

ALBERTO GALVÃO DE MOURA FILHO

**LIMIARES VENTILATÓRIOS EM HOMENS JOVENS
COM PESO NORMAL E COM BAIXO PESO**

RECIFE
2003

ALBERTO GALVÃO DE MOURA FILHO

**LIMIARES VENTILATÓRIOS EM HOMENS JOVENS
COM PESO NORMAL E COM BAIXO PESO**

Tese que apresenta ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Nutrição.

ORIENTADORA: Prof^a. NAÍDE REGUEIRA TEODÓSIO
CO-ORIENTADOR: Prof. JOSÉ AUDÍSIO COSTA

RECIFE
2003

Aos meus pais: Alberto e Maria do Carmo

Aos meus filhos: Ana Gabriela, Alberto e Eduardo

Às minhas irmãs: Ana Dulce e Ângela Maria

À minha companheira: Eliane

AGRADECIMENTOS

Profª. Drª Naíde Regueira Teodósio, pelo privilégio de receber sua orientação neste trabalho;

Prof. Dr. José Audísio Costa, Co-orientador sempre disponível e interessado;

Profª. Drª Tânia Lúcia Montenegro Stanford, Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Nutrição, pela costumeira atenção;

Profª. Glória Elizabeth Carneiro Laurentino, Departamento de Fisioterapia, pela ajuda na montagem e organização do Laboratório de Cinesiologia e Avaliação Funcional;

Profª. Drª Maria Cristina Raposo, Departamento de Estatística, pela ajuda concedida na análise estatística;

Profª. Drª Arméle Dornelas de Andrade, Departamento de Fisioterapia, pelo apoio na aquisição dos kits para realização dos exames de sangue;

Prof. Dr. Milton Marcelino Filho, Departamento de Biofísica e Radiologia, pela orientação técnica e colaboração na manutenção dos equipamentos eletrônicos;

Drª Norma Maria Alves Marcelino, do Laboratório de Análises Clínicas do Hospital das Clínicas da UFPE, pela presteza na realização dos exames de sangue dos voluntários;

Profª. Ângela Maria Saraiva de Moura, Departamento de Ciência da Informação, pela ajuda na organização bibliográfica do trabalho;

Profª. Emília Aureliano de Alencar Monteiro, Departamento de Nutrição, colega atenciosa e preocupada em me deixar sempre informado das notícias do doutorado;

Srª Neci Maria Santos do Nascimento, Secretária do Programa de Pós-Graduação em Nutrição, pela maneira correta e gentil em atender nossas solicitações;

Drª Ana Teresa Almeida Alcântara, pela ajuda na realização dos testes de exercício;

Dr. Daniel José V. G. Manso, pela realização do trabalho piloto de antropometria;

Ao Serviço de Fisioterapia do Hospital das Clínicas da UFPE, pela cessão do espirômetro;

Aos voluntários que participaram deste estudo e a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para tornar possível este trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de homens jovens com baixo peso em teste cardiopulmonar de exercício, para determinar os limiares ventilatórios, a capacidade aeróbia e verificar a existência de diferenças funcionais relacionadas à composição corporal. Foram estudados 40 homens, com idade entre 19 e 27 anos, hígidos, não fumantes e não atletas, distribuídos em dois grupos pelo Índice de Massa Corporal – IMC: controle (n=20, IMC 18,5 – 24,99 kg/m²) e baixo peso (n=20, IMC<18,5 kg/m²). Após avaliação da composição corporal, capacidade pulmonar e exames de sangue, os voluntários aptos realizaram o teste cardiopulmonar de exercício em esteira, de acordo com o protocolo de Bruce. Os dados foram registrados a cada 20 segundos e os resultados encontrados no primeiro limiar ventilatório (lv₁), segundo limiar ventilatório (lv₂), no pico do exercício (pico) e segundo minuto da recuperação (rec) foram utilizados para análise estatística. Na análise estatística foram utilizados os testes “t” de Student e Mann Whitney e a Correlação Linear de Pearson, sendo $p \leq 0,05$ o limite de significância. As dimensões corporais do grupo controle foram maiores que as do baixo peso, com exceção da estatura. O grupo controle apresentou maior consumo de Cal/min no lv₁, maior pulso do oxigênio no lv₂ e maior consumo total de gorduras ao final do teste. O grupo baixo peso apresentou maior consumo relativo de oxigênio (corrigido pelo peso total e peso magro) no pico do exercício, provavelmente devido a uma maior extração de oxigênio pelas fibras musculares ativas. Adaptações fisiológicas associadas a sua menor massa muscular parecem acentuar o metabolismo oxidativo. Com a utilização dos limiares ventilatórios como índices de verificação do esforço, a frequência cardíaca não mostrou diferença em nenhum estágio do teste.

UNITERMOS: Limiares ventilatórios; Capacidade aeróbia; Baixo peso; Teste cardiopulmonar de exercício; Homens jovens.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the performance of young underweight men during cardiopulmonary exercise test, to determine the ventilatory thresholds, aerobic capacity and to verify functional differences related with body composition. Forty men, age ranged 19 to 27 years, healthy, non-smoking and non-athletes, classified by body mass index-BMI were distributed in two groups: underweight ($n=20$, $IMC < 18,5 \text{ kg/m}^2$) and control ($n=20$, $IMC 18,5 - 24,99 \text{ kg/m}^2$). After the evaluations of body composition, lung capacity and blood exams, the volunteers submit a cardiopulmonary exercise test in treadmill, according Bruce's protocol. The data were recorded on each 20 seconds and the results founded in the ventilatory thresholds (lv_1 , lv_2), in the peak and in the 2nd minute of the recovery phase used for analysis. Statistical analyses were performed for Pearson Correlation, Student's "t" and Mann Whitney tests, with level of significance $p \leq 0,05$. In exception of the height, the control group showed higher corporal dimensions than underweight group. The control group showed higher caloric consumption (Cal/min) in lv_1 , higher oxygen pulse in lv_2 and higher total fat consumption after stopped testing. In the peak, underweight group showed higher oxygen relative consumption, probably due to increased oxygen uptake in active muscle fibers. Results suggest that physiological adaptations related with low muscle mass founding in underweight men enhanced their aerobic metabolism. With the use of ventilatory thresholds as stress index, cardiac frequency didn't present significant differences in all levels of the exercise test.

KEYWORDS: Ventilatory thresholds; Aerobic capacity; Underweight; Cardiopulmonary exercise test; Young men.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATP = adenosina trifosfato

ASC = área de superfície corporal

a – v O₂ = diferença artério - venosa de oxigênio

bpm = batimento por minuto

bp = baixo peso

BORG = escala de esforço percebido

BTPS = condições corporais de temperatura, pressão atmosférica, saturado

c = controle

cal/min = quilocalorias por minuto

CAL_{tot} = quilocalorias totais

cm = centímetro

CH_{tot} = carboidratos totais

CO₂ = dióxido de carbono

CVF = capacidade vital forçada

CPT = capacidade pulmonar total

FC = frequência cardíaca

FeCO₂ = fração expirada de dióxido de carbono

FeO₂ = fração expirada de oxigênio

%G = percentual de gordura

GOR_{tot} = gordura total

g/mm² = grama por milímetro quadrado

HDL = lipoproteína de alta densidade

IMC = índice de massa corporal

kcal = quilocaloria

kg = quilograma

kJ = quilojoule

kg/m² = quilograma por metro quadrado

kcal/min = quilocalorias por minuto

LAT = latência

L/min, l/min = litros por minuto

lv₁ = primeiro limiar ventilatório

lv₂ = segundo limiar ventilatório

m² = metro quadrado

MET = equivalente metabólico

mmHg = milímetros de mercúrio

ml/min = mililitros por minuto

mlO₂/b = mililitros de oxigênio por batimento cardíaco

mlO₂/kg/min = mililitros de oxigênio por quilo de peso corporal por minuto

mlO₂/kgPM/min = mililitros de oxigênio por quilo de peso corporal magro por minuto

MVO₂ = consumo de oxigênio pelo miocárdio

O₂ = oxigênio

PG = peso da gordura

PM = peso corporal magro

PT = peso corporal total

pH = produto hidrogênio iônico

PCO₂ = pressão de dióxido de carbono

PO₂ = pressão de oxigênio

PvO₂ = pressão venosa de oxigênio

PWC 170 = capacidade para realizar trabalho físico com frequência cardíaca de 170 batimentos por minuto

pico = momento de esforço mais elevado do exercício

R = razão de troca ventilatória

rec = fase de recuperação

SGA = síndrome geral de adaptação

STPD = condições padrão de temperatura (0° C) e pressão atmosférica (760 mmHg), ar seco.

T80 = tempo máximo para realizar trabalho físico continuado com carga equivalente a 80% do consumo máximo de oxigênio.

VE = ventilação minuto

VE/VCO₂ = equivalente ventilatório de dióxido de carbono

VE/VO₂ = equivalente ventilatório de oxigênio

VCO₂ = produção de dióxido de carbono

VO₂ = consumo de oxigênio

VO_{2max} = consumo máximo de oxigênio

VO_{2pico} = consumo de oxigênio no pico do exercício

VO₂/FC = pulso de oxigênio

VVM = ventilação voluntária máxima

W = watts

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 O OXIGÊNIO: NUTRIENTE ESSENCIAL	14
1.2 CAPACIDADE PARA REALIZAR TRABALHO FÍSICO	16
1.2.1 Influência da carga de trabalho	17
1.2.2 Influência da massa muscular	19
1.2.3 Ajustes cardiovasculares	24
1.2.4 Ajustes respiratórios	27
1.2.5 Ajustes neuromusculares	29
1.3 LIMIARES VENTILATÓRIOS	32
2 OBJETIVOS	36
2.1 OBJETIVO GERAL	36
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	36
3 MÉTODOS	37
3.1 AMOSTRA	37
3.2 ÉTICA	37
3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	37
3.3.1 Exames de sangue	37
3.3.2 Antropometria e composição corporal	38
3.3.3 Capacidade funcional pulmonar	39
3.3.4 Teste cardiopulmonar de exercício	39

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	41
4 CAPACIDADE AERÓBIA EM HOMENS JOVENS COM BAIXO PESO	42
5 LIMIARES VENTILATÓRIOS EM HOMENS JOVENS COM BAIXO PESO	62
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
REFERÊNCIAS	93
ANEXO A - Instruções para os autores da Revista Anais da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pernambuco.	99
ANEXO B - Aprovação do Protocolo de Pesquisa pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Pernambuco.	101
ANEXO C - Índice/Contents do volume 47, número 2, 2002 da Revista Anais da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pernambuco.	106
ANEXO D - Declaração de submissão do artigo "Limiares ventilatórios em homens jovens com baixo peso".	108

1 INTRODUÇÃO

A idéia para realização deste estudo surgiu da constatação de que os trabalhos publicados na literatura científica, relacionando a capacidade para realizar trabalho físico em indivíduos com baixo peso para a estatura, mostravam resultados obtidos em condições experimentais associadas a diferentes fatores, como: faixas etárias, testes de exercício submáximos, cargas de trabalho fixas e uso da frequência cardíaca para aferir e comparar a resposta fisiológica de indivíduos com dimensões corporais distintas.

Em conjunto, estes fatores podem ter contribuído para mostrar detrimento da capacidade física dos portadores de baixo peso, considerados desnutridos através de avaliação antropométrica, por alguns autores.

Daí a necessidade de investigar se os resultados encontrados em indivíduos com baixo peso foram consequência de suas dimensões corporais, do estado nutricional ou das condições experimentais utilizadas. Como estratégia para limitar a interferência destes fatores, foram estudadas as respostas fisiológicas ao exercício físico progressivo em homens jovens, hígidos, não fumantes e não atletas, utilizando o método dos limiares ventilatórios, considerado mais sensível para determinar o nível de esforço individual.

A apresentação escrita do trabalho, composto de seis partes, segue as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O protocolo experimental foi apresentado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e os resultados do estudo estão apresentados nas partes 4 e 5, na forma de dois artigos científicos, que seguem as normas da revista onde foram publicados e a orientação do Programa de Pós-Graduação em Nutrição da UFPE (ANEXO A).

1.1 O OXIGÊNIO: NUTRIENTE ESSENCIAL

Há aproximadamente três bilhões de anos atrás, é provável que o oxigênio existisse apenas na forma de óxidos (JENKINS, 2000). A fotossíntese foi desenvolvida pelas algas azuis a partir da substância celular clorofila e o oxigênio liberado neste processo era uma ameaça letal aos outros organismos vivos de então (JENKINS, 2000; HAAF, 1979). Em seguida, o oxigênio se combinou com diferentes elementos químicos e após este processo de oxidação encontrou como reservatório ideal à atmosfera, onde se acumulou até chegar aos dias atuais representando cerca de 20,93% da composição do ar atmosférico (JENKINS, 2000; HAAF, 1979; LEAKEY; LEWIN, 1982).

Esta atmosfera oxigenada alterou para sempre as condições ambientais do planeta, possibilitando o aparecimento das diferentes formas de vida que se desenvolveram na água e em terra firme, sob a proteção do filtro de ozônio (HAAF, 1979; LEAKEY; LEWIN, 1982, FONSECA, 1982).

Quando os primeiros seres unicelulares passaram a utilizar oxigênio em seu metabolismo, todo o processo de captação e transporte ocorria diretamente através da membrana celular, por difusão. Com a evolução gerando seres pluricelulares, cada vez maiores e mais complexos, o processo de difusão simples já não atendia as novas demandas energéticas (HAAF, 1979; LEAKEY; LEWIN, 1982; FONSECA, 1982).

As dimensões corporais aumentadas criaram vários problemas para a oxigenação tecidual e obrigou os animais de maior porte, como o Homem, a desenvolverem várias adaptações anatômicas e funcionais (COMROE, 1977). Para assegurar a manutenção de uma adequada pressão de oxigênio nas proximidades das células em atividade, diversos sistemas fisiológicos se desenvolveram (HAAF, 1979; LEAKEY; LEWIN, 1982; FONSECA, 1982).

“Rigorosamente falando, o oxigênio é um nutrimento. Mas não é estudado em Nutrição” (COUTINHO, 1981). Atualmente esta visão vem se modificando e o oxigênio é

considerado um nutriente essencial e como tal pode apresentar problemas ao ser ofertado em quantidades inferiores (subnutrição) ou superiores (supernutrição) às necessidades do organismo (JENKINS, 2000).

O equilíbrio entre a oferta e a demanda de oxigênio depende do metabolismo do indivíduo. O organismo humano não consegue suportar grandes variações e não pode ficar mais do que alguns minutos com sua oferta diminuída a níveis críticos, pois diferentemente de outros nutrientes essenciais, esta situação é incompatível com a vida (COMROE, 1977; LEFF; SHUMAKER, 1996).

Para observar os efeitos da oferta de oxigênio aos tecidos, o exercício físico se constitui em excelente modelo, pois é capaz de aumentar em até 20 vezes o nível do metabolismo basal (JENKINS, 2000; SALTIN, 1987). Esta enorme variabilidade metabólica exige complexos ajustes cardiovasculares, respiratórios e neuromusculares, que têm como objetivo final, atingir o aporte de sangue suficiente para garantir uma oferta de oxigênio compatível com a atividade dos tecidos (ASTRAND; RODAHL, 1980; SALTIN, 1987).

A hipóxia, provavelmente sinalizada por todas as células, é crucial para deflagrar as respostas moduladoras da atividade celular (GREGG, 2000).

A capacidade máxima do organismo para captar, transportar e extrair o oxigênio ou VO_{2max} , dentro de um determinado tempo, representa sua potência aeróbia máxima que é uma condição fundamental para a realização de trabalho físico (ASTRAND; RYHMING, 1954). A adaptação dos sistemas fisiológicos a um determinado nível de esforço, especialmente do tecido muscular esquelético, que é responsável pela resposta motora às necessidades da vida de relação do indivíduo, possibilita aumentar os valores do VO_{2max} (SALTIN, 1987) e protege o tecido da ação nociva dos resíduos metabólicos (ASTRAND, 1992b; WASSERMAN, 1967).

A história humana desde a idade da pedra até os dias atuais passa por períodos distintos de duração cada vez menor. De caçador nas savanas, onde era submetido à intensa e constante atividade física diária, o comportamento motor do ser humano foi aos poucos sendo alterado pelas constantes modificações de seu padrão de vida, decorrentes da inclusão dos avanços conseguidos na sua racionalidade e organização social. Isto o transformou progressivamente em um indivíduo de hábitos sedentários (LEAKEY; LEWIN, 1982).

A partir do século XIX, o trabalho físico intenso vem sendo progressivamente substituído pelas máquinas e restringindo ainda mais agudamente a atividade física do Homem. A velocidade em que ocorreram estas mudanças não permitiu, ainda, a adequação dos sistemas fisiológicos à nova situação criada, sendo provável que a recente epidemia de obesidade seja um dos exemplos da falta de atividade física como agente estressor natural para o desencadeamento das respostas fisiológicas necessárias à manutenção da homeostase (ASTRAND, 1993).

Desta maneira, o oxigênio que é essencial para a vida da maioria dos seres vivos contemporâneos, se ofertado em quantidades insuficientes ou que excedam sua capacidade de utilização ao nível celular, pode ser também perigoso para sua existência e a situação paradoxal encontrada nos primeiros tempos continua a existir (JENKINS, 2000).

1.2 CAPACIDADE PARA REALIZAR TRABALHO FÍSICO

A capacidade individual para realizar trabalho físico depende da interação de inúmeros fatores. A natureza da carga de trabalho e o nível de estresse que é imposto pela atividade e suas repercussões sobre os sistemas fisiológicos submetidos ao exercício são de interesse fundamental (ASTRAND; RODAHL, 1980).

O fator que tenta romper a homeostase orgânica representa um agente de agressão ou desequilíbrio que solicita do organismo um forte esforço de adaptação. Este estado de esforço

ou adaptação se chama estresse (GUYTON, 1997; TEPPERMAN, 1977). O fator estressor pode ser de várias naturezas e quando sua ação se prolonga por tempo suficiente, desenvolve a Síndrome Geral de Adaptação - SGA, na qual podem ser identificadas três fases: alarme, resistência e esgotamento (SELYE, 1970).

O exercício físico é um exemplo típico de estresse e como agente estressor natural pode desencadear, na dependência de sua intensidade e duração, todas as fases descritas na SGA, determinando uma série de respostas, temporalmente distintas, dos diversos sistemas fisiológicos integrados na sua realização (ALFIERI; DUARTE, 1993).

As respostas fisiológicas ao exercício físico se relacionam com a utilização de energia e a captação de oxigênio. Para cada litro de oxigênio consumido, serão liberados cerca de 20 kj, variando de 19,7 a 21,2 kj, ou 5 kcal, variando de 4,7 a 5,05 kcal. Por conseguinte, quanto maior a captação de oxigênio, maior será a produção de energia e a capacidade de realizar trabalho (ASTRAND; RODAHL, 1980).

1.2.1 Influência da carga de trabalho

A intensidade da carga e a duração do trabalho influem diretamente na captação de oxigênio correspondente às necessidades dos tecidos. No início de um exercício submáximo, com carga estável, a captação de oxigênio aumenta durante os primeiros minutos do exercício até um estado de equilíbrio, no qual a captação corresponde às necessidades dos tecidos e o metabolismo é predominantemente aeróbio. Quando o exercício acaba, a captação de oxigênio diminui paulatinamente até o nível de repouso e a dívida de oxigênio é paga (ASTRAND; RODAHL, 1980; FOSS; KETEYIAN, 2000).

O aumento lento na captação de oxigênio no início do exercício é explicado pela velocidade de ajuste da respiração e da circulação, que integram o sistema transportador de oxigênio para o trabalho. Ao ser atingido o equilíbrio, ocorre adaptação do débito cardíaco, da

frequência cardíaca e da ventilação às condições de trabalho e à necessidade tecidual de oxigênio e não ocorre acúmulo de lactato no sangue (ASTRAND; RODAHL, 1980).

Durante um exercício intenso e contínuo, os processos anaeróbios terão que suprir parte da energia durante a fase inicial do exercício formando ácido láctico. Com uma carga de trabalho que requeira um consumo de oxigênio superior a 50% da capacidade máxima do indivíduo e realizada por alguns minutos, aparece lactato numa concentração que pode ser medida no sangue arterial e que sinaliza a participação dos mecanismos anaeróbios no metabolismo (WASSERMAN, 1967, 1973; WELTMAN, 1995).

Quanto mais intensa a carga de trabalho, mais acentuado será o aumento na captação de oxigênio. Após um período inicial de trabalho de 10 minutos com 50% do consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}), aplicaram-se cargas de trabalho de 300W ou 450W até a exaustão. O tempo de trabalho tolerado variou de 6 (300W) a menos de 2 minutos (450W). No final, a captação do oxigênio foi a mesma em todas as experiências, aproximadamente 4,1 L/min. No entanto, após 1 minuto de exercício extremamente intenso, a captação foi de 4L/min com a carga de 450W e de apenas 3L/min com a carga de 300W (ASTRAND; SALTIN, 1961a).

