes com insuficiência cardíaca congestiva (ICC). Os resultados apontaram comportamentos díspares nas variáveis espirométricas, caracterizando reserva anaeróbia diminuída em pacientes que foram a óbito, em tempo menor que outros que não mostraram o mesmo desempenho.

Weber e cols. (1985 e 1988) sugeriram que a classificação funcional dos pacientes portadores de ICC fosse baseada nas respostas de LA e

QUADRO 2
Resumo de alguns estudos que utilizaram ergoespirometria (análise de troca gasosa ventilatória) na identificação do limiar anaeróbio (LA)

Nº	Estudo	Critérios para identificação	Medidas	Terminologia
1	Wasserman & Mc Ilroy (1964)	Aumento no RER	Medida respiração-a-respiração com no mínimo 30s de carga utilizada.	LA
2	Wasserman e cols. (1973)	Perda da linearidade para o VCO_2 e V_E quando comparado ao aumento do VO_2	Medida respiração-a-respiração.	LA
3	Davis e cols. (1976)	* Ponto de quebra da linearidade na V_E e VCO_2 e aumento abrupto no RER; * Abrupto aumento na FEO_2 .	Medido a cada 15s.	LA
4	Davis e cols. (1979)	* Aumento sistemático no V_E/VO_2 sem elevação no V_E/VCO_2 ; * Aumento sistemático na $PETO_2$ sem diminuição da $PETCO_2$.	Medida respiração-a-respiração.	LA
5	Reinhard e cols.(1979)	* Intensidade do exercício na qual o V_E/VO_2 e o FEO_2 alcançam um mínimo (LA); * Intensidade do exercício na qual o V_E/VCO_2 atinge um mínimo (LAMD).	Verificado através dos valores médios de cada minuto.	LAMD
6	Weltman & Katch (1979)	Aumento não linear na V_E .	Medido a cada minuto.	LA
7	Rusko e cols.(1980)	Aumento não linear na V_E .	Medido a cada 30s.	LA
8	Davis & Gass (1981)	* Aumento sistemático no V_E/VO_2 sem elevação no V_E/VCO_2 . O ponto de deflexão foi determinado pela mais baixa FEO_2 e por um aumento progressivo na FEO_2 .	Medido a cada minuto.	LA
9	Hughes e cols.(1982)	Aumento não linear na V_E quando plotado contra a carga de trabalho e analisado por dois investigadores.	Gás coletado no segundo minuto de cada carga de trabalho.	LV
10	Kumagai e cols.(1982)	* Aumento não linear na V_E e VCO_2 ; * Aumento abrupto na FEO_2 ; * Aumento abrupto na RER; * Aumento sistemático no V_E/VO_2 sem elevação no V_E/VCO_2 .		LA
11	Mickelson & Hagerman (1982)	* Inflexão não linear na V_E e VCO_2 ; * Súbita diminuição na FEO_2 .	Média após um minuto de intervalo.	LA
12	Orr e cols.(1982)	* Determinado por regressão linear múltipla; * Determinado por 4 investigadores utilizando o ponto de deflexão.	Calculado a cada 15s.	LA
13	Ready & Quinney (1982)	* Aumento sistemático no V_E/VO_2 sem aumento no V_E/VCO_2 determinado matematicamente; * Alteração na V_E , FEO_2 e R em relação a $PETCO_2$.	Medido a cada 30s.	LA
14	Becker & Vaccaro (1983)	* Aumento no V_E/VO_2 sem elevação no V_E/VCO_2 ; * Aumento na $PETO_2$ sem diminuição da $PETCO_2$.	Medida respiração-a-respiração.	LA
15	Davis e cols.(1983)	Aumento sistemático no V_E/VO_2 sem elevação no V_E/VCO_2 .	Medido a cada 30s.	LA

Nº	Estudo	Crítérios para identificação	Medidas	Terminologia
16	Dwyer & Bybee(1983)	Perda da linearidade da V_E , V_E/VO_2 , VCO_2 e RER em relação ao O_2 .	Média após 30s de intervalo.	LA
17	Fairshter e cols.(1983)	Aumento abrupto e sistemático no V_E/VO_2 sem aumento no V_E/VCO_2 .	Gás coletado respiração-a-respiração com média de 15s.	LA
18	Gibbons e cols.(1983)	* Aumento não linear na V_E ; * Aumento não linear no VCO_2 ; * Aumento na percentagem da $PETO_2$ sem correspondente diminuição no RER.	Medido a cada 30s.	LA
19	Aunola & Rusko (1984)	Aeróbio: primeiro aumento não linear na V_E e VCO_2 quando comparado ao VO_2 ; Anaeróbio: ponto onde a linearidade das curvas de V_E/VO_2 e V_E /carga de trabalho normalmente desaparecem pela segunda vez. * Avaliado por 2 investigadores.	Gás coletado respiração-a-respiração com os valores mostrados a cada 30s.	Aeróbio Anaeróbio
20	Gaesser e cols.(1984)	Aumento sistemático no V_E/VO_2 sem aumento no V_E/VCO_2 .	Medida respiração-a-respiração.	LV
21	Golden & Vaccaro (1984)	* Perda da linearidade para V_E ; * Aumento no V_E/VO_2 sem elevação no V_E/VCO_2 .	Medido a cada 12s.	LA
22	Rhodes & McKenzie (1984)	Pela curva do excesso de CO_2 .	Medido a cada 15s.	LA
23	Bhambhani & Singh (1985)	* Intensidade do exercício na qual o V_E/VO_2 e o FEO_2 atingem valor mínimo; * Intensidade do exercício na qual o V_E/VCO_2 atinge valor mínimo e o F_ECO_2 atinge valor máximo.	Medido a cada 30s.	Limiar Ventilatório Um (LV_1) ou Primeiro Limiar Ventilatório Dois (LV_2) ou Segundo Limiar
24	Poole & Gaesser (1985)	Aumento sistemático no V_E/VO_2 sem aumento no V_E/VCO_2 .	Medida respiração-a-respiração.	LV
25	Reybrouck e cols.(1985)	* Aumento não linear na V_E ; * Aumento não linear no VCO_2 ; * Aumento sistemático no V_E/VO_2 sem aumento no V_E/VCO_2 ; * Aumento progressivo no FEO_2 ; * Aumento excessivo na RER.	Medido a cada minuto.	LAV
26	Foster e cols.(1986)	Ponto onde a relação entre o VO_2 e a V_E começa a aumentar exponencialmente.	Medido no último minuto de cada carga de trabalho.	LV
27	Beaver e cols. (1986)	Slope da relação VCO_2/VO_2 , ou seja, análise dos componentes menor e maior da relação VCO_2/VO_2 por regressão linear detectando o ponto de intersecção eles.	Medida respiração-a-respiração.	LA (<i>V-Slope</i>)
28	Bischoff & Duffin (1995)	Aumento na variabilidade da V_E vs tempo.	Verificado através dos valores médios a cada minuto.	LV (<i>CUSUM</i>)

