



ARTIGO ORIGINAL

**CUSTO ENERGÉTICO EM ESTEIRA ROLANTE
HORIZONTAL E CICLOERGÔMETRO
ENERGY COST OF HORIZONTAL TREADMILL RUNNING AND
BICYCLE ERGOMETER CYCLING**

Bunc, V.
Heller, J.
Leso, J.

Physical Culture Institute
Charles University
Prague - Czechoslovakia

RESUMO

BUNC, V.; HELLER, J. e LESO, J. Custo energético em esteira rolante horizontal e cicloergômetro. Revista Brasileira de Ciência e Movimento, vol. 4, nº 01, pp 14-24, 1990

Esteira rolante e bicicleta são os ergômetros mais usados para determinar aptidão física em indivíduos desretrainados e/ou estado de treinamento em atletas. A relação entre produção energética e intensidade da corrida e ciclismo são comumente modificados pelo treinamento, idade, sexo e essencialmente pela predisposição de velocidade e potência. Baseados em nossos estudos em esteira rolante e em bicicleta ergométrica em indivíduos do sexo masculino com diferentes estados de treinamento; complementado com dados de outros autores, elaborou-se equações independentes do estado de treinamento, idade, potência e predisposição de velocidade para esteira rolante sendo: $\dot{V}O_2/\text{kg}/\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} = 3.077 \cdot v/\text{km} \cdot \text{h}^{-1} + 3.093$, com erro máximo em média para velocidade de 8 a 20 km/h ao redor de 10%. A mesma situação de cálculo foi elaborada para a bicicleta ergométrica onde encontrou-se: $\dot{V}O_2/\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} = 10.89 \cdot P/\text{W} + 408$ com erro máximo aproximado para intensidade de 100 a 400 W. As equações acima mencionadas são aceitas para cargas submáximas de trabalho para uma avaliação preliminar da reação do organismo humano em cargas de laboratório e/ou condições de campo e para a tão conhecida "calibragem biológica" de esteira rolante e bicicleta ergométrica.

UNITERMOS: Esteira rolante e cicloergômetro, custo energético de corrida e ciclismo, testes de laboratório.

ABSTRACT

BUNC, V.; HELLER, J. and LESO, J. Energy cost of horizontal treadmill running and bicycle ergometer cycling. Brazilian Journal of Sciences and Movement, vol. 4, nº 01, pp 14-24, 1990

The treadmill and the bicycle ergometer are the most commonly used forms of ergometry for the assessment of physical fitness in untrained subjects and/or training state in trained athletes. The relationship between energy output and intensity of running and cycling are commonly modified by the training state, age, sex, and primordial speed and power predispositions. On the basis of our measurements on the treadmill and on the bicycle ergometer in differently trained male subjects supplemented by data of the other authors general equations independent of training state, age and power and speed predispositions for treadmill were established: $\dot{V}O_2/\text{kg}/\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} = 3.077 \cdot v/\text{km} \cdot \text{h}^{-1} + 3.093$ with maximal error in range of speeds 8 - 20 km/h⁻¹ about 10%, and for bicycle ergometer $\dot{V}O_2/\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} = 10.89 \cdot P/\text{W} + 408$ with the same error in range of intensity of cycling 100 - 400 W. The above mentioned equations are acceptable in submaximal work loads range for a preliminary evaluation of a reaction of human organism to the load in laboratory and/or field conditions and for so called "biological calibration" of treadmill and bicycle ergometer.

UNITERMS: Treadmill and bicycle ergometry, energy cost of running and cycling, laboratory testing.



INTRODUÇÃO

Em uma avaliação da condição física global e capacidade de trabalho de um indivíduo normal ou paciente, e em situação de treinamento e condicionamento de pessoas normais e atletas, bem como recuperação de pacientes no processo de reabilitação, de maneira geral, os dois principais tipos de ergometria utilizados são a esteira rolante e a bicicleta ergométrica.

Os métodos ergométricos acima citados têm suas características e vantagens os quais influenciam pesquisadores e praticantes na escolha desses materiais.

