

Formulação de equação preditiva do VO_2 max baseada em dados que independem de exercícios físicos

Formulation of predict equation the VO_2 max based in information independent of physical exercise

Dartel Ferrari de Lima¹; Paulo José Abatti²

Resumo

Este trabalho apresenta uma metodologia capaz de prever o consumo absoluto e relativo de oxigênio a partir de dados fisiológicos básicos do indivíduo sem a realização de esforço físico. Inicialmente descrevem-se as motivações que conduziram a este trabalho, os princípios gerais dos testes de esforço físico e as técnicas realizadas para se medir e/ou prever o VO_2 max em indivíduos aparentemente saudáveis, utilizando-se de dados obtidos a partir de 30 sujeitos universitários entre 20 a 30 anos (23,4 anos \pm 3,18 anos). Usando-se destas informações, propõe-se uma equação objetivando a predição do VO_2 max, baseada no elevado coeficiente de correlação existente entre a absorção de oxigênio por unidade de tempo e a frequência cardíaca $r = 0,9148$. Demonstra-se mediante testes preliminares, que o modelo matemático proposto apresenta índice de acerto próximo às medidas obtidas diretamente em laboratório por técnicas ergoespiométricas, com erro percentual inferior a 6%. A utilização deste modelo proporciona uma primeira estimativa útil para uma triagem rápida e uma possível classificação de grandes grupos de indivíduos quanto ao grau da aptidão cardiorrespiratória.

Palavras-chave: Ergoespiometria. VO_2 max. Teste de esforço.

Abstract

This work presents a method capable of predicting the absolute and relative consumption of oxygen, based on physiological information about the individual without performing physical activity. At first, it is described the motivation that led to this work, the general principles of the physical tests and the techniques used for measuring and/or predicting the VO_2 max in 30 college students apparently healthy, with ages ranging between 20 to 30 years old (23,4 years old \pm 3,18). Making use of this information, it is proposed an empirical equation to predict the VO_2 max, based on the high coefficient of correlation that exists between oxygen consumption by time unit and the cardiac frequency $r = 0,9148$. It is demonstrated through preliminary tests that the proposed model shows a reasonable index of correctness when directly compared with the results obtained in laboratory using gas analyzer, with a percentage error lower than 6%. The use of this model gives us a useful estimate, with reasonable efficacy, for a possible classification of the degree of cardiorespiratory capacity of large groups of people.

Key words: Ergoespiometry. VO_2 max. Exercise Test.

¹ Professor Assistente II da Disciplina de Fisiologia Humana e Cinesiologia do Colegiado de Educação Física da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Mestre em Engenharia Biomédica pelo CEFET-PR. E-mail: dartel@rondotec.com.br.

² Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação (CPGEI) do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR). E-mail: abatti@cpgei.cefetpr.br.

Introdução

A maior taxa possível de consumo de oxigênio a ser atingido durante o exercício máximo ou exaustivo é definido como $VO_2\text{max}$ (SALTIN, 1969).

A representação do $VO_2\text{max}$ pode ser expressa de duas formas diferentes: a relativa é expressa em ml/kg/min e a absoluta é expressa em l/min. Para se estabelecer uma conexão entre a representação relativa e absoluta do $VO_2\text{max}$ é necessário conhecer o peso do indivíduo. Calculando a razão entre $VO_2\text{max}$ absoluto e o peso do indivíduo, se obtém o valor relativo (LEITE, 1986).

O $VO_2\text{max}$ fornece importantes informações acerca da capacidade do sistema de energia a longo-prazo. Estas informações comportam um grande significado fisiológico, pois a obtenção de um alto $VO_2\text{max}$, requer a integração de um alto nível de funções ventilatórias, cardiovasculares e neuromusculares. Isto transforma o $VO_2\text{max}$ em uma medida fundamental na fisiologia do exercício, possibilitando um ótimo parâmetro para se comparar às estimativas de desempenho da capacidade aeróbia (ATTERHOG; JONSSON; SAMUELSSON, 1999).

Somente nas últimas décadas do século XX, completando mais de meio século de sua primeira utilização, Holmann e Valentim (1980) expuseram a importância dos resultados obtidos mediante a ergoespirometria – por alguns também denominado “teste de esforço cardiopulmonar”- no que tange à pesquisa, à avaliação funcional e diagnóstica, à reabilitação cardíaca e pulmonar, ao treinamento físico, ao esporte e à avaliação dos efeitos de medicamentos. Paralelamente, cresceu o interesse dos investigadores em aprofundar conhecimentos da funcionalidade cardiorrespiratória, não exclusivamente em portadores de disfunções funcionais clássicas, mas também, em investigar os efeitos do treinamento físico e da capacidade funcional de desportistas.