LA (Limiar Anaeróbio), LV (Limiar Ventilatório), LV_1 (Limiar Ventilatório Um), LV_2 (Limiar Ventilatório Dois), LAV (Limiar Anaeróbio Ventilatório), LAMD (Limiar de Acidose Metabólica Descompensada), V_E (Ventilação Pulmonar), RER (Razão de Troca Respiratória), VO_2 (Consumo de Oxigênio), VCO_2 (Produção de Dióxido de Carbono), FEO_2 (Fração Expirada de Oxigênio), $FECO_2$ (Fração Expirada de Dióxido de Carbono), $PETO_2$ (Pressão Expirada de Oxigênio), $PETCO_2$ (Pressão Expirada de Dióxido de Carbono), $V_E \cdot VO_2^{-1}$ (Equivalente Ventilatório ou Respiratório de Oxigênio) e $V_E \cdot VCO_2^{-1}$ (Equivalente Ventilatório ou Respiratório de Dióxido de Carbono), V-Slope (Relação VCO_2/VO_2) e CUSUM (Variabilidade na V_E)

VO_2 max. Os indivíduos que apresentaram valores de VO_2 no LA entre 11 e 14 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ e VO_2 max. entre 16 e 20 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ foram considerados com ICC leve a moderada, enquanto os que tiveram valores de VO_2 entre 5 e 8 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ no LA e VO_2 max. menor que 10 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ foram classificados com ICC severa. Além disso, nesse estudo o VO_2 max. correlacionou-se estreitamente com o índice cardíaco (IC) durante o exercício. Pacientes com VO_2 max. maior que 20 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ tinham um IC maior que 8 $L^{-1}.min^{-1}.m^2$; entretanto, aqueles com VO_2 max. menor que 10 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ mostraram um IC menor que 4 $L^{-1}.min^{-1}.m^2$.

Em 1985, Szlachcic e cols. verificaram que os pacientes com VO_2 max. menor que 10 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ tinham mortalidade de 77% em um ano. Porém, nos outros com VO_2 max. entre 10 e 18 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$, esse índice diminuía para 14%.

No treinamento físico (TF) de alto nível, o LA é considerado um dos parâmetros mais importantes na avaliação e predição da "performance" do atleta, pois índices elevados apresentam correlação altamente significativa como um preditor do desempenho físico. O VO_2 max. praticamente não se modifica com a rotina do treinamento, quando se atingem níveis próximos do limite biológico do atleta, porém, o VO_2 medido no LA pode se mostrar como uma variável mais representativa da melhora e como um indicador para a orientação do TF.

Para vários pesquisadores (Mac Dougal, 1977; Ready & Quinney, 1982; Kumagai e cols., 1982; Denis e cols., 1984; Tanaka e cols., 1986), em provas de *endurance* (resistência) a correlação da relação performance-resultado é mais favorável àqueles que apresentam valores elevados de LA e, portanto, é um parâmetro que expressa melhor a capacidade de *endurance* que o VO_2 max.

Considerações Técnicas:

1) A maioria dos sistemas computadorizados de análise de troca gasosa compreende basicamente analisadores de gases e pneumotacógrafo acoplados a um computador com vídeo e impressora (Branson, 1990).

2) O equipamento permite analisar, detectar e dimensionar, em tempo real, as frações e/ou pressões expiradas de oxigênio (O_2) e de dióxido de carbono (CO_2) a cada ciclo respiratório (Branson, 1990).

3) O volume de oxigênio é avaliado por meio de uma célula de **zircônia** ou **paramagnética**, enquanto o de dióxido de carbono o é por absorção de radiação infravermelha. Os analisadores

(sensores) de O_2 e CO_2 são capazes de responder e medir rapidamente mudanças nas concentrações dos gases na ordem de **0,001%** (Branson, 1990).

4) A calibração do equipamento é realizada imediatamente antes e após cada teste sob condições ambientais controladas. Entretanto, nem sempre é necessário realizar uma nova calibração após o teste devido à estabilidade dos analisadores de gases. Contudo, ela compreende 1) a calibração dos fluxos e volumes do pneumotacógrafo através de seringa graduada com capacidade para 1, 3 ou 4 litros e devem ser realizadas várias injeções de fluxos em velocidades diferentes para assegurar a estabilidade necessária. O erro médio não deve ultrapassar $\pm 3\%$; 2) a calibração dos analisadores de gases, utilizando-se mistura conhecida de O_2 , CO_2 e balanceada com nitrogênio (N_2) (Pina e cols., 1995).

5) Sugere-se aos equipamentos que medem fluxos e volumes a calibração do pneumotacógrafo antes e após cada teste para que possam medir com precisão volumes de 0,1 a 2,0 L (Branson, 1990).

6) O vapor d'água afeta a função dos analisadores de O_2 e CO_2 e também os equipamentos que medem fluxos e volumes (pneumotacógrafos). Portanto, deve ser eliminado antes de atingirem os analisadores e comprometerem as medidas (Branson, 1990).

7) A determinação do QR-RER-R pode ser utilizada para estimar a participação dos substratos (carboidrato, proteína e lipídeo). A faixa de variação do QR-RER ou R é de 0,67 a 1,30. Carboidrato = 1,00; proteína = 0,79-082 e o lipídeo = 0,70 (Branson, 1990).