Quando um indivíduo trabalha por períodos muito curtos e com uma produção de energia extremamente alta, aparentemente o suprimento aeróbio é suficiente, apesar do transporte insuficiente do oxigênio durante a explosão da atividade e não ocorre nenhum aumento contínuo na concentração sanguínea de lactato. Uma explicação possível para uma oxidação predominantemente aeróbia pode se basear no fato de que os músculos têm à sua disposição um certo volume de oxigênio que é consumido durante a fase inicial do exercício, antes que a circulação e a ventilação possam proporcionar suprimento adicional (ASTRAND et al, 1960a, 1960b).

Durante os períodos de repouso, esses depósitos são reabastecidos de oxigênio, e, conseqüentemente, durante um exercício intenso é essencial que os períodos de trabalho sejam suficientemente breves para se evitar a exaustão do suprimento de oxigênio e a produção excessiva de lactato. Por esta razão, o trabalho intermitente é superior ao trabalho estático contínuo (isométrico), por acentuar a ação da bomba muscular no enchimento e esvaziamento alternado do depósito de oxigênio durante a contração e o relaxamento muscular alternado (ASTRAND; SALTIN, 1961b).

Em termos práticos, o VO_{2max} é aproximadamente o mesmo quer seja medido durante a corrida numa esteira ou durante uma longa prova de esqui ou de ciclismo. No entanto, no trabalho máximo em bicicleta ergométrica na posição supina, o VO_{2max} é apenas 85% do valor obtido na posição sentada. O VO_{2max} durante uma corrida é 5% maior que durante o ciclismo, provavelmente por envolver uma maior massa muscular em sua execução. Noutro experimento, uma carga de trabalho de 300W podia ser tolerada por cerca de 3 minutos quando só entravam em ação os músculos dos membros inferiores. No entanto, com 100W para os braços e 250W para as pernas, o tempo de trabalho podia ser prolongado até 6 minutos, até mesmo quando a captação de oxigênio e o débito cardíaco não apresentavam nenhum aumento, ficando evidenciado que o organismo, inclusive o coração, podia tolerar um prolongamento do período de trabalho quando era ativada uma maior massa de músculos esqueléticos (ASTRAND; SALTIN, 1961b).

1.2.2 Influência da massa muscular

A quantidade de massa muscular esquelética está relacionada com a capacidade individual de realizar trabalho físico e com o nível de estresse gerado pela atividade. Quando um indivíduo, com capacidade para realizar exercício físico equivalente a 15 kcal/min, é submetido a uma situação de trabalho que requeira 7 kcal/min, encontra-se sob estresse

moderado, já que o nível de atividade necessário é aproximadamente 50% de sua capacidade máxima. No entanto, se sua capacidade é equivalente a 10 kcal/min, a mesma tarefa exigiria 70% de sua capacidade e poderia ser bastante estressante. Por esta razão, indivíduos com capacidade física restrita tendem, voluntariamente, a evitar trabalhos que exijam elevado nível de atividade (DURNIN, 1994).

No Homem os músculos esqueléticos abrangem aproximadamente 50% de sua massa corporal magra (McARDLE; KATCH; KATCH, 1994; DURNIN, 1994). Desta maneira, indivíduos com menores dimensões corporais (peso e estatura), estão menos capacitados a realizar trabalho mecânico como levantamento e transporte de cargas externas (ASTRAND; RODAHL, 1980).

A carência energética crônica (CEC) é uma situação encontrada em países em desenvolvimento que influi negativamente no desenvolvimento das dimensões corporais, determinando o aparecimento de indivíduos com relação peso/estatura abaixo do limite de normalidade e interferindo na capacidade para realizar trabalho (ORGANIZAÇÃO..., 1995).

Estudos desenvolvidos com o objetivo de avaliar a capacidade física para realizar trabalho e medir o consumo de oxigênio em indivíduos com baixo peso, utilizaram diferentes abordagens e empregaram diferentes grupos etários, tornando difícil a comparação dos resultados (ANGELELI et al, 1983; BARAC-NIETO et al, 1978, 1980; BARAC-NIETO; SPURR; REINA, 1984; DESAI et al, 1981, 1984; SATYANARAYANA et al, 1977; SPURR et al, 1983; VITERI; TÓRUN, 1975).

Trabalho realizado para verificar os efeitos da suplementação alimentar em homens trabalhadores agrícolas da Guatemala mostrou que durante o teste de exercício em esteira rolante o grupo não suplementado apresentava freqüências cardíacas mais elevadas e menor consumo máximo de oxigênio e do pulso de oxigênio em comparação ao grupo que recebia suplementação alimentar há mais de três anos. Entretanto, quando o consumo de oxigênio foi

corrigido pelo peso corporal total, não foi observada diferença entre os grupos. (VITERI; TÓRUN, 1975)

A capacidade para realizar trabalho foi estudada em trabalhadores da indústria química na cidade de Hiderabad, na Índia. Os dados antropométricos e a produção diária de cada trabalhador numa tarefa específica foram utilizados como indicadores do desempenho. Após três meses de observação foi verificado que mesmo em tarefas que requerem esforços submáximos, o peso corporal está diretamente relacionado com a capacidade de realizar trabalho (SATYANARAYANA et al, 1977).

O consumo máximo de oxigênio e o tempo máximo de resistência para trabalhar a 80% do VO_{2max} (T80) foi estudado através de teste de exercício em homens que apresentavam desnutrição de graus leve, moderado e severo. Foi observada diminuição de 18% do VO_{2max} corrigido pela massa celular muscular nos indivíduos severamente comprometidos. A T80 e o percentual estimado de esforço máximo para oito horas de trabalho não apresentou diferença entre os grupos (BARAC-NIETO et al 1978).

Outro estudo, enfocando apenas indivíduos severamente desnutridos após terem sido submetidos à dieta de suplementação em regime de internamento hospitalar, mostrou um aumento de 75% no consumo máximo de oxigênio sem qualquer programa adicional de treinamento físico. No entanto, a T80 estimada diminuiu drasticamente, um efeito que os autores atribuíram ao destreinamento imposto aos participantes pelo confinamento em ambiente hospitalar (BARAC-NIETO et al, 1980).

O consumo máximo de oxigênio obtido em teste de exercício em esteira rolante e os gases ventilatórios foram estudados em meninos e em rapazes de 6 a 16 anos, agrupados como bem nutridos, como baixo peso para a idade e como baixo peso para a estatura, de estratos sociais de nível socioeconômico baixo, das zonas urbana e rural da cidade de Cali, na Colômbia. Os grupos com inadequação peso/estatura mostraram consumo máximo de

oxigênio 15% mais baixo que os grupos bem nutridos. O consumo máximo de oxigênio apresentou tendência a se elevar com o aumento de idade em todos grupos. Ao ser corrigido pelo peso corporal total, o consumo de oxigênio dos grupos com inadequação peso/estatura foi maior que os bem nutridos (SPURR et al, 1983).

Procurando avaliar as razões para a maior capacidade aeróbia encontrada em indivíduos com baixo peso, outro estudo comparativo do consumo máximo de oxigênio e dos gases ventilatórios foi realizado em meninos e rapazes colombianos de 6 a 16 anos. O peso corporal magro foi estimado a partir de dobras cutâneas. A capacidade aeróbia, corrigida pelo peso corporal total ou pelo peso corporal magro, foi maior nos indivíduos com baixo peso. Os autores concluíram que o maior consumo relativo de oxigênio encontrado no grupo baixo peso era decorrente do condicionamento de seus músculos submetidos às mesmas tarefas físicas que os indivíduos normais (BARAC-NIETO, SPURR; REINA, 1984).

As características antropométricas e o desempenho em teste cicloergométrico submáximo foram estudadas em crianças originárias de dois estratos sociais distintos da cidade de Ribeirão Preto, no Estado de São Paulo. O grupo controle foi formado por filhos de famílias “abastadas” e o outro grupo por filhos de “bóias frias”. Foi verificado que as crianças filhos de “bóias frias” alcançaram frequências cardíacas mais elevadas que os controles em todas as cargas do teste de exercício, achado que foi interpretado como decorrente das condições nutricionais avaliadas antropometricamente (DESAI et al, 1981).

Após avaliação do estado nutricional através de antropometria, dieta e dosagens bioquímicas do sangue, foram medidos o consumo de oxigênio e os gases ventilatórios durante teste de exercício em cicloergômetro em meninos com 12 anos de idade, filhos de “bóias frias” e de “abastados”. Corroborando o estudo anterior (DESAI et al, 1981) a frequência cardíaca dos filhos de “bóias frias” mostrou valores mais elevados em todas as cargas testadas. O consumo de oxigênio foi maior no grupo “abastado” quando expresso em

termos absolutos e no grupo “bóia fria” quando corrigido pelo peso corporal total. A capacidade de realizar trabalho físico com frequência cardíaca de 170 batimentos por minuto (PWC 170) foi maior entre os “abastados” enquanto o nível sanguíneo de ácido láctico após o exercício era maior entre os “bóias frias” (DESAI et al, 1984).

Estudo realizado em homens “bóias frias”, com idade de 19 a 37 anos, verificou a influência de uma suplementação alimentar sobre os níveis de exercício avaliados através de teste cicloergométrico submáximo. Após três meses de suplementação alimentar foi verificado que as frequências cardíacas caíram em cada estágio do teste de exercício, refletindo uma maior capacidade física decorrente da maior massa muscular adquirida em função da dieta (ANGELELI et al, 1983).

A adequação entre o peso e a estatura tem sido sistematicamente avaliada pelo Índice de Massa Corporal – IMC, proposto por Quételet, que é a razão entre o peso corporal total dividido pela estatura elevada ao quadrado (kg/m^2) (JELLIFFE; JELLIFFE, 1979; ANJOS, 1992). A Organização Mundial da Saúde – OMS (1995) define a faixa de normalidade para o IMC entre os limites de 18,5 e 24,99 kg/m^2 , sendo considerado baixo peso o $\text{IMC} < 18,5 \text{ kg}/\text{m}^2$ e sobrepeso o $\text{IMC} \geq 25,0 \text{ kg}/\text{m}^2$.

Durante muito tempo o $\text{IMC} < 20,0 \text{ kg}/\text{m}^2$ foi adotado como ponto de corte para o baixo peso, sendo utilizado como indicativo do estado de desnutrição (COITINHO, 1991). No entanto, o uso isolado do IMC não permite informar acerca da composição corporal e do estado de nutrição individual, sendo necessário associar outras medidas antropométricas e laboratoriais para melhor caracterizar cada situação (ANJOS, 1992).

A simples observação de um baixo valor de IMC não implica necessariamente numa baixa capacidade física e somente quando os valores do IMC se aproximam de $17 \text{ kg}/\text{m}^2$ é que os efeitos negativos parecem se refletir no desempenho físico (DURNIN, 1994).

1.2.3 Ajustes cardiovasculares

A carga imposta pelo próprio corpo do indivíduo durante suas atividades diárias é capaz de deflagrar respostas nos sistemas fisiológicos e de gerar adaptação a este nível de estresse sistemático (RUSSELL; MOTLAGH; ASHLEY, 2000).

O estímulo do sistema nervoso simpático leva à liberação de catecolaminas, determinando as alterações mais importantes do ponto de vista cardiovascular e hemodinâmico na vigência de um fator de estresse. Inicialmente, as ações do simpático e da adrenalina circulante determinam o aumento da frequência cardíaca (efeito cronotrópico positivo) e da contratilidade do miocárdio ventricular (efeito inotrópico positivo), fazendo com que o débito cardíaco se eleve (ALFIERI; DUARTE, 1993).

Em repouso existe pouca diferença no débito cardíaco entre indivíduos treinados e não treinados, com os valores médios oscilando entre 5 e 6 litros por minuto. Ao se exercitarem com taxas semelhantes de trabalho submáximo, os débitos cardíacos de indivíduos destreinados podem ser ligeiramente mais altos ou os mesmos dos indivíduos treinados. Em homens bem treinados, os débitos máximos podem alcançar valores acima de 30L/min, o que representa seis vezes os valores encontrados no repouso, enquanto homens destreinados exibem débitos cardíacos máximos mais baixos, entre 20 e 25 L/min e possuem capacidades aeróbias mais baixas. Em geral, quanto mais elevado for o débito cardíaco máximo, mais elevada será a potência aeróbia e vice-versa (AMERICAN COLLEGE ..., 1995).

Foi demonstrado que em repouso, apenas cerca de 55% a 60% do volume diastólico final são ejetados normalmente durante cada sístole ventricular (MICHIELLI, 1979; SLUTSKY, 1979). Durante o exercício, as ações inotrópicas do simpático e da adrenalina circulante, aumentam a contratilidade do miocárdio que pode até duplicar o volume de

ejeção, resultando num aumento do débito cardíaco. Este aumento do volume de ejeção alcança um platô em torno de 40% a 60% do VO_{2max} (KETEYIAN et al., 1994).

O outro fator responsável pelo aumento do débito cardíaco é a frequência. Foi relatado que entre atletas de ambos os sexos, a frequência cardíaca de repouso pode ser de 40 batimentos por minuto ou menos. Durante o exercício, a frequência cardíaca e o VO_2 aumentam linearmente com o aumento da carga de trabalho. Entre pessoas com idade de 18 a 30 anos, a frequência cardíaca máxima pode ser de 200 batimentos/minuto ou mesmo ultrapassar este limite (FOSS; KETEYIAN, 2000).

Uma vez alcançado o volume de ejeção máximo, o que ocorre entre 40% e 60% do trabalho máximo, quaisquer aumentos adicionais no débito cardíaco são causados por aumentos apenas na frequência cardíaca. Após o exercício, a frequência cardíaca adota um padrão de recuperação em duas fases: até aproximadamente 2 minutos ocorre uma diminuição rápida da frequência seguida de um declínio lento até atingir valores próximos ao pré-exercício, no transcorrer de 2 a 10 minutos (FOSS; KETEYIAN, 2000).

Além do débito cardíaco, a pressão arterial sistêmica também influi diretamente na oferta de oxigênio para os tecidos. Em repouso, as pressões sistólica e diastólica são respectivamente de 120 mmHg e 80 mmHg, com uma pressão média ($P_{média}$), de 93 mmHg. Durante o exercício a pressão sistólica aumenta e pode ultrapassar 200 mmHg, em virtude do aumento do débito cardíaco e do aumento da resistência vascular nos tecidos menos ativos, enquanto a pressão diastólica pode cair, mas de forma insuficiente para evitar o aumento da $P_{média}$, o que garante a manutenção da pressão arterial sistêmica média, que é acompanhada pelos níveis de débito cardíaco alcançado. Caso as grandes arteríolas estivessem plenamente dilatadas durante o exercício extenuante, seria necessário um débito cardíaco próximo de 60 L/min para prevenir a queda de $P_{média}$ durante este exercício (SALTIN, 1987).

O VO_{2max} fornece uma medida da capacidade funcional de todo o sistema cardiovascular, mas nenhuma informação sobre o consumo de oxigênio pelo miocárdio. O consumo de oxigênio pelo miocárdio (MVO_2), é determinado diretamente pelo fluxo coronariano multiplicado pela diferença artério-venosa de oxigênio ($a-vO_2$), através de cateterismo, enquanto a avaliação indireta do MVO_2 pode ser feita através de índices como o duplo-produto (pressão sistólica X frequência cardíaca) (ALFIERI; DUARTE, 1993).

Através de cateterismos das artérias coronárias e do seio coronário, mostrou-se que até em repouso o coração consome aproximadamente 70 a 75% do oxigênio que chega até ele no sangue arterial (MESSER, 1962). Como resultado, para atender a maior demanda miocárdica de oxigênio que ocorre durante o exercício, o coração deverá aumentar em cerca de quatro vezes a circulação coronariana, de 250 ml/min para 1000ml/min (ELLESTAD, 1984).

Contudo, o aumento do débito cardíaco obtido pelo aumento da frequência acarreta diminuição do tempo de enchimento diastólico e redução do volume sistólico para aumentos subsequentes da frequência cardíaca e isto pode afetar o fluxo sangüíneo coronariano que depende do tempo gasto na fase diastólica (ALFIERI; DUARTE, 1993).

Durante o exercício, o duplo-produto aumenta proporcionalmente aos aumentos na frequência cardíaca e na pressão sistólica. A diminuição ou estabilização do duplo-produto na vigência de aumento na frequência cardíaca é indicativo de queda na pressão sistólica e de perda de tensão na parede ventricular, podendo-se dessa maneira obter informação sobre o consumo de oxigênio pelo miocárdio (ELLESTAD, 1984).

Outro índice para avaliação da função ventricular é o pulso de oxigênio (VO_2/FC). Este índice é calculado pela relação entre o VO_2 (ml/min) dividido pela frequência cardíaca FC (bpm) e representa a quantidade de oxigênio que está sendo consumido pelo organismo em cada batimento cardíaco, equivalente ao volume sistólico. Em repouso, os valores normais variam de 4 a 6 mlO_2/b e aumentam de 10 a 20 mlO_2/b com a progressão do exercício,

refletindo a eficiência do sistema de transporte de oxigênio pelo coração. Uma redução do pulso de oxigênio com a progressão do exercício é compatível com disfunção do inotropismo ventricular esquerdo e está relacionada com a dispnéia do esforço e a insuficiência cardíaca (COSTA; FERRAZ, 1999).

1.2.4 Ajustes respiratórios

A atividade física influencia o consumo de oxigênio e a produção de dióxido de carbono mais do que qualquer outra forma de estresse metabólico. Com o exercício, grandes quantidades de oxigênio se difundem dos alvéolos para o sangue venoso que retorna dos pulmões e, inversamente, quantidades consideráveis de dióxido de carbono se deslocam do sangue para dentro dos alvéolos. Simultaneamente, a ventilação aumenta para manter as concentrações apropriadas dos gases alveolares, a fim de permitir que haja essa maior permuta de oxigênio e dióxido de carbono (MCARDLE; KATCH; KATCH, 1994)

Durante o exercício em ritmo estável, de leve a moderado, a ventilação aumenta linearmente com o consumo de oxigênio e alcança uma média entre 20 a 25 litros de ar para cada litro de oxigênio consumido. Com esse ajuste na ventilação, existe aeração completa do sangue, pois as PO_2 e PCO_2 alveolares permanecem perto dos valores de repouso. (GRIMBY, 1969)

A relação entre a ventilação minuto (VE) e o consumo absoluto de oxigênio (VO_2) recebe a designação de equivalente ventilatório, sendo simbolizada pela expressão VE/VO_2 . Em adultos jovens saudáveis essa relação costuma ser mantida em aproximadamente 25 para 1, ou seja, 25 litros de ar respirado por litro de oxigênio consumido, durante o exercício submáximo, até 55% da captação máxima de oxigênio (WASSERMAN; McILROY, 1964; WASSERMAN et al, 1967, 1973, 1974).

No exercício submáximo acima de 55% do consumo máximo de oxigênio, a ventilação minuto assume uma elevação brusca e aumenta desproporcionalmente com os aumentos no consumo de oxigênio. Como resultado, o equivalente ventilatório é maior do que aquele observado durante o exercício com carga estável e pode aumentar até 25 ou 40 litros de ar por litro de oxigênio consumido (WASSERMAN; McILROY, 1964).

Entretanto se o metabolismo aeróbio for insuficiente, a glicólise anaeróbia contribui para as demandas energéticas e forma-se ácido láctico. O início dessa anaerobiose normalmente ocorre entre 55% e 65% da captação máxima de oxigênio em indivíduos saudáveis, não atletas. Quase todo o ácido láctico gerado durante o metabolismo anaeróbio é tamponado no sangue pelo bicarbonato de sódio, sendo o dióxido de carbono formado nessas reações químicas expelido para a atmosfera à medida que o sangue venoso penetra nos pulmões (WASSERMAN et al, 1973).

Durante o exercício, o início da acidose metabólica ou limiar anaeróbio, pode ser identificado pelas seguintes modificações: a) um aumento na lactacidemia; b) redução do pH e do bicarbonato; c) aumento na relação das trocas respiratórias (R) devido à liberação do excesso de dióxido de carbono, e; d) um desvio na linearidade da relação entre consumo de oxigênio e ventilação, devido ao poderoso estímulo ventilatório proporcionado tanto pelo aumento na acidez quanto pela liberação de dióxido de carbono, através do tamponamento (WASSERMAN; McILROY, 1964; WASSERMAN et al, 1967).

Em indivíduos saudáveis, em repouso ou durante o exercício leve, a demanda de oxigênio da respiração é pequena, em média de 1,9 a 3,1 ml de oxigênio por litro de ar respirado ou de aproximadamente 2% do dispêndio energético total. À medida que a frequência e a profundidade da respiração aumentam, seu custo se eleva até aproximadamente 4 ml de oxigênio por litro de ventilação (LEVISON; CHERNIAC, 1968).

Foi verificado o custo em oxigênio da ventilação para a dívida de oxigênio e o consumo de oxigênio da recuperação durante exercício com carga estável. O custo da respiração era responsável por cerca de 19% da dívida de oxigênio e por 11% do consumo de oxigênio da recuperação. Esses resultados indicam que o custo em oxigênio da ventilação exerce uma influência quase duas vezes maior sobre a dívida do oxigênio do que sobre o consumo de oxigênio da recuperação. A razão para a menor contribuição do custo da ventilação para o custo total da recuperação reside no fato da ventilação minuto declinar exponencialmente ao término do exercício, da mesma maneira que a captação de oxigênio na recuperação. Isto não ocorre no início do exercício, quando a ventilação aumenta num ritmo muito maior do que o consumo de oxigênio (KATCH et al, 1972).