Partiu-se então, para a procura de métodos investigatórios indiretos, mesmo que, com menor precisão, pudesse dispor de informações relevantes

quanto à aptidão cardiorrespiratória e em específico, a predição do volume máximo de absorção de oxigênio de indivíduos, garantindo a possibilidade de uma triagem rápida e uma possível classificação de grandes grupos de indivíduos.

Os testes submáximos que estimam o $VO_2\text{max}$ são baseados na premissa de que ocorre uma forte relação linear entre o aumento da frequência cardíaca e o aumento do $VO_2\text{max}$ em níveis submáximos (STUART; ELLESTAD, 1980).

Os testes de esforço podem ser realizados de inúmeras maneiras utilizando-se diversos ergômetros. A esteira rolante simula melhor a grande maioria das atividades físicas devido ao fato de propiciar um maior envolvimento muscular. Os valores de $VO_2\text{max}$ para os trabalhos em esteira rolante são, em média, 5 a 8% maiores do que pedalar (PINA et al., 1998).

Devido ter a medida direta características restritivas quanto à aplicabilidade administrativa, esses testes não são apropriados para medir grandes grupos de pessoas. Os testes preditivos do $VO_2\text{max}$, além de serem fáceis de administrar, podem ser utilizados em grandes grupos de indivíduos, independentemente do sexo e idade e habitualmente, costumam exigir esforços submáximos, o que acarreta uma diminuição do perigo potencial gerado pela execução de exercício físico intenso, principalmente em indivíduos de baixa condição orgânica geral.

O $VO_2\text{max}$ previsto em função da frequência cardíaca submáxima pode diferenciar dos valores determinados diretamente, sendo, no entanto, extremamente apropriados para a triagem e classificação em termos de aptidão aeróbia (AMERICAN COLLEGE OF SPORT MEDICINE, 2002).

O Teste de Caminhada da Milha é um exemplo clássico de teste para a predição do $VO_2\text{max}$ utilizando-se a caminhada para avaliar o nível de aptidão cardiorrespiratório de indivíduos. Este teste é baseado no peso corporal (kg), na idade (anos), no sexo, no tempo de execução (minutos) e na frequência cardíaca (bpm) podendo-se assim calcular o $VO_2\text{max}$ (referência):

$$\text{VO}_2\text{max (ml/kg/min)} = 132,853 - (0,0769 \times \text{Peso}/0,454) - (0,3877 \times \text{Idade}) + (6,315 \times \text{Sexo}) - (3,2649 \times \text{Tempo}) - (0,1565 \times \text{FC})$$

Examinando jovens de ambos os sexos, entre 19 a 21 anos de idade, Laurie (1998) encontrou correlações de 0,93 a 0,95 quando comparou valores preditos com as medidas diretas de $VO_2\text{max}$. Para Kline, Porcari e Hintermeister (1987), o teste de caminhada da milha se mostra válido, seguro, administrável e de pouco desconforto ao avaliado.

Outros achados (GEORGE; STONE; BURNETT, 1997) sugerem a predição da capacidade máxima do organismo absorver oxigênio, sem necessitar diretamente de exercícios físicos. Isto traz uma vantagem muito grande quando o avaliado está impossibilitado de realizar um esforço físico.

Estudos de Schwartz e Reibold (2000), coletando amostra de indivíduos norte-americanos e de sete países da Europa, utilizando-se de rede neural artificial, obtiveram coeficiente de correlação de $r = 0,97$ entre a medida direta e o valor predito pelo tratamento computacional. O erro médio na predição do $VO_2\text{max}$ foi de 6,5%. A validade do estudo anteriormente citado foi executada em um grupo de 52 homens não pertencentes ao grupo em que o teste foi desenvolvido. O desvio médio na predição foi de aproximadamente 12%. A validade foi considerada boa para o teste.

George, Stone e Burnett (1997), propôs uma fórmula baseada no sexo, no índice de massa corporal e no grau da atividade física desempenhada pelo indivíduo. O erro padrão verificado em seus estudos foi de $\pm 3,44$ ml de O_2 /kg/min.

Os trabalhos de Jackson, Pollock e Ward. (1980), encomendados pela NASA/*Johnson Space Center* para avaliação funcional da capacidade aeróbia de seus funcionários, foram desenvolvidos na Universidade de *Houston*. Inicialmente determinando o pico do $VO_2\text{max}$, equações de regressão múltiplas foram desenvolvidas para estimar o pico do $VO_2\text{max}$. O erro médio verificado nas provas cruzadas foi inferior a 8%, satisfazendo as expectativas dos idealizadores, devido aos erros dos resultados serem

muito próximos das técnicas de predição utilizando-se de exercícios.