8) A ventilação pulmonar (V_E) é processada por convenção na condição BTPS, enquanto o consumo de oxigênio (VO_2) o é em STPD. Essas variáveis foram padronizadas nessas condições segundo os acordos internacionais de Atlantic City (1950), Paris (1954) e Luxemburgo (1955) (Mellerowicz, 1985; Wasserman e cols., 1987).

9) Análise de troca gasosa exige a colocação da pressão barométrica, temperatura ambiente e umidade relativa do ar porque, de acordo com as leis dos gases, eles expandem-se com o calor e/ou baixa pressão barométrica e contraem-se com frio e/ou alta pressão barométrica. Alguns equipamentos já trazem embutidos sensores que medem a pressão barométrica e a temperatura ambiente (Branson, 1990).

10) As condições ambientais dentro do laboratório de fisiologia são muito importantes, pois os parâmetros cardiorrespiratórios e a percepção ao esforço variam de acordo com o comportamento da temperatura ambiente e

time min:sec	speed km/h	elev %	METS	HR /min	RR /min	UT /min	VE l/min	VO2 /kg	VO2 /min	UCO2 /min	RD	e102 mmHg	e100 mmHg	VE/UCO2	VE/VO2	VO2/HR	VO2/UT	FECO2 %
0:10	4.8	0.0	6.5	109	17	3226	54.0	22.6	1647	1455	0.88	111	28	37.0	32.7	15.1	0.04	3.42
0:20	4.8	0.0	4.7	103	18	2085	37.0	16.4	1196	1046	0.87	108	31	35.3	30.8	11.6	0.14	3.58
0:30	4.8	0.0	4.1	109	20	2075	33.6	14.3	1046	960	0.92	108	31	34.8	32.5	9.9	0.14	3.63
0:40	4.8	0.0	4.5	113	17	1878	31.2	12.4	902	898	1.00	110	32	34.9	30.0	7.9	0.16	3.65
0:50	4.8	0.0	3.4	114	18	1818	31.9	12.0	875	918	1.05	112	32	34.8	36.5	7.6	0.16	3.64
0:58	4.8	0.0	begin	of	exercise													
1:04	4.8	0.0	1.5	119	16	1661	31.9	11.4	832	918	1.10	113	31	34.8	38.3	7.3	0.16	3.64
1:14	4.9	0.0	3.0	113	18	1605	29.5	10.6	776	847	1.09	113	31	34.8	37.9	6.8	0.16	3.64
1:24	5.1	0.0	3.3	112	18	1624	30.0	11.6	849	864	1.02	111	32	34.7	35.2	7.5	0.17	3.65
1:34	5.2	0.0	3.2	113	17	1751	30.0	11.6	849	871	0.92	108	32	34.5	37.7	8.1	0.18	3.67
1:44	5.4	0.0	3.9	113	16	1871	30.9	13.7	1001	902	0.90	107	33	34.2	30.8	8.8	0.17	3.70
1:54	5.6	0.0	3.8	113	15	1975	28.6	13.2	967	848	0.88	107	32	33.7	29.6	8.4	0.13	3.76
2:04	6.0	0.0	3.8	115	15	1993	29.5	13.8	1028	859	0.85	106	32	33.7	28.8	8.0	0.13	3.74
2:14	6.9	0.0	4.2	115	15	2103	30.7	14.8	1084	922	0.85	106	32	33.3	28.3	9.4	0.11	3.80
2:24	6.1	0.0	4.4	114	16	1962	31.8	15.5	1131	957	0.85	104	33	33.1	28.1	9.9	0.14	3.82
2:34	6.3	0.0	4.7	113	20	1745	34.2	16.6	1214	1023	0.84	105	33	32.4	28.1	10.7	0.16	3.79
2:44	6.4	0.0	4.7	113	19	1706	32.2	16.4	1196	965	0.81	104	33	33.3	26.9	10.5	0.16	3.79
2:54	6.6	0.0	5.7	115	20	1732	34.8	20.0	1461	1103	0.78	101	33	32.4	24.5	12.7	0.14	3.90
3:04	6.7	0.0	5.7	117	17	1988	34.8	19.7	1438	1085	0.75	100	34	32.0	24.1	12.2	0.13	3.95
3:14	6.9	0.0	5.8	120	18	2129	37.7	20.4	1489	1165	0.78	101	33	32.4	25.3	12.4	0.13	3.91
3:24	7.1	0.0	5.4	123	19	2142	36.6	18.9	1378	1130	0.82	103	33	32.4	26.5	11.2	0.11	3.91
3:34	7.3	0.0	5.4	125	19	2142	36.7	18.9	1380	1132	0.82	103	33	32.4	26.5	11.0	0.12	3.91
3:44	7.4	0.0	5.7	125	20	1877	37.0	19.9	1450	1152	0.79	102	34	32.0	25.5	11.6	0.14	3.95
3:54	7.6	0.0	6.2	128	20	2064	40.5	21.6	1575	1248	0.79	101	34	32.4	25.7	12.3	0.15	3.91
4:04	7.8	0.0	6.4	129	20	2062	41.0	22.5	1644	1274	0.77	100	34	32.2	24.9	12.5	0.14	3.93
4:14	7.9	0.0	6.5	131	18	2190	39.8	22.9	1671	1246	0.75	99	34	31.9	23.8	12.7	0.12	3.96
4:24	8.1	0.0	6.8	133	19	1937	37.2	22.9	1745	1189	0.68	96	34	31.2	21.3	13.1	0.13	4.05
4:34	8.2	0.0	7.7	135	19	2050	39.2	27.0	1972	1282	0.65	92	35	30.5	19.8	14.6	0.13	4.15
4:44	8.4	0.0	8.6	138	20	2178	42.9	30.2	2202	1420	0.64	89	37	30.2	19.4	15.9	0.15	4.20
4:54	8.6	0.0	9.1	139	20	2178	42.9	30.2	2202	1420	0.64	89	37	29.8	19.6	16.6	0.14	4.24
5:04	8.8	0.0	9.5	141	20	2414	49.0	33.2	2422	1528	0.68	89	38	29.8	20.2	17.1	0.14	4.25
5:14	9.0	0.0	9.3	142	20	2348	47.7	32.7	2399	1637	0.69	89	39	29.1	19.9	16.8	0.15	4.35
5:24	9.1	0.0	9.1	141	20	2255	45.4	31.8	2294	1591	0.72	92	39	28.7	19.7	16.7	0.15	4.41
5:34	9.2	0.0	8.9	143	20	2255	45.4	31.8	2294	1591	0.72	90	39	28.5	19.7	16.1	0.14	4.48
5:44	9.5	0.0	9.4	143	20	2453	48.6	32.8	2394	1705	0.71	91	39	28.5	20.3	16.7	0.13	4.44
5:54	9.6	0.0	9.6	147	20	2651	51.3	37.7	2705	1921	0.70	90	39	28.6	20.8	18.8	0.13	4.43
6:04	9.7	0.0	9.9	147	20	2651	51.3	37.7	2705	1921	0.70	91	40	28.8	20.8	18.8	0.13	4.43
6:14	9.9	0.0	9.5	149	21	2499	51.3	33.2	2425	1827	0.75	92	40	28.1	21.1	16.2	0.14	4.51
6:24	10.1	0.0	10.1	150	21	2561	53.8	35.2	2568	1957	0.76	92	40	27.5	20.9	15.8	0.14	4.59
6:34	10.3	0.0	10.1	150	21	2561	53.8	35.2	2568	1957	0.76	92	40	27.5	20.9	15.1	0.12	4.61
6:44	10.4	0.0	10.7	150	21	2636	56.4	37.4	2733	2112	0.77	92	40	26.7	20.6	18.2	0.10	4.75
6:54	10.6	0.0	11.1	154	20	2545	50.8	33.4	2437	1778	0.73	93	40	26.7	20.6	18.2	0.09	4.75
7:04	10.8	0.0	11.0	152	21	2784	59.3	38.4	2806	2238	0.80	94	40	26.5	21.1	18.4	0.08	4.78
7:14	11.0	0.0	11.0	153	21	2927	60.2	38.6	2817	2272	0.81	94	40	26.4	21.3	18.4	0.08	4.78
7:24	11.1	0.0	11.1	154	20	2943	60.9	39.9	2849	2311	0.81	94	41	26.1	21.3	18.0	0.07	4.85
7:34	11.2	0.0	11.4	155	20	3036	62.0	39.8	2906	2382	0.82	94	41	26.0	21.5	18.7	0.07	4.87
7:44	11.4	0.0	11.6	157	21	3111	63.8	40.7	2970	2475	0.83	94	41	25.7	21.4	18.9	0.05	4.91
7:54	11.6	0.0	11.7	160	20	3105	64.8	40.2	2932	2491	0.85	95	41	25.6	21.4	18.9	0.05	4.94
8:04	11.8	0.0	11.7	160	20	3155	63.9	41.0	2993	2527	0.84	94	41	25.3	21.3	18.7	0.04	5.01
8:14	11.9	0.0	11.9	162	20	3194	65.1	41.5	3032	2581	0.85	95	41	25.2	21.4	18.7	0.04	5.02
8:24	12.0	0.0	12.1	164	21	3239	66.4	42.9	3095	2655	0.85	95	41	25.0	21.5	18.8	0.03	5.05
8:34	12.0	0.0	12.5	165	23	3059	69.2	43.9	3206	2751	0.86	95	41	25.1	21.5	19.4	0.04	5.04
8:44	12.0	0.0	12.9	165	24	2945	72.2	45.2	3298	2938	0.86	96	41	25.4	21.8	19.9	0.05	4.98
8:54	12.0	0.0	13.5	164	21	3239	66.4	42.9	3095	2655	0.85	95	40	25.8	22.4	20.6	0.06	4.89
9:04	12.0	1.6	13.5	167	28	2906	80.1	47.4	3462	3057	0.88	95	40	26.2	22.1	20.7	0.06	4.83
9:14	12.0	1.9	13.5	168	28	2985	82.4	47.4	3460	3118	0.90	99	40	26.4	22.8	20.5	0.06	4.79
9:24	12.0	2.6	13.5	168	28	3044	84.4	47.2	3447	3185	0.92	100	40	26.7	23.6	20.6	0.06	4.74
9:34	12.0	2.6	13.5	170	28	3059	84.8	47.4	3463	3183	0.92	100	40	26.6	24.4	20.3	0.06	4.76
9:44	12.0	2.9	13.7	171	28	3069	85.3	48.1	3508	3214	0.92	100	40	26.5	24.3	20.5	0.06	4.77
9:54	12.0	3.2	14.5	176	28	3142	88.4	49.9	3642	3342	0.92	100	40	26.4	24.2	21.0	0.05	4.78
9:04	12.0	3.2	15.7	176	28	3249	90.8	50.8	3705	3478	0.93	100	40	26.4	24.5	21.0	0.05	4.79
9:14	12.0	3.9	14.6	178	28	3314	92.8	51.2	3740	3506	0.94	100	40	26.4	24.8	21.0	0.05	4.79