1.2.5 Ajustes neuromusculares

Durante o exercício físico os músculos esqueléticos executam sua principal função que é a contração, resultando em tensão ou movimento. O controle desta atividade é realizado através de unidades motoras e dependendo do número de unidades ativadas (somação espacial) e da frequência de disparo de cada uma (somação temporal), a força muscular pode ser modulada. (McCOMAS, 1996).

O tamanho do soma do motoneurônio interfere diretamente em sua excitabilidade e no desempenho das unidades motoras. Motoneurônios menores, possivelmente em consequência das aferências corticais, apresentam limiar de excitação mais baixo e estas unidades motoras são ativadas primeiro. Somente quando é exigida uma maior intensidade de força para a realização de uma tarefa é que outras unidades motoras maiores são recrutadas (HENNEMAN; SOMJEN; CARPENTER, 1965a, 1965b; FOSS; KETEYIAN, 2000).

Todas as unidades motoras dos músculos esqueléticos funcionam da mesma maneira geral já descrita. Porém, nem todas as fibras musculares têm as mesmas capacidades

metabólicas e funcionais. Enquanto todas as unidades motoras e, portanto, todas as fibras musculares podem atuar tanto sob condições aeróbias quanto sob condições anaeróbias, algumas delas são melhor equipadas, bioquímica e estruturalmente, para trabalhar em condições aeróbias, enquanto outras são melhor equipadas para trabalhar em condições anaeróbias (MAUGHAN; GLEESON ; GREENHAFF, 2000).

A maneira pela qual a fibra muscular é ativada seja de forma contínua (tônica) ou de maneira intermitente (fásica), é determinante de várias adaptações bioquímicas e estruturais. Desta maneira, as fibras musculares podem ser classificadas nos seguintes tipos: tipo I (vermelha, tônica, de contração lenta, oxidativa); tipo IIA (branca, fásica, contração rápida, oxidativa e glicolítica); tipo IIB (branca, fásica, contração rápida, glicolítica) e; tipo IIC (indiferenciada, de interconversão). Estes diferentes tipos de fibra muscular se distribuem de maneira diversa nos diferentes músculos, de modo que, a predominância de um tipo sobre o outro depende, além de fatores genéticos, do nível de atividade física desenvolvido, especialmente durante o período de crescimento (McCOMAS, 1996).

As fibras tipo I possuem uma capacidade aeróbia relativamente grande e uma capacidade anaeróbia relativamente pequena em comparação com as fibras tipo II. Isso continua sendo verdade até quando são levadas em conta as capacidades oxidativas mais altas das fibras tipo IIA, o que, em outras palavras traduz a existência de uma hierarquia oxidativa com tipo I > tipo IIA > tipo IIB (FOSS; KETELYIAN, 2000).

As fibras tipo I possuem uma nítida vantagem sobre as fibras tipo IIB no que se refere a produção de ATP através de processos oxidativos, pois as mitocôndrias, os capilares e a mioglobina estão presentes em maiores quantidades. Além disso, os leitos vasculares dos músculos tipo I possuem um fluxo sanguíneo mais abundante quando em repouso. As fibras do tipo IIA possuem também uma alta densidade de mitocôndrias e uma presença substancial

de capilares e de mioglobina, em apoio aos aspectos oxidativos de sua função metabólica. (MAUGHAN; GLEESON; GREENHAFF, 2000).

As grandes alterações que ocorrem nas fibras musculares durante o exercício são devidas as necessidades metabólicas aumentadas, resultando em modificações bioquímicas e estruturais de longo prazo (RUSSELL; MOTLAGH; ASHLEY, 2000).

Mudanças nas características musculares foram inicialmente demonstradas em experimentos de reinervação cruzada (BULLER; ECCLES; ECCLES, 1960). Através da eletroestimulação imposta, verificou-se que o nível de atividade elétrica dos motoneurônios é o fator determinante das mudanças nas características musculares (SALMONS; SRETER, 1976).

Estudo sobre a resposta muscular de indivíduos sadios que treinaram durante oito semanas em uma bicicleta ergométrica, trabalhando com 81% da capacidade aeróbia, mostraram que após o treinamento, as fibras do tipo IIA haviam aumentado de 65% para 75% de todas as fibras do tipo II. O percentual de fibras tipo I continuava sendo o mesmo de antes, demonstrando que o treinamento aeróbio, neste nível, possibilitava a conversão de fibras do tipo IIB para tipo IIA (ANDERSEN; HENRIKSSON, 1977).

Este tipo de efeito é uma tendência amplamente observada nos exercícios feitos sob condições dinâmicas. Em exercícios estáticos (levantamento de pesos), que exigiam uma elevada tensão contrátil, observou-se um aumento predominante das fibras tipo II, com predomínio do tipo IIA sobre as do tipo IIB.

Estudo comparativo entre corredores de longa distância (fundistas) e levantadores de peso, evidenciaram que os levantadores de peso tinham 40% de fibras musculares do tipo I; 40% do tipo IIA e 20% de tipo IIB. Entre os fundistas, as fibras musculares eram 70% do tipo I, 23% do tipo IIA e 4% do tipo IIB (STARON et al, 1984).

As mudanças nos tipos de fibra muscular podem ser desencadeadas por processos metabólicos ou mecânicos. A fadiga muscular pode precipitar o aparecimento de lesões mecânicas, como aquelas especialmente encontradas após exercícios em que se realizam contrações excêntricas (McCULLY; FAULKNER, 1985).

Em síntese, entre as principais adaptações musculares ao exercício, encontram-se os aumentos na capacidade aeróbia das fibras tipo I e tipo IIA e um desvio para uma relação mais alta de fibras tipo IIA para fibras tipo IIB. O treinamento contra resistido produz alguns efeitos semelhantes, porém estimula também o aumento do volume das fibras IIB. Deste modo, as adaptações metabólicas e estruturais proporcionam aumento da potência aeróbia e da força muscular (FOSS; KETEVIAN, 2000).

1.3 LIMIARES VENTILATÓRIOS

De acordo com Weltman (1995), foram os trabalhos desenvolvidos por Hollmann e colaboradores, em 1960, que introduziram o conceito de que o começo do metabolismo anaeróbio pode mensurar a capacidade cardiopulmonar e periférica de desempenho aeróbio. Eles observaram que durante um exercício progressivo em bicicleta ergométrica, com incrementos a cada 3 minutos, um ponto é alcançado onde a ventilação pulmonar aumenta num grau maior do que a captação de oxigênio. Como as mudanças na ventilação e no teor de lactato sangüíneo eram coincidentes, Hollmann definiu este ponto de quebra da curva ventilatória como o ponto de ótima eficiência ventilatória e sugeriu que era correspondente ao limite do desempenho aeróbio.

Wasserman e McIlroy (1964), introduziram o termo “limiar anaeróbio” e sugeriram que as trocas de gases pulmonares poderiam ser usadas para estimar o ponto de quebra da curva de lactato ou, como foi referido, para o começo da acidose metabólica (láctica).

Sob condições fisiológicas, o ácido láctico se dissocia imediatamente em lactato e hidrogênio iônico. Por esta razão, os termos lactato muscular e lactato sanguíneo são comumente mais utilizados (WELTMAN, 1995).

O limiar anaeróbio foi definido como “o nível de trabalho ou de consumo de oxigênio acima do qual a acidose metabólica e mudanças associadas às trocas gasosas ocorrem”. Em um determinado momento durante um exercício progressivo, um ponto é alcançado onde a demanda de oxigênio dos músculos metabolicamente ativos é maior do que o suprimento de oxigênio para as mitocôndrias. Esta ausência de paralelismo no suprimento de oxigênio resulta no aumento da conversão anaeróbia de piruvato para lactato no citosol celular, que devido ao baixo pK do ácido láctico, seria quase completamente tamponado pelo sistema bicarbonato, formando dióxido de carbono. Deste modo, o tamponamento do lactato aumenta a formação de CO₂ acima dos níveis normalmente produzidos pelo metabolismo, e, no limiar anaeróbio, os níveis de CO₂ aumentam de forma não linear (WASSERMAN et al, 1973).

Foi sugerido que estas mudanças nas trocas gasosas, incluindo o aumento não linear na ventilação minuto (VE) e na produção de dióxido de carbono (VCO₂) e mudanças nas relações entre os equivalentes ventilatórios de oxigênio (VE/VO₂) e de dióxido de carbono (VE/VCO₂), são determinantes acurados do ponto em que, durante o exercício progressivo, o lactato sanguíneo e presumivelmente o lactato muscular aumentam não linearmente acima dos níveis de repouso.(WASSERMAN; KOIKE, 1992).

Durante o exercício com carga estável, o lactato muscular e o sanguíneo não aumentam para taxas de trabalho abaixo de 50% a 60% do VO_{2max}. Isto suporta a idéia de que o início do aumento no lactato sanguíneo é o resultado do começo do aumento da produção muscular de lactato (DAVIS, 1985).

O conceito de limiar anaeróbio sugerido por Wasserman e McIlroy (1964), foi confrontado com um trabalho no qual foi demonstrado que durante um exercício máximo com

pernas, a pressão parcial venosa de oxigênio (PvO_2) não caiu abaixo de 10 mmHg e que durante o exercício submáximo, em torno de aproximadamente 50% do VO_{2max} , a pressão venosa de oxigênio estava entre 20 e 40 mmHg (PIRNAY, 1972).

Por esta razão, foi sugerido que o efluxo de lactato muscular é o resultado de um desequilíbrio entre a taxa de formação de piruvato no citosol e sua captação pela mitocôndria, mais do que o resultado da hipóxia muscular (BROOKS, 1985).

A velocidade com que o lactato é formado e removido interfere diretamente na acidose metabólica e na instalação da fadiga (WELTMAN, 1995). O lactato, por sua vez, pode ser rapidamente reutilizado como substrato energético em alguns tecidos como o fígado, o coração e, principalmente, nas fibras musculares esqueléticas do tipo I (PHILIPS et al, 1995).

O uso do termo “limiar ventilatório” é preferível ao de “limiar anaeróbio” pelo fato de não corresponder ao início da anaerobiose. Considera-se que a concentração de lactato no sangue não reflita necessariamente a produção de lactato muscular, mas a diferença entre o efluxo de lactato muscular e a captação de lactato pelos músculos e outros tecidos (COSTA; FERRAZ, 1999).

Durante o exercício com aumento progressivo de cargas, as respostas ventilatórias e de concentração sanguínea de lactato têm sido tradicionalmente descritas em três fases distintas. Em intensidades baixas de esforço, a concentração sanguínea de lactato varia pouco, enquanto a ventilação e a produção de CO_2 aumentam linearmente com o VO_2 e a carga de trabalho. Com o aumento da intensidade do esforço, um determinado ponto é atingido, a partir do qual o lactato passa a acumular no sangue e a ventilação e a produção de CO_2 aumentam mais e de forma desproporcional ao aumento do VO_2 . Continuando o aumento de intensidades, um segundo ponto é atingido, a partir do qual a concentração de lactato sanguíneo aumenta ainda mais rapidamente e a ventilação aumenta numa velocidade maior que a da produção de CO_2 (RIBEIRO, 1995).

Existem, portanto, dois pontos de referência: 1) a intensidade a partir da qual a concentração de lactato sanguíneo aumenta em relação aos valores de repouso e a ventilação aumenta de forma desproporcional ao aumento do VO_2 (1º limiar de lactato ou 1º limiar ventilatório) ; 2) a intensidade a partir da qual a concentração de lactato sanguíneo aumenta rapidamente e a ventilação aumenta de forma desproporcional à produção de CO_2 (2º limiar de lactato ou 2º limiar ventilatório) (RIBEIRO, 1995).

A produção e o aparecimento do lactato no sangue durante o exercício podem estar relacionados a vários fatores, como: velocidade do fluxo glicolítico, formação da isoenzima desidrogenase láctica (conversora de piruvato a lactato) e a disponibilidade de oxigênio. Contudo, apesar do mecanismo do limiar ventilatório ainda ser questionado, é inegável que está relacionado ao acúmulo de lactato sanguíneo durante o exercício, à alteração da cinética do transporte de oxigênio, ao aumento da utilização de glicose, à fadiga muscular e à ventilação, que responde com aumento rápido para manter o pH fisiológico (COSTA; FERRAZ, 1999).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL:

Avaliar as respostas fisiológicas produzidas pelo exercício físico progressivo em homens jovens, hígidos, não fumantes e não atletas, distribuídos em dois grupos de acordo com o Índice de Massa Corporal – IMC: grupo controle (IMC 18,5 – 24,99 kg/m²) e grupo baixo peso (IMC<18,5 kg/m²).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Utilizar o método dos limiares ventilatórios como estratégia para aferir intensidades de esforço;
- Determinar através de exercício progressivo em indivíduos com peso normal e com baixo peso:
 - a) O consumo máximo de oxigênio;
 - b) Os limiares ventilatórios;
 - c) A capacidade aeróbia;
- Verificar a existência ou não de diferença na capacidade funcional relacionada à massa corporal entre os grupos.

3 MÉTODOS

3.1 AMOSTRA: O estudo envolveu 40 homens, recrutados através de convite impresso e divulgado entre Coordenações de Cursos, Diretórios Acadêmicos e Casas de Estudantes das principais Universidades do Estado de Pernambuco, informando-se os objetivos do estudo e os seguintes critérios de inclusão: a) sexo masculino; b) idade entre 18 e 30 anos; c) não fumantes; d) não atletas; e) estudante universitário. Os voluntários foram classificados pelo IMC em 2 grupos: grupo baixo peso ($n=20$, $IMC < 18,5 \text{ kg/m}^2$) e grupo controle ($n=20$, IMC entre 18,5 e $24,99 \text{ kg/m}^2$).

3.2 ÉTICA: O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco (ANEXO B) e todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Esclarecido.

3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL: Após exame físico e anamnese, que incluía subsídios de avaliação médica anterior e eletrocardiograma de repouso normal, os voluntários foram submetidos a exames de sangue e a testes de avaliação da composição corporal, capacidade funcional pulmonar e ao teste cardiopulmonar de exercício. Somente foram incluídos no estudo e realizaram o teste de exercício os indivíduos que estavam rigorosamente dentro dos padrões de normalidade para os exames hematológicos, bioquímicos e espirométricos.

3.3.1 Exames de sangue: Os exames foram realizados no Laboratório de Análises Clínicas do Hospital das Clínicas da UFPE. Os voluntários compareciam no período da manhã, em jejum de pelo menos 12 horas e realizavam coleta de sangue para os seguintes exames:

1 - hemograma completo (CBC/VCS); 2 - albumina sérica (Verde de Bromocresol); 3 - ferro sérico (Smith); 4 - glicose (Hexoquinase); 5 - uréia (Cinético Enzimático); 6 - creatinina (Cinético Enzimático); 7 - triglicérides (Enzimático - Colorimétrico); 8 - colesterol total; 9 - colesterol HDL (Enzimático - Colorimétrico).

3.3.2 Antropometria e composição corporal: Os dados foram coletados no Laboratório de Cinesiologia e Avaliação Funcional do Departamento de Fisioterapia da UFPE, onde a pressão atmosférica variava em torno de 759 mmHg, a umidade relativa em torno de 70% e a temperatura era mantida em torno de 25°C.

As medidas antropométricas foram realizadas no período da manhã, pelo menos 2 horas após o desjejum, com os voluntários descalços e trajando sunga ou cueca. O peso foi medido em balança eletrônica com capacidade para 150 kg e variação de 0,10 kg. A medida da estatura foi feita com o voluntário em posição ortostática, mantendo a coluna vertebral ereta e com o dorso justaposto ao plano vertical da parede onde estava localizado o estadiometro. A posição da cabeça do voluntário era orientada pela manutenção da sua linha de visão no plano horizontal. No momento final da inspiração feita em volume corrente, o voluntário realizava uma apnéia e neste momento o deslocamento do esquadro plástico mantido sobre o vértex de sua cabeça pelo examinador permitia ler a escala em centímetros do estadiometro, com variação de 0,5 cm.

As dobras cutâneas foram aferidas com compasso tipo Harpenden (Cescorf), com escala em milímetros e pressão constante entre seus ramos de 10 g/mm², sendo utilizado os critérios de Jackson e Pollock (1978) para definição da localização anatômica e técnica de medida das dobras. As aferições foram realizadas no dimídio direito com o voluntário de pé e para cada dobra foram feitas pelo menos três medidas, com variação inferior a 5% entre elas, sendo a média aritmética usada para cálculo. Desta maneira foram aferidas as seguintes dobras: tricipital, subescapular, abdominal e suprailíaca.

Tricipital: uma dobra vertical medida a meia distância entre o acrômio e o olecrânio, na linha média posterior do braço, estando o membro superior relaxado.

Subescapular: uma dobra medida sobre uma linha diagonal originária da borda vertebral da omoplata e a uma distância de aproximadamente 1 ou 2 centímetros do seu ângulo inferior.

Abdominal: uma dobra vertical medida a uma distância de 4 centímetros ao lado do umbigo.

Suprailíaca: uma dobra diagonal medida acima da crista ilíaca, no ponto de interseção imaginário com a espinha ilíaca ântero-superior.

Para o cálculo do percentual de gordura corporal foi usada à equação direta de Faulkner (GUEDES, 1986), que mostrou boa correlação com o IMC tanto na faixa normal como na de baixo peso (MANSO; MOURA FILHO; LAURENTINO, 2000) :

$$\%G = 0,153 (\Sigma X) + 5,783$$

Onde: ΣX = somatório das dobras tricípital, subescapular, abdominal e suprailíaca

3.3.3 Capacidade funcional pulmonar: Em seguida à avaliação antropométrica, os volumes pulmonares foram medidos por espirômetro de fluxo/volume (Espirotest, Welch Allyn), que utiliza como referência o protocolo de Knudson et al. (1983), e permite mostrar os resultados, em condições BTPS, através de mostrador digital e de imprimir o registro gráfico. Foram realizadas duas abordagens: uma para medir capacidade vital forçada - CVF e outra para medir a ventilação voluntária máxima – VVM, de acordo com os critérios do I Consenso Brasileiro de Espirometria (1996).

Capacidade Vital Forçada: a medida é feita solicitando que o voluntário em posição sentada e tendo suas narinas obstruídas por um clipe, depois de inspirar até a capacidade pulmonar total – CPT, expire tão rápida e intensamente quanto possível no bocal do espirômetro. Foram realizadas pelo menos 5 tentativas, sendo o maior resultado obtido utilizado no estudo.

Ventilação Voluntária Máxima: a medida é feita com o voluntário sentado e usando clipe nasal. Durante todo tempo da prova (15 segundos) o voluntário inspira e expira o mais rápido e intensamente possível através do bocal do espirômetro, tomando-se o cuidado de evitar vazamento de ar.

3.3.4 Teste cardiopulmonar de exercício: O teste foi realizado no Laboratório de Cinesiologia e Avaliação Funcional, entre 3 e 5 horas após o almoço, com os voluntários

vestindo calção e usando sapato de tênis, tendo sido previamente informados de se absterem de qualquer atividade física ou de ingerirem alimentos fora de seu cotidiano nas 24 horas anteriores à realização do teste de exercício. Foi utilizado o protocolo clássico de Bruce (ELLESTAD, 1984) em esteira ergométrica (Millenium, Imbramed), precedido de uma fase de aquecimento e seguido de uma fase de recuperação, utilizando-se nestas fases a duração de 2 minutos, velocidade de 2 km/h e inclinação de 1%. Durante todo o teste, os voluntários tiveram o fluxo nasal bloqueado por um clipe e respiravam ar atmosférico através de uma peça bucal conectada ao tacômetro do analisador de gases VO2000 (Aerosport Inc.). Antes de iniciar cada teste, o equipamento era calibrado e o peso e a pressão arterial dos voluntários eram aferidos. A frequência cardíaca transmitida telemetricamente e amostras dos gases expirados foram coletadas e analisadas pelo software Aerograph (Aerosport Inc.), sendo os resultados expressos em valores numéricos e em gráficos, apresentados a cada 20 segundos na tela do computador. Na análise dos gases, os resultados foram corrigidos automaticamente pelo software para as condições STPD. Houve comunicação gestual entre o voluntário e o examinador ao final de cada fase, para monitorar o grau de esforço percebido, sendo utilizada a escala de Borg (1982). Os limiares ventilatórios foram determinados pelo método descrito por Wasserman e McIlroy (1964). O primeiro limiar ventilatório (lv_1) foi detectado quando a ventilação minuto (VE) mostrou súbita elevação, o equivalente de oxigênio (VE/VO_2) começou a subir de modo sistemático, sem um aumento concomitante do equivalente de dióxido de carbono (VE/VCO_2) e no ponto de menor valor do VE/VO_2 e de menor valor da fração expirada de oxigênio (F_{eO_2}). O segundo limiar ventilatório (lv_2) foi detectado quando ocorreu uma nova elevação súbita da VE, elevação sistemática do VE/VCO_2 e no ponto de menor valor do VE/VCO_2 e maior fração expirada de dióxido de carbono (F_{eCO_2}). O teste foi considerado máximo quando o coeficiente de troca respiratória (R) era $\geq 1,10$. A formação de platô na curva do pulso de oxigênio (VO_2/FC) e/ou frequência cardíaca superior à máxima

individual prevista e/ou fadiga do voluntário, foram critérios adotados para interrupção do teste.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA: Utilizou-se o software Sigma Stat 32 (Jandel Corporation) para realizar a análise estatística. Inicialmente foi aplicado o teste de normalidade de Kolmogorov – Smirnov. Em seguida, para testar a diferença de médias, foi empregado o teste “t” de Student em distribuições normais e o de Mann Whitney, para as não normais, e utilizada a correlação linear de Pearson, para análise um a um, adotando-se em todos os casos como limite para o nível de significância, $p \leq 0,05$.