Segundo Araújo (1996), na ergometria convencional utiliza-se uma grande gama de fórmulas para a estimativa do $VO_2\text{max}$. Na prática, estas equações apresentam erros ao redor de 10% quando aplicadas nas mesmas condições para as quais foram derivadas. Pode-se supor que, para população diferente das derivações, a margem de erro deverá ser maior ainda, provavelmente ao redor de 20%.

Uma das dificuldades encontradas neste contexto, e ainda sem solução, é se estabelecer uma metodologia capaz de determinar indiretamente o $VO_2\text{max}$ de indivíduos, com dados obtidos a partir de sujeitos de mesma nacionalidade. Assim, este trabalho visou inicialmente, determinar a medida real do $VO_2\text{max}$ de um grupo de sujeitos mediante exame ergoespirométrico. Na seqüência, foi medido o comportamento cardiorrespiratório do grupo selecionado em diversas situações diferentes para, posteriormente, sugerir a elaboração de uma metodologia baseada na linearidade existente entre a frequência cardíaca e a absorção de oxigênio capaz de prever a captação de oxigênio em indivíduos adultos jovens, aparentemente saudáveis, na faixa de 20 a 30 anos de idade. Objetivamente, procurou-se elaborar uma equação regressiva de predição do $VO_2\text{max}$, utilizando-se de dados que independam da execução de exercícios físicos

Materiais e Método

O grupo selecionado foi composto por acadêmicos voluntários matriculados no curso de Educação Física da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE - *Campus* de Marechal Cândido Rondon, totalizando 30 indivíduos jovens aparentemente saudáveis, do sexo masculino, com idade variando entre 20 a 30 anos (23,4 anos \pm 3,18 anos) entre uma população de 105 indivíduos no padrão acima mencionado. Todos os sujeitos assinaram um termo de consentimento para a realização dos testes após ter sido obtido aprovação pelo Comitê de Ética da UNIOESTE.

O tratamento investigatório constituiu em submeter os sujeitos a um protocolo de caminhada de uma milha em diversas intensidades submáximas de esforço sobre o tapete móvel de uma esteira rolante eletricamente comandada e a um protocolo de esforço máximo com cargas progressivas, para a determinação do VO_2 max real. Os avaliados foram monitorados mediante um sistema computadorizado de análise de gases. Mediante estas medidas, foi possível identificar a relação individual entre as diversas velocidades de caminhada e as suas respectivas necessidades metabólicas de oxigênio e as suas respectivas frequências cardíacas, assim como, o valor real do VO_2 max.

Os testes de rendimento classificados de primeiro a sexto, objetivaram completar a distância de 1.609 metros, medita esta, que corresponde a uma milha, em um ritmo pré-fixado de 3; 4; 5; 6; 7 e 8 km/h.

A esteira rolante utilizada foi da marca ECAFIX, modelo EG 700X devidamente calibrada, conforme as normas do fabricante. As medidas do consumo de oxigênio, tanto para a medida máxima como a submáxima, foram determinadas por medida direta em circuito aberto, por um analisador de gases respiratórios portátil da marca VO2000, associado com o programa de *software AeroGraph*®.

O registro da frequência de saída dos dados foi a cada 20 segundos com base na opção “tempo fixo”. O modelo de pneumotacômetro escolhido foi o de fluxo médio – *medium* – com capacidade de fluxo de 20 a 200 l/min de ar ventilado, cujo volume, concentração de oxigênio e de gás carbônico no ar expirado foram automaticamente analisados pelo equipamento, após serem captados por uma máscara bucal, estando a ventilação nasal obstruída por um grampo nasal. A monitoração da frequência cardíaca ocorreu com monitor digital portátil da marca *Polar*® (M – 54). As medidas antropométricas averiguadas foram: o peso corporal total e a estatura. Para determinar o peso corporal foi utilizado uma balança elétrica digital da marca *Filizzola*® com capacidade

de carga de 250 kg. Para determinar a estatura, utilizou-se um estadiômetro de madeira com precisão de 0,1 centímetro.

A frequência cardíaca considerada para o tratamento matemático, foi aquela que mais se repetir nas fases equilíbrio respiratório (*steady state*), ou seja, no momento em que o consumo de oxigênio foi, teoricamente igual à sua captação.

No tratamento estatístico foi determinado o percentual de significância correlacionando a frequência cardíaca e o volume de oxigênio absorvido de modo absoluto para cada velocidade do protocolo. Evidenciando-se forte correlação entre estes dois fatores, determinou-se uma equação por regressão matemática de maior significância para os dados apresentados.