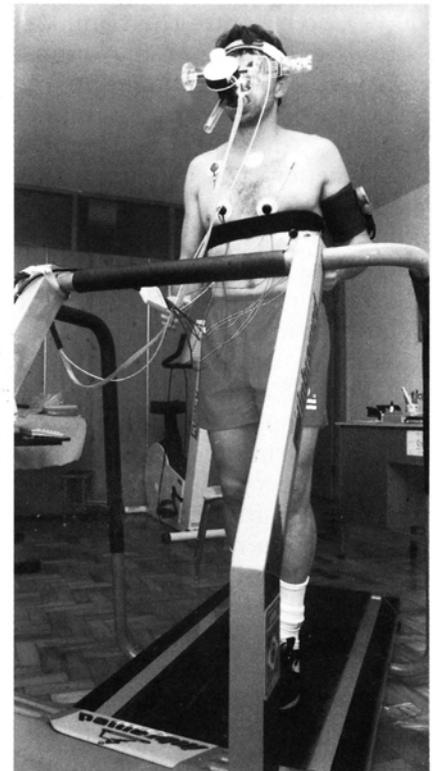


Fig.2 - Visualização gráfica do teste ergoespirométrico computadorizado e a resposta das (Laboratório de Fisiologia do Exercício da Associação Portuguesa de Desportos-SP)

umidade relativa do ar. Sugere-se que elas girem em torno de 22 ± 2°C e 60%, respectivamente. Estudos têm demonstrado que a combinação excessiva de calor e umidade diminui o desempenho do indivíduo. Portanto, a realização do teste em ambiente fresco e seco facilita a troca e/ou perda, dissipando o calor cutâneo provocado pelo exercício (Claremont e cols., 1975; Dimri e cols., 1980; Pivarnik e cols., 1988).

