

# Respostas cardiorrespiratórias ao exercício em indivíduos portadores de hipotrofia por imobilização

Turíbio Leite de Barros Neto  
Marcelo de Castro Cesar  
Alba Lucia Botura Leite de Barros  
Adriana K. Russo

*Centro de Medicina da Atividade física e do esporte  
– CEMAFE. Órgão da Universidade Federal de São  
Paulo – Escola Paulista de Medicina*

**Resumo:** Para avaliar as respostas cardiorrespiratórias ao exercício máximo e submáximo foram estudados 12 indivíduos do sexo masculino, sendo 6 indivíduos normais (grupo controle) e 6 indivíduos portadores de hipotrofia do membro inferior por imobilização (grupo experimental). Todos indivíduos foram submetidos a testes cicloergométricos máximos de carga crescente de pedalagem com as duas pernas e com cada uma das pernas isoladamente. Foram avaliados o consumo máximo de oxigênio, o limiar anaeróbio, a ventilação pulmonar e a frequência cardíaca. No grupo controle, os resultados obtidos com as duas pernas foram maiores que com uma perna, mas não houve diferença entre a perna direita e esquerda. No grupo experimental os valores de consumo máximo de oxigênio e limiar anaeróbio foram maiores no exercício com a perna normal que com a hipotrofiada, sugerindo uma menor capacidade oxidativa da massa muscular do membro hipotrofiado. A ventilação pulmonar e a frequência cardíaca em níveis submáximos de exercício (abaixo do limiar anaeróbio) foram mais elevadas no exercício com a perna hipotrofiada do que com a perna normal, para um mesmo consumo de oxigênio, mas quando expressas em função do consumo máximo de oxigênio não houve diferença entre os membros, de forma que estes dados parecem evidenciar um mecanismo comum para os ajustes cardiorrespiratórios ao exercício, onde a carga relativa expressa em percentual do consumo máximo de oxigênio seria o fator determinante.

**Palavras-chaves:** consumo de oxigênio, exercício, hipotrofia, imobilização.

**Abstract:** With the purpose to evaluate the cardiorrespiratory responses to maximal and submaximal exercise, 12 male individual were studied, being 6 normal individual (control group) and 6 individual with inferior limb hipotrophy by immobilization (experimental group). Every individual performed cardiopulmonary exercise testing on cycle ergometer with the two legs and each leg isolate. The maximal oxygen uptake, the anaerobic threshold, the pulmonary ventilation and the heart rate were determined. The results in the tests with two legs in control group were greater than with the one leg, but no differences were detected in the tests with the right and left leg. In the experimental group, the maximal oxygen uptake and the

anaerobic threshold values were greater in normal leg exercise than in the hipotrophy leg exercise, suggest lower oxidative capacity in hipotrophy skeletal muscle mass. The pulmonary ventilation and the heart rate in submaximal exercise (below anaerobic threshold) were higher in exercise with the hipotrophy leg than in the exercise with the normal leg at the same oxygen uptake, but when express at maximal oxygen uptake no difference was detect between the limbs, suggesting a same mechanism to the cardiorrespiratory adjustments in exercise, being the relative load express in percent of maximal oxygen uptake would be the determinant factor.

**Key words:** oxygen uptake, exercise, hipotrophy, immobilization.

## Introdução

A aptidão física de atletas até pacientes com severa limitação funcional pode ser quantificada pelo consumo máximo de oxigênio e pelo limiar anaeróbio (38,43), sendo estes dois índices considerados padrões de referência para aptidão cardiorrespiratória.

A limitação funcional da aptidão cardiorrespiratória pode ser classificada em:

1. limitação “central”, dependente do débito cardíaco máximo ( $Q_{max}$ ) e do conteúdo de oxigênio do sangue arterial (29);
2. limitação “periférica”, expressa pela diferença artério-venosa de oxigênio e pelo metabolismo tecidual (37).

Esses fatores representam a capacidade que o sistema cardiovascular tem de fornecer oxigênio e a capacidade de extração dos tecidos, podendo o consumo máximo de oxigênio ser expresso pela equação de Fick:  $VO_2 \max = Q_{max} \times (a-v) O_2 \max$ .

O consumo máximo de oxigênio reflete a capacidade funcional do sistema cardiovascular, sendo o volume máximo de ejeção o principal fator determinante da captação máxima de oxigênio na maioria dos indivíduos (26).

Entretanto, pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica são limitados no exercício físico pela ventilação (16,25) por não conseguirem sustentar o exercício em um teste de esforço quando a ventilação no esforço se aproxima do valor da ventilação voluntária máxima medida em repouso (22). Por outro lado, em atletas altamente treinados, nos quais o débito cardíaco atinge níveis muito elevados, é descrita dessaturação da oxihemoglobina durante o exercício máximo, evidenciando uma limitação da captação de oxigênio pela difusão alvéolo-capilar (12).

Contudo, há evidências da capacidade do músculo esquelético desenvolver adaptações morfológicas e funcionais em resposta ao treinamento aeróbico (35,30), e a imobilização acarreta em maior quantidade de tecido conjuntivo intramuscular, diminuição da densidade capilar e menor tamanho das fibras musculares (17).