Resultados e Discussão

Os dados coletados se referem a um grupo experimental composto por 30 sujeitos. Todos do sexo masculino, adultos jovens aparentemente saudáveis com média de idade de 23,4 anos ($\pm 3,18$ anos), média de estatura de 1,78 m ($\pm 0,06$ m) e 72,12 kg ($\pm 7,55$ kg) de peso corporal total.

Para os 30 voluntários selecionados, os valores absolutos da absorção de oxigênio por unidade de tempo, assim como, as frequências cardíacas de cada momento do teste, incluindo os dados antropométricos estão mostrados na Tabela 1. Os valores de absorção média absoluta de oxigênio (l/min) e relativa (ml/kg/min) com a respectiva frequência cardíaca média que pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 1. Absorção parcial de oxigênio durante a caminhada de uma milha a 3; 4; 5; 6; 7 e 8 km/h e absorção máxima de oxigênio expresso em termos absoluto (l/min) e relativo (ml/kg/min), com as medidas antropométricas e a respectiva frequência cardíaca de repouso expressa em bpm.

N	VO_2		FC		VO_2		FC		VO_2		FC	
	l/min	bpm	l/min	bpm	l/min	bpm	l/min	bpm	l/min	bpm	l/min	bpm
	3km/h	3km/h	4km/h	4km/h	5km/h	5km/h	6km/h	6km/h	7km/h	7km/h	7km/h	7km/h
1	0,50	82	0,66	91	0,86	94	1,1	113	1,88	129		
2	0,49	86	0,50	97	0,57	107	1,09	115	1,71	141		
3	0,85	86	0,96	92	1,13	98	1,42	111	1,85	142		
4	0,39	82	0,55	93	1	105	1,51	117	2,19	136		
5	0,54	82	0,77	86	0,8	92	1,23	103	1,87	129		
6	0,82	93	0,95	101	1,08	111	1,51	121	1,98	143		
7	0,74	95	0,85	105	1,09	113	1,69	135	2,5	175		
8	0,71	91	0,89	99	1,04	104	1,46	121	1,94	143		
9	0,76	84	0,79	87	0,92	96	1,18	106	1,64	130		
10	0,56	107	0,57	109	0,75	116	1,11	129	1,56	143		
11	0,63	91	0,67	95	0,81	101	1,11	112	1,61	160		
12	0,50	94	0,54	97	0,78	105	1,17	116	1,85	140		
13	0,57	83	0,73	89	1,46	96	1,53	101	2,04	116		
14	0,73	110	0,79	113	0,87	119	1,18	128	1,53	136		
15	0,53	85	0,59	92	0,74	100	1,09	114	1,64	132		
16	0,59	71	0,69	76	0,74	86	1,09	96	1,42	112		
17	0,50	98	0,69	102	0,8	109	1,16	118	1,58	130		
18	0,73	80	0,84	86	1,03	93	1,34	109	1,76	128		
19	0,83	115	0,90	117	1,02	120	1,46	130	1,97	148		
20	0,78	89	0,79	95	0,98	100	1,37	111	1,81	136		
21	0,54	103	0,64	109	0,76	116	1,12	126	1,65	142		
22	0,71	99	0,86	105	0,92	115	1,23	122	1,62	138		
23	0,72	82	0,79	89	0,92	92	1,29	105	1,85	134		
24	0,58	90	0,59	94	0,69	100	1,03	108	1,39	122		
25	0,68	80	0,74	89	0,94	98	1,23	112	1,66	132		
26	0,50	92	0,51	100	0,59	102	0,87	108	1,3	126		
27	0,78	84	0,87	86	0,98	95	1,23	105	1,55	119		
28	0,60	100	0,75	104	0,94	107	1,34	115	1,92	147		
29	0,56	103	0,73	112	0,95	119	1,43	142	2,38	175		
30	0,73	80	0,81	87	0,94	90	1,32	103	1,89	132		