11) As concentrações percentuais dos gases no ar ambiente (room air) são: O₂=20,93%; CO₂=0,03% e o N₂= 79,04% (Branson, 1990).

12) Os equipamentos que devem fazer parte da estrutura de apoio ao laboratório de fisiologia do exercício são os seguintes: 1) meteorológicos (termômetro, barômetro, higrômetro); 2) cardíacos (eletrocardiógrafo e monitores de pressão arterial); 3) tabelas para quantificar cansaço (Borg não linear ou linear); 4) espirômetros (ergoespiômetros ou calorímetros indiretos); 5) ergômetros (esteiras, bicicleta para membros inferiores e superiores); 6) antropométricos (balança, fita métrica, estadiômetro, compasso de dobras, paquímetro); 7) equipamentos de emergência (desfibrilador, soluções e drogas de emergência) e por fim 8) higiene (material de limpeza, desinfetantes, lençóis e toalhas) (Pina e cols., 1995).

13) A monitoração das variáveis em tempo real permite detectar a qualquer momento alterações cardiorrespiratórias incompatíveis com o padrão de normalidade antes, durante e após o teste e/ou problemas técnicos do tipo: vazamento, artefatos, obstrução do sistema e calibração inadequada do equipamento (Branson, 1990).

14) É importante ressaltar que a ansiedade e a expectativa geradas pelo indivíduo antes de iniciar o teste altera o comportamento das variáveis ventilatórias. Portanto, a atitude tranqüilizadora da equipe para com o testado é de fundamental importância, pois permitirá a colaboração e a adaptação mais rápida do indivíduo ao sistema (O'Connor e cols., 1995).

15) Um aspecto de grande importância é a escolha do intervalo de tempo das amostras na análise das variáveis ventilatórias.

Matthews e cols. (1987) demonstraram que a diferença entre intervalos de tempo menores e maiores sobre variáveis ventilatórias podem exercer efeitos significativos sobre a interpretação dos resultados durante exercício progressivo. Em seus achados, eles verificaram uma variação superior a 20% na ventilação pulmonar e no consumo máximo de oxigênio no pico do exercício, quando compararam intervalos de amostras respiração-a-respiração com valores médios de 60 segundos.

Dwyer e cols. (1993), ao comparar as técnicas de respiração-a-respiração *versus* o intervalo de tempo de 30 segundos, verificaram uma diferença de mais de 5% em um de cada cinco indivíduos avaliados.

Silva e cols. (1996), no Laboratório de Fisiologia do Exercício da Associação Portuguesa de Desportos [dados ainda não publicados], estudando sete intervalos de tempo (respiração-a-respiração, 10s, 20s, 30s, 40s, 50s e 60s) em futebolistas profissionais, verificaram que a diferença significativa ($p < 0,05$) entre eles foi observada somente quando comparou-se o intervalo respiração-a-respiração com os demais tempos. Portanto, para que não ocorram dificuldades na interpretação dos resultados, é importante que um mesmo intervalo de tempo seja mantido durante todo o teste, pois a média de cálculo das variáveis pode modificar-se, alterando sensivelmente a resposta quantitativa das variáveis ventilatórias.

16) Para os resultados serem comparados, sugere-se que os testes sejam realizados no mesmo equipamento, pois a utilização de aparelhos não similares pode implicar resultados desiguais, como foi encontrado por Miles e cols. (1994). Eles citaram diversidade entre as variáveis ventilatórias analisadas nos mesmos indivíduos em quatro ergoespirômetros de marcas diferentes, chamando a atenção para uma possível dificuldade de interpretação e comparação entre diversos sistemas.

Conclusão

A ergoespirometria é um método que vem sendo utilizado nos grandes centros cardiológicos e de medicina do esporte no mundo desde a década de 60. No Brasil, os ergoespirômetros começaram a ser utilizados em grande escala, devido à sua grande importância, pois permitem uma verificação mais apurada da resposta integrada dos aparelhos circulatório e respiratório. O enorme volume de informações que oferece, permite ao clínico tomar decisões em sua conduta terapêutica, auxiliando no esclarecimento de alterações metabólicas e/ou respiratórias provocadas por estados patológicos.

No esporte, esse tipo de método de avaliação é fundamental, pois traz significativa contribuição para a verificação de índices de aptidão cardiorrespiratória, como é o caso do $VO_2\text{max}$. e o Limiar Anaeróbio (LA), tão importantes para ajustar com precisão as cargas de treinamento físico, verificando evolutivamente os efeitos do exercício sobre a capacidade funcional do atleta.

Como já foi mencionado, valores como o $VO_2\text{max}$., VO_2 no LA, LA em porcentagem do $VO_2\text{max}$. e mesmo o VO_2 para cargas submáximas de trabalho são índices que podem auxiliar no prognóstico de doenças cardíacas e/ou mesmo direcionar a conduta terapêutica a ser seguida pelo clínico. Muitos médicos utilizam a ergoespirometria como teste para a verificação dos efeitos agudos e/ou crônicos da ação de drogas prescritas.

As pesquisas nessa área se ampliam e as atenções dos profissionais especializados deverão voltar-se cada vez mais para a utilização da ergoespirometria, pois é uma metodologia de fácil manuseio não invasiva.

É um método que vem sendo consagrado, por abordar, de maneira completa, a interação de vários parâmetros que podem ser canalizados para diversas áreas em que o exercício físico é utilizado como um meio de estudo das respostas fisiológicas em homens e animais.