Existem trabalhos demonstrando que a difusão de oxigênio para os tecidos pode limitar o consumo máximo de oxigênio (23,24), e a limitação funcional de indivíduos com insuficiência cardíaca pode ocorrer devido à musculatura esquelética apresentar regressão funcional e tornar-se o fator limitante do consumo máximo de oxigênio (limitação periférica) (21,36), embora LANG e colaboradores (18) não tenham encontrado correlação entre a intolerância ao esforço e a atrofia de musculatura esquelética em pacientes com insuficiência cardíaca.

Notam-se, portanto, várias possibilidades de fatores que acarretem em limitação não apenas do consumo máximo de oxigênio mas também do limiar anaeróbico, sendo necessário um protocolo experimental em que esses índices sejam melhor estudados.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas cardiorrespiratórias e a limitação funcional de indivíduos portadores de hipotrofia de um membro inferior devido à imobilização, sem qualquer seqüela ortopédica ou outra limitação funcional. Em tais indivíduos, o membro hipotrofiado por desuso representa uma massa muscular "destreinada" em relação ao membro normal, nutrida pelo mesmo sistema de transporte de oxigênio que o outro. Teríamos, assim, a possibilidade de isolar os efeitos centrais dos efeitos periféricos da atividade física, à medida que pudéssemos comparar as respostas ao exercício de cada membro isoladamente, submetendo estes indivíduos à testes cicloergométricos de carga crescente por meio de pedalagem com apenas uma perna. Poderíamos, desta forma, avaliar os efeitos da atividade física a nível muscular em relação aos ajustes cardiorrespiratórios do exercício moderado, assim como a influência dos mesmos fatores no consumo máximo de oxigênio e no limiar anaeróbico.

## Casuística e Métodos

Foram estudados 12 indivíduos do sexo masculino, divididos em dois grupos, grupo controle e grupo experimental. O grupo controle constituiu-se de 6 indivíduos saudáveis, de idade média de 28,33 anos (26 a 31), peso médio de  $78,52 \pm 14,05$  kg e altura média de  $175,67 \pm 8,31$  cm, de vida habitualmente ativa mas sem passado esportivo efetivo. O grupo experimental foi

formado por 6 indivíduos, de idade média de 21,00 anos (19 a 25), peso médio de  $63,93 \pm 6,21$  kg e altura média de  $167,17 \pm 7,68$  cm, portadores de hipotrofia do membro inferior devido à imobilização após cirurgia de ligamentos de joelho, sendo que eram habitualmente ativos e tiveram acidentes traumáticos do joelho durante práticas esportivas. O grau de hipotrofia era determinado pela medida do perímetro das coxas, sendo menor na perna hipotrofiada e variava de 2 a 3 cm a 10 cm do bordo superior da patela e 1 a 4 cm a 20 cm do mesmo. O período de imobilização após a cirurgia era de 4 a 6 semanas, sendo o indivíduo encaminhado à fisioterapia após a retirada da imobilização, e assim que recuperava a mobilidade articular, cerca de uma semana, era dado início aos testes de avaliação física no laboratório de fisiologia do exercício do Departamento de Fisiologia da Escola Paulista de Medicina.

Os testes ocorreram em um laboratório climatizado, em temperatura mantida entre 20 e 24 °C e umidade relativa do ar entre 60 e 80%. Todos indivíduos foram submetidos a 3 testes de esforço de carga crescente até a exaustão, em bicicleta ergométrica eletromagnética FUNBEC modelo SF. No primeiro teste o indivíduo pedalava com as duas pernas e nos dois testes seguintes com uma perna apenas, sendo que a seqüência de escolha da ordem de pedalagem, perna direita ou esquerda, era do próprio indivíduo. O protocolo consistia de carga inicial de 0 watts por 5 minutos e incrementos de carga a cada 2 minutos, sendo de 25 watts para o grupo controle e de 15 watts para o grupo experimental. Os testes ocorriam com um intervalo de 2 a 5 dias.

Durante os testes foi realizada medida direta do consumo de oxigênio, produção de dióxido de carbono e ventilação pulmonar, por meio de gasômetro COLLINS, analisadores BECKMAN de oxigênio (modelo OM-11) e de dióxido de carbono (modelo LB-2'). Determinada frequência cardíaca por eletrocardiógrafo ECG-3 FUNBEC, acoplado à cardioscopia 41 CN.

Foram medidos a cada carga: a ventilação pulmonar ( $V_E$  BTPS, em l/min), o consumo de oxigênio ( $VO_2$  STPD, em l/min), a produção de dióxido de carbono ( $VCO_2$  STPD, em l/min), equivalentes ventilatórios para o oxigênio ( $V_{E(O_2)}$ ) e para o dióxido de carbono ( $V_{E(CO_2)}$ ), e a frequência cardíaca (FC, em bpm). Também foram determinados a ventilação máxima no esforço ( $V_E$  max, em l/min), a frequência cardíaca máxima (FC max, em bpm), o consumo máximo de oxigênio ( $VO_2$  max, em l/min) e o limiar anaeróbico (LA, em l/min), determinado de acordo com os critérios de WASSERMAN e colaboradores (39,40).