A produção energética para corrida e/ou ciclismo são expressos indiretamente pelo consumo de oxigênio, o qual, pode ser estimado a partir da intensidade da atividade física com o auxílio de vários nomogramas ou equações. Outros pesquisadores têm relatado que o gasto energético do ciclismo e/ou intensidade da corrida pode ser calculada a partir de um complexo polinomial (18,39,40), logarítmico (29) e/ou funções hiperbólicas (41). Os autores do presente estudo concordam com Pugh (34), Van der Walt (38) e Åstrand and Rodahl (4) e acreditam que o modelo de cálculo relativo ao gasto energético do ciclismo e/ou corrida, poderiam ser executados da forma mais simples possível em termos matemáticos. Entretanto, somente equações lineares são utilizadas para relatar a intensidade da atividade física em termos de consumo de oxigênio.

Essas relações são lineares somente para cargas de trabalho submáximo, onde a mecânica do movimento ainda se mantém constante (7,8,22). Åstrand and Rodahl (4) encontraram esses valores lineares quando em cargas que equivalessem de 20 - 80% $\dot{V}O_{2max}$. Pugh (34) e Bunc et al. (9,10) demonstraram que em corredores treinados, a linearidade estaria ocorrendo por volta de 20-90% $\dot{V}O_{2max}$.

A relação entre produção energética e intensidade da corrida e/ou ciclismo, são geralmente modificadas pelo estado de treinamento, por exemplo, o grau de adaptação da carga de trabalho, a qual modifica, em sua maioria a economia de trabalho e eficiência mecânica e o mesmo ocorreria para sexo, idade e velocidade além da predisposição de potência (3,4,6,9,10,

INTRODUCTION

In the field of stress testing to evaluate the general physical condition and working capacity of a subject (normal or patient) and in the field of training and conditioning normal persons and athlete and reconditioning patients in the process of rehabilitation, mostly two kinds of ergometer - treadmills and bicycle ergometers are used. Each group of ergometers has its own characteristics and advantages which influence investigators and practitioners in their choice of equipment.

The energy output for running and/or cycling expressed indirectly by oxygen uptake can be estimated from the intensity of physical activity with help of various nomographs or equations. Other investigator have related energy cost of cycling and/or running intensity using complex polynomial (18,39,40), logarithmic (29) and/or hyperbolic (41) functions. The present authors are in agreement with Pugh (34) and Van der Walt (38), and Åstrand and Rodahl (4) in believing that the model relating energy cost of cycling and/or running should be as simple as possible being mathematically found. Therefore, only linear equations were used to relate intensity of physical activity to oxygen uptake. These relationships are linear only in the range of submaximal work loads where the mechanical efficiency is kept constant, too (7,8,22). Åstrand and Rodahl (4) found these dependences linear in range 20 - 80% $\dot{V}O_{2max}$. Pugh (34) and Bunc et al. (9,10) demonstrated in the trained runners linearity of these dependences within range of 20 - 90% $\dot{V}O_{2max}$.

The relationships between energy output and intensity of running and/or cycling are generally modified by the degree of training state, i.e. degree of adaptation to physical work load, which changes mostly the working economy and mechanical efficiency, and then also by sex, age and inherited speed and power predispositions (3,4,6,9,10,16,24,36,39,40). Working economy is considered to be steady-state oxygen consumption for standard intensity of running and/or cycling (9,16). Working economy varies



16,24,36,39,40). A economia de trabalho é considerada como sendo o "Steady State" para o consumo de oxigênio, a fim de padronização de intensidade para a corrida e/ou ciclismo (9,16). A economia de trabalho varia consideravelmente entre grupos de atletas (9,14,16,30).

Para uma afirmação das reações do organismo humano em condições de laboratório em corrida ou ciclismo e para a conhecida "calibragem biológica", é necessário que nós utilizemos comumente a relação entre produção energética e intensidade da atividade física. Em nosso trabalho, nós temos utilizado a relação encontrada em laboratório, de diferentes grupos de indivíduos treinados e não treinados, que são similares à publicada por outros autores. Para esses resultados nós temos calculado a estreita relação entre produção energética e intensidade de corrida ou ciclismo independentemente do estado de treinamento, sexo, idade e predisposição de velocidade e potência.

MATERIAL E MÉTODO

Para a descrição da relação entre produção energética e intensidade da corrida ou ciclismo, nós utilizamos formas de cálculos lineares entre essas variáveis:

$E = a \cdot I + b$. Onde a e b são constantes, as quais dependem geralmente do estado de treinamento, sexo, idade e predisposição de velocidade e potência. Produção energética seria E , que para a corrida se apresentaria como $\dot{V}O_2/\text{kg}/\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ e para ciclismo $\dot{V}O_2/\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ e I é intensidade sendo para a velocidade de corrida $V/\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ e para o ciclismo essa intensidade é expressa por P/W .