Referências Bibliográficas

- ADNOT, S.; RADERMACHER, P.; ANDRIVET, P. - Effects of sodium-nitroprusside and urapidil on gas exchange and ventilation-perfusion relationships in patients with congestive heart failure. *Eur. Resp. J.*, **4**: 69-75, 1991.
- ASTRAND, P. O.; RODAHL, K. - *Textbook of work physiology* 3. ed. New York, Mc Graw-Hill, 1986.
- AUNOLA, S.; RUSKO, H. - Reproducibility of aerobic and anaerobic thresholds in 20 -50 year old men. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **53**: 260-6, 1984.
- BEAVER, W.L.; WASSERMAN, K.; WHIPP, B.J. - A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.*, **60**: 2020-27, 1986.
- BECKER, D.M.; VACCARO, P. - Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in young children. *J. Sports Med.*, **23**: 445-49, 1983.
- BHAMBHANI, Y.; SINGH, M. VENTILATORY - thresholds during a graded exercise test. *Respiration*, **47**: 120-28, 1985.
- BISCHOFF, M.M.; DUFFIN, J. - An aid to the determination of the ventilatory threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **71**: 65-70, 1995.
- BLUMBERG, A.; KELLER, G. - Oxygen consumption during maintenance hemodialysis. *Nephron*, **23**: 276-78, 1979.
- BOUCHARD, C.; LORTIE, G. - Heredity and endurance performance. *Sports Med.*, **1**: 38-64, 1984.
- BOUCHARD, C.; LESAGE, R.; LORTIE, G. - Aerobic performance in brothers, dizygotic and monozygotic twins. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **18**: 639-46, 1986.
- BOUCHER, C.A.; ANDERSEN, M.D.; SCHNEIDER, M.S.; MURPHY, J.H.; OKADA, R.D.; KANAREK, D.J. - Left ventricular function before and after reaching the anaerobic threshold. *Chest*, **87**(2): 145-50, 1985.
- BRANSON, R.D. - The measurement of energy expenditure: instrumentation, practical considerations and clinical application. *Respir. Care*, **35**(7): 640-56, 1990.
- BRAUNWALD, E. - *Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine*. 4. ed. Philadelphia, W. B. Saunders, 1992.
- CAIOZZO, V.J.; DAVIS, J.A.; ELLIS, J.F. - A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol.*, **53**(5): 1184-89, 1982.
- CAMPBELL, S.M.; KUDSK, K.A. - High-Tech metabolic measurements: Useful in daily practice? *JPEN*, **6**: 610-12, 1988.