Para análise estatística foi utilizado o teste não paramétrico para médias não independentes de WILCOXON, sendo o nível de significância para rejeição da hipótese de nulidade fixado em um valor menor que 0,05.

## Resultados

Grupo controle: foram determinados inicialmente os valores de ventilação pulmonar máxima, frequência cardíaca máxima, consumo máximo de oxigênio e limiar

anaeróbio, dos testes realizados com as duas pernas, estando os resultados na Tabela 1.

As variáveis determinadas nos testes de esforço pedalagem com as pernas direita e esquerda dos indivíduos do grupo controle serão analisadas sob três aspectos:

- 1°) valores máximos obtidos para as pernas direita e esquerda (Tabela 2);
- 2°) limiar anaeróbio (Tabela 2);
- 3°) ajustes cardiorrespiratórios nas cargas submáximas abaixo do limiar anaeróbio para as pernas direita e esquerda (Tabela 3).

Podemos observar na Tabela 2 que não houve diferença estatística significativa quando o indivíduo pedalava com a perna direita ou esquerda entre os valores de ventilação pulmonar máxima (aproximadamente 80% daquela atingida com o exercício de duas pernas), frequência cardíaca máxima (por volta de 90% da FC max do exercício com as duas pernas), razão de trocas gasosas máxima (atingidos valores máximos que correspondem a cerca de 100% do exercício com as duas pernas), consumo máximo de oxigênio (aproximadamente 75% do VO<sub>2</sub> max com as duas pernas) e limiar anaeróbio.

Nota-se também que não houve diferença significativa nos ajustes cardiorrespiratórios em cargas abaixo ao limiar anaeróbio (Tabela 3). Grupo experimental: os valores determinados de ventilação pulmonar máxima, razão de trocas gasosas máxima, frequência cardíaca máxima, consumo máximo de oxigênio, limiar anaeróbio em valores absolutos de consumo de oxigênio e em percentual do consumo máximo de oxigênio, dos testes realizados com as duas pernas, estão descritos na Tabela 4. As variáveis determinadas nos testes de esforço pedalagem com as pernas normal e hipotrofiada dos indivíduos do grupo experimental serão analisadas sob os mesmos aspectos do grupo controle:

- 1°) valores máximos obtidos para as pernas normal e hipotrofiada (Tabela 5);
- 2°) limiar anaeróbio (Tabela 5);
- 3°) ajustes cardiorrespiratórios nas cargas submáximas abaixo do limiar anaeróbio para as pernas normal e hipotrofiada (Tabela 6).

Podemos observar pela Tabela 5 que não houve diferença estatisticamente significativa quando o indivíduo pedalava com a perna normal ou hipotrofiada para os valores máximos de ventilação pulmonar (aproximadamente 80% do valor máximo obtido no teste com as duas pernas), frequência cardíaca máxima (cerca de 91% da FC max com as duas pernas) e razão das trocas gasosas máxima (correspondendo a cerca de 100 % do valor atingido com as duas pernas).

Entretanto, o consumo máximo de oxigênio é significativamente menor para a perna hipotrofiada do que para a perna normal, e que estes valores correspondem em média a 76,72% (perna normal) e 65,94% (perna hipotrofiada) dos valores máximos para as duas pernas. O

limiar anaeróbio expresso em valor absoluto (l/min) também é significativamente menor para a perna hipotrofiada do que para a perna normal, mas quando expresso em % do VO<sub>2</sub> max para cada perna não existe diferença estatisticamente significativa.

Em relação aos ajustes cardiorrespiratórios em cargas submáximas abaixo do limiar anaeróbio (Tabela 6), podemos observar que os valores do equivalente ventilatório para o oxigênio e do equivalente ventilatório para o dióxido de carbono são significativamente mais elevados para a perna hipotrofiada do que para a perna normal. Entretanto, quando a ventilação pulmonar é expressa como função do consumo máximo de oxigênio para a massa muscular em atividade, não existe diferença significativa entre as pernas normal e hipotrofiada.

Pela Tabela 6 também podemos constatar que o quociente entre a frequência cardíaca e o consumo de oxigênio é significativamente maior para a perna hipotrofiada do que para a perna normal, mas não encontramos diferença entre as pernas normal e hipotrofiada quando a frequência cardíaca foi expressa em função do % do VO<sub>2</sub> max para cada massa muscular.

## Discussão

O consumo máximo de oxigênio para o exercício de uma perna em relação ao exercício de duas pernas pode ser discutido à luz dos valores máximos obtidos para os principais índices dos sistemas de captação e transporte de oxigênio durante o exercício.