N	VO₂ l/min 8km/h	FC bpm 8km/h	VO₂ max l/min	VO₂ Max ml/kg/min	PESO kg	Estatura metros	IMC	FC repouso bat/min
1	2,74	163	3,96	48,29	82	1,85	23,96	78
2	2,55	176	3,53	50,43	70,5	1,72	23,83	75
3	2,62	173	4,02	53,00	75,9	1,80	23,43	84
4	3,21	158	4,75	57,23	83	1,80	25,62	75
5	2,78	158	3,96	50,73	78	1,75	25,47	65
6	2,69	167	3,81	58,08	65,6	1,74	21,67	83
7	2,70	187	3,8	46,90	81	1,69	28,36	65
8	2,54	168	3,76	46,53	80,8	1,83	24,13	87
9	1,97	144	3,54	55,31	64,7	1,68	22,92	80
10	2,51	175	3,7	54,39	68	1,82	20,53	96
11	2,44	187	3,49	58,66	59,4	1,69	20,80	72
12	2,91	182	3,99	57,83	69	1,75	22,53	92
13	2,51	129	4,61	55,41	83,1	1,92	22,52	80
14	2,24	181	3,34	53,02	63	1,73	21,05	78
15	2,54	150	3,54	46,89	75,5	1,77	24,10	80
16	2,58	156	3,95	58,96	66	1,77	21,07	70
17	2,17	149	4,36	59,73	74,1	1,85	21,62	96
18	2,23	154	3,98	63,17	63	1,76	20,34	77
19	2,77	175	4,05	51,49	80	1,84	23,63	104
20	3,69	188	4,09	52,84	77,4	1,85	22,62	80
21	2,26	168	3,52	47,89	73,5	1,74	24,28	92
22	2,26	171	3,34	47,41	68	1,84	20,09	91
23	2,46	169	3,53	51,62	68,4	1,77	21,83	60
24	1,97	149	3,49	55,05	63,4	1,72	21,43	80
25	2,38	168	3,84	58,81	64,5	1,71	22,06	75
26	1,93	150	3,33	52,03	64	1,76	20,66	81
27	2,17	158	3,57	49,58	70	1,89	19,60	80
28	2,99	175	3,83	49,12	78,2	1,82	23,55	75
29	3,38	200	3,79	44,07	87	1,80	26,85	90
30	2,51	167	3,56	53,17	67,1	1,77	21,39	62

Tabela 2. Relação média da absorção relativa e absoluta de oxigênio nas diversas velocidades de teste com suas frequências cardíacas respectivas.

Velocidade do teste	Absorção relativa média de O_2 (ml/kg/min)	Absorção absoluta média de O_2 (l/min)	Frequência cardíaca (bpm)
3 km/h	8,90 (\pm 1,98)	0,64 (\pm 0,12)	90,57 (\pm 10,24)
4 km/h	10,25 (\pm 1,92)	0,73 (\pm 0,13)	96,57 (\pm 9,97)
5 km/h	12,37 (\pm 1,94)	0,90 (\pm 0,18)	103,3 (\pm 10,08)
6 km/h	17,46 (\pm 1,99)	1,26 (\pm 0,18)	115,07 (\pm 10,65)
7 km/h	24,63 (\pm 2,44)	1,79 (\pm 0,27)	137,2 (\pm 14,33)
8 km/h	35,47 (\pm 4,09)	2,56 (\pm 0,40)	166,43 (\pm 15,25)

Tendo em vista que o objetivo final deste trabalho é apresentar uma fórmula que possa ser usada para calcular o consumo absoluto máximo de oxigênio a partir dos dados básicos da fisiologia do indivíduo que independam de esforço físico, analisou-se o coeficiente de correlação entre a FC e o $VO_2\text{max}$ e os diversos parâmetros médios do grupo selecionado. Para isto, os diversos valores de $VO_2\text{max}$ (l/min) foram plotados em função do peso, índice de massa corporal, idade e frequência cardíaca nas diversas velocidades (ver tabela 3). Pode-se quantificar o quanto cada uma das variáveis influencia o $VO_2\text{max}$ observando-se o coeficiente de correlação (r) entre as variáveis, quanto mais próximo da unidade maior a correlação.

Tabela 3. Correlação do peso corporal, idade, frequência cardíaca em diversas situações e o índice de massa corporal com o $VO_2\text{max}$.

Crítérios	Correlação
$VO_2\text{max}$. Peso	0,48
$VO_2\text{max}$. Idade	0,29
$VO_2\text{max}$. IMC	0,42
$VO_2\text{max}$. FC 3km/h	0,30
$VO_2\text{max}$. FC 4km/h	0,37
$VO_2\text{max}$. FC 5km/h	0,32
$VO_2\text{max}$. FC 6km/h	0,37
$VO_2\text{max}$. FC 7km/h	0,41
$VO_2\text{max}$. FC 8km/h	0,28
$VO_2\text{max}$. FC repouso	0,11

Esta tabela indica que para a amostra selecionada, os fatores que mais influenciam o $VO_2\text{max}$, são o peso corporal e o índice de massa corporal (IMC), mesmo assim com valores relativamente distantes da unidade (0,48 e 0,42, respectivamente), indicando uma correlação apenas razoável.