16. CLAREMONT, A.D.; NAGLE, F.; REDDAN, W.D. - Comparison of metabolic, temperature, heart rate and ventilatory responses to exercise at extreme ambient temperatures (0° and 35°). **Med. Sci. Sports**, **7**: 150-54, 1975.
17. CUMMING, G.R.; BORYSYK, L.M. - Criteria for maximum oxygen uptake in men over 40 in a population survey. **Med. Sci. Sports**, **14**: 18-22, 1972.
18. CUNNINGHAM, D.A.; VAN WATERSCHOOT, B.M.; PATERSON, D.H.; LEFCOE, M.; SANGAL, S.P. - Reliability and reproducibility of maximal oxygen uptake measurement in children. **Med. Sci. Sports**, **9**: 104-108, 1977.
19. DANEK, S.J.; LYNCH, J.P.; WEG, J.G.; DANTZKER, D.R. - The dependence of oxygen uptake on oxygen delivery in adult respiratory distress syndrome. **Am. Rev. Respir. Dis.**, **122**: 387-95, 1980.
20. DAVIS, H.A.; GASS, G.C. - The anaerobic threshold as determined before and during lactic acidosis. **Eur. J. Appl. Physiol.** **47**: 141-49, 1981.
21. DAVIS, J.A.; CAIOZZO, V.J.; LAMARRA, N. - Does the gas exchange anaerobic threshold occur at a fixed blood lactate concentration of 2 or 4 mM? **Int. J. Sports Med.**, **4**(2): 89-93, 1983.
22. DAVIS, J.A.; FRANK, M.A.; WHIPP, B.J. - Anaerobic Threshold alterations caused by endurance training in middle aged men. **J. Appl. Physiol.**, **46**: 1039-46, 1979.
23. DAVIS, J.A.; VODAK, P.; WILMORE, J.H. - Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. **J. Appl. Physiol.** **41**(4): 544-50, 1976.
24. DENIS, C.; DOZMOIS, D.; LACOUR, J.R. - Endurance training, $\dot{V}O_{2max}$, and OBLA: a longitudinal study of two different groups. **Int. J. Sports Med.**, **5**: 167-73, 1984.
25. DIMIRI, G.P.; MALHOTRA, M.S.; SEM GUPTA, J. - Alterations in aerobic-anaerobic proportions of metabolism during work in heat. **Eur. J. Appl. Physiol.**, **45**(1): 43-50, 1980.
26. DWYER, J. AND BYBEE, R. - Heart rate indices of the anaerobic threshold. **Med. Science Sports Exerc.**, **15**(1): 72-76, 1983.
27. ERIKSSON, B.O. - Physiological analysis of young boys starting intensive training in swimming. In: ERIKSSON, B.O.; FUBERG, B. (eds.). **Swimming medicine IV**. Baltimore: University Park Press, 1978.
28. FREEDSON, P.; KLINE, G.; PORCARI, J.; HINTERMEISTER, R.; MC CARRON, R.; ROSS, J.; WARD, A.; GURRY, M.; RIPPE, J. - Criteria for defining $\dot{V}O_{2max}$: A new approach to an old problem. **Med. Sci. Sports Exerc.**, **18**: S36, 1986.
29. FAIRSHTER, R.D.; WALTERS, J.; SALNESS, K. A. - Comparison of incremental exercise tests during cycle and treadmill ergometry. **Med. Science Sports Exerc.**, **15**(6): 549-54, 1983.
30. FIELD, S.; KELLY, S. M.; MACKLEM, P.T. - The oxygen cost of breathing in patients with cardiorespiratory disease. **Am. Rev. Respir. Dis.**, **126**: 9-13, 1981.
31. FOSTER, V.L.; HUME, G. J.E.; DICKISON, A.L. - The reproducibility of $\dot{V}O_{2max}$, ventilatory and lactate thresholds in elderly women. **Med. Science Sports Exerc.**, **18**(4): 425-30, 1986.
32. GAESSER, G. A.; POOLE, D. C.; GARDNER, B. P. - Dissociation between $\dot{V}O_{2max}$ and ventilatory threshold responses to endurance training. **Eur. J. Appl. Physiol.**, **53**: 242-47, 1984.
33. GIBBONS, E.; JESSUP, G.T.; WELLS, T.D.: Effects of various training intensity levels on anaerobic threshold and aerobic capacity in females. **J. Sports Med.**, **23**: 315-18, 1983.
34. GLEIM, G. W.; ZEBATIKIS, P.M.; DEPASQUALE, E.; NICHOLAS, J. - Plasma osmolality, volume, and renin activity, at the anaerobic threshold. **J. Appl. Physiol.**, **56**: 57-63, 1984.
35. GOLDEN, H. P. AND VACCARO, P. - The effects of endurance training intensity on anaerobic threshold. **J. Sports Med.**, **24**: 205-11, 1984.
36. GOMES, P. S. C. - Effects of continuous and intermittent training on body composition and selected physiological parameters. A Thesis for the degree of doctor of philosophy. The University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada, 1989.
37. GOODMAN, J.M.; PLYLEY, M.J.; LEFKOWITZ, C.A.; LIU, P.P.; MC LAUGHLIN, P.R. - Left ventricular functional response to moderate and intense exercise. **Can. J. Spt. Sci.**, **16**(3): 204-9, 1991.
38. HANSEN, J. E. ; SUE, D. Y.; WASSERMAN, K. - Predicted values for clinical exercise testing. **Am. Rev. Respir. Dis.**, **129** (Suppl.): S49-S55, 1984.
39. HIATT, W. R.; NAWAZ, D.; REGENSTEINER, J. G.; HASSACK, K. F.: The evaluation of exercise performance in patients with peripheral vascular disease. **J. Cardiopulm. Rehabil.**, **12**: 525-32, 1988.
40. HIATT, W.R.; REGENSTEINER, J.G.; HARGARTEN, M.E.; WOLFEL, E. E.; BRASS, E. P. - Benefit of exercise conditioning for patients with peripheral arterial disease. **Circulation**, **81**: 602-09, 1990.
41. HUGHES, E. F.; TURNNER, S. C.; BROOKS, G.A. - Effects of glycogen depletion and pedaling speed on an anaerobic threshold. **J. Appl. Physiol.**, **52**(6): 1598-1607, 1982.
42. JONES, N. L. - **Clinical exercise testing**. 3 ed. Philadelphia: WB Saunders, 1988.
43. KINDERMANN, W.G.; SIMON, G.; KEUL, J. - The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of workload intensities during endurance training. **Eur. J. Appl. Physiol.**, **42**(1): 25-34, 1979.
44. KUMAGAI, S.; TANAKA, K.; MATSUURA, Y.; MATUZAKA, A.; HIRAKOBA, K.; ASANO, K.: Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10 km and 10 km mile races. **Eur. J. Appl. Physiol.**, **49**: 13-23, 1982.
45. LEHNIAN, M.; KEUL, J.; DE PRADA, M. - Plasma catecholamines in trained and untrained volunteers during graduated exercise. **Int. J. Sports Med.**, **2**: 143-47, 1985.
46. LEWIS, W. D.; CHWALS, W.; BENOTTI, P.N. - Bedside assessment of the work of breathing. **Crit. Care Med.**, **16**: 117-22, 1988.
47. MAC DOUGAL, J.D.: The anaerobic threshold: its significance for the endurance athlete. **Can. J. Appl. Sports Sci.**, **2**: 137-40, 1977.
48. MARZO, K. P.; WILSON, J.R.; MANCINI, D. M. - Effects of cardiac transplantation on ventilatory response to exercise. **Am. J. Cardiol.**, **69**: 547-53, 1992.
49. MELLEROWICK, H. **Ergometria**. (s.l.), (s.n.), 1985.
50. MICKELSON, T.G. AND HAGERMAN, F.C. - Anaerobic threshold measurements of elite oarsmen. **Med. Science Sports Exerc.**, **14**(6): 440-44, 1982.
51. MILES, D.S.; COX, M. H.; VERDE, T. J. - Four commonly utilized metabolic systems fail to produce similar results during submaximal and maximal exercise. **Sports Med. Training and Rehabil.**, **5**: 189-98, 1994.
52. MYERS, J.; SALLEH, A.; BUCHANAN, N.: - Ventilatory mechanisms of exercise intolerance of chronic heart failure. **Am. Heart J.**, **124**: 710-719, 1992.
53. NORMANDI, E. A.; CAMIONE, D. N.; CLARK III, B.A.; MARESH, C. M; OWEN, S.V. - A comparison of conventional versus anaerobic threshold exercise prescription methods in subjects with left ventricular dysfunction. **J. Cardiopulm. Rehabil.**, **13**: 110-16, 1993.
54. O'CONNOR, P. J.; PETRUZZELLO, S. J.; KUBITZ, K. A. - Anxiety responses to maximal exercise testing. **Br. J. Sp. Med.**, **29**(2): 97-102, 1995.
55. ORR, G. W.; GREEN, H. J.; HUGHSON, R. L. - A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold. **J. Appl. Physiol.**, **52**(5): 1349-352, 1982.
56. PINA, I.L.; BALADY, G. J.; HANSON, P. - Guidelines for clinical exercise testing laboratories. A statement for healthcare professionals from the Committee on exercise and cardiac rehabilitation, American Heart Association (AHA). **Circulation**, **91**(3): 912-21, 1995.
57. PIVARNIK, J. M.; GRAFNER, T. R.; ELKENS, E.S. - Metabolic, thermoregulation and psychophysiological responses during arm and leg exercise. **Med. Sci. Sports Exerc.**, **20**: 1-5, 1988.
58. POOLE, D. C.; GAESSER, G. A. - Response ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. **J. Appl. Physiol.**, **58**(4): 1115-121, 1985.
59. READY, A. E. AND QUINNEY, A. - Alterations in anaerobic threshold as a result of endurance training and detraining. **Med. Sci. Sports Exerc.**, **14**: 292-96, 1982.
60. REINHARD, U.; MULLER, P. H.; SCHMULLING, R. M. - Determination of anaerobic threshold by the ventilation