Os resultados mostraram uma ventilação máxima no esforço no exercício com uma perna de aproximadamente 80% ao exercício com as duas no grupo controle, sugerindo que não houve uma limitação da captação de oxigênio do ponto de vista da ventilação, quando o indivíduo realiza um exercício máximo com uma perna. Estes resultados estão de acordo com os de outros autores (10,20). No grupo experimental, a ventilação máxima atingida no exercício com a perna hipotrofiada mostrou uma tendência a ser menor que com a perna normal, mas que não foi estatisticamente significativa. Considerando que a ventilação pulmonar não seria o fator limitante da captação máxima de oxigênio nem no exercício com a perna normal nem com a perna atrofiada, podemos admitir que os valores percentuais atingidos em relação à ventilação máxima para o exercício de duas pernas (respectivamente 82,39 e 74,77 % para as pernas normal e hipotrofiada), representam simplesmente o nível de ventilação ajustado em função da integração à nível dos centros respiratórios dos diferentes estímulos presentes em cada condição.

No grupo controle, os valores de frequência cardíaca máxima para os testes de uma perna mantiveram-se por volta de 90% da frequência cardíaca máxima para o teste com as duas pernas, o que sugere que nestas condições o débito cardíaco máximo não seria atingido, sendo que estes achados estão de acordo com trabalhos anteriores (10,20). No grupo experimental a frequência cardíaca máxima não mostrou diferença estatisticamente significativa no exercício com a perna normal em relação à hipotrofiada,

sendo ambos valores por volta de 91% da frequência cardíaca máxima para o teste com as duas pernas, de modo que podemos admitir que condições o débito cardíaco máximo não foi atingido nem com exercício com a perna normal e nem com a hipotrofiada.

Como os valores máximos da razão de trocas gasosas não foram diferentes para o exercício com uma ou duas pernas, tanto no grupo controle quanto no experimental, podemos considerar que a produção do excesso de CO<sub>2</sub> decorrente do tamponamento do ácido láctico formado, seja proporcionalmente a mesma em relação ao consumo máximo de oxigênio, tanto no exercício com uma perna como no de duas, mesmo com uma massa muscular menor, como no caso da perna hipotrofiada.

O valor do consumo máximo de oxigênio no grupo controle de uma perna mantém uma proporção em torno de 70% do VO<sub>2</sub> max para as duas pernas, resultado de acordo com vários autores (10,33), sugerindo que o débito cardíaco máximo não foi atingido no exercício com uma perna e a limitação ao consumo máximo de oxigênio de origem periférica. Nossos resultados não mostraram diferença no exercício com a perna direita e esquerda, o que nos permite considerar que a capacidade oxidativa desses grupos musculares é a mesma. Por outro lado, no grupo experimental o VO<sub>2</sub> max foi significativamente mais baixo para a perna hipotrofiada do que para a perna normal (13,56% em média), sendo tal resultado esperado, uma vez que o consumo máximo de oxigênio deve refletir a redução da capacidade oxidativa da massa muscular exercitada e outros autores também relatam menores valores em pernas atrofiadas (10,32).

O limiar anaeróbio do grupo controle não foi diferente nas pernas direita e esquerda, sendo que estes resultados representam um importante controle de uma eventual influência do fato do indivíduo ser destro ou canhoto nos valores obtidos para cada perna. Entretanto, no grupo experimental, o limiar anaeróbio determinado para a perna hipotrofiada era significativamente menor do que para a perna normal, sugerindo que a menor capacidade oxidativa da perna hipotrofiada acarretou em um aumento da relação lactato/piruvato mais precoce, de modo que o limiar anaeróbio representaria uma deficiência no fornecimento de oxigênio frente ao aumento da demanda energética nos grupos musculares em atividade, estando hipótese de acordo com as afirmações de WASSERMAN e colaboradores (39,40,41).

Os resultados obtidos nos dois grupos em relação aos ajustes da ventilação pulmonar em função do exercício moderado, ou seja, abaixo do limiar anaeróbio, foram analisados pelos quocientes entre ventilação pulmonar e consumo de oxigênio ( $V_E O_2$ ), produção de dióxido de carbono ( $V_E CO_2$ ) e % do VO<sub>2</sub> max ( $V_E / \% VO_2$  max), de forma que podemos padronizar os ajustes da ventilação em diferentes demandas metabólicas absolutas (diferentes valores de consumo de oxigênio no exercício de uma perna) que representam condições abaixo de uma intensidade capaz de alterar o pH e desencadear uma acidose metabólica.

O fato do grupo controle não apresentar diferença entre os quocientes das pernas direita e esquerda estabelece, mais uma vez, um parâmetro de constatação de igualdade entre os ajustes dos sistemas fisiológicos ao exercício isolado das pernas direita e esquerda em indivíduos normais.

Por outro lado, as diferenças obtidas no grupo experimental nos fornecem evidências dos possíveis mecanismos envolvidos na ventilação no exercício moderado. Como os valores dos equivalentes ventilatórios para o oxigênio e para o dióxido de carbono são sempre maiores para a perna hipotrofiada do que para perna normal, parece que a ventilação pulmonar não seja ajustada somente em função da demanda metabólica absoluta (consumo de oxigênio) nem que o CO<sub>2</sub> seja o fator determinante do ajuste fino da ventilação no exercício moderado, teoria defendida por outros autores (15,42).