Assim, buscou-se analisar outros parâmetros que, tendo significado para atingir o objetivo desejado com este trabalho, apresentassem coeficientes de correlação mais elevados. Nesta linha de raciocínio, calculou-se o coeficiente de correlação entre as frequências cardíacas para as diferentes velocidades e diferentes indivíduos com as absorções absolutas de oxigênio por unidade de tempo, obtidas no platô de equilíbrio entre oferta e consumo de oxigênio (*steady state*). Obteve-se correlação linear média de $r = 0,91$, indicando que para as diversas velocidades de marcha uma equação relacionando a FC e o $VO_2\text{max}$ pode ser obtida:

$$VO_2 \text{ (l/min)} = 0,02595 \cdot FC - 1,761 \quad (2)$$

Observe-se que a equação escolhida para representar o grupo é aquela que modela os valores médios. Obviamente, esta equação indica que, para os objetivos do presente trabalho, $VO_2\text{max}$ correlaciona-se com a frequência cardíaca máxima. Neste sentido é importante realçar que Morgan (1995), já preconizava que o nível de captação máximo de oxigênio ocorre próximo aos valores da frequência

cardíaca máxima, principalmente em indivíduos não atletas. Porém, a frequência cardíaca máxima pode ser obtida com razoável acerto pela equação (ASTRAND; RODHAL, 1980):

$$\text{F.C.max (bpm)} = 220 - \text{idade (anos)} \quad (3)$$

Aplicando-se a equação (2) em (3) obtém-se:

$$\text{VO}_2\text{max (l/min)} = -0,02595 \cdot \text{idade (anos)} + 3,948 \quad (4)$$

Note-se que esta equação independe de dados obtidos sob condição de esforço físico.

Testes preliminares com equação (5) demonstraram índices de predição próximo aos valores reais. Entretanto, observou-se empiricamente que o erro médio diminuía se fosse levado em conta o peso ou o IMC dos indivíduos, em pleno acordo com os resultados da tabela 3 (onde peso e o IMC mostraram os maiores índices de correlação com o VO_2max). Assim, seguindo-se Jackson, Pollock e Ward (1980), que fizeram uso do IMC para obter um modelo para poder determinar VO_2max , modificou-se a equação (5) de forma a introduzir o IMC no cálculo do VO_2max :

$$\text{VO}_2\text{max (l/min)} = (0,02 \cdot \text{IMC}) + (-0,02595 \cdot \text{idade}) + 3,948 \quad (5)$$

A equação (5) foi o modelo para obtenção de VO_2max que melhor representou o grupo de indivíduos selecionados para os testes. Deve-se ressaltar que outras propostas para a predição da captação máxima de oxigênio por testes que independem de exercícios já foram amplamente testadas e demonstrou-se ser de grande confiabilidade. Por exemplo, Väinämö et al. (1996) encontrou coeficiente de correlação entre medidas de laboratório e valores preditos de $r = 0,97$ e erro médio percentual da estimativa de 6,5%, quando comparou a proposta baseada nos estudos de Schwartz e Reibold (1990).

Os resultados da equação (5), proposta neste trabalho, foi comparada com o VO_2max real obtido por ergoespirometria de circuito aberto em laboratório e com os resultados preditos por uma equação clássica (Teste de Caminhada da Milha – *Rockport Walking Institute*) que necessita da realização de esforço físico para obter resultados.

Para uma primeira validação cruzada, com um grupo de 30 sujeitos diferentes daqueles utilizados inicialmente, com idade média de 24,8 anos. Os resultados obtidos demonstraram muita semelhança. Enquanto a equação (5), sugerida neste trabalho, apresentou uma margem média de erro percentual de 5,55% representando um erro médio absoluto de 3,01 $\text{mlO}_2/\text{kg}/\text{min}$. A utilização do protocolo utilizando esforço físico apontou para um resultado com margem média de erro percentual de 5,84% (erro médio absoluto de 3,12 $\text{mlO}_2/\text{kg}/\text{min}$). A diferença entre as duas propostas demonstrou que a equação (5) apresentou uma margem média de erro percentual de 0,29% menor em relação à equação que necessita do exercício.

Nesta primeira comparação, o acerto na predição do VO_2max aqui proposta, contemplou 23 elementos o que corresponde a 76,66% da amostra.

Em um segundo cruzamento de dados, com um grupo de 20 jovens atletas (23,14 anos de idade), a equação (5) apresentou uma margem média de erro percentual de 5,52% contra 5,66%, quando se usa o modelo que requer esforço físico. Novamente, a margem de erro médio percentual da equação sugerida neste trabalho foi 0,14% menor. Nesta segunda comparação, o acerto na predição do VO_2max foi de 17 elementos para ambas as metodologias, o que corresponde a 85% do grupo.