4 CAPACIDADE AERÓBIA EM HOMENS JOVENS COM BAIXO PESO

Artigo original publicado na revista "Anais da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pernambuco", volume 47, número 2, páginas 101-106 de 2002.(ANEXO C)

CAPACIDADE AERÓBIA EM HOMENS JOVENS COM BAIXO PESO

Alberto Galvão de Moura Filho *

Naíde Regueira Teodósio **

José Audísio Costa ***

Universidade Federal de Pernambuco - Departamento de Fisioterapia e Departamento de
Nutrição

* Mestre, Professor Adjunto do Departamento de Fisioterapia – CCS, UFPE

** Professora Emérita da UFPE – Departamento de Nutrição - CCS, UFPE

*** Doutor, Professor Adjunto do Departamento de Nutrição – CCS, UFPE

MOURA FILHO, A.G.; TEODÓSIO, N.R. ; COSTA, J.A. – Capacidade aeróbia em homens jovens com baixo peso. An. Fac. Med. Univ. Fed. Pernamb. Recife.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar através de teste de exercício a capacidade aeróbia de homens jovens, hígidos, não fumantes, não atletas, para verificar a existência de perdas funcionais relacionadas à densidade corporal. Foram avaliados 40 homens, com idade entre 19 e 27 anos, classificados pelo Índice de Massa Corporal-IMC e distribuídos em dois grupos: baixo peso (n=20, IMC<18,5 kg/m²) e controle (n=20, IMC 18,5 – 24,99 kg/m²). Após avaliação da composição corporal, capacidade pulmonar e exames de sangue, os voluntários aptos realizaram o teste cardiopulmonar de exercício em esteira segundo o protocolo de Bruce. Os valores para análise foram tomados nos limiares ventilatórios lv₁ e lv₂ e no pico do exercício. Na análise estatística descritiva, teste “t” de Student, Mann Whitney e correlação de Pearson, adotou-se p<0,05 como limite de significância. O grupo controle apresentou respostas mais elevadas as variáveis estudadas, evidenciando a interferência da maior densidade corporal, mas apenas o pulso de oxigênio no segundo limiar ventilatório (VO₂/FC_{LV2}) apresentou diferença estatística. Quando o consumo pico de oxigênio foi normalizado pelo peso total (VO₂/kg_{pico}) e pelo peso magro (VO₂/kgPM_{pico}), os maiores valores foram do grupo baixo peso, mostrando que adaptações fisiológicas associadas a sua menor massa muscular acentuam o metabolismo oxidativo.

UNITERMOS: Capacidade aeróbia; Baixo peso; Teste cardiopulmonar de exercício; Homens jovens.

INTRODUÇÃO

O consumo de oxigênio (VO_2) representa o esforço combinado dos sistemas fisiológicos responsáveis pela captação, transporte e extração do oxigênio necessário para a manutenção do metabolismo celular¹. O exercício físico é o principal agente estressor capaz de aumentar em até 20 vezes o metabolismo basal do organismo e em até 50 vezes a atividade metabólica dos músculos esqueléticos^{1,2}. Durante o esforço físico de intensidade progressiva, atinge-se um ponto onde não é mais possível para os sistemas fisiológicos acompanhar linearmente o aumento da carga de trabalho e um valor máximo de consumo de oxigênio (VO_{2max}) é atingido, constituindo-se em importante parâmetro fisiológico para avaliação da capacidade física individual³.

A capacidade para realizar trabalho físico depende diretamente da massa muscular esquelética que é diretamente relacionada com o tamanho e o peso corporal. Indivíduos com baixa densidade corpórea estão menos capacitados a realização de tarefas que imponham sobrecarga física que aqueles que apresentam densidades normais^{1,4}.

Na avaliação epidemiológica e clínica da adequação entre o peso e a estatura, tem sido bastante utilizado o Índice de Massa Corporal - IMC proposto por Quételet, que é a razão entre o peso corporal (kg) dividido pela estatura (m^2)⁵. Em seu último consenso sobre antropometria, a Organização Mundial da Saúde - OMS estabeleceu os limites entre 18,5 e 24,99 kg/m^2 para a faixa de normalidade do IMC. Considera-se como baixo peso o $IMC < 18,5$ e sobrepeso o $IMC \geq 25,0$ ⁶.

Durante muitos anos o nível de $IMC < 20 kg/m^2$ foi tomado como ponto de corte para o baixo peso e considerado como indicativo de estado de desnutrição⁷. Apoiados neste critério antropométrico muitos estudos visando avaliar a capacidade física para executar trabalho em indivíduos com baixo peso foram realizados^{9,10,11,12,13,14,15,16,17}. O uso isolado do IMC não

permite informar acerca da composição corporal e do estado de nutrição individual, sendo necessário associar outras medidas antropométricas e laboratoriais para melhor caracterizar cada situação^{5,8}.

A literatura, especialmente na área de nutrição, mostra que diferentes abordagens têm sido empregadas para avaliar a capacidade física para realizar trabalho e medir o consumo de oxigênio em diferentes grupos de indivíduos com IMC normal e/ou com baixo peso, o que dificulta a comparação dos resultados.

Vários estudos evidenciaram que a frequência cardíaca para a mesma carga de trabalho mostrava-se mais elevada em indivíduos com baixa densidade corpórea do que nos controles com IMC normais^{9,10,13,14,17}. O consumo de oxigênio em valores absolutos (l/min), estimado a partir de testes submáximos^{9,13,14} ou medido diretamente através de analisadores de gases em testes progressivos^{11,12,16}, apresentou resultados inferiores em indivíduos com baixo peso, portadores ou não de carência energética crônica.

Em indivíduos com baixo peso também foi observado a diminuição no tempo de resistência ao exercício com carga constante (T 80)^{10,11}, diminuição da resposta a PWC 170¹⁴, baixos valores para o pulso de oxigênio (VO₂/FC)¹⁷ e níveis mais elevados de lactato sanguíneo após a realização de testes de exercício^{13,14}, quando comparado aos controles.

Entretanto, Barac-Nieto, M., Spurr, G.B, Reina, J.C. (1984)¹² verificaram que o consumo de oxigênio quando normalizado em função do peso corporal total (mlO₂/kg/min) ou do peso magro (mlO₂/kgPM/min), encontrava-se mais elevado em indivíduos com baixo peso do que nos controles, resultado que eles atribuíram ao melhor condicionamento da musculatura esquelética.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade aeróbia de homens jovens portadores de baixo peso (IMC < 18,5 kg/m²), hígidos, utilizando um protocolo de esforço progressivo para verificar a existência ou não de perdas funcionais relacionadas a menor

massa muscular esquelética encontrada nestes indivíduos, comparando estes resultados com o desempenho obtido em condições semelhantes por indivíduos dentro da faixa de normalidade da adequação peso/estatura (IMC 18,5 – 24,99 kg/m²).

MÉTODOS

Amostra: Foram selecionados 40 homens jovens, com idade entre 19 e 27 anos, hígidos, não fumantes, não atletas e de nível universitário. De acordo com o IMC os voluntários foram distribuídos em 2 grupos: grupo teste (n=20, $IMC < 18,5 \text{ kg/m}^2$) e grupo controle (n=20, IMC entre 18,5 e $24,99 \text{ kg/m}^2$).

Procedimento experimental: Após aprovação do protocolo pelo Comitê de Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco, todos os voluntários deram seu consentimento por escrito. Em seguida foram submetidos a exames de sangue e a testes de avaliação da composição corporal, capacidade funcional pulmonar e ao teste cardiopulmonar de exercício. Somente foram incluídos no estudo e realizaram a prova de esforço, os indivíduos que apresentaram resultados dentro dos padrões de normalidade para os exames hematológicos, bioquímicos e espirométricos.

Exames de Sangue: Hemograma completo (CBC/VCS), dosagens de albumina sérica (Verde de Bromocresol), ferro sérico (Smith), glicose (Hexoquinase), uréia (Cinético Enzimático), creatinina (Cinético Enzimático), triglicérides (Enzimático Colorimétrico), colesterol total e fração HDL (Enzimático – Colorimétrico).

Composição Corporal: o peso corporal foi medido em balança eletrônica com variação de 0,1kg, e a estatura em estadiometro de parede com variação de 0,5 cm. As dobras cutâneas foram medidas com compasso tipo Harpenden (Cescorf), sendo usada à equação de Faulkner¹⁸ para o cálculo do percentual de gordura corporal.

Capacidade Funcional Pulmonar: os volumes pulmonares foram medidos por espirômetro de fluxo/volume (Espirotest, Welch Allyn), utilizando-se o protocolo de Knudson et al.¹⁹.

Teste Cardiopulmonar de Exercício: foi utilizado o protocolo clássico de Bruce, em esteira (Millenium, Imbramed), para gerar a carga progressiva²⁰. Os gases expirados foram coletados pelo analisador de gases VO2000 e analisados através do software Aerograph (Aerosport

Inc.). Os limiares ventilatórios (lv_1 e lv_2) foram determinados pelo método descrito por Wasserman²¹. O teste foi interrompido quando da ocorrência de uma das seguintes situações: a) quando o voluntário referia exaustão; b) quando era ultrapassada a frequência cardíaca máxima individual, e; c) com formação de platô na curva do pulso de oxigênio. O teste foi considerado máximo quando o coeficiente de troca respiratória (R) era $\geq 1,10$.

Análise Estatística: Utilizou-se o pacote estatístico Sigma Stat 32 para realizar a Análise Descritiva, o teste “t” de Student para dados não pareados, Mann Whitney e a Correlação de Pearson, adotando-se $p < 0,05$ como limite para o nível de significância.

RESULTADOS

Os dados referentes às características antropométricas e a composição corporal dos indivíduos estudados são mostrados na Tabela 1. As médias do peso corporal e do IMC mostraram diferenças estatisticamente significantes, caracterizando a existência de dois grupos antropometricamente distintos, com exceção da estatura. Já a inexistência de diferenças significativas entre as médias, com relação à idade e a estatura, permite supor que estas variáveis não deverão influenciar os demais resultados alcançados.

Apesar do pequeno número de indivíduos avaliados, o peso corporal apresentou boa correlação com o IMC em ambos os grupos (controle $r = 0,8113$; baixo peso $r = 0,5935$), mas não com a estatura (controle $r = 0,1318$; baixo peso $r = 0,1766$), corroborando com os resultados descritos na literatura.

A análise da composição corporal realizada a partir das dobras cutâneas mostrou diferenças significativas ($p < 0,001$) entre os grupos para todas as variáveis estudadas.

Tabela 1 – Médias e Desvios Padrão segundo as variáveis, idade, peso, estatura, índice de massa corporal (IMC), percentual de gordura corporal (%G), peso da gordura (PG) e peso corporal magro (PM).

	<i>Controle (n = 20)</i>	<i>Baixo Peso (n = 20)</i>	<i>Teste "t"</i>
Idade (anos)	22,450 ± 1,905	22,000 ± 2,534	P = 0,529
Peso (kg)	67,890 ± 7,200	55,610 ± 4,426	* P < 0,001
Estatura (m)	1,752 ± 0,057	1,775 ± 0,057	P = 0,202
IMC (kg/m ²)	22,086 ± 1,731	17,608 ± 0,643	* P < 0,001
% G	13,235 ± 1,467	9,491 ± 1,118	* P < 0,001
P G (kg)	9,038 ± 1,812	5,278 ± 0,942	* P < 0,001
P M (kg)	58,851 ± 4,056	50,331 ± 2,239	* P < 0,001

Nível de significância $p < 0,05$. * Mann Whitney

A fim de possibilitar a análise comparativa entre os grupos no desempenho do teste cardiopulmonar de exercício, foram considerados como pontos de referência os valores das variáveis encontradas no primeiro limiar ventilatório (lv_1), segundo limiar ventilatório (lv_2) e no final do exercício (pico). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores apresentados são Médias \pm Desvios Padrão da frequência cardíaca (FC), pulso de oxigênio (VO_2/FC), consumo absoluto de oxigênio (VO_2), consumo de oxigênio pelo peso corporal total ($VO_2/Kg/min$), consumo de oxigênio pelo peso corporal magro ($VO_2/kgPM/min$), respectivamente, no primeiro limiar ventilatório (lv_1), segundo limiar ventilatório (lv_2) e no limite máximo de esforço individual (pico).

	<i>Controle (n = 20)</i>	<i>Baixo Peso (n = 20)</i>	<i>Teste "t"</i>
FC $_{LV1}$ (bpm)	126,150 \pm 8,999	124,100 \pm 17,338	P = 0,685
FC $_{LV2}$ (bpm)	166,250 \pm 12,217	164,100 \pm 15,911	P = 0,634
FC $_{pico}$ (bpm)	190,950 \pm 8,494	190,800 \pm 9,589	P = 0,959
VO_2/FC $_{LV1}$ (ml/b)	10,510 \pm 2,138	9,610 \pm 1,844	P = 0,162
VO_2/FC $_{LV2}$ (ml/b)	13,339 \pm 1,931	11,945 \pm 1,962	P = 0,029
VO_2/FC $_{pico}$ (ml/b)	15,020 \pm 2,021	14,210 \pm 2,016	P = 0,212
VO_2 $_{LV1}$ (L/min)	1,335 \pm 0,263	1,187 \pm 0,262	P = 0,082
VO_2 $_{LV2}$ (L/min)	2,231 \pm 0,369	1,980 \pm 0,426	P = 0,054
VO_2 $_{max}$ (L/min)	2,882 \pm 0,392	2,702 \pm 0,427	P = 0,175
VO_2/kg $_{LV1}$ (mlO ₂ /kg/min)	19,668 \pm 3,537	21,290 \pm 4,145	P = 0,191
VO_2/kg $_{LV2}$ (mlO ₂ /kg/min)	32,945 \pm 5,200	35,569 \pm 6,988	P = 0,186
VO_2/kg $_{pico}$ (mlO ₂ /kg/min)	42,410 \pm 4,421	48,608 \pm 6,582	P = 0,001
$VO_2/kgPM$ $_{LV1}$ (mlO ₂ /kg/min)	22,739 \pm 3,887	23,275 \pm 4,562	P = 0,570
$VO_2/kgPM$ $_{LV2}$ (mlO ₂ /kg/min)	37,974 \pm 5,376	39,275 \pm 7,679	P = 0,457
$VO_2/kgPM$ $_{pico}$ (mlO ₂ /kg/min)	48,984 \pm 4,904	53,649 \pm 6,985	P = 0,019

Nível de significância $p < 0,05$

Os resultados obtidos pelo grupo controle quando expressos em valores absolutos foram sempre superiores aos do grupo baixo peso. Apenas apresentaram diferenças

estatisticamente significantes entre suas médias as variáveis VO_2/FC_{LV2} , VO_2/kg_{pico} e $VO_2/kgPM_{pico}$.

O grupo controle apresentou maior pulso de oxigênio ao nível do segundo limiar ventilatório (VO_2/FC_{LV2}). No entanto, a quebra na curva do pulso de oxigênio verificada neste grupo a partir do lv_2 (figura 1), contribuiu para fazer desaparecer a tendência de crescimento maior neste grupo observada até atingir este ponto, determinando que os valores encontrados no pico do exercício não fossem mais estatisticamente diferentes.

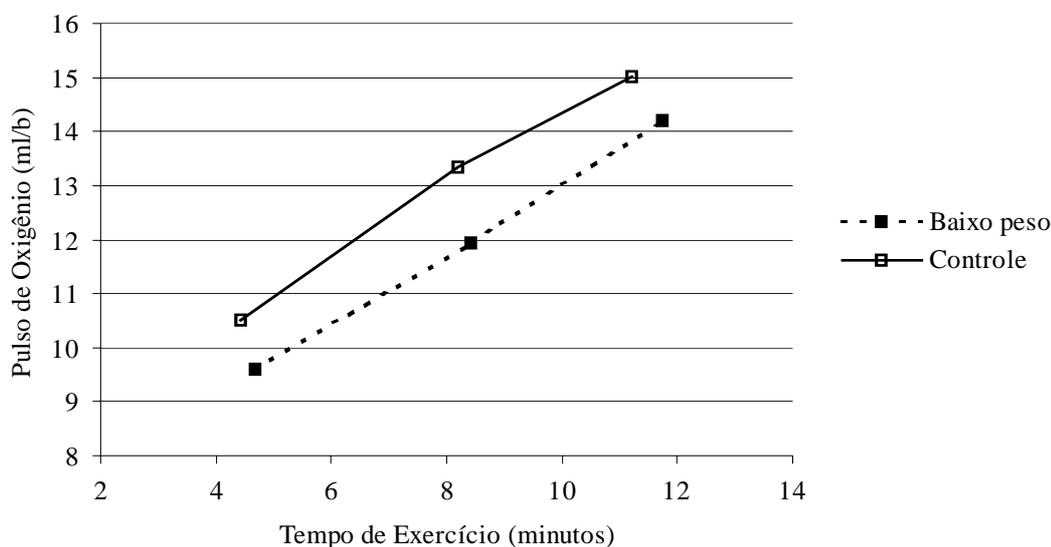


Figura 1. Curvas do pulso de oxigênio nos limiares ventilatórios (lv_1 e lv_2) e ao final do exercício (pico).

A frequência cardíaca não mostrou diferença estatística entre os grupos em nenhum dos níveis fisiológicos tomados como referência. Este resultado revela que independente da resposta cronotrópica do coração outros fatores devem estar envolvidos na quebra da curva do pulso de oxigênio observada no grupo controle ao nível do lv_2 .

O consumo de oxigênio expresso em valores absolutos foi sempre mais elevado no grupo controle embora as diferenças entre as médias não tivessem significância estatística.

No entanto, quando o consumo de oxigênio no limite máximo do exercício foi normalizado pelo peso corporal total (VO_2/kg_{pico}) ou pelo peso corporal magro ($VO_2/kgPM_{\text{pico}}$), mostrou-se mais elevado e significativamente diferente no grupo baixo peso.

A evolução do consumo de oxigênio em relação ao tempo mostra quebra das curvas de ambos os grupos ao nível do lv_2 , sendo mais acentuada no grupo controle conforme pode ser visto na figura 2.

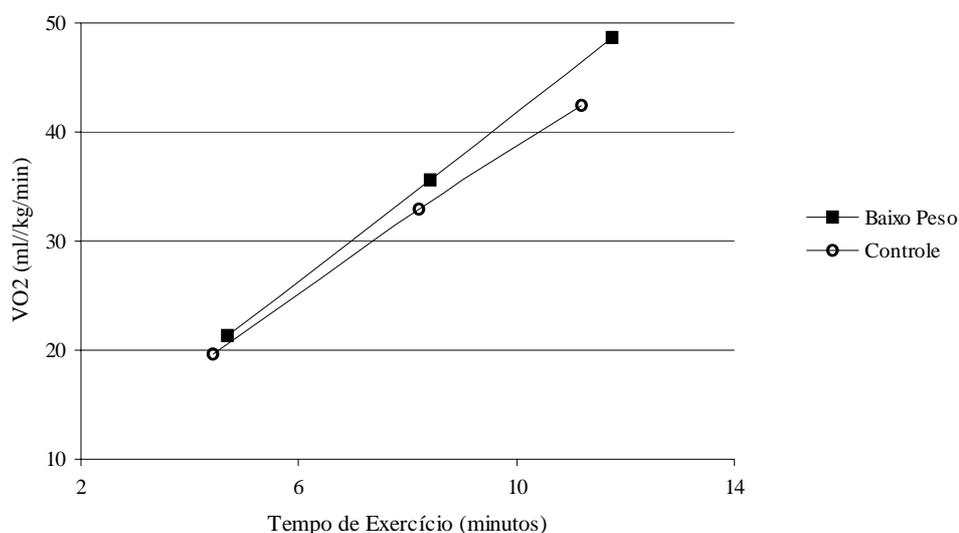


Figura 2. Curvas do consumo de oxigênio normalizado pelo peso corporal total, medido nos limiares ventilatórios (lv_1 e lv_2) e no final do exercício (pico).

Os resultados do teste cardiopulmonar de exercício indicam que existem poucas diferenças funcionais entre os grupos estudados apesar da significativa diferença morfológica entre eles. O grupo controle apresentou maior pulso de oxigênio enquanto que o grupo baixo peso apresentou maior consumo relativo de oxigênio, talvez indicando uma melhor adaptação ao trabalho físico em função da capacidade aeróbia.

DISCUSSÃO

Com exceção da variável estatura, os grupos estudados mostraram ser antropometricamente diferentes. O grupo controle apresentou valores absolutos de consumo de oxigênio maiores que o baixo peso como seria esperado, já que a quantidade de massa muscular envolvida em trabalho está diretamente relacionada com o consumo máximo de oxigênio¹. No entanto, estas diferenças não foram estatisticamente significantes nas condições do teste utilizado.