Deste modo, outros fatores devem estar relacionados ao ajuste da ventilação pulmonar no exercício moderado, parecendo que nossos resultados estão de acordo com a teoria do controle central, relacionada à influência de descarga à partir do córtex motor como um possível “ajuste de fundo” do nível de atividade dos neurônios dos centros reguladores da respiração durante o exercício. Asmussen e colaboradores (3) mostraram que para uma mesma carga de trabalho a ventilação é maior após uma curarização parcial, representando uma evidência da participação do mecanismo cortical, pois para manter a mesma carga após a curarização, seria necessário um maior grau de esforço consciente. Podemos admitir que neste trabalho a curarização tenha diminuído o consumo máximo de oxigênio, e que o mesmo grau de esforço significaria uma mesma percentual do VO<sub>2</sub> max. Para um mesmo grau de esforço relativo, ou seja, para um mesmo grau de descarga motora, teríamos um mesmo grau de ativação dos centros respiratórios e, portanto, um mesmo nível de ventilação. Esta hipótese está condizente com nossos achados, uma vez que para um mesmo VO<sub>2</sub> max a ventilação pulmonar é a mesma para os exercícios com a perna normal e com a perna hipotrofiada, caracterizando uma condição na qual o grau de esforço para respectiva massa muscular deva ser o mesmo.

O fato da ventilação pulmonar no exercício moderado ser ajustada em função da demanda metabólica relativa (% do VO<sub>2</sub> max) evidencia a importância dos ajustes neurogênicos de origem periférica no ajuste fino da hiperpnéia no exercício, demonstrado por um grande número de trabalhos experimentais (7,9).

Esta teoria enfatiza também a importância do meio químico local na massa muscular em atividade como o fator determinante do grau de ativação de terminações nervosas que atuam como “sensores” modulando a descarga aferente em função do nível de atividade da massa muscular em atividade (34,19,37). Admitindo que para um mesmo percentual do consumo máximo de oxigênio o grau de modificação do meio químico local nas massas musculares das pernas normal e hipotrofiada seja o mesmo, correspondendo a condições isometabólicas em termos relativos, podemos considerar que o nível de descarga aferente seja o mesmo, determinando o mesmo “ajuste fino” da ventilação nestas condições. Isso explicaria, também, a maior ventilação na perna hipotrofiada para um mesmo consumo de oxigênio ou uma mesma produção de dióxido de carbono, pois como a capacidade oxidativa da perna hipotrofiada é menor a modificação do meio químico local seria mais acentuada para um mesmo consumo de

O<sub>2</sub> ou produção de CO<sub>2</sub>, acarretando em maior estímulo aos centros respiratórios.

Assim como para a ventilação pulmonar, os resultados obtidos em relação aos ajustes da frequência cardíaca do exercício nos grupos controle e experimental, considerando o exercício de pedalagem com uma perna, foram analisados em relação à demanda metabólica absoluta (FC / VO<sub>2</sub>) e relativa (FC / % VO<sub>2</sub> max). Como no grupo controle não houve diferença dos resultados entre as pernas direita e esquerda, podemos admitir que existe uma igualdade de condições entre as pernas direita e esquerda para estes índices.

No grupo experimental a frequência cardíaca se estabilizou sempre em valores mais elevados para um mesmo consumo de oxigênio na perna hipotrofiada em relação à perna normal, comprovando os resultados obtidos por SALTIN (31), sugerindo que um mesmo débito cardíaco seja mantido com uma frequência cardíaca mais alta para a perna hipotrofiada em relação à normal, de modo que podemos considerar que a hipotrofia representa uma condição de regressão dos efeitos locais (periféricos) da atividade (treinamento), evidenciando que a frequência cardíaca mais baixa para um indivíduo treinado em relação a um indivíduo destreinado, a manifestação mais característica dos efeitos do treinamento nos ajustes cardiovasculares ao exercício (5), deva ocorrer pelo menos em parte pelos efeitos do treinamento a nível da musculatura periférica, embora não podemos descartar a hipótese do mecanismo de irradiação dos centros motores da mesma forma que discutidos em relação à ventilação pulmonar. Como o quociente FC / % VO<sub>2</sub> max não foi diferente entre a perna normal e a hipotrofiada, nos parece admissível que os mecanismos dos ajustes cardiorrespiratórios do exercício sejam desencadeados, pelo menos em parte, pelos mesmos estímulos, ou seja modificações locais da massa muscular em atividade, e reforçam as afirmações de CLAUSEN (6) que a menor frequência cardíaca do exercício com o treinamento seria de origem periférica e teria relação direta com a descarga a partir de aferentes musculares.

Concluindo, podemos constatar que nos indivíduos do grupo experimental havia uma menor capacidade oxidativa da massa muscular do membro hipotrofiado que foi quantificada quando comparados os valores de consumo máximo de oxigênio e limiar anaeróbio com os do membro normal. A ventilação pulmonar e a frequência cardíaca em níveis submáximos de exercício são mais elevadas no exercício com a perna hipotrofiada do que com a perna normal, para um mesmo consumo de oxigênio, mas quando expressas em função do VO<sub>2</sub> max não há diferença entre os membros, de forma que estes dados parecem evidenciar um mecanismo comum para os ajustes cardiorrespiratórios ao exercício, onde a carga relativa expressa em percentual do VO<sub>2</sub> max seria o fator determinante.