Um terceiro cruzamento ocorreu, utilizando-se o mesmo método de comparação. Desta vez, foram examinados 15 indivíduos. Todos eles são árbitros amadores de futebol filiados a uma Liga Municipal de Arbitragem. A faixa etária deste grupo foi de 19 a 32 anos de idade, com média de 27,4 anos. O método sem a utilização de exercícios resultou em erro percentual médio de 4,79%, enquanto que o método

utilizando exercícios apontou erro percentual médio de 4,92%. Notou-se diferença de 0,13% mais baixo para o primeiro método. Nesta terceira comparação, novamente, as duas metodologias foram equivalentes, predizendo o $VO_2\text{max}$ em 13 dos 15 sujeitos testados,

considerando-se o erro padrão percentual médio de 4,79% e 4,92% para os métodos de predição do $VO_2\text{max}$ sem e com a realização de exercícios físicos, respectivamente. Todos estes resultados estão, resumidamente apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Validade cruzada de predição do $VO_2\text{max}$ com a equação e com o teste de caminhada da Milha como originalmente proposto, em relação à medida obtida diretamente em laboratório por teste de ergoespirometria.

N	Erro médio do $VO_2\text{max}$ predito sem exercício	Erro médio do $VO_2\text{max}$ predito com exercício	Diferença percentual do erro médio
30	5,55%	5,84%	0,29 %
20	5,52%	5,66%	0,14 %
15	4,79%	4,92%	0,13 %

Análise dos Resultados

As medidas indiretas analisadas neste trabalho se assemelharam fortemente em relação às medidas diretas obtidas em laboratório. A comparação entre as medidas diretas e as indiretas apontou erro médio abaixo de 6%.

A média percentual do erro de predição do $VO_2\text{max}$ comportou-se em 5,29%, próximo de 3,1mlO₂/min. Este erro médio apresenta-se muito próximo à variação encontrada na medida direta do $VO_2\text{max}$ no reteste ou de um dia para outro no mesmo indivíduo.

O AMERICAN COLLEGE OF SPORT MEDICINE (2002), assinala para medidas diretas em laboratório, variações de teste para teste de 3 a 8%. Considerando-se que mesmo as medidas diretas realizadas em laboratório não expressam a verdade absoluta da capacidade de absorção de oxigênio de um indivíduo, assinalando variações de até 8%. Então, os erros percentuais médios de predição de 5,29% tornam-se atraentes quanto à capacidade de predizer o $VO_2\text{max}$, principalmente ao considerar os fins a que esta predição se destina.

A expressão matemática resultante deste trabalho (equação 5), indica ser muito útil em fornecer uma primeira estimativa para uma triagem rápida e possível classificação de grandes grupos de indivíduos, baseada

no seu grau de validade, pela facilidade em se obter os dados e devido à simplicidade dos cálculos.

Estudos utilizando cruzamento com grande quantidade de elementos, indicaram que a equação proposta para predizer o $VO_2\text{max}$ a partir do Teste de Caminhada da Milha com relação às medidas diretas obtidas em laboratórios por técnicas ergoespirométricas, demonstraram correlação de $r = 0,92$ (McARDLE; KATCH; KATCH, 1996); Laurie (1998) apresenta correlação de $r = 0,94$; Kline, Porcari e Hintermeister (1987) encontraram correlação de $r = 0,92$ e Teo-Koh e McCubbin (1999) encontraram $r = 0,95$. Se esta tendência de proximidade de resultados continuar a ocorrer, é possível atribuir um padrão bastante razoável validade à equação (4) uma vez que, os seus resultados de cruzamento se comportaram muito próximos aos do Teste de Caminhada da Milha.

Entretanto, é necessário cautela ao aplicar normas a um grupo de indivíduos para os quais tais protocolos não foram originalmente projetados. Resultados a partir de testes padronizados são específicos para a população a qual foram idealizados e a universalização do protocolo não seria recomendada ou, na melhor das hipóteses, recomendada com cautela para satisfazer a triagem inicial e a classificação de grandes grupos de indivíduos.

Sempre que uma equação matemática, por melhor elaborada que seja, se propuser a determinar um comportamento fisiológico, esta proposta deve ser encarada com certa prudência em virtude da imprevisibilidade da ocorrência de variações anormais da fisiologia humana, as quais, a matemática pode ser insensível.