Em testes de exercício submáximo, onde o consumo de oxigênio é estimado a partir da relação entre a carga de trabalho e a resposta de frequência cardíaca alcançada no estado de equilíbrio, considera-se melhor capacitado o indivíduo que conseguir sustentar a mesma carga com a menor frequência cardíaca⁹. Indivíduos com baixas densidades corpóreas quando submetidos à mesma carga de trabalho que indivíduos com densidade normal desenvolvem frequências cardíacas mais elevadas, pois se encontram submetidos a níveis mais elevados de estresse⁴. O uso do cicloergometro favorece o desempenho dos indivíduos com maior peso dos membros inferiores e do tronco, acentuando ainda mais esta diferença²³.

Em testes progressivos em esteira, como o protocolo usado nesta investigação, a carga de trabalho depende do peso individual o que a torna variável. No entanto, as respostas obtidas nos limiares ventilatórios representam níveis de estresse fisiológico equivalentes entre diferentes indivíduos^{3,21}. Isto pode explicar o comportamento da frequência cardíaca que não apresentou diferença significativa em nenhum dos níveis estudados.

Por esta razão os resultados apresentados na literatura devem ser vistos com cautela, especialmente àqueles que tentam relacionar o desempenho físico de indivíduos com baixo peso com sua suposta situação nutricional avaliada antropometricamente, pois podem não retratar uma influência da condição nutricional em si, mas o efeito do tamanho e da densidade do corpo em relação à carga, conforme foi mostrado neste estudo com indivíduos hígidos.

Este estudo mostrou quebra da curva do pulso de oxigênio ao nível do LV₂ entre os indivíduos com IMC normal e como o comportamento da frequência cardíaca não contribuiu para este efeito, outros fatores devem estar envolvidos.

O LV₂ representa uma etapa do exercício físico onde o ritmo glicolítico se eleva e ocorre rápida acumulação de lactato e acentuação da acidose^{3,21}. A velocidade com que o lactato é formado e removido interfere diretamente na acidose e na continuidade do exercício²¹. Por sua vez, o lactato pode ser reutilizado como substrato energético no fígado e em alguns tecidos (ciclo de Cori), como o coração e as fibras musculares esqueléticas do tipo I²⁴.

Foi verificado entre indivíduos com elevada capacidade aeróbia, como os corredores de longa distância (fundistas), uma maior proporção de fibras musculares oxidativas, tipo I (70%) e tipo IIa (23%), que do tipo glicolítico IIb (4%), enquanto que entre levantadores de peso (alterofilistas) as proporções encontradas foram 40%, 40% e 20% para as fibras musculares do tipo I, IIa e IIb, respectivamente²⁵.

Estas adaptações fisiológicas encontradas nos atletas de resistência que apresentam IMC na faixa do baixo peso podem ser o resultado combinado de várias modificações metabólicas e estruturais. A maior proporção e a hipertrofia de fibras musculares oxidativas vêm acompanhadas de maior densidade capilar-muscular, o que favorece a perfusão dos músculos em trabalho e diminui a resistência vascular periférica. Ocorre ainda aumento do conteúdo de mioglobina, da densidade e do tamanho das mitocôndrias e da capacidade enzimática oxidativa²⁶. Estes fatores, em associação, determinam maior oferta e melhor extração e utilização tecidual do oxigênio favorecendo ao melhor condicionamento para resistir aos efeitos da acidose metabólica provocada pelo exercício^{24,26}.

Em geral, indivíduos com baixo peso apresentam traços predominantes do biótipo longilíneo e menor massa muscular²⁴, habitualmente evitam realizar tarefas que exijam

elevada potência mecânica e desse modo seus músculos são freqüentemente utilizados em atividades aeróbias de pequeno impacto ⁴.

O tamanho do soma e o número de motoneurônios medulares são fatores determinados geneticamente que interferem diretamente na velocidade de contração e na capacidade muscular de gerar tensão mecânica ^{24,27}. A partir das características de recrutamento dos motoneurônios e do padrão de atividade física imposto sistematicamente aos músculos, desenvolve-se uma hierarquia oxidativa entre os tipos de fibras musculares esqueléticas (I > IIa > IIb) ²⁴.

Como as características da morfologia corporal externa podem influenciar os padrões motores e estes por sua vez agem diretamente na capacidade funcional dos indivíduos, estas adaptações fisiológicas descritas na literatura talvez possam explicar o maior consumo relativo (VO_2/kg e $VO_2/kgPM$) de oxigênio encontrado no grupo baixo peso ao atingir o pico do exercício.

Os maiores valores absolutos encontrados no grupo controle em relação ao consumo de oxigênio e ao pulso de oxigênio seriam de esperar, já estas variáveis dependem do tamanho do coração que é proporcional as dimensões corporais ¹. O maior consumo absoluto de oxigênio dá uma aparente vantagem funcional ao grupo controle em relação ao grupo baixo peso, mencionada em vários trabalhos, mas que não se confirma ao ser corrigido o resultado pelo peso corporal total ou pelo peso corporal magro.

CONCLUSÕES

Os resultados encontrados no protocolo de exercício utilizado mostraram que as diferenças nos indicadores clássicos de capacidade aeróbia (consumo máximo de oxigênio e frequência cardíaca), não foram estatisticamente diferentes entre indivíduos portadores de baixo peso e controles.

Embora maiores, os valores encontrados no grupo controle não foram estatisticamente diferentes do grupo baixo peso. Apenas o pulso de oxigênio no lv_2 mostrou diferença significativa, mas devido à quebra da curva observada a partir deste momento ao atingir o pico do exercício esta tendência não se confirmou.

Quando o consumo pico de oxigênio foi normalizado pelo peso corporal total e pelo peso corporal magro, verificou-se que o resultado do grupo baixo peso era significativamente maior. Este achado indica, em comparação com os controles, uma maior extração de oxigênio no pico do exercício, quando o metabolismo anaeróbio apresenta maior contribuição na oferta de energia para manutenção da atividade.

Para atividades físicas que exigem o transporte de cargas externas, como a elevação de pesos, a maior quantidade de massa muscular encontrada em indivíduos com maior densidade corpórea favorece o desenvolvimento da potência exigida com menor estresse fisiológico. No entanto, em tarefas como a translação do corpo na marcha, a menor massa muscular esquelética encontrada nos indivíduos com baixo peso não parece se constituir em impedimento ou em perda funcional para o desempenho deste tipo de trabalho.

Através de sua adaptação ao trabalho contínuo de baixa intensidade os indivíduos com baixo peso acentuam o metabolismo oxidativo, possibilitando uma melhor utilização do oxigênio disponível através de seus músculos em trabalho e favorecendo a melhora da potência aeróbia.

MOURA FILHO, A.G.; TEODÓSIO, N.R.; COSTA, J.A. – Aerobic capacity in young underweight men. An. Fac. Med. Univ. Fed. Pernamb. Recife,

ABSTRACT: the aim of this study was to assess the capacity for working in young underweight, healthy, non-smoking and non-athletes men by cardiopulmonar exercise test. Fourty men, age ranged 19 to 27 years, classified by the body mass index – BMI were distribute to former two groups: underweight (n=20, IMC<18,5 kg/m²) and control (n=20, IMC 18,5 – 24,99 kg/m²). After assessment the body composition, lung capacity and blood samples, the volunteers underwent to cardiopulmonar exercise test in treadmill according Bruce's protocol. For results analysis, ventilatory thresholds (lv₁ and lv₂) and the peak of the exercise stress were taken. Statistical analysis were descriptive, Student "t" test, Mann Whitney and Pearson correlation with level of significance p<0,05. Control group showed highest responses in order with highest body density, but only the oxygen pulse in the second ventilatory threshold (VO₂/FC_{LV2}) showed statistical difference. When the exercise oxygen's peak was corrected to total body weight (VO₂/kg_{pico}) or to lean body weight (VO₂/kgPM_{pico}), underweight group showed highest results. Probably, physiological adaptations relate to minor skeletal muscle mass founding in underweight subjects enhanced their oxidative metabolism.

KEYWORDS: Aerobic capacity; Underweight; Cardiopulmonar exercise test; Young men.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- ASTRAND, P.O., RODAHL, K. **Tratado de Fisiologia do Exercício**. 1ª Edição em português. Rio de Janeiro. Editora Interamericana. 1980.
- 2- SALTIN, B. Physiologic adaptation to physical conditioning. **Acta Med. Scand Suppl.** 711 : 11-24, 1987.
- 3- RIBEIRO, J.P. Limiares Metabólicos e Ventilatório Durante o Exercício. Aspectos Fisiológicos e Metodológicos. **Arq Bras Cardiol.** 64 (2): 171 –181, 1995.
- 4- DURNIN, J.V.G.A. Low body mass index, physical work capacity and physical activity levels. **Eur J Clin Nutr.** 48, Suppl. 3, S39 – S44, 1994.
- 5- ANJOS, L.A. Índice de Massa Corporal (Massa Corporal/ Estatura²) como indicador do estado nutricional de adultos: Revisão da Literatura. **Rev Saúde Pública**, São Paulo, v.26, n.6, p. 431 - 436, 1992.
- 6- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **El estado físico: uso e interpretación de la antropometría**. Ginebra, 1995. 520p. Informe de um Comité de expertos de la OMS, Genebra, Série Informes Técnicos, nº 854.
- 7- COITINHO D.C. **Condições Nutricionais da População Brasileira: adultos e Idosos**. p.74. Brasília, 1991.
- 8- AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. **Guidelines for Exercise Testing and Prescription**. 5Th ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 1995.
- 9- ANGELELI W., VICHI F.L., SANTOS J.E., CEVALLO ROMERO L.S., DUTRA DE OLIVEIRA J.E. Capacidade física de trabalhadores migrantes antes e após nutrição balanceada. Análise por cicloergometria. **Arq Bras Cardiol.** 40 (2): 97 –101, 1983.

- 10- BARAC-NIETO, M., SPURR, G.B., MAKSUD, M.G., LOTERO, H. Aerobic work capacity in chronically undernourished adult males. **J Appl Physiol.** 44 (2): 209 – 215, 1978.
- 11- BARAC-NIETO, M., SPURR, G.B, DAHNERS, H.W., MAKSUD, M.G. Aerobic work capacity and endurance during nutritional repletion of severely undernourished men. **Am J Clin Nutr.** 33: 2268 – 2275, 1980.
- 12- BARAC-NIETO, M., SPURR, G.B, REINA, J.C. Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: body composition and maximal O₂ consumption. **Am J Clin Nutr,** 39: 830 – 839, 1984.
- 13- DESAI, I.D.,GARCIA TAVARES, M.L, DUTRA DE OLIVEIRA B.S. ET AL. Anthropometric and cycloergometric assessment of the nutritional status of the children of agricultural migrant workers in southern Brazil. **Am J Clin Nutr.** 34: 1925 – 1934, 1981.
- 14- DESAI, I.D.,WADDELL C., DUTRA, S. ET AL. Marginal malnutrition and reduced physical work capacity of migrant adolescent boy in southern Brazil. **Am J Clin Nutr.** 40: 135 – 145, 1984.
- 15- SATYANARAYANA, K., NAIDU, N., CHATTERJEE, B., RAO, N. Body size and work output. **Am J Clin Nutr.** 30: 322 – 325, 1977.
- 16- SPURR, G.B., REINA, J.C, DAHNERS, H.W., BARAC-NIETO, M. Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: functional consequences in maximum exercise. **Am J Clin Nutr.** 37: 834 – 847, 1983.
- 17- VITERI, F., TORÚN B. Ingestion calórica y trabajo físico de obreros agrícolas en Guatemala. **Bol Ofic Sanitar Panam.** 78 (1), 58 – 74, 1975.
- 18- GUEDES D.P. Gordura corporal: validação da equação de Faulkner em jovens pertencentes à população brasileira. **Artus,** Rio de Janeiro, 17:10-13, 1986.

- 19- KNUDSON R.J., LEBOWITZ M.D., HOLBERG C.J., BURROWS B. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. **Am Rev Respir Dis.** 127: 725-734, 1983.
- 20- ELLESTAD, M.H. **Prova de Esforço.** Rio de Janeiro, Cultura Médica, 1984.
- 21- WASSERMAN K., McILROY M.B. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. **Am J Cardiol.** 14:844-852, 1964.
- 22- LEE J., KOLONEL L.N., WARD M. Relative merits of the weight corrected for height indices. **Am J Clin Nutr.** v. 34: p. 2519-2521, 1979.
- 23- ASTRAND P.O., SALTIN B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. **J Appl Physiol.** 16: 977-981, 1961b.
- 24- FOSS, M.L.; KETHEYIAN, S.J. **Fox, Bases Fisiológicas do Exercício e do Esporte.** 6ª ed., Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2000.
- 25- STARON R.S., HIKIDA R.S., HAGERMAN F.C., DUDLEY G.A., MURRIA T.F. Human skeletal muscle fiber type adaptability to various workloads. **J Histochem Cytochem.** 32 (2):146-152, 1984.
- 26- MAUGHAN R., GLEESON M., GREENHAFF P.L. **Bioquímica do Exercício e do Treinamento.** 1ª edição brasileira, São Paulo, Manole, 2000..
- 27- McCOMAS A.J. **Skeletal muscle: form and function.** Champaign. Human Kinetics, 1996.

5 LIMIARES VENTILATÓRIOS EM HOMENS JOVENS COM BAIXO PESO

Artigo submetido para publicação na revista Anais da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pernambuco (ANEXO D)

LIMIARES VENTILATÓRIOS EM HOMENS JOVENS COM BAIXO PESO

Alberto Galvão de Moura Filho *

Naíde Regueira Teodósio **

José Audísio Costa ***

Universidade Federal de Pernambuco - Departamento de Fisioterapia e Departamento de
Nutrição

* Mestre, Professor Adjunto do Departamento de Fisioterapia – CCS, UFPE

** Professora Emérita da UFPE – Departamento de Nutrição - CCS, UFPE

*** Doutor, Professor Adjunto do Departamento de Nutrição – CCS, UFPE

MOURA FILHO, A.G.; TEODÓSIO, N.R. ; COSTA, J.A. – Limiares ventilatórios em homens jovens com baixo peso. An. Fac. Med. Univ. Fed. Pernamb. Recife,

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade funcional de homens jovens com baixo peso através de teste de exercício, utilizando os limiares ventilatórios para expressar intensidades de esforço. Foram estudados 40 homens, com idade entre 19 e 27 anos, hígidos, não fumantes, não atletas, distribuídos pelo Índice de Massa Corporal-IMC em dois grupos: baixo peso ($n=20$, $IMC < 18,5 \text{ kg/m}^2$) e controle ($n=20$, $IMC 18,5 - 24,99 \text{ kg/m}^2$). Após avaliação da composição corporal, capacidade pulmonar e exames de sangue, os voluntários aptos realizaram o teste cardiopulmonar de exercício em esteira, de acordo com o protocolo de Bruce. Os dados foram registrados a cada 20 segundos e os valores encontrados nos limiares ventilatórios (lv_1 e lv_2), no pico e no segundo minuto da recuperação, utilizados para análise. Na análise estatística foi empregado o software Sigma Stat 32 para a Correlação Linear de Pearson, teste “t” de Student e teste de Mann Whitney, sendo $p \leq 0,05$ o limite de significância. O grupo controle apresentou maior consumo em Cal/min no lv_1 e maior pulso do oxigênio no lv_2 . No pico, o grupo baixo peso apresentou maior consumo relativo de oxigênio (VO_2/kg_{pico} , $VO_2/kgPM_{pico}$ e MET_{pico}), provavelmente devido a uma maior extração pelas fibras musculares ativas. Com a utilização dos limiares ventilatórios como índices de esforço, a frequência cardíaca não apresentou diferença entre os grupos em nenhum estágio do teste.

UNITERMOS: Limiares ventilatórios; Baixo peso; Teste cardiopulmonar de exercício; Homens jovens.

INTRODUÇÃO

A capacidade para realizar trabalho físico depende diretamente da quantidade de massa muscular esquelética que é, por sua vez, diretamente relacionada ao tamanho e ao peso corporal ¹. Em indivíduos jovens, estima-se que os músculos esqueléticos representem aproximadamente metade de sua massa corporal magra ^{2,3}. Devido a este fato, entre indivíduos do mesmo sexo e faixa etária, aqueles com menores dimensões corporais (estatura e peso) parecem estar menos capacitados para a realização de tarefas que imponham sobrecarga física ³.

A adequação entre o peso e a estatura tem sido sistematicamente avaliada através do Índice de Massa Corporal - IMC proposto por Quételet, que é a razão entre o peso corporal total (kg) dividido pela estatura (m²) ^{4,5}. De acordo com a Organização Mundial da Saúde – OMS, a faixa de normalidade para o IMC compreende os limites entre 18,5 e 24,99 kg/m², sendo considerado baixo peso o IMC < 18,5 e sobrepeso o IMC ≥ 25,0 ⁶.

Durante muito tempo o IMC < 20 kg/m² foi adotado como ponto de corte para o baixo peso e até considerado como indicativo do estado de desnutrição ⁷. Apoiados neste critério, vários estudos foram realizados visando avaliar a capacidade física para executar trabalho em indivíduos com baixo peso ^{8,9,10,11,12,13,14,15,16}.

No entanto, o uso isolado do IMC não permite informar acerca da composição corporal e do estado de nutrição individual, sendo necessário associar outras medidas antropométricas e laboratoriais para melhor caracterizar cada situação ⁵.

Além da idade, sexo e dimensões corporais, outros fatores relacionados ao consumo absoluto de oxigênio (VO₂) interferem nas respostas do organismo ao exercício físico e estas respostas fisiológicas dependem da interação destes fatores com a carga de trabalho imposta ^{1,17}.

O VO_2 aumenta linearmente com os incrementos da carga de trabalho e representa o esforço combinado dos sistemas fisiológicos responsáveis pela captação, transporte e extração do oxigênio necessário para a manutenção do metabolismo celular¹. O exercício físico é um agente estressor natural, capaz de aumentar em até 20 vezes o metabolismo basal e em até 50 vezes a atividade metabólica dos músculos esqueléticos¹⁸.

Durante exercício físico de intensidade progressiva, atinge-se um ponto onde não é mais possível, para os sistemas fisiológicos, acompanhar linearmente o aumento da carga de trabalho e um valor máximo de consumo de oxigênio ($\text{VO}_{2\text{max}}$) é atingido, este se constituindo em importante parâmetro para a avaliação da capacidade física individual^{1,17,18,19,20}.

Para realizar trabalho físico prolongado em intensidade submáxima é necessário desenvolver tolerância às mudanças metabólicas impostas pelo exercício o que não se explica apenas pelo $\text{VO}_{2\text{max}}$ ^{19,20,21}.

Até intensidades de 40% a 60% do $\text{VO}_{2\text{max}}$, a concentração sanguínea de lactato difere pouco da encontrada em nível de repouso. Até esta intensidade, a ventilação minuto (VE) e a produção de dióxido de carbono (VCO_2) também aumentam linearmente com a carga de trabalho. Acima desta intensidade, a concentração de lactato sanguíneo começa a aumentar, enquanto a VE passa a aumentar em desproporção ao aumento do VO_2 (1º limiar ventilatório). Com a continuidade do exercício, existe um segundo momento no qual a concentração de lactato sanguíneo aumenta rapidamente e a VE aumenta de maneira desproporcional em relação ao VCO_2 , o qual é considerado o 2º limiar ventilatório^{19,20}.

A observação destas trocas gasosas e das respostas metabólicas ao exercício possibilitou a utilização de curvas ventilatórias e de lactato, como forma de identificação dos limiares ventilatórios e metabólicos como índices da capacidade para o trabalho prolongado^{20,21}. Atualmente os limiares ventilatórios têm sido empregados como índices fundamentais

para a avaliação da capacidade funcional de atletas e indivíduos sãos e no auxílio diagnóstico de várias patologias ¹⁹.

Para cada litro de oxigênio consumido são geradas aproximadamente 5 kcal. Um indivíduo com capacidade de gerar 15 kcal/min, quando submetido a uma carga capaz de consumir 7 kcal/min estará sob um estresse menor que 50% de sua capacidade máxima. Para outro indivíduo com capacidade de 10 kcal/min, a mesma carga estaria impondo um estresse de 70% de sua capacidade máxima ³.

Por esta razão, indivíduos com dimensões corporais semelhantes submetidos à mesma carga de trabalho podem apresentar diferentes respostas fisiológicas em virtude da variação das capacidades aeróbia e anaeróbia entre os mesmos ¹.

Diferentes abordagens foram utilizadas para verificar a relação entre o estado nutricional e a capacidade individual de realizar trabalho físico, tornando-se difícil à comparação dos resultados.

O consumo de oxigênio estimado a partir de testes submáximos ^{8,12,13} ou medido diretamente através de analisadores de gases em testes progressivos ^{10,11,15} e expresso em valores absolutos (l/min) apresentou valores inferiores em indivíduos com baixo peso, portadores ou não de carência energética crônica. No entanto, ao ser normalizado em função do peso corporal total (mlO₂/kg/min) ou do peso corporal magro (mlO₂/kgPM/min), o consumo de oxigênio encontrava-se mais elevado em indivíduos com baixo peso que nos controles, resultado atribuído ao melhor condicionamento muscular ¹¹.