## Anexos

**Tabela 1-** Valores máximos de ventilação pulmonar (V<sub>E</sub> max), frequência cardíaca (FC max), consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub> max), e limiar anaeróbio (LA) para o grupo controle na pedalagem com as duas pernas

Variável	Grupo controle
V <sub>E</sub> max (l/min)	126,50 ± 32,31
FC max (bpm)	181,83 ± 7,73
VO <sub>2</sub> max (l/min)	2,69 ± 0,52
LA (l/min)	1,79 ± 0,23

**Tabela 2-** Valores de ventilação pulmonar máxima (V<sub>E</sub> max), frequência cardíaca máxima (FC max), consumo máximo de oxigênio (VO<sub>2</sub> max), limiar anaeróbio (LA) para o grupo controle na pedalagem com as pernas direita e esquerda

Variável	Perna Direita	Perna Esquerda	Significância
V <sub>E</sub> max (l/min)	100,92	101,80	*NS
FC max (bpm)	164,33	168,66	*NS
VO <sub>2</sub> max (l/min)	2,06	2,03	*NS
LA (l/min)	1,25	1,25	*NS

\*NS = diferença não significativa pelo teste de Wilcoxon

**Tabela 3 –** Valores médios de equivalente ventilatório para o oxigênio (V<sub>E</sub>O<sub>2</sub>), equivalente ventilatório para o dióxido de carbono (V<sub>E</sub>CO<sub>2</sub>), quocientes entre ventilação pulmonar e % do consumo máximo de oxigênio (V<sub>E</sub> / %VO<sub>2</sub> max), entre frequência cardíaca e consumo de oxigênio (FC / VO<sub>2</sub>) e frequência cardíaca e % do consumo máximo de oxigênio (FC / % VO<sub>2</sub> max) abaixo do limiar anaeróbio para as pernas direita e esquerda para indivíduos do grupo controle

Variável	Perna Direita	Perna Esquerda	Significância
V <sub>E</sub> O <sub>2</sub>	43,30	44,47	*NS
V <sub>E</sub> CO <sub>2</sub>	42,76	42,73	*NS
V <sub>E</sub> / %VO <sub>2</sub> max	0,88	0,89	*NS
FC / VO <sub>2</sub>	106,85	109,78	*NS
FC / % VO <sub>2</sub> max	2,19	2,20	*NS

\*NS = diferença não significativa pelo teste de Wilcoxon

**Tabela 4** - Valores máximos de ventilação pulmonar ( $V_E$  max), frequência cardíaca (FC max), consumo de oxigênio ( $VO_2$  max), e limiar anaeróbico (LA) para o grupo experimental na pedalagem com as duas pernas

Variável	Grupo experimental
$V_E$ max (l/min)	2,32 ± 0,55
FC max (bpm)	98,13 ± 23,82
$VO_2$ max (l/min)	213,83 ± 7,44
LA (l/min)	1,64 ± 0,56

**Tabela 5** - Valores de consumo máximo de oxigênio ( $VO_2$  max), limiar anaeróbico (LA), ventilação pulmonar máxima ( $V_E$  max), e frequência cardíaca máxima (FC max), para o grupo experimental na pedalagem com a pernas normal e hipotrofiada

Variável	Perna Normal	Perna Hipotrofiada	Significância
$VO_2$ max (l/min)	1,78	1,53	*
LA (l/min)	1,32	1,11	*
$V_E$ max (l/min)	79,18	75,42	*NS
FC max (bpm)	194,83	195,83	*NS

\* = significante pelo teste de Wilcoxon, nível de  $p < 0,05$

\*NS = diferença não significante pelo teste de Wilcoxon

**Tabela 6** – Valores médios de equivalente ventilatório para o oxigênio ( $V_{E O_2}$ ), equivalente ventilatório para o dióxido de carbono ( $V_{E CO_2}$ ), quocientes entre ventilação pulmonar e % do consumo máximo de oxigênio ( $V_E / \% VO_2$  max), entre frequência cardíaca e consumo de oxigênio (FC /  $VO_2$ ) e frequência cardíaca e % do consumo máximo de oxigênio (FC /  $\% VO_2$  max) abaixo do limiar anaeróbico para as pernas normal e hipotrofiada para indivíduos do grupo experimental

Variável	Perna Normal	Perna Hipotrofiada	Significância
$V_{E O_2}$	36,13	44,17	*
$V_{E CO_2}$	35,95	42,44	*
$V_E / \% VO_2$ max	0,63	0,64	*NS
FC / $VO_2$	144,64	180,52	*
FC / $\% VO_2$ max	2,53	2,50	*NS