Diferentes grupos masculinos que possuíam específico estado de treinamento e predisposição para a velocidade foram submetidos a teste em esteira rolante com 0% de inclinação com 2 ou 3 cargas distintas. Todas as velocidades foram mantidas entre 40 - 75% $\dot{V}O_{2\text{max}}$, com duração de 4 minutos em cada carga. As características dos grupos selecionados em função de suas características funcionais são apresentadas na tabela 1. A máxima função de variáveis foram determinadas em esteira rolante com inclinação de 5% durante a graduação da carga, até o momento que o

consideravelmente among trained athletes (9,14,16,30).

For an assessing of reaction of human organism in laboratory conditions on running and/or cycling and/or for so called "biological calibration" treadmill and bicycle ergometer we need a commonly used relationships between energy output and intensity of physical work. In our work we have used the relationships which was found in our laboratory in differently groups of trained and untrained subjects completed them by the relationships published by other authors. From these results we have calculated the common relationship between energy output and intensity of running and/or cycling independently of the training state, sex, age and the speed and power predispositions.

METHODS AND SUBJECTS

For the description of the relationship between energy output and intensity of running and/or cycling we used linear form the dependences

$$E = a \cdot I + b$$

where a and b are constants which depend generally on the training state, sex, age, and speed and power predispositions. Energy output E is for running $\dot{V}O_2/\text{kg}/\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ and for cycling $\dot{V}O_2/\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ and I is intensity of running (running speed $v/\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) and for cycling it is intensity of cycling (P/W).

Different groups of males who were different in training state and speed predispositions were loaded in laboratory on the treadmill with the 0% inclination with 2 or 3 loads. All speeds were in range of 40 - 75% $\dot{V}O_{2\text{max}}$, in time duration 4 min each. Listing of groups, and selected functional characteristics of these groups, are presented in Table 1. The maximal functional variables were determined on the treadmill with a slope 5% during a graded work load until the moment of subjective exhaustion (duration of loading varied from 5 to 8 min). The speed of the run was increased each minute by 1 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.



indivíduo chegasse a exaustão (duração da carga variou entre 5 e 8 minutos). A velocidade da corrida foi aumentada a cada minuto em torno de 1 km.h⁻¹.

TABELA 1 - Média e desvio padrão das características físicas selecionadas dos grupos estudados (esteira rolante em 5% de inclinação).

	Nº	IDADE (anos)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	$\dot{V}O_{2max}$ (l/min)	v max (km/h)
Corredores de média distância	62	22,73	180,86	66,10	4,69	21,40
		1,32	2,60	3,91	0,31	1,15
Corredores de longa distância	43	24,25	176,30	64,10	4,66	21,35
		3,42	3,30	4,71	0,42	0,71
Corredores de Maratona	22	25,82	176,45	63,94	4,71	19,92
		2,97	5,86	3,05	0,41	0,64
Corredores de longa distância - jovens	30	17,16	176,20	61,62	4,09	19,70
		1,01	7,03	6,09	0,38	0,78
Corredores de terreno acidentado - jovens	7	17,30	175,20	65,47	4,27	19,57
		0,84	4,76	5,15	0,32	0,50
Pentatletas modernos	10	25,70	183,40	79,30	5,16	17,90
		4,26	4,60	5,20	0,74	1,22
Canoístas	28	22,80	180,18	79,15	4,93	18,46
		2,30	5,60	5,46	0,64	0,98
Canoístas - jovens	10	17,40	178,73	74,53	4,64	17,80
		0,80	7,30	5,11	0,43	0,75
Jogadores de Futebol	15	24,89	182,67	78,73	4,80	16,67
		3,41	5,50	6,22	0,41	1,07
Jogadores de Basquete	25	23,60	196,78	87,43	4,87	16,13
		2,91	7,70	11,73	0,41	1,36
Homens sem treino	36	30,74	175,70	79,88	3,03	9,60
		3,87	5,56	6,91	0,47	1,27

Na bicicleta ergométrica foram diferentes grupos de indivíduos, avaliados com 2 ou 3 cargas de trabalho entre 40 e 75% do $\dot{V}O_{2max}$. O tempo de duração foi de 4 minutos. A máxima função de variáveis foram determinadas em bicicleta ergométrica durante a graduação da carga de trabalho até a exaustão. A duração foi de 5 a 8 minutos novamente. A carga de trabalho foi acrescida minuto a minuto em 20 w até a exaustão. Os valores desse grupo são apresentados na tabela 2.