A frequência cardíaca acompanha o crescimento do consumo de oxigênio durante o exercício progressivo e por esta razão tem sido utilizada como indicador do nível de estresse e do estado de aptidão física ²². Considera-se melhor capacitado o indivíduo que sustentar a mesma carga de trabalho com menor frequência cardíaca ⁸.

Estudos comparativos entre indivíduos com baixo peso e controles com IMC normais^{8,9,12,13,16}, evidenciaram que a frequência cardíaca para a mesma carga de trabalho mostrava-se mais elevada nos indivíduos com baixo peso e que estes indivíduos apresentavam níveis mais elevados de lactacidemia após a realização de testes de exercício^{12,13}.

O pulso de oxigênio (VO_2/FC), que representa a quantidade de oxigênio consumido por batimento cardíaco, apresentou menores valores entre os indivíduos com baixo peso¹⁶. Em grupos de indivíduos com baixo peso, também foi observada a diminuição do desempenho no teste de resistência ao exercício prolongado com 80% do VO_{2max} (T 80)^{9,10} e no teste de exercício progressivo para medir a capacidade de realizar trabalho ao atingir a frequência cardíaca de 170 batimentos (PWC 170)¹³.

Em alguns estudos que relacionaram a capacidade física com o estado nutricional, foram aplicados protocolos de exercício que utilizaram a mesma carga de trabalho para comparar a resposta de desempenho de indivíduos antropometricamente diferentes^{8,9,12,13,16}. Desta maneira, pode-se supor que os indivíduos com menor densidade corpórea estavam submetidos a níveis mais elevados de estresse e que isto poderia determinar uma resposta fisiológica mais intensa. Os resultados alcançados nestes experimentos devem ser interpretados com cautela, pois podem expressar diferenças entre as dimensões corporais e não a influência do estado nutricional em si.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas de ajuste fisiológico produzidas por um protocolo de exercício progressivo em homens jovens, hígidos, com IMC na faixa de normalidade (IMC 18,5 – 24,99 kg/m²) e na de baixo peso (IMC < 18,5 kg/m²), com a finalidade de verificar a existência ou não de perdas funcionais relacionadas a diferença de massa muscular esquelética encontrada nestes indivíduos, utilizando o método dos limiares ventilatórios como conceito para expressar intensidades de esforço.

MÉTODOS

Amostra: O estudo envolveu 40 homens, com idade entre 19 e 27 anos, hígidos, não fumantes, não atletas e de nível universitário, classificados pelo IMC em 2 grupos: grupo baixo peso (n=20, IMC<18,5 kg/m²) e grupo controle (n=20, IMC entre 18,5 e 24,99 kg/m²). O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco e todos os voluntários assinaram termo de consentimento esclarecido.

Procedimento experimental: Os voluntários foram submetidos a exames de sangue e a testes de avaliação da composição corporal, capacidade funcional pulmonar e ao teste cardiopulmonar de exercício. Somente foram incluídos no estudo e realizaram o teste de exercício os indivíduos dentro dos padrões de normalidade para os exames hematológicos, bioquímicos e espirométricos.

Exames de Sangue: Hemograma completo (CBC/VCS), dosagens de albumina sérica (Verde de Bromocresol), ferro sérico (Smith), glicose (Hexoquinase), uréia (Cinético Enzimático), creatinina (Cinético Enzimático), triglicérides (Enzimático Colorimétrico), colesterol total e fração HDL (Enzimático – Colorimétrico).

Antropometria e Composição Corporal: o peso corporal foi medido em balança eletrônica com variação de 0,1kg e a estatura em estadiometro de parede com variação de 0,5 cm. As dobras cutâneas foram aferidas com compasso tipo Harpenden (Cescorf), sendo usada à equação de Faulkner²⁴ para o cálculo do percentual de gordura corporal.

Capacidade Funcional Pulmonar: os volumes pulmonares foram medidos por espirômetro de fluxo/volume (Espirotest, Welch Allyn), utilizando-se o protocolo de Knudson et al.²⁵.

Teste Cardiopulmonar de Exercício: O teste foi realizado entre 3 e 5 horas após o almoço. Foi utilizado o protocolo clássico de Bruce²⁶ em esteira ergométrica (Millenium, Imbramed). Durante todo o teste, os voluntários tiveram o fluxo nasal bloqueado por um clipe e

respiravam ar atmosférico através de uma peça bucal conectada ao analisador de gases VO2000 (Aerosport Inc.). O equipamento era calibrado antes de iniciar cada teste. Amostras dos gases expirados e da frequência cardíaca foram coletadas e analisadas pelo software Aerograph (Aerosport Inc.) e apresentadas e registradas a cada 20 segundos em gráficos e valores numéricos. Houve comunicação gestual entre o examinado e o examinador, ao final de cada estágio, para monitorar o grau de esforço percebido. Os limiares ventilatórios foram determinados pelo método descrito por Wasserman e McIlroy²⁰. O primeiro limiar ventilatório (lv_1) foi detectado quando a ventilação minuto (VE) mostrou súbita elevação, o equivalente ventilatório de oxigênio (VE/VO_2) começou a subir de modo sistemático sem um aumento concomitante do equivalente ventilatório de dióxido de carbono (VE/VCO_2) e no ponto de menor valor do VE/VO_2 e de menor valor da fração expirada de oxigênio (FeO_2). O segundo limiar ventilatório (lv_2) foi detectado no momento de uma nova elevação súbita da VE, acompanhada de elevação sistemática do VE/VCO_2 e no ponto de menor valor do VE/VCO_2 e de maior fração expirada de dióxido de carbono ($FeCO_2$). O teste foi considerado máximo quando a razão entre o dióxido de carbono produzido e o oxigênio consumido (VCO_2/VO_2) ou coeficiente de troca respiratória (R) era $\geq 1,10$. A formação de platô na curva do pulso de oxigênio (VO_2/FC) e/ou frequência cardíaca superior à máxima individual prevista e/ou fadiga do voluntário, foram critérios adotados para interrupção do teste.

Análise Estatística: Utilizou-se o software Sigma Stat 32 para realizar a análise estatística. Inicialmente foi aplicado o teste de normalidade de Kolmogorov – Smirnov. Em seguida, para testar a diferença de médias, foi empregado o teste “t” de Student em distribuições normais e o de Mann Whitney, para as não normais, e utilizada a correlação linear de Pearson, para análise um a um, adotando-se em todos os casos $p \leq 0,05$, como limite para o nível de significância.

RESULTADOS

As características dos grupos estudados são mostradas na Tabela 1. Apenas as médias da idade e estatura não mostraram diferença, enquanto a existência de dois grupos fisicamente distintos fica evidenciada pela diferença existente entre as médias das variáveis antropométricas (peso, IMC e ASC) e de composição corporal (%G, PG e PM).

Tabela 1 – Médias e desvios padrão das variáveis, idade, peso total, estatura, área de superfície corporal (ASC), índice de massa corporal (IMC), percentual de gordura corporal (%G), peso da gordura (PG) e peso corporal magro (PM).

<i>Variáveis</i>	<i>Controle (n = 20)</i>	<i>Baixo Peso (n = 20)</i>	<i>Teste "t"</i>
Idade (anos)	22,450 ± 1,905	22,000 ± 2,534	p= 0,529
Peso total (kg)	67,890 ± 7,200	55,610 ± 4,426	* p< 0,001
Estatura (m)	1,752 ± 0,057	1,775 ± 0,057	p= 0,202
ASC (m ²)	1,826 ± 0,117	1,690 ± 0,0960	* p< 0,001
IMC (kg/m ²)	22,086 ± 1,731	17,608 ± 0,643	* p< 0,001
% G	13,235 ± 1,467	9,491 ± 1,118	* p< 0,001
P G (kg)	9,038 ± 1,812	5,278 ± 0,942	* p< 0,001
P M (kg)	58,851 ± 4,056	50,331 ± 2,239	* p< 0,001

* Teste de Mann Whitney. P ≤ 0,05

Houve correlação do peso total com a estatura ($r_c = 0,685$; $r_{bp} = 0,896$), com o IMC ($r_c = 0,811$; $r_{bp} = 0,594$), com o PM ($r_c = 0,968$; $r_{bp} = 0,994$) e com o PG ($r_c = 0,696$; $r_{bp} = 0,712$). A estatura mostrou correlação com o PM ($r_c = 0,719$; $r_{bp} = 0,637$) e com o PG apenas no grupo baixo peso ($r_{bp} = 0,637$). O IMC apresentou correlação com o PG apenas no grupo controle ($r_c = 0,696$). O PM foi correlacionado com o PG ($r_c = 0,493$; $r_{bp} = 0,635$).

Com a finalidade de possibilitar a análise comparativa entre os grupos no desempenho do teste cardiopulmonar de exercício, foram considerados os valores das variáveis encontrados nos seguintes pontos de referência: a) primeiro limiar ventilatório (lv_1); b) segundo limiar ventilatório (lv_2); c) no pico do exercício (pico) e, d) no segundo minuto da recuperação (rec).

Os resultados encontrados ao atingir o primeiro limiar ventilatório (lv_1) são mostrados na Tabela 2. Apenas o consumo energético expresso em quilocalorias por minuto (kcal/min) apresentou diferença, sendo superior o resultado do grupo controle.

Tabela 2. Médias e desvios padrão no primeiro limiar ventilatório (lv_1) para o esforço percebido (Borg), ventilação minuto (VE), frequência cardíaca (FC), consumo absoluto de oxigênio (VO_2), consumo de oxigênio pelo peso corporal total (VO_2/kg), consumo de oxigênio pelo peso corporal magro ($VO_2/kgPM$), pulso de oxigênio (VO_2/FC), percentual do consumo pico ($\%VO_{2pico}$), produção de dióxido de carbono (VCO_2), consumo energético (CAL), equivalente metabólico (MET), razão de troca ventilatória (R), latência para o primeiro limiar ventilatório ($LATlv_1$).

Variáveis	Controle (n = 20)	Baixo Peso (n = 20)	Teste "t"
Borg lv_1	7,900 ± 1,165	7,600 ± 0,940	p = 0,432
VE lv_1 (l/min)	23,120 ± 5,890	22,045 ± 6,003	p = 0,571
FC lv_1 (bpm)	126,150 ± 8,999	124,100 ± 17,338	*p = 0,685
VO ₂ lv_1 (l/min)	1,335 ± 0,263	1,187 ± 0,262	p = 0,082
VO ₂ /kg lv_1 (ml/kg/min)	19,668 ± 3,537	21,290 ± 4,145	p = 0,191
VO ₂ /kgPM lv_1 (ml/kg/min)	22,739 ± 3,887	23,275 ± 4,562	p = 0,570
VO ₂ /FC lv_1 (ml/bpm)	10,510 ± 2,138	9,610 ± 1,844	p = 0,162
VO ₂ lv_1 (%VO _{2pico})	46,719 ± 8,578	43,903 ± 7,971	p = 0,314
VCO ₂ lv_1 (l/min)	1,162 ± 0,322	1,024 ± 0,236	p = 0,130
CAL lv_1 (kcal/min)	6,752 ± 1,652	5,789 ± 1,286	p = 0,047
MET lv_1	5,864 ± 1,290	6,084 ± 1,184	p = 0,578
R lv_1	0,829 ± 0,0632	0,864 ± 0,0510	p = 0,061
LAT lv_1 (min)	4,426 ± 0,826	4,681 ± 1,185	p = 0,434

* Teste de Mann Whitney. P ≤ 0,05

Observa-se que os resultados referentes ao consumo de oxigênio corrigido pelo peso total ($VO_2/kglv_1$) e pelo peso magro ($VO_2/kgPMLv_1$), o consumo energético expresso em unidades metabólicas ($METlv_1$), a razão de troca ventilatória (Rlv_1) e a latência ($LATlv_1$), mostram tendência a serem maiores no grupo baixo peso ao atingir este estágio do teste. O VO_2lv_1 e o $VO_2/kglv_1$ exibiram elevada correlação entre si, tanto no grupo controle ($r_c = 0,836$) quanto no baixo peso ($r_{bp} = 0,929$).

Ao alcançar o segundo limiar ventilatório (lv_2), o consumo energético, em cal/min, não apresentou mais diferença estatística, conforme pode ser verificado na Tabela 3.

Tabela 3. Médias e desvios padrão no segundo limiar ventilatório (lv_2) para o esforço percebido (Borg), ventilação minuto (VE), frequência cardíaca (FC), consumo absoluto de oxigênio (VO_2), consumo de oxigênio pelo peso corporal total (VO_2/Kg), consumo de oxigênio pelo peso corporal magro ($VO_2/kgPM$), pulso de oxigênio (VO_2/FC), percentual do consumo de oxigênio pico ($\%VO_{2pico}$), produção de dióxido de carbono (VCO_2), consumo energético (CAL), equivalente metabólico (MET), razão de troca ventilatória (R), latência no lv_2 (LAT_{lv_2}), diferença entre as latências no lv_2 e lv_1 ($LAT_{lv_2} - LAT_{lv_1}$).

Variáveis	Controle (n = 20)	Baixo Peso (n = 20)	Teste "t"
Borg lv_2	11,300 ± 2,029	10,350 ± 1,785	p = 0,124
VE lv_2 (l/min)	44,490 ± 7,703	41,300 ± 9,456	p = 0,249
FC lv_2 (bpm)	166,250 ± 12,217	164,100 ± 15,911	p = 0,634
VO_{2lv_2} (l/min)	2,231 ± 0,369	1,980 ± 0,426	p = 0,054
VO_2/kg_{lv_2} (ml/kg/min)	32,945 ± 5,200	35,569 ± 6,988	p = 0,186
$VO_2/kgPM_{lv_2}$ (ml/kg/min)	37,974 ± 5,376	39,275 ± 7,679	p = 0,457
VO_2/FC_{lv_2} (ml/bpm)	13,339 ± 1,931	11,945 ± 1,962	p = 0,029
VO_{2lv_2} ($\%VO_{2pico}$)	77,810 ± 10,152	73,265 ± 13,849	p = 0,300
VCO_{2lv_2} (l/min)	2,239 ± 0,385	2,029 ± 0,452	p = 0,120
CAL lv_2 (kcal/min)	11,192 ± 1,862	10,064 ± 2,235	p = 0,091
MET lv_2	9,386 ± 1,527	10,163 ± 1,997	p = 0,176
R lv_2	1,002 ± 0,0634	1,024 ± 0,0528	p = 0,251
LAT_{lv_2} (min)	8,207 ± 1,189	8,417 ± 1,331	p = 0,626
$LAT_{lv_2} - LAT_{lv_1}$ (min)	3,781 ± 1,263	3,736 ± 1,001	p = 0,989

P ≤ 0,05

O pulso de oxigênio (VO_2/FC_{lv_2}) foi a única variável a apresentar diferença significativa entre as médias, tendo o grupo controle mostrado resultado superior. O achado encontrado no primeiro limiar ventilatório, com tendência do grupo baixo peso apresentar maiores valores nas variáveis VO_2/kg , $VO_2/kgPM$, MET, R e LAT, foi também verificado neste estágio do teste de exercício.

O VO_{2lv_2} e o VO_2/kg_{lv_2} estiveram bem correlacionados ($r_c = 0,762$; $r_{bp} = 0,927$). Também a LAT_{lv_2} e a $LAT_{lv_2} - LAT_{lv_1}$ apresentaram correlação ($r_c = 0,775$, $r_{bp} = 0,514$). A FC_{lv_2} mostrou correlação com a VE_{lv_2} , apenas no grupo baixo peso ($r_{bp} = 0,633$).

Ao atingir o pico do exercício (pico), o pulso de oxigênio do grupo controle não apresentou diferença estatística em relação ao grupo baixo peso, conforme se pode verificar na Tabela 4.

Tabela 4. Médias e desvios padrão no pico do exercício (pico) para o esforço percebido (Borg), ventilação minuto (VE), frequência cardíaca (FC), consumo absoluto de oxigênio (VO_2), consumo de oxigênio pelo peso corporal total (VO_2/Kg), consumo de oxigênio pelo peso corporal magro ($VO_2/kgPM$), pulso de oxigênio (VO_2/FC), produção de dióxido de carbono (VCO_2), consumo energético (CAL), equivalente metabólico (MET), razão de troca ventilatória (R), latência no pico do exercício (LAT_{pico}), diferença entre latência no lv_2 e no pico do exercício ($LAT_{pico} - LAT_{lv_2}$).

<i>Variáveis</i>	<i>Controle (n = 20)</i>	<i>Baixo Peso (n = 20)</i>	<i>Teste "t"</i>
Borg _{pico}	14,750 ± 1,860	14,400 ± 2,062	p = 0,543
VE _{pico} (l/min)	72,125 ± 13,574	70,395 ± 13,128	p = 0,684
FC _{pico} (bpm)	190,950 ± 8,494	190,800 ± 9,589	p = 0,959
VO _{2pico} (l/min)	2,882 ± 0,392	2,702 ± 0,427	p = 0,175
VO _{2/kgpico} (ml/kg/min)	42,410 ± 4,421	48,608 ± 6,582	p = 0,001
VO _{2/kgPMpico} (ml/kg/min)	48,984 ± 4,904	53,649 ± 6,985	p = 0,019
VO _{2/FCpico} (ml/bpm)	15,020 ± 2,021	14,210 ± 2,016	p = 0,212
VCO _{2pico} (l/min)	3,242 ± 0,515	3,140 ± 0,479	p = 0,520
CAL _{pico} (kcal/min)	14,219 ± 1,916	13,557 ± 2,179	p = 0,314
MET _{pico}	11,863 ± 1,340	13,754 ± 1,975	p = 0,001
R _{pico}	1,151 ± 0,0961	1,177 ± 0,0892	p = 0,390
LAT _{pico} (min)	11,198 ± 0,790	11,745 ± 1,503	p = 0,285
LAT _{pico} - LAT _{lv2} (min)	2,990 ± 1,231	3,328 ± 1,446	p = 0,432

P ≤ 0,05

O consumo de oxigênio corrigido pelo peso corporal total (VO_2/kg_{pico}), pelo peso corporal magro ($VO_2/kgPM_{pico}$) e o consumo energético (MET_{pico}), variáveis que já apresentavam tendência de serem mais elevadas no grupo baixo peso, no primeiro e no segundo limiares ventilatórios, alcançaram diferença estatística neste estágio do teste cardiopulmonar de exercício, com exceção da R_{pico} e da LAT_{pico}.

O VO_2/kg_{pico} mostrou boa correlação com o VO_{2pico} ($r_c = 0,615$, $r_{bp} = 0,861$), com o VO_2/FC_{pico} ($r_c = 0,494$, $r_{bp} = 0,850$), com a VE_{pico} ($r_c = 0,476$, $r_{bp} = 0,617$), com o MET_{pico} ($r_c = 0,879$, $r_{bp} = 0,992$), com a LAT_{pico} ($r_c = 0,830$, $r_{bp} = 0,825$) e com a LAT_{pico} - LAT_{lv2}, apenas no baixo peso ($r_{bp} = 0,506$).

Na fase de recuperação ativa, apesar do elevado nível metabólico ainda existente, observa-se queda nos valores de todas as variáveis com exceção da razão de troca respiratória (R), conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5. Médias e desvios padrão no segundo minuto de recuperação (rec) para a ventilação minuto (VE), frequência cardíaca (FC), consumo absoluto de oxigênio (VO_2), consumo de oxigênio pelo peso corporal total (VO_2/Kg), consumo de oxigênio pelo peso corporal magro ($VO_2/kgPM$), percentual do $VO_{2\text{ pico}}$ ($\% VO_{2\text{pico}}$), pulso de oxigênio (VO_2/FC), produção de dióxido de carbono (VCO_2), consumo energético (CAL), equivalente metabólico (MET) e razão de troca ventilatória (R).

<i>Variáveis</i>	<i>Controle</i>	<i>Baixo Peso</i>	<i>Teste "t"</i>
VE_{rec} (l/min)	40,647 ± 8,700	39,705 ± 10,464	p = 0,415
FC_{rec} (bpm)	151,316 ± 15,642	147,400 ± 11,618	p = 0,379
$VO_{2\text{rec}}$ (l/min)	1,218 ± 0,210	1,195 ± 0,245	p = 0,752
VO_2/kg_{rec} (ml/kg/min)	17,860 ± 2,703	21,398 ± 3,596	p = 0,001
$VO_2/kgPM_{\text{rec}}$ (ml/kg/min)	20,627 ± 3,071	23,613 ± 3,859	p = 0,011
$VO_{2\text{rec}}$ ($\% VO_{2\text{pico}}$)	42,955 ± 7,703	44,152 ± 5,973	p = 0,590
VO_2/FC_{rec} (ml/bpm)	8,111 ± 1,397	8,100 ± 1,493	p = 0,982
$VCO_{2\text{rec}}$ (l/min)	1,693 ± 0,322	1,658 ± 0,350	p = 0,750
CAL_{rec} (kcal/min)	6,147 ± 1,062	6,028 ± 1,239	p = 0,750
MET_{rec}	5,106 ± 0,770	6,113 ± 1,027	p = 0,001
R_{rec}	1,395 ± 0,140	1,389 ± 0,104	p = 0,884

P ≤ 0,05

As diferenças entre as médias foram as mesmas observadas no pico do exercício, com o grupo baixo peso apresentando maiores valores de consumo de oxigênio corrigido pelo peso corporal total (VO_2/kg_{rec}), pelo peso corporal magro ($VO_2/kgPM_{\text{rec}}$) e de consumo energético em METs.