\* = diferença significante pelo teste de Wilcoxon, nível de  $p < 0,05$

\*NS = diferença não significante pelo teste de Wilcoxon

## Referências Bibliográficas

- ADAMS, L., CROSS, A., FRANKEL, H., FURNEAUX, R., GARLICK, J., GUZ, A., MURPHY, K., SEMPLE, S.J.G. *The dynamics of the ventilatory response to voluntary and electrically induced exercise in man. The influence of the spinal cord.* J Physiol 1981;306: 67P.
- ASMUSSEN, E. *Ventilation at transition from rest to exercise.* Acta Physiol Scand 1973;89: 68-78.
- ASMUSSEN, E; JOHANSEN, S.M.; JORGENSEN, M.; NIELSEN, M. *On the nervous factors controlling respiration and circulation during exercise.* Acta Physiol Scand 1965;63:343-350.
- BROWN, H.V. & WASSERMAN, K. *Exercise performance in chronic obstructive pulmonary disease.* Med Clin North Am 1981;65:525-546.
- CHRISTENSEN, E.H. *Beitrage zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit. V. Mitteilung: Minuten-volumen und Schlagvolumen des Herzens Während Schwere körperlicher Arbeit Arbeits Physiologie 1931;4: 470-502.*
- CLAUSEN, J.P. *Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man.* Physiol Rew 1977;57(4): 779-815.
- COMROE, J.H. & SCHMIDT, C.F. *Reflexes from the limbs as a factor in the hyperpnea of muscular exercise.* Am J Physiol 1943;138:536-547.
- CUNNINGHAM, D.J.C. *Regulation of breathing in exercise.* Circ Res 1967;(Suppl I) 20-21: 122-131.
- DA SILVA, A.C.; RUSSO, A.K.; LEITE-DE-BARROS-NETO, T.; TARASANTCHI, J.; PIÇARRO, I.C.; GRIGGIO, M.A. *Ventilatory responses during electrically induced muscular work in anesthetized dogs after both deafferentation and cross circulation of hindlimbs.* Braz J Med Biol Res 1982;15:153-159.
- DAVIES, C.T. & SARGENT, A.J. *Physiological responses to one and two-leg exercise breathing air and 45% oxygen.* J Appl Physiol 1974;36(2): 142-148.
- DEJOURS, P. *Neurogenic factors in the control of ventilation during exercise.* Circ Res 1967; 20(21):146,153.
- DEMPSEY, J.A. *Is the lung built for exercise?* Med Sci Sports Exerc 1986;18:143-155.
- JAEGGER-DENAVIT, O., LACERT, P., GROSSIORD, A. *Study of ventilatory response to passive movement of the legs in paraplegics.* Bull Pathol Physiol Respir 1973;9: 709-710.