Conclusão

A possibilidade desse modelo poder proporcionar uma triagem rápida quanto ao grau da aptidão cardiorrespiratória a grandes grupos de indivíduos, fornece uma valiosa estimativa inicial e útil, principalmente àqueles indivíduos que apresentam contra indicação ou proibição de se exporem a esforços físicos agudos e de intensidade elevada, proporcionando diminuição do grau de risco à integridade física-funcional. Alerta-se, no entanto, que este modelo proposto foi idealizado com amostragem composta por jovens aparentemente saudáveis. É coerente imaginar que o erro previsível para elementos diferentes do perfil da amostra, seja mais elevado do que os observados nas comparações da validação cruzada.

A utilização de conhecimento que forneça um posicionamento a respeito da capacidade aeróbia individual através da predição do VO_2 max e comparando-o com as tabelas pré-estabelecidas de classificação, pode ser extremamente útil em garantir a segurança da predição da intensidade do esforço físico antes de se iniciar um programa de treinamento físico, seja ele formal ou informal.

Esta conclusão não poderia ser encerrada, sem ressaltar a idéia de que é muito improvável que um único modelo pretendido para a captação máxima de oxigênio seja adequado em todos os seus aspectos na intenção de atender as múltiplas indicações e aplicações que se faz necessário. O modelo aqui apresentado, não procura apresentar-se como o melhor, apresenta-se como uma opção simples, prática e eficiente para validar seu objetivo.

Referências

- AMERICAN COLLEGE OF SPORT MEDICINE (ACSM). *Guia para teste de esforço e prescrição de exercício*. Rio de Janeiro: MEDSI, 2002.
- ARAÚJO, C. G. S. A ergoespirometria oferece algo a mais do que a ergometria. *Boletim de Ergonomia*, Salvador, v.4, n.2, p.6-8, 1996.
- ASTRAND, P. O; RODAHL, K. *Tratado de fisiologia do exercício*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- ATTERHOG, J. H.; JONSSON, B.; SAMUELSSON, R. Exercise testing: a prospective study of complication rates. *American Heart Journal*, Saint Louis, v.98, p.572-579, 1999
- GEORGE, J. D.; STONE, W. J.; BURNETT, L. N. No exercise VO_2 max estimation for physical active college students. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, Hagerstown, v.29, p.415, 1997.
- HOLLMANN, W.; VALENTIN, H. Fifty years of ergoespirometry. *MMW munchener medizinische wochenschrift*, Munchen, v.122, p.169-174, 1980.
- JACKSON, A.; POLLOCK, M.; WARD, A. Generalized equations for predicting body density of women. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, Hagerstown, v.12, n.5, p.175-182, 1980.
- KLINE, G. M; PORCARI, J. D.; HINTERMEISTER, J. Estimation of VO_2 max from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, Hagerstown, v.19, p.253-259, 1987.
- LAURIE, N. E. Reability of a one mile Rockport fitness walking test. *Abstract Oregon*, Oregon. v.11, n.2, p.93, 1998.
- LEITE, P. F. *Fisiologia do exercício ergometria e condicionamento físico*. Rio de Janeiro: Atheneu, 1986.
- McARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. *Exercise Physiology*. 4.ed. New York: Williams & Wilkins, 1996.
- MORGAN, D. W. Variation in the aerobic demand of running among trained and untrained subjects. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, Hagerstown, v.27, p.404, 1995.
- PINA, I. L.; BALADY, G.J.; HANSON, P.; LABOVITZ, A. J.; MADONNA, D.W.; MYERS, J. Members guidelines for clinical exercise testing laboratories. *American Heart Association*, Orlando, v.13, p.78-89, 1998.
- SALTIN, B. Physiological effects of physical conditioning. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, Hagerstown, v.1, p.50-62, 1969.

SHWARTZ, E. R.; REIBOLD, R. C. Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years: a review. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, Washington, v.61, p.3-11, 1990.

STUART, R. J.; ELLESTAD, M. H. National survey of exercise stress testing facilities. *Chest*, Chicago, v.77, p.94-97, 1980.

TEO-KOH, M. M.; McCUBBIN, J. Relationship between peak VO_2 and performance on the Rockport Fitness Walking Test of adolescent males with mental retardation. *Pediatric Exercise Science*, Champaign, v.11, n.2, p.144-158, 1999.

VÄINÄMÖ, K; RÖNING, J.; NISSILÄ, S.; MÄKIKALLIO, T.; TULPPO, M. An artificial neural network for human aerobic fitness approximation. In: INTERNATIONAL NATIONAL CONFERENCE ON NEURAL, 14., 1996, Washington. *Proceeding...* Washington: ICNN, 1996. p.139-149