Comparados com os valores encontrados no pico, o valor percentual do $VO_{2\text{rec}}$ era de 42,95% e 44,15%, o da VE_{rec} era 56,35% e 56,40% e a FC_{rec} era de 79,24% e 77,25%, respectivamente, nos grupos controle e baixo peso. O VO_2/FC_{rec} retornou a valores abaixo dos encontrados no lv_1 , sendo o consumo de oxigênio mantido pela elevada atividade cronotrópica do coração.

A Tabela 6 apresenta os resultados do gasto metabólico acumulado durante a realização do teste cardiopulmonar. O consumo total de gordura (GOR_{tot}) do grupo controle foi maior, enquanto as demais variáveis não apresentaram diferença.

Tabela 6 - Médias e desvios padrão do consumo total de calorias (CALtot), consumo total de gordura (GORtot) e consumo total de carboidratos (CHtot), após o teste cardiopulmonar de exercício.

<i>Consumo</i>	<i>Controles (n=20)</i>	<i>Baixo Peso (n=20)</i>	<i>Teste "t"</i>
CALtot (kcal)	108,968 ± 17,462	102,885 ± 26,472	p = 0,396
GORtot (gr)	2,364 ± 1,165	1,493 ± 0,858	p = 0,011
CHtot (gr)	21,221 ± 3,831	21,691 ± 5,798	p = 0,764

P ≤ 0,05

A CALtot mostrou baixa correlação com a GORtot ($r_c = 0,453$, $r_{bp} = 0,481$) e elevada correlação com o CHtot ($r_c = 0,801$, $r_{bp} = 0,955$), em ambos os grupos, enquanto sua correlação com o MET_{pico} ($r_c = 0,447$, $r_{bp} = 0,779$) e com o VO₂/kg_{pico} ($r_c = 0,588$, $r_{bp} = 0,788$) foi maior no baixo peso. O CHtot também mostrou correlação com o VO₂/kg_{pico} ($r_c = 0,512$, $r_{bp} = 0,732$).

DISCUSSÃO

Para avaliar a influência das dimensões corporais no desempenho de atividades físicas, a natureza da carga de trabalho e os parâmetros utilizados para monitorar as respostas fisiológicas são fatores que interferem nos resultados.

As dimensões corporais se relacionam diretamente com a capacidade mecânica do corpo para realizar trabalho ¹. No homem, os músculos esqueléticos que são os motores da atividade física, abrangem aproximadamente 50% da massa corporal magra individual ³.

Conforme ficou evidenciado pelo teste de diferença de médias realizado neste estudo, com exceção da estatura, os grupos eram fisicamente diferentes. O IMC, variável utilizada para classificar os indivíduos, mostrou boa correlação com o peso total e com o peso magro, mas não com a estatura, resultado já descrito na literatura ²⁷ e que retrata a maior participação do peso na definição da variável ⁵. O peso total e o peso magro estiveram fortemente correlacionados entre si, em ambos os grupos, mostrando a eficácia do uso da equação de Faulkner na estimativa do percentual de gordura.

Devido a estas diferenças de tamanho e composição corporais, seria de esperar que o grupo controle alcançasse resultados, em valores absolutos, superiores aos do grupo baixo peso no teste de exercício.

Indivíduos com maiores dimensões corporais estão mais capacitados ao desempenho de atividades físicas que imponham o levantamento e o transporte de cargas do que os indivíduos esbeltos, com menores dimensões corporais ^{1,3}. Habitualmente estes indivíduos esbeltos evitam realizar tarefas que exijam elevada potência mecânica e deste modo seus músculos são freqüentemente utilizados em atividades aeróbias de pequeno impacto ³.

Em atividades que exigem a capacidade de realizar trabalho por tempo prolongado e onde a carga de trabalho é a translação do próprio corpo, como a marcha e a corrida, a menor massa muscular esquelética encontrada nestes indivíduos com baixo peso não parece ser

impedimento para a realização de trabalho, conforme pode ser observado no desempenho dos corredores de fundo e maratonistas ^{3,28}.

Nestes atletas, que apresentam características de biótipo longilíneo, baixo peso e menor massa muscular, a capacidade dos sistemas fisiológicos e especialmente do músculo esquelético, em fornecer oxigênio e substratos para a transformação energética e manutenção da atividade física prolongada, mostra papel mais relevante do que a quantidade de tecido muscular em si.

Foi verificado entre indivíduos com elevada capacidade aeróbia, como estes corredores de longa distância, uma maior proporção de fibras musculares oxidativas, tipo I (70%) e tipo IIA (23%), que as do tipo glicolítico IIB (4%). Por outro lado, entre atletas levantadores de peso as proporções encontradas foram 40%, 40% e 20%, respectivamente, para as fibras musculares do tipo I, IIA e IIB, ²⁹.

Estas adaptações fisiológicas encontradas nos atletas de resistência, que apresentam baixa densidade corpórea e IMC na faixa do baixo peso, podem ser o resultado combinado de várias modificações metabólicas e estruturais. A maior proporção e a hipertrofia de fibras musculares oxidativas vêm acompanhadas de maior densidade capilar - muscular, o que favorece a perfusão dos músculos em trabalho e diminui a resistência vascular periférica. Ocorre ainda aumento do conteúdo de mioglobina, da densidade e do tamanho das mitocôndrias e da capacidade enzimática oxidativa ³⁰. Estes fatores, em associação, determinam maior oferta e melhor extração e utilização tecidual do oxigênio favorecendo ao melhor condicionamento para resistir aos efeitos da acidose metabólica provocada pelo exercício ^{29,30}.

Em testes realizados em laboratório, o tipo de ergômetro, a intensidade da carga, a duração do exercício e o protocolo utilizado, podem interferir diretamente no desempenho individual ²³.

O uso do cicloergometro favorece o desempenho dos indivíduos com maior peso do tronco e dos membros inferiores, exigindo uma coordenação de movimentos que não se encontra presente entre todos os indivíduos da população^{1,23,26}. Como a carga de trabalho em cada estágio é fixa, gera diferentes níveis de estresse fisiológico na dependência das dimensões corporais individuais. Desta maneira, indivíduos com baixas densidades corpóreas quando submetidos à mesma carga de trabalho que os indivíduos com densidade normal desenvolvem frequências cardíacas mais elevadas, pois se encontram submetidos a níveis mais elevados de estresse³.

Em testes de exercício submáximo, onde o consumo de oxigênio é estimado a partir da relação entre a carga de trabalho e a resposta de frequência cardíaca alcançada no estado de equilíbrio, considera-se melhor capacitado o indivíduo que conseguir sustentar a mesma carga com a menor frequência cardíaca⁸. Nestas condições não é avaliada a variabilidade de condicionamento físico individual, que tem influência direta na resposta de estresse.

Nesta investigação foi utilizada a esteira ergométrica e um protocolo de teste de exercício máximo. O uso da esteira apresenta vantagem sobre o cicloergometro, pois a coordenação de movimentos exigida (andar, correr) é costumeira nas atividades da vida diária, alcança níveis mais elevados de consumo de oxigênio e pelo fato de ter sua carga variável com o peso do indivíduo, possibilitando uma melhor relação entre a carga e o estresse individual alcançado em cada estágio²³.

O uso dos limiares ventilatórios, determinados através da espirometria de circuito aberto, possibilita identificar as respostas fisiológicas individuais em função dos momentos de transição metabólica por que passam seus organismos. Desta maneira, as respostas obtidas nos limiares ventilatórios representam níveis de estresse fisiológico equivalentes entre diferentes indivíduos^{19,20}.

O primeiro limiar ventilatório (lv_1) representa o instante no qual os mecanismos anaeróbios começam a contribuir de forma importante com os mecanismos aeróbios para garantir o suprimento energético necessário à continuidade do trabalho ^{19, 20}. Neste estágio, o desempenho dos grupos estudados não apresentou diferença entre as médias das variáveis com exceção do consumo energético, expresso em quilocalorias por minuto.

A contribuição dos lipídios para o metabolismo energético ocorre em condições predominantemente aeróbias e, por esta razão, ao atingir o lv_1 começa a declinar progressivamente ^{1,2,28,30}. O grupo controle mostrou maior consumo total de lipídios, provavelmente em decorrência de sua maior massa muscular, o que pode explicar a diferença observada neste estágio do teste de exercício. É importante destacar que a semelhança de desempenho entre os grupos pode ter ocorrido em função da equalização do estresse pelo uso de cargas variáveis e do critério dos limiares ventilatórios, fazendo com que as variáveis clássicas de capacidade aeróbia não apresentassem diferenças neste estágio.

Com o uso deste critério para definir intensidades de esforço, a diferença entre as médias da frequência cardíaca não foi significativa no estágio (lv_1) nem nos demais estágios do teste (lv_2 , pico, rec), mostrando que os resultados apresentados em alguns trabalhos ^{8,9,12,13,16} podem retratar também uma influência do tamanho e da densidade do corpo em relação à carga, como mostrado neste estudo com indivíduos hígidos, e não o efeito da condição nutricional em si.

O segundo limiar ventilatório (lv_2) é o momento onde os processos anaeróbios assumem preponderantemente a manutenção do suprimento energético através da utilização de carboidratos ^{19, 20}. Nesta etapa do teste de exercício, o ritmo glicolítico se eleva e ocorre rápida acumulação de lactato e acentuação da acidose muscular ^{19, 20}.

A velocidade com que o lactato é formado e removido interfere diretamente na acidose metabólica e na instalação da fadiga ²¹. O lactato, por sua vez, pode ser rapidamente

reutilizado como substrato energético em alguns tecidos como o fígado, o coração e, principalmente, nas fibras musculares esqueléticas do tipo I^{28,31}.

Neste estágio, a única diferença estatística verificada foi a do pulso de oxigênio, com o grupo controle apresentando resultado mais elevado. Como a frequência cardíaca não mostrou diferença entre os grupos, uma possível explicação seria a maior capacidade de ejeção decorrente das dimensões cardíacas que têm relação alométrica com o tamanho corporal¹. Por esta razão, entre indivíduos com condicionamento físico nivelado, como os da amostra utilizada, maiores valores de pulso de oxigênio seriam esperados nos indivíduos com maiores proporções corporais.

No pico do exercício esta diferença não é mais significativa em virtude do grupo controle não conseguir manter o mesmo ritmo de crescimento do pulso de oxigênio mostrado até o lv_2 . Como a razão de troca respiratória (R) fica em torno de 1,0 no lv_2 e atinge valores iguais ou superiores a 1,1 no pico do exercício, significa que dióxido de carbono está sendo produzido em maior quantidade do que o oxigênio é consumido, sendo provável que este seja um efeito negativo da acidose metabólica e da hipóxia sobre o inotropismo cardíaco.

No grupo baixo peso este efeito da acidose foi bem menos pronunciado, sendo a correlação entre o consumo de oxigênio corrigido pelo peso total e o pulso de oxigênio bem maior neste grupo ($r_{bp} = 0,850$) do que no grupo controle ($r_c = 0,494$), possibilitando levantar à hipótese de uma menor sensibilidade da fibra cardíaca à acidose metabólica e/ou maior capacidade de reutilização do lactato como substrato nestes indivíduos. A duração do intervalo entre o segundo limiar e o pico do exercício, que poderia apoiar a primeira hipótese, não mostrou diferença.

No pico do exercício, o consumo de oxigênio corrigido pelo peso corporal total, pelo peso corporal magro e o consumo energético expresso em equivalentes metabólicos (MET),

que já era mais elevado no grupo baixo peso nos estágios anteriores, apresentou diferença estatística.

A correção de uma variável fisiológica pelo peso corporal total foi proposta inicialmente por Döbeln³², em 1956, como uma maneira de equalizar resultados obtidos entre indivíduos com diferentes massas corporais. A correção feita pelo peso corporal magro representa ainda melhor a relação entre o tamanho corporal e o consumo pico de oxigênio³³. Como as diferenças em relação a estas variáveis foram obtidas nas duas situações de cálculo, é provável que estes resultados não sejam artefato matemático, mas uma real situação fisiológica.

O consumo de oxigênio (VO_2) é o produto do débito cardíaco multiplicado pela diferença artério-venosa de oxigênio^{1,17}. A frequência cardíaca não mostrou diferença entre os grupos e os maiores valores absolutos de consumo e de pulso de oxigênio, mostrados pelo grupo controle, não foram estatisticamente distintos neste estágio. Deste modo, o maior consumo relativo de oxigênio mostrado pelo grupo baixo peso parece ser explicado pela maior extração de oxigênio pelos músculos ativos.

A modulação da capacidade oxidativa muscular depende de fatores diversos, como: o tipo e o tamanho das fibras musculares, densidade capilar, atividade hormonal e atividade enzimática^{28,30}.

O tamanho do motoneurônio, geneticamente determinado, define as características fisiológicas e estruturais da fibra muscular. O padrão de recrutamento imposto sistematicamente aos motoneurônios pela atividade física, desenvolve a hierarquia oxidativa existente entre os tipos de fibras musculares esqueléticas (I > IIA > IIB)³⁴.

A intensidade, duração e frequência do trabalho realizado interferem no tamanho da fibra muscular esquelética e esta mudança na forma se associa com variações no desempenho metabólico³⁵. Atividades submáximas prolongadas desenvolvem mais acentuadamente a

estrutura e o metabolismo das fibras oxidativas tipo I e IIA, promovem a conversão de fibras tipo IIB em IIA³⁶ e aumentam a síntese de transportadores de membrana³⁷.

Estudo comparativo da composição muscular entre mulheres normais, mulheres obesas e indivíduos que perderam peso após gastroplastia, mostraram que as mulheres obesas possuem menor proporção de fibras tipo I e maior proporção de fibras tipo IIB do que as normais, sendo observado ainda uma elevada correlação positiva entre a perda de peso e o percentual de fibras tipo I³⁸. Entre homens obesos que perderam peso, não foram observadas mudanças na área transversal nem nas proporções das fibras oxidativas (I e IIA), mas um significativo aumento na densidade capilar, na razão capilar/fibra e na atividade da enzima succinil dehidrogenase, sugerindo aumento da capacidade oxidativa muscular³⁹.

Devido a esta interação entre as dimensões corporais e as adaptações musculares ao exercício, é plausível esperar que devido à baixa intensidade de carga que o corpo dos indivíduos com baixo peso oferece, que sua massa muscular esquelética seja formada preponderantemente por fibras oxidativas.

Os resultados observados na fase de recuperação ativa, com queda em todas as variáveis e elevação da razão de troca respiratória (R), acompanham o padrão de resposta que seria esperado nas condições do teste utilizado.

CONCLUSÕES

O uso dos limiares ventilatórios como critério para identificar os limites fisiológicos durante teste de exercício parece melhor expressar a resposta de estresse individual do que a frequência cardíaca, principalmente se for utilizada a esteira rolante como ergômetro, já que esta melhor relaciona o peso do corpo com a carga.

O maior consumo relativo de oxigênio encontrado no grupo baixo peso ao atingir o pico do exercício, pode ser explicado pelo aumento na extração de oxigênio decorrente de adaptações fisiológicas relacionadas a hemodinâmica periférica e ao aumento do transporte e utilização de substratos e oxigênio pela fibra muscular ativa.

MOURA FILHO, A.G., TEODÓSIO, N.R., COSTA, J.A. – Ventilatory thresholds in underweight young men. An. Fac. Med. Univ. Fed. Pernamb. Recife,

ABSTRACT: This work aimed to evaluate the functional capacity of young underweight men during exercise test by ventilatory thresholds. Forty men, age ranged 19 to 27 years, healthy, non-smoking, non-athletes, classified by body mass index-BMI were distributed in two groups: underweight (n=20, IMC<18,5 kg/m²) and control (n=20, IMC 18,5 – 24,99 kg/m²). After the evaluations of body composition, lung capacity and blood exams, the volunteers underwent to cardiopulmonary exercise test in treadmill, according Bruce's protocol. The data were recorded on each 20 seconds and the results were found in the ventilatory thresholds (lv₁, lv₂), in the peak and in the 2nd minute of the recovery phase used for analysis. Statistical analyses were performed by software Sigma Stat 32 for Pearson Correlation, Student's "t" and Mann Whitney tests, with level of significance p≤ 0,05. The control group showed higher caloric consumption (Cal/min) in lv₁ and higher oxygen pulse in lv₂. In the peak, underweight group showed higher oxygen relative consumption (VO₂/kg_{pico}, VO₂/kgPM_{pico} and MET_{pico}), probably due to increased uptake in active muscle fibers. With the ventilatory thresholds used as stress index, cardiac frequency doesn't present significant differences in all levels of the exercise test.

KEYWORDS: Ventilatory thresholds; Underweight; Cardiopulmonar exercise test; Young men.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- ASTRAND, P.O., RODAHL, K. **Tratado de Fisiologia do Exercício**. 1ª ed. em português. Rio de Janeiro. Interamericana. 1980.
- 2- McARDLE, W.D.; KATCH, F.I.; KATCH, V.L. **Fisiologia do Exercício. Energia, Nutrição e Desempenho Humano**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1994.
- 3- DURBIN, J.V.G.A. Low body mass index, physical work capacity and physical activity levels. **Eur J Clin Nutr**, 48 (Suppl. 3): S39 – S44, 1994
- 4- JELLIFFE, D.B.; JELLIFE, E.L.P. Underappreciated pioneers Quételet: man and index. **Am J Clin Nutr** 32: 2519 – 2521, 1979.
- 5- ANJOS, L.A. Índice de Massa Corporal (Massa Corporal/ Estatura²) como indicador do estado nutricional de adultos: Revisão da Literatura. **Rev Saúde Pública**, São Paulo, 26 (6): 431 - 436, 1992.
- 6- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **El estado físico: uso e interpretación de la antropometría**. Ginebra, 1995. 520p. Informe de um Comité de Expertos de la OMS, Ginebra, Série Informes Técnicos, n.º 854.
- 7- COITINHO D.C. **Condições Nutricionais da População Brasileira: adultos e Idosos**. Brasília, INAN, 74p, 1991.
- 8- ANGELELI W., VICHI F.L., SANTOS J.E., CEVALLO ROMERO L.S., DUTRA DE OLIVEIRA J.E. Capacidade física de trabalhadores migrantes antes e após nutrição balanceada. Análise por cicloergometria. **Arq Bras Cardiol** 40 (2): 97 –101, 1983.
- 9- BARAC-NIETO, M., SPURR, G.B., MAKSUD, M.G., LOTERO, H. Aerobic work capacity in chronically undernourished adult males. **J Appl Physiol**, 44 (2): 209 – 215, 1978.

- 10- BARAC-NIETO, M., SPURR, G.B, DAHNERS, H.W., MAKSUD, M.G. Aerobic work capacity and endurance during nutritional repletion of severely undernourished men. **Am J Clin Nutr**, 33: 2268 – 2275, 1980.
- 11- BARAC-NIETO, M., SPURR, G.B, REINA, J.C. Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: body composition and maximal O₂ consumption. **Am J Clin Nutr**, 39: 830 – 839, 1984.
- 12- DESAI, I.D., GARCIA TAVARES, M.L, DUTRA DE OLIVEIRA B.S. ET AL. Anthropometric and cycloergometric assessment of the nutritional status of the children of agricultural migrant workers in southern Brazil. **Am J Clin Nutr**, 34: 1925 – 1934, 1981.
- 13- DESAI, I.D., WADDELL C., DUTRA, S. ET AL. Marginal malnutrition and reduced physical work capacity of migrant adolescent boy in southern Brazil. **Am J Clin Nutr**, 40: 135 – 145, 1984.
- 14- SATYANARAYANA, K., NAIDU, N., CHATTERJEE, B., RAO, N. Body size and work output. **Am J Clin Nutr**, 30: 322 – 325, 1977.
- 15- SPURR, G.B., REINA, J.C, DAHNERS, H.W., BARAC-NIETO, M. Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: functional consequences in maximum exercise. **Am J Clin Nutr**, 37: 834 – 847, 1983.
- 16- VITERI, F.E., TORÚN B. Ingestion calorica y trabajo fisico de obreros agricolas en Guatemala. **Bol Ofic Sanitar Panam** , 78 (1): 58 – 74, 1975.
- 17- ASTRAND P.O., SALTIN B. Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise. **J Appl Physiol**, 16: 971- 976, 1961a.
- 18- SALTIN, B. Physiologic adaptation to physical conditioning. **Acta Med Scand Suppl.** 711: 11-24, 1987.