14. JAMMES, Y., MATHIOT, M.J., ROLL, J.P., PREFAUT, C., BERTHELIN, F., GRIMAUD, C. and MILIC-EMILI, J. *Ventilatory responses to muscular vibrations in healthy humans*. J Appl Physiol Resp Environ Exerc Physiol 1981;51: 262-269.
15. JONES, N.L. *Exercise testing in pulmonary evaluation: rationale, methods, and the normal respiratory response to exercise*. N Engl J Med 1975;293: 541-544.
16. JONES, N.L., JONES, G. and EDWARDS R.H.T. *Exercise tolerance in chronic airway obstruction*. Am Rev Resp Dis 1971;103:477-491.
17. KANNUS, P., JOZSA, L., JÄRVINEN, T.L.N., KVIST, M., VIENO, T., JÄVINEN, T.A.H., NATRI, A. and JÄVINEN M. *Free mobilization and low- to high-intensity exercise in immobilization-induced muscle atrophy*. J Appl Physiol 1998;84 (4):1418-1424.
18. LANG, C.C., CHOMSKY, D.B., RAYOS, G., YEOH, T.K. and WILSON, J.R. *Skeletal muscle mass and exercise performance in stable ambulatory patients with heart failure*. J Appl Physiol 1997;82(1):257-261.
19. LEITE-DE-BARROS-NETO, T.; RUSSO, A.K.; DA SILVA, A.C.; PIÇARRO, I.C.; GRIGGIO, M.A.; TARASANTCHI, J. *Potassium-induced ventilatory reflex originating from the dog hindlimb during rest and passive exercise*. Braz J Med Biol Res 1981;14:285-290.
20. LEWIS, S.F., TAYLOR, W.F., GRAHAM, R.M., PETTINGER, W.A., SCHUTTE, J.E. and BLOMQUIST, C.G. *Cardiovascular responses to exercise as functions of absolute and relative work load*. J Appl Physiol 1983;54: 1314-1323.
21. MARTINEZ, E.E.; BARROS, T.L.; SANTOS, D.V.; CARVALHO, A.C.; PAOLA, A.A.; ANDRADE, J.L.; ANGELLINI, J.; LIMA, V.C.; ROBERTI, R.R.; PORTUGAL, O.P.; SHERMAN, W. *Cardiopulmonary exercise testing early after catheter-balloon mitral valvuloplasty in patients with mitral stenosis*. Int J Cardiol 1992;37:7-13.
22. NERY, L.E., WASSERMAN, K., FRENCH W., OREN, A., DAVIS J.A. *Contrasting cardiovascular and respiratory responses to exercise in mitral valve and chronic obstructive pulmonary diseases*. Chest 1983;83:446-453.
23. ROCA, J., HOGAN, M.C., STORY, D., BEBOUT, D.E., HAAB, P., GONZALEZ, R., UEMO, O. and WAGNER, P.D. *Evidence for tissue diffusion limitation of VO<sub>2</sub> max in normal humans*. J Appl Physiol 1989;67(1):291-299.
24. ROCA, J., AUGUSTI, A.G.N., ALONSO, A., POOLE, D.C., VIEGAS, C., BARBERA, J.A., RODRIGUEZ-ROSIN, R., FERRER, A. and WAGNER, P.D. *Effects of training on muscle O<sub>2</sub> transport at VO<sub>2</sub> max*. J Appl Physiol 1992;73(3):1067-1076.
25. ROGERS, T.K. & HOWARD, P. *Pulmonary hemodynamics and physical training in patients with chronic obstructive pulmonary disease*. Chest 1992;101(Suppl. 5):289S-292S.
26. ROWELL, L.B. *Human Circulation: regulation during physical stress*. New York, Oxford University Press, 1986, pp. 213-256.
27. RUSSO, A.K.; TARASANTCHI, J.; GRIGGIO, M.A. *Oxygen consumption and ventilation of dogs during passive and active exercise*. J Appl Physiol Respirat Environ Exercise Physiol 1977;42(6):923-927.
28. SALTIN, B. & ASTRAND, P-O. *Maximal oxygen uptake in athletes*. J Appl Physiol 1967;23(3):353-358.
29. SALTIN, B. "Cardiovascular and pulmonary adaptation to physical activity. With a note on the effect of ageing". In: *Exercise Fitness and Health*, C. BOUCHARD, C.; SHEPHARD, R.J.; STEPHENS, T.; SUTTON, J.R. and McPHERSON, B.D. (eds). Champaign, IL: Human Kinetics 1990;pp.187-204.
30. SALTIN, B. & GOLLNICK, P.D. "Skeletal muscle adaptability. Significance for metabolism and performance". In: *Handbook of Physiology: Skeletal Muscle*. PEACHEY, L.D.; ADRIAN, P.H.; and GEIGER, S.R. (eds.) Bethesda, MD: American Physiology Society 1983;pp.555-631.
31. SALTIN, B. *The interplay between peripheral and central factors in the adaptive response to exercise and training*. Annals of The New York Acad. Of Sciences 1977;301: 224-231.
32. SARGENT, A.J., YOUNG, A., DAVIES, C.T., MAUNDER, C. and EDWARDS, R.H.T. *Functional and structural changes following disuse of human muscle*. Clin Sci 1977;52: 337-342.
33. STAMFORD, B.A., WELTMAN, A. and FULCO, C. *Anaerobic threshold and cardiovascular responses during one- versus two-legged cycling*. The Res Quaterly 1978;49(3): 351-362.
34. TIBES, U., HEMMER, B. and BONING, D. *Heart rate and ventilation in relation to venous K<sup>+</sup>, osmolality, pH, PCO<sub>2</sub>, PO<sub>2</sub>, orthophosphate and lactate at transition from rest to exercise in athletes*. Eur J Appl Physiol 1976;36: 127-149.
35. TOROK, D.J.; DUEY, W.J.; BASSETT Jr., D.R.; HOWLEY, E.; MANCUSO, P. *Cardiovascular responses to exercise in sprinters and distance runners*. Med Sci Sports Exer 1995;27:1050-1056.
36. XU, L., POOLE, D.C. and MUSCH, T.I. *Effect of heart failure on muscle capillary geometry: implications*

for O<sub>2</sub> exchange. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30(8):1230-1237.

37. WAGNER, P.D.; REEVES, J.T.; SUTTON, J.R., et al. *Possible limitations of maximal oxygen uptake by peripheral tissue diffusion.* *Am Rev Resp Dis* 1961; 33:A202.
38. WASSERMAN, K. & WHIPP, B.J. *Exercise physiology in health and disease.* *Am Rev Resp Dis* 1975; 112:219-249.
39. WASSERMAN, K. & Mc ILROY, M.B. *Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise.* *Am J Cardiol* 1964; 14:844-852.
40. WASSERMAN, K., WHIPP, B.J., KOYAL, S.N. and BEAVER, W. *Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise.* *J Appl Physiol* 1973;35(2):236-243.
41. WASSERMAN, K.; Beaver, W.L. and Whipp, B.J. *Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold.* *Circulation* 1990;(Suppl. II); 81:II14-II30.
42. WASSERMAN, K. & WHIPP, B.J. *Coupling of ventilation in pulmonary gas exchange during nonsteady-steady work in man.* *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol* 1983;54:587-593.
43. WEBER, K.T., KINASEWITZ, G.T., JANICKI, J.S. and FISHMAN A.P. *Oxygen utilization and ventilation during exercise in patients with chronic cardiac failure.* *Circulation* 1982;65(6):1213-1223.
44. WILSON, J.R., MANCINI, D.M. and DUNKMAN, B. *Exertional fatigue due to skeletal muscle dysfunction in patients with heart failure.* *Circulation* 1993;87:470-475.