TABLE 1 - Mean $\pm$ SD selected physical characteristics of subjects (treadmill at 5% slope).

	Nº	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}O_{2max}$ (l/min)	v max (km/h)
Middle-distance runners	62	22,73	180,86	66,10	4,69	21,40
		1,32	2,60	3,91	0,31	1,15
Long-distance runners	43	24,25	176,30	64,10	4,66	21,35
		3,42	3,30	4,71	0,42	0,71
Marathon runners	22	25,82	176,45	63,94	4,71	19,92
		2,97	5,86	3,05	0,41	0,64
Long-distance runners / young	30	17,16	176,20	61,62	4,09	19,70
		1,01	7,03	6,09	0,38	0,78
Cross-country runners / young	7	17,30	175,20	65,47	4,27	19,57
		0,84	4,76	5,15	0,32	0,50
Modern pentathlonsists	10	25,70	183,40	79,30	5,16	17,90
		4,26	4,60	5,20	0,74	1,22
Canoelists	28	22,80	180,18	79,15	4,93	18,46
		2,30	5,60	5,46	0,64	0,98
Canoelists / young	10	17,40	178,73	74,53	4,64	17,80
		0,80	7,30	5,11	0,43	0,75
Football players	15	24,89	182,67	78,73	4,80	16,67
		3,41	5,50	6,22	0,41	1,07
Basketball players	25	23,60	196,78	87,43	4,87	16,13
		2,91	7,70	11,73	0,41	1,36
Untrained men	36	30,74	175,70	79,88	3,03	9,60
		3,87	5,56	6,91	0,47	1,27

On the bicycle ergometer were different groups of subjects loaded with 2 or 3 work loads in range of 40 -75% $\dot{V}O_{2max}$ again. Time duration of all loads were 4 min. The maximal functional variables were determined on the bicycle ergometer during a graded work load until the moment exhaustion. Duration of loading was from 5 to 8 min again. Work load was increased each min by 20 W up to exhaustion. Listing of groups and selected functional variables are presented in Table 2.

On the bicycle ergometer were different groups of individuals, evaluated with 2 or 3 work loads between 40 and 75% of $\dot{V}O_{2max}$. The duration of the test was 4 minutes. The maximum function of variables were determined on the bicycle ergometer during the graduation of the work load until exhaustion. The duration was 5 to 8 minutes again. The work load was increased minute by minute by 20 w until exhaustion. The values of this group are presented in table 2.

**TABELA 2 - Média e desvio padrão das características físicas selecionadas dos grupos estudados (bicicleta ergométrica).**

	HR	Idade (anos)	Altura (cm)	Peso (kg)	VO ₂ max (l/min)	Performance (W)
Estudantes sem treino	11	20.63 4.65	175.30 4.30	73.26 5.14	3.80 0.26	297.32 24.65
Homens sem treino 20 - 40 anos	22	31.41 4.79	177.20 5.90	76.20 6.90	3.29 0.58	265.00 30.00
Homens sem treino 40 - 60 anos	16	51.81 5.45	173.20 4.70	75.70 7.90	2.65 0.62	215.00 40.00
Biathletas	48	22.16 4.37	178.81 4.05	71.28 3.76	5.31 0.34	470.63 34.91
Biathletas Jovens	14	15.62 0.76	175.12 4.12	62.35 5.87	3.87 0.43	345.35 29.15
Remadores	15	25.70 3.54	189.90 4.93	86.00 7.49	5.14 0.16	420.90 25.61
Corredores de longa distância	32	23.86 3.28	178.76 3.78	73.18 5.47	5.24 0.50	427.27 36.20
Jogadores de hóquei de gelo	23	26.80 5.60	182.93 6.24	80.67 6.94	4.43 0.41	375.44 28.20
Jogadores de tênis de mesa	6	25.20 5.64	174.30 4.32	76.20 4.96	4.33 0.51	328.33 44.25
Equilibradores Aquáticos	10	24.90 4.12	182.40 5.24	82.30 4.26	4.62 0.36	398.80 29.16

TABLE 2 - Mean $\pm$ SD selected physical characteristics of subjects (bicycle ergometer).