- 19- RIBEIRO, J.P. Limiares metabólicos e ventilatórios durante o exercício. Aspectos fisiológicos e metodológicos. **Arq Bras Cardiol** 64 (2): 171 –181, 1995.
- 20- WASSERMAN K., McILROY M.B. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. **Am J Cardiol**, 14: 844-852, 1964.
- 21- WELTMAN, A. **The Blood Lactate Response to Exercise**. Champaign: Human Kinetics, 1995.
- 22- ASTRAND, P.O., RYHMING, I. A Nomogram for calculation of aerobic capacity (Physical Fitness) from pulse rate during submaximal work. **J Appl Physiol**, 7: 218-221, 1954.
- 23- AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. **Guidelines for Exercise Testing and Prescription**. 5Th ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 1995.
- 24- GUEDES D.P. Gordura corporal: validação da equação de Faulkner em jovens pertencentes à população brasileira. Rio de Janeiro, **Artus**, 17:10-13, 1986.
- 25- KNUDSON R.J., LEBOWITZ M.D., HOLBERG C.J., BURROWS B. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. **Am Rev Respir Dis** 127: 725-734, 1983.
- 26- ELLESTAD, M.H. **Prova de Esforço**. Rio de Janeiro, Cultura Médica, 1984.
- 27- LEE J., KOLONEL L.N., WARD M. Relative merits of the weight corrected for height indices. **Am J Clin Nutr**, 34: 2519-2521, 1979.
- 28- FOSS, M.L.; KETEYIAN, S.J. **Fox, Bases Fisiológicas do Exercício e do Esporte**. 6ª ed., Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2000.
- 29- STARON R.S., HIKIDA R.S., HAGERMAN F.C., DUDLEY G.A., MURRIA T.F. Human skeletal muscle fiber type adaptability to various workloads. **J Histochem Cytochem**. 32(2):146-152, 1984.

- 30- MAUGHAN R., GLEESON M., GREENHAFF P.L. **Bioquímica do Exercício e do Treinamento**. 1ª ed. brasileira, São Paulo, Manole, 2000.
- 31- PHILLIPS S.M., GREEN H.J., TARNOPOLSKY M.A. and GRANT S.M. Increased clearance of lactate after short-term training in men. **J Appl Physiol**. 79: 1862-1869, 1995.
- 32- Von DÖBELN W. Maximal oxygen intake, body size, and total hemoglobin in normal man. **Acta Physiol Scand**. 38:193-199, 1956.
- 33- BATTERHAM A.M., VANDERBURGH P.M., MAHAR M.T., JACKSON A.S. Modeling the influence of body size on VO_{2peak} : effects of model choice and body composition. **J Appl Physiol**. 87:1317-1325, 1999.
- 34- McCOMAS A.J. **Skeletal muscle: form and function**. Champaign. Human Kinetics, 1996.
- 35- RUSSELL B., MOTLAGH D., and ASHLEY W.W. Form follows function: how muscle shape is regulated by work. **J Appl Physiol**. 88:1127-1132, 2000.
- 36- ASTRAND, P.O., SALTIN, B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. **J Appl Physiol**. 16: 977, 1961b.
- 37- BONEN A. The expression of lactate transporters (MCT1 and MCT4) in heart and muscle. **Eur J Appl Physiol**. 86: 6-11, 2001.
- 38- TANNER C.J., BARAKAT H.A., DOHM G.L., PORIES W.J., MacCDONALD K.G., CUNNINGHAM P.R., SWANSON M.S. and HOUMARD J.A. Muscle fiber type is associated with obesity and weight loss. **Am J Physiol Endocrinol Metab** 282: E1191-1196, 2002.
- 39- KERN P. A., SIMSOLO R.B., FOURNIER M. Effect of weight loss on muscle fiber type, fiber size, capillarity, and succinate dehydrogenase activity in humans. **J Clin Endocrinol Metab** 84: 4185-4190, 1999.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi utilizada a esteira ergométrica como agente estressor, a qual permite que a carga seja variável em função do peso corporal individual e o método dos limiares ventilatórios como estratégia para aferir as respostas fisiológicas impostas pelo exercício progressivo. Apesar da diferença de composição corporal existente entre os indivíduos do grupo controle e do grupo baixo peso, não foi observada diferença entre as frequências cardíacas em nenhum dos estágios do teste, contrastando com alguns resultados citados na literatura.

Como estes trabalhos utilizaram protocolos de exercício com carga fixa para testar indivíduos com pesos corporais diferentes, é provável que a frequência cardíaca mais elevada encontrada nestes estudos tenha ocorrido em função do maior nível de estresse a que estavam submetidos os indivíduos com baixo peso.

Mesmo entre indivíduos apresentando IMC na faixa do baixo peso, como os da casuística estudada que variou em torno de $17,608 \text{ kg/m}^2$, não foi possível verificar detrimento de suas capacidades aeróbia e anaeróbia durante a realização do teste cardiopulmonar de exercício. Este fato parece indicar que entre homens jovens com baixo peso, a menor massa muscular esquelética se adapta para cargas de trabalho moderadas, como o próprio peso corporal, acentuando sua capacidade oxidativa e deste modo seu desempenho funcional não difere de homens jovens com IMC na faixa de normalidade e apresenta, inclusive, desempenho superior quando os resultados são normalizados em função do peso corporal total ou do peso corporal magro.

O maior consumo relativo de oxigênio, observado nos indivíduos com baixo peso, possivelmente pode ser explicado por uma maior capacidade de extração celular e revela a importância do tipo de fibra muscular esquelética recrutada.

A força muscular é modulada através do tamanho da unidade motora. Para cargas de trabalho de pequena intensidade e longa duração são recrutados motoneurônios pequenos que acionam fibras musculares de contração lenta e metabolismo oxidativo preponderante (tipo I). Para cargas de intensidade submáxima e máxima, em períodos relativamente curtos de trabalho, recrutam-se motoneurônios de tamanho médio e grande que acionam fibras musculares de contração rápida e metabolismo misto e glicolítico, respectivamente. Portanto, existe uma relação hierárquica inversa entre a capacidade de gerar força e o metabolismo oxidativo das fibras musculares.

Entre indivíduos com mesmo sexo, idade e nível de atividade física, é plausível esperar que devido à baixa intensidade de carga que o corpo dos indivíduos com baixo peso oferece, que sua massa muscular seja formada preponderantemente de fibras oxidativas, cujas características se acentuam quando submetidas a atividades submáximas prolongadas, o que, em conjunto, permite retardar o aparecimento da fadiga metabólica.

Esta maior resistência à fadiga metabólica pode explicar o crescimento regular da curva do pulso de oxigênio no grupo baixo peso até o final do exercício. A quebra da curva do pulso de oxigênio observada no grupo controle a partir do lv_2 pode expressar um efeito inotrópico negativo da acidose metabólica, menos pronunciada no grupo baixo peso.

Estudos citados na literatura mostraram que o consumo relativo de oxigênio em indivíduos com IMC na faixa do sobrepeso era menor do que o observado em indivíduos na faixa de normalidade. Deste modo, considerando também os nossos resultados encontrados nas faixas de normalidade e de baixo peso do IMC, pode-se especular que exista uma correlação negativa do IMC e o consumo relativo de oxigênio.

A construção de uma curva do consumo relativo de oxigênio utilizando valores encontrados com o método dos limiares ventilatórios em diferentes estratos do IMC, incluindo os mais extremos limites de corte, possibilitaria identificar o ponto de melhor adequação entre

as dimensões corporais e a utilização de oxigênio pelo organismo. Poderia ainda indicar se os atuais limites de corte adotados para a faixa de normalidade do IMC se associam ao comportamento da curva do consumo relativo de oxigênio e, finalmente, qual o ponto de corte para o baixo peso indicativo de anormalidade.

REFERÊNCIAS

1. ALFIERI, R.G.; DUARTE, G..M: **Marcondes, Exercício e o Coração**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 1993.
2. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. **Guidelines for Exercise Testing and Prescription**. 5Th. ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1995.
3. ANDERSEN, P; HENRIKSSON, J. Training induced changes in subgroups of human type II skeletal muscle fibres. **Acta Physiol Scand.**, v.99, p.123-125, 1977.
4. ANGELELI W. et al. Capacidade física de trabalhadores migrantes antes e após nutrição balanceada. Análise por cicloergometria. **Arq Bras Cardiol.**, v. 40, n.2, p. 97 –101, 1983.
5. ANJOS, L.A. Índice de Massa Corporal (Massa Corporal/ Estatura²) como indicador do estado nutricional de adultos: Revisão da Literatura. **Rev Saúde Pública**, v.26, n.6, p. 431 - 436, 1992.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 6023** - Informação e documentação: referências - elaboração. Rio de Janeiro, 2002.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 10520** - Citações em documentos - apresentação. Rio de Janeiro, 2002.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 14724** - Informação e documentação - trabalhos acadêmicos - apresentação. Rio de Janeiro, 2002.
9. ASTRAND, I. et al. Intermittent muscular work. **Acta Physiol Scand.**, v. 48, p. 448-453, 1960a.
10. ASTRAND, I. et al. Myohemoglobin as an oxygen-store in man. **Acta Physiol Scand.**, v. 48, p. 454-460, 1960b.
11. ASTRAND, P.O. Physical Activity and Fitness: evolutionary perspectives and trends for the future. In: BOUCHARD, C.; SHEPARD, R.J.; STEPHENS, T. **Physical Activity, Fitness and Health Consensus Statement**. Champaign: Human Kinetics, p. 100-102, 1993.
12. ASTRAND, P.O. Physical activity and fitness. **Am J Clin Nutr.**, v. 55, p. 1231S- 1236S, 1992.
13. ASTRAND, P.O. Why exercise? **Med Sci Sports Exerc.**, v. 24, n.2, p. 153-162. 1992.
14. ASTRAND, P.O.; RODAHL, K. **Tratado de Fisiologia do Exercício**. 1.ed. em português. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
15. ASTRAND, P.O.; RYHMING, I. A Nomogram for calculation of aerobic capacity (Physical Fitness) from pulse rate during submaximal work. **J Appl Physiol.**, v.7, p. 218-221, 1954.

16. ASTRAND, P.O.; SALTIN, B. Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise. **J Appl Physiol.**, v.16, p. 971-976, 1961a.
17. ASTRAND, P.O.; SALTIN, B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. **J Appl Physiol.**, v.16, p. 977-981, 1961b.
18. BARAC-NIETO, M. et al. Aerobic work capacity in chronically undernourished adult males. **J Appl Physiol.**, v. 44, n. 2, p. 209 – 215, 1978.
19. BARAC-NIETO, M., et al. Aerobic work capacity and endurance during nutritional repletion of severely undernourished men. **Am J Clin Nutr.**, v. 33.p. 2268 – 2275, 1980.
20. BARAC-NIETO, M.; SPURR, G.B.; REINA, J.C. Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: body composition and maximal O₂ consumption. **Am J Clin Nutr.**, v. 39, p. 830 – 839, 1984.
21. BATTERHAM A.M. et al. Modeling the influence of body size on VO_{2peak}: effects of model choice and body composition. **J Appl Physiol.** 87:1317-1325, 1999.
22. BONEN A. The expression of lactate transporters (MCT1 and MCT4) in heart and muscle. **Eur J Appl Physiol.** 86: 6-11, 2001.
23. BORG, G.A.V. Psychophysical bases of perceived exertion. **Med Sci Sports Med.** v. 14, n. 5, p. 377-381, 1982.
24. BROOKS, G.A. Anaerobic threshold: rewied of the concept and directions for future research. **Med Sci Sports Exerc.**, v. 17, n.1, p. 22-31, 1985.
25. BULLER, A.J.; ECCLES, J.C.; ECCLES, R.M. Interactions between motoneurons and muscles in respect of characteristic speeds of their responses. **J Physiol.**, v. 150, p. 417-430, 1960.
26. COITINHO D.C. **Condições Nutricionais da população brasileira: adultos e idosos.** Brasília: INAN, 1991.
27. I CONSENSO Brasileiro de Espirometria. **J Pneumol.**, v.22, n.3, p.105-164, 1996.
28. COMROE, J.H. **Fisiologia da Respiração.** 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1977.
29. COSTA, R.V.C.; FERRAZ, A.S. Ergoespirometria. IN: GHORAIEB, N.; BARROS NETO, T.L. **O Exercício: Preparação Fisiológica, Avaliação Médica. Aspectos Especiais e Preventivos.** São Paulo: Atheneu, 1999. Cap. 15, p. 173-184.
30. COUTINHO, R. **Noções de fisiologia da nutrição.** 2. ed. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 1981.
31. DAVIS, J.A. Anaerobic threshold: rewied of the concept and directions for future research. **Med Sci Sports Exerc.**, v. 17, n.1, p.6-18, 1985.

32. DESAI, I.D. et al. Marginal malnutrition and reduced physical work capacity of migrant adolescent boy in southern Brazil. **Am J Clin Nutr.**, v. 40, p. 135 – 145, 1984.
33. DESAI, I.D., et al. Anthropometric and cycloergometric assessment of the nutritional status of the children of agricultural migrant workers in southern Brazil. **Am J Clin Nutr.**, v. 34, p. 1925 – 1934, 1981.
34. DURNIN, J.V.G.A. Low body mass index, physical work capacity and physical activity levels. **Eur J Clin Nutr.**, v. 48, p. S39 – S44, 1994. Suppl. 3.
35. ELLESTAD, M.H. **Prova de Esforço**. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 1984.
36. FONSECA, V. **Filogénese da Motricidade**. Lisboa: Edições 70, 1982.
37. FOSS, M.L.; KETAYIAN, S.J. **Fox, Bases Fisiológicas do Exercício e do Esporte**. 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.
38. GREGG, L.S. HIF-1: mediator of physiological and pathophysiological responses to hypoxia. **J Appl Physiol.**, v. 88, p. 1474-1480, 2000.
39. GRIMBY, G. Respiration in exercise. **Med Sci Sports.**, v. 1, n. 1, p. 9-14, 1969.
40. GUEDES D.P. Gordura corporal: validação da equação de Faulkner em jovens pertencentes à população brasileira. **Artus**, v. 17, p.10-13, 1986.
41. GUYTON, A.C. **Tratado de Fisiologia Médica**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.
42. HAAF, G. **A Origem da Humanidade**. 1.ed. em português. São Paulo: Abril Cultural, 1979.
43. HENNEMAN, E.; SOMJEN, G.; CARPENTER, D.O. Excitability and inhibibility of motoneurons of different sizes. **J Neurophysiol.**, v. 28, p. 599-620, 1965.
44. HENNEMAN, E.; SOMJEN, G.; CARPENTER, D.O. Functional significance of cell size in spinal motoneurons. **J Neurophysiol.**, v. 28, p. 560-580, 1965.
45. JACKSON, A.S.; POLLOCK, M.L. Generalized equations for predicting body density of men. **Br J Nutr.**, v. 40, p. 497-504, 1978.
46. JELLIFFE, D.B.; JELLIFE, E.L.P. Underappreciated pioneers Quételet: man and index. **Am J Clin Nutr.**, v. 32, p. 2519 – 2521, 1979.
47. JENKINS, R. R. Exercise and oxidative stress methodology: a critique. **Am J Clin Nutr.**, v.72, p. 670S-674S, 2000. Suppl.
48. KATCH, F.I. et al. The influence of the estimated oxygen cost of ventilation on oxygen deficit and resting oxygen intake for moderately heavy bicycle ergometer exercise. **Med Sci Sports.**, v. 4, p. 71, 1972.

49. KERN P. A., SIMSOLO R.B., FOURNIER M. Effect of weight loss on muscle fiber type, fiber size, capillarity, and succinate dehydrogenase activity in humans. **J Clin Endocrinol Metab** 84: 4185-4190, 1999.
50. KETHEYIAN, S.J. et al. Cardiovascular responses to submaximal arm and leg exercise in cardiac transplants. **Med Sci Sports Exerc.**, v. 26, n. 4, p. 420-424, 1994.
51. KNUDSON R.J. et al. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. **Am Rev Respir Dis.**, v. 127, p. 725-734, 1983.
52. LEAKEY, R. E.; LEWIN, R. **Origens**. 4. ed. em português. São Paulo: Melhoramentos, 1982.
53. LEE J., KOLONEL L.N., WARD M. Relative merits of the weight corrected for height indices. **Am J Clin Nutr.** v. 34, p. 2519-2521, 1979
54. LEFF, A.R.; SHUMAKER, P. T. **Fisiologia Respiratória: Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Interlivros, 1996.
55. LEVISON, H.; CHERNIAC, R. Ventilatory cost of exercise in chronic obstructive pulmonary disease. **J Appl Physiol.**, v. 25, p. 21-27, 1968.
56. MANSO, D.J.V.; MOURA FILHO, A.G.; LAURENTINO, G.E.C. **Estudo da composição corporal em indivíduos com diferentes níveis de IMC** (Análise antropométrica). Trabalho de conclusão do Curso de Fisioterapia da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.
57. MAUGHAN R.; GLEESON M.; GREENHAFF P.L. **Bioquímica do Exercício e do Treinamento**. 1. ed. brasileira. São Paulo: Manole, 2000.
58. McARDLE, W. D; KATCH, F.I.; KATCH, V.L. **Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano**. 4. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1994.
59. McCOMAS A.J. **Skeletal muscle: form and function**. Champaign: Human Kinetics, 1996.
60. McCULLY, K.K.; FAULKNER, J.A. Injury to skeletal muscle fibers of mice following lengthening contractions. **J Appl Physiol.**, v. 59, n. 1, p. 119-126, 1985.
61. MESSER, J. et al. Patterns of human myocardial oxygen extraction during rest and exercise. **J Clin Invest.** v. 41, n. 4, p. 725-742, 1962.
62. MICHIELLI, D.W. et al. Effects of exercise training on ventricular dimensions at rest and during exercise. **Med Sci Sports**, v. 11, n. 1, p. 82-83, 1979.
63. MOURA FILHO, A.G.; TEODÓSIO, N.R.; COSTA, J.A. Capacidade aeróbia em homens jovens com baixo peso. **An Fac Med Univ Fed Pernamb.** v. 47, n. 2, p., 2002.

64. MOURA FILHO, A.G.; TEODÓSIO, N.R.; COSTA, J.A. Limiares ventilatórios em homens jovens com baixo peso. **An Fac Med Univ Fed Pernamb.** v. 48, n. 1, p., 2003. (no prelo)
65. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **El estado físico:** uso e interpretación de la antropometría. Ginebra, 1995. 520 p. Série Informes Técnicos, n. 854.
66. PHILLIPS S.M. et al. Increased clearance of lactate after short-term training in men. **J Appl Physiol.**, v. 79, p. 1862-1869, 1995.
67. PIRNAY, F. et al. Analysis of femoral venous blood during maximum muscular exercise. **J Appl Physiol.**, v. 33, n. 3, p. 289-292, 1972.
68. RIBEIRO, J.P. Limiares metabólicos e ventilatório durante o exercício. Aspectos fisiológicos e metodológicos. **Arq Bras Cardiol.**, v. 64, n.2, p. 171 –181, 1995.
69. RUSSELL B.; MOTLAGH D.; ASHLEY W.W. Form follows function: how muscle shape is regulated by work. **J Appl Physiol.**, v. 88, p.1127-1132, 2000.
70. SALMONS, S.; SRÉTER, F.A. Significance of impulse activity in the transformation of skeletal muscle type. **Nature**, v. 263, p. 30-34, 1976.
71. SALTIN, B. Physiologic adaptation to physical conditioning. **Acta Med. Scand.**, v. 711, p. 11-24, 1987. Suppl.
72. SATYANARAYANA, K. et al. Body size and work output. **Am J Clin Nutr.**, v. 30, p. 322 – 325, 1977.
73. SELYE, H. The evolution of the stress concept. **Am J Cardiol.**, v. 26, p. 289-299, 1970.
74. SLUTSKY, R. et al. Response of left ventricular volume to exercise in man assessed by radionuclide equilibrium angiography. **Circulation**, v. 60, n.3, p. 565-571, 1979.
75. SPURR, G.B. et al. Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: functional consequences in maximum exercise. **Am J Clin Nutr.**, v. 37, p. 834 – 847, 1983.
76. STARON R.S. et al. Human skeletal muscle fiber type adaptability to various workloads. **J Histochem Cytochem.**, v. 32, n.2, p.146-152, 1984.
77. TANNER C.J. et al. Muscle fiber type is associated with obesity and weight loss. **Am J Physiol Endocrinol Metab** 282: E1191-1196, 2002.
78. TEPPERMAN, J. **Fisiologia Endócrina e Metabólica.** 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1977.
79. VITERI, F.E.; TORÚN B. Ingestion calorica y trabajo fisico de obreros agricolas en Guatemala. **Bol Ofic Sanitar Panam.**,v. 78, n.1, p. 58 – 74, 1975.
80. Von DÖBELN W. Maximal oxygen intake, body size, and total hemoglobin in normal man. **Acta Physiol Scand.** 38:193-199, 1956.

81. WASSERMAN, K et al. Cardiodynamic hyperpnea : hyperpnea secondary to cardiac output increase. **J Appl Physiol.**, v. 36, p. 457-464, 1974.
82. WASSERMAN, K et al. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. **J Appl Physiol.**, v. 35, p. 236-243, 1973.
83. WASSERMAN, K et al. Interactions of physiological mechanisms during exercise. **J Appl Physiol.**, v. 22, p.71-85, 1967.
84. WASSERMAN, K.; KOIKE, A. Is the anaerobic threshold study anaerobic? **Chest**, v. 101, p. 211S – 218S, 1992.
85. WASSERMAN, K.; McILROY, M.B. Detecting threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. **Am J Cardiol.**, v. 14, p. 844-852, 1964.
86. WELTMAN, A. **The Blood Lactate Response to Exercise**. Champaign: Human Kinetics, 1995.