- equivalent in normal individuals. *Respiration*, **38**: 36-42, 1979.
61. REYBROUCK, T.; WEYMANS, M.; STIJNS, H. - Ventilatory anaerobic threshold in healthy children. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **54**: 278-84, 1985.
 62. RHODES, E. C.; MCKENZIE, D. C. - Predicting marathon time from anaerobic threshold measurements. *The Physician Sports Med.*, **12**(1): 95-98, 1984.
 63. RUSKO, H.; RAHKILA, P.; KARVINEN, E. - Anaerobic threshold, skeletal muscle enzymes and fiber composition in young female cross-country skiers. *Acta Physiol. Scand.*, **108**: 263-68, 1980.
 64. SHIMIZU, M.; MYERS, J.; BUCHANAN, N.; WALSH, D.; KRAEMER, M.; MC AULEY, P. - The ventilatory threshold: Method, protocol and evaluator agreement. *Am. Heart J.*, **122**: 509-16, 1991.
 65. SHEPARD, R. J. - *Frontiers of Fitness*. Springfield: Charles C. Thomas, 1971.
 66. SKINNER, J. S.; MCLELLAN, T. M. - The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res. Q. Exerc. Sport.*, **51** (1): 234-48, 1980.
 67. SMITH, E. E.; GUYTON, A. C.; MANNING, R. D.; WHITE, R. J. - Integrated mechanisms of cardiovascular response and control during exercise in the normal human. *Prog. n Card. Dis.* **18**(6): 421-43, 1976.
 68. SMITH, K.; COOK, D.; GUYATT, G. H. - Respiratory muscle training in chronic airflow limitation: a meta-analysis. *Am. Rev. Resp. Dis.*, **145**: 533-39, 1992.
 69. SUE, D. Y. - Integrative cardiopulmonary exercise testing: Basis and application. *Med. Exerc. Nutr. Health.*, **3**: 32-55, 1994.
 70. SUE, D. Y.; WASSERMAN, K.; MORICCA, R. B.; CASABURI, R.; Metabolic acidosis during exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest*, **94**: 931-38, 1988.
 71. SZLACHCIC, J.; MASSIE, B. M.; KRAMER, B. L.; TOPIC, N.; TUBAU, J. - Correlates and prognostic implication of exercise capacity in chronic congestive heart failure. *Am. J. Cardiol.*, **55**: 1037-42, 1985.
 72. TAYLOR, H. L.; BUSKIRK, E.; HENSCHEL, A. - Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J. Appl. Physiol.*, **8**: 73-80, 1955.
 73. TANAKA, K.; WATANABE, H.; KONISHI, Y.; MITSUZONO, R.; TANAKA, S.; FUKUDA, T.; NAKADOMO, F. - Longitudinal associations between anaerobic threshold and distance running performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **55**: 248-52, 1986.
 74. WASSERMAN, K. - New concepts in assessing cardiovascular function. *Circulation*, **72**: 811-20, 1988.
 75. WASSERMAN, K.; MCILROY, M. B. - Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am. J. Cardiol.*, **14**: 844-52, 1964.
 76. WASSERMAN, K.; HANSEN, J. E.; SUE, D. Y.; WHIPP, B. J. - *Principles of Exercise Testing and Interpretation*. Philadelphia, Lea & Febiger, 1987.
 77. WASSERMAN, K.; WHIPP, B. J.; KOYAL, S. N. - Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.*, **35**: 236-43, 1973.
 78. WEBER, K. T.; JANICKI, J. S. - Cardiopulmonary exercise testing for evaluation of chronic cardiac heart failure. *Am. J. Cardiol.*, **55**: 22A-31A, 1985.
 79. WEBER, K. T.; JANICKI, J. S.; MC ILROY, P. A.; READDY, H. K. - Concepts and applications of cardiopulmonary exercise testing. *Chest*, **93**: 843-47, 1988.
 80. WEBER, K. T.; JANICKI, J. S., eds. *Cardiopulmonary exercise testing: physiological principles and clinical applications*. Philadelphia: WB Saunders, 1986.
 81. WEISMANN, C.; DAMASK, M. C.; ASKANAZI, J.; ROSENBAUM, S. H.; KINNEY, J. M. - Evaluation of a non-invasive method for the measurement of metabolic rate in humans. *Clin. Sci.*, **69**: 135-41, 1985.
 82. WELTMAN, A. AND KATCH, V. L. - Relationship between the onset of metabolic acidosis (anaerobic threshold) and maximal oxygen uptake. *J. Sports Med.*, **19**: 135-42, 1979.
 83. WENGER, H. Á.; BELL, G. T. - The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Medicine*, **3**: 346-56, 1986.
 84. WILMORE, J. H.; COSTILL, D. L. - *Physiology of Sport and Exercise 4e*. 1a. ed. Chanpaing: Human Kinetics, 1994.
 85. WILSON, D. O.; ROGERS, R. M.; OPENBRIER, R. N. - Nutritional aspects of chronic obstructive pulmonary disease. *Clin. Chest Med.*, **7**: 643-56, 1986.
 86. WRIGHT, R. S.; LEVINE, M. S.; BELLAMY, P. E. - Ventilatory and diffusion abnormalities in potential heart transplant recipients. *Chest*, **98**: 816-20, 1990.
 87. YAZBEK JR, P.; CAMARGO JR, P. A.; KEDOR, H. H.; SARAIVA, J. F.; SERRO-AZUL, L. G. - Aspectos propedêuticos no uso da ergoespirometria. *Arq. Bras. Cardiol.* **44**(4): 291-95, 1985.
 88. YAZBEK J. R. P.; BATTISTELLA, L. R. - *Condicionamento Físico do Atleta ao Transplantado - Aspectos Multidisciplinares na Prevenção e Reabilitação Cardíaca* - São Paulo, Ed. Sarvier/ Associação Paulista de Medicina, 1994.