	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	VO ₂ max (l/min)	Performance (W)	
Untrained students	11	20.63 4.65	175.30 4.50	73.26 5.14	3.80 0.26	297.32 24.65
Untrained men (20 - 40 yrs)	22	31.41 4.79	177.20 5.90	76.20 6.90	3.29 0.58	265.00 30.00
Untrained men (40 - 60 yrs)	16	51.81 5.45	173.20 4.70	75.70 7.90	2.65 0.62	215.00 40.00
Biathletes	48	22.16 4.37	178.81 4.05	71.28 3.76	5.31 0.34	470.63 34.91
Biathletes (young)	14	15.62 0.76	175.12 4.12	62.35 5.87	3.87 0.43	345.35 29.15
Rowers	15	25.70 3.54	189.90 4.93	86.00 7.49	5.14 0.16	420.90 25.61
Cross-country runners	32	23.86 3.28	178.76 3.78	73.18 5.47	5.24 0.50	427.27 36.20
Ice hockey players	23	26.80 5.60	182.93 6.24	80.67 6.94	4.43 0.41	375.44 28.20
Table tennis players	6	25.20 5.64	174.30 4.32	76.20 4.96	4.33 0.51	328.33 44.25
Water skiers	10	24.90 4.12	182.40 5.24	82.30 4.26	4.62 0.36	398.80 29.16

Todos os indivíduos foram informados do propósito do estudo e possível risco, antes de assinarem o termo de compromisso.

As variáveis cardio-respiratórias foram avaliadas em sistema aberto. A análise do ar expirado (qualitativo e quantitativo) foi feita com uma pequena válvula de resistência (JAEGER) usando os aparelhos Jaeger tipo DATASPIR I. O espaço livre da válvula era de aproximadamente 250 ml. A análise do O₂ foi feita utilizando um analisador térmico e o CO₂ foi determinado por médias através de um analisador infravermelho. Ambos analisadores foram manufaturados pela Jaeger Co. e calibrados antes e depois de cada estimativa com gases, conhecendo-se as concentrações iniciais. Antes de cada série de estimativa a linearidade dos analisadores (conversão entre variável determinada e o resultado de voltagem) foi checada com uma taxa de diferença entre O₂ e CO₂ ao redor de 2 a 7%, quase referem ao ar inspirado e expirado. A ventilação foi estimada em valores médios por pneumotocógrafo (Jaeger-Lill's principle), o qual foi verificado antes e depois de cada estimativa por uma bomba mecânica.

Uma calculadora automática imprimiu os valores cardio-respiratórios a cada 30 segundos. Para o cálculo da relação

All subjects were informed of the purpose of this study and possible risk before signing the informed consent form.

The cardiorespiratory variables were assessed in an open system. The analysis of the expired air (qualitative and quantitative) was made with a low resistance valve (Jaeger), using a Jaeger apparatus type Dataspir I. The dead space of the valve was about 250 ml. The O₂ analysis was made using a thermal analyser, and CO₂ was assessed by means of an infrared analyzer. Both analyzers were manufactured by Jaeger Co., and calibrated before and after every estimation with gas of a known concentration. Before every series of estimations the linearity of the analyzers (the conversion between the assessed variable and the resulting voltage) was checked within a range of difference of O₂ and CO₂ amounting to 2 - 7%, differences between inspired and expired air. Ventilation was estimated by means of a pneumotachograph (Jaeger-Lill's principle), which was checked before and after each estimation by a mechanical pump.

The calculator printed the values of the cardiorespiratory variables every 30 sec. For the calculation the relationship between energy output and intensity of



entre produção energética e intensidade da corrida ou ciclismo as médias de dois 30 segundos foram utilizadas e como valor máximo foi utilizado o maior valor consecutivo de 30 segundos.

O cálculo da regressão linear entre produção de energia e intensidade da corrida ou ciclismo foi realizado por Qui-quadrado.

Média e desvio padrão foram calculados de acordo com métodos padronizados. Ao analisar por correlação de Pearson foi feita para os dados relevantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros das equações de regressão, as quais foram determinadas das medidas da produção de energia e velocidade da corrida em esteira rolante são demonstrados na tabela 3. Coeficientes de correlação entre produção de energia e intensidade de pedalagem em bicicleta ergométrica são mostrados na tabela 4.

TABELA 3 - Equações de coeficiente de regressão para o custo total da energia da corrida em esteira rolante horizontal
 $\dot{V}O_2(\text{kg/ml/min}) = a \cdot v (\text{km/h}) + b$

	a	b	n	r
Corredores de meia distância	2.800	4.786	163	0.921
Corredores de longa distância	2.960	3.712	86	0.933
Corredores de maratona	2.980	3.680	44	0.951
Corredores de longa distância / jovens	3.210	2.713	60	0.913
Corredores de terreno acidentado / jovens	3.458	2.123	14	0.963
Pentatletas modernos	3.301	3.162	20	0.942
Canoístas	3.286	3.102	56	0.923
Canoístas / jovens	3.346	3.203	20	0.936
Jogadores de Futebol	3.308	3.862	30	0.952
Jogadores de Basquete	3.448	-0.985	50	0.945
Homens sem treino	3.542	3.673	114	0.943

running and/or cycling the mean of two consecutive 30 second data was taken and as maximum was taken the mean of two highest consecutive 30 second data.

The calculation of the linear regressions between energy output and intensity of running and/or cycling were realized by the least squares method.

Means and standard deviations were calculated according to standar methods. Pearson correlation analysis was performed on the relevant data.

RESULTS AND DISCUSSION

The parameters of regression equations which were determined from the measured energy output and speed of running on the treadmill are demonstrated in Table 3. Coefficients of relationships between energy output and intensity of cycling on the bicycle ergometer are presented in Table 4.

TABLE 3 - Coefficient of regression equations for the gross energy cost of horizontal treadmill running
 $\dot{V}O_2(\text{kg/ml/min}) = a \cdot v (\text{km/h}) + b$

	a	b	n	r
Middle-distance runners	2.800	4.786	163	0.921
Long-distance runners	2.960	3.712	86	0.933
Marathon runners	2.980	3.680	44	0.951
Long-distance runners/young	3.210	2.713	60	0.913
Cross-country runners/young	3.458	2.123	14	0.963
Modern pentathlonsists	3.301	3.162	20	0.942
Canoeists	3.286	3.102	56	0.923
Canoeists/young	3.346	3.203	20	0.936
Football players	3.308	3.862	30	0.952
Basketball players	3.448	-0.985	50	0.945
Untrained men	3.542	3.673	114	0.943



TABELA 4 - Equações de coeficientes de regressão para custo total de energia de pedalagem na bicicleta ergométrica
 $\dot{V}O_2(\text{ml/min}) = a \cdot P(W) + b$

	a	b	n	r
Estudantes destreinados	10.35	427.9	22	0.949
Homens destreinados (20 - 40 anos)	10.10	650.7	66	0.984
Homens destreinados (40 - 60 anos)	11.40	356.7	48	0.968
Biatletas	10.96	342.3	144	0.981
Biatletas (jovens)	11.01	330.8	42	0.989
Remadores	10.70	649.9	30	0.937
Corredores de terreno acidentado	11.38	450.0	64	0.984
Jogadores de hóquei no gelo	9.20	986.0	46	0.974
Jogadores de tênis de mesa	11.43	556.7	12	0.970
Esquiadores aquáticos	11.70	490.1	20	0.968

Nossos dados indicam que a relação entre produção de energia e intensidade de corrida ou ciclismo de todos os indivíduos foram amplamente lineares dentro da variação de intensidade investigada. O uso da descrição linear pode ser suportado pelos valores de correlação, que foram altamente significativos em todos os casos ($p < 0,001$).

O custo energético da corrida e/ou ciclismo pode ser caracterizado com o auxílio do coeficiente de regressão das equações utilizadas. Em função desses coeficientes serem constantes em grande variação de trabalhos com intensidade submáxima, nós podemos concluir que o custo energético da corrida e/ou ciclismo são independentes em cargas submáximas. De outro ponto de vista, nós podemos demonstrar, com o auxílio desses coeficientes, que mais alto é o estado de treinamento, como exemplo, o alto grau de adaptação para este tipo de atividade, menor é o coeficiente e menor é a produção de energia para a mesma intensidade da corrida ou ciclismo. As variações das reações individuais na mesma intensidade de corri-

TABLE 4 - Coefficients of regression equations for the gross energy cost of bicycle ergometer cycling
 $\dot{V}O_2(\text{ml/min}) = a \cdot P(W) + b$

	a	b	n	r
Untrained students	10.35	427.9	22	0.949
Untrained men (20 - 40 yrs)	10.10	650.7	66	0.984
Untrained men (40 - 60 yrs)	11.40	356.7	48	0.968
Biathlonists	10.96	342.3	144	0.981
Biathlonis (young)	11.01	330.8	42	0.989
Rowers	10.70	649.9	30	0.937
Cross-country runners	11.38	450.0	64	0.984
Ice hockey players	9.20	986.0	46	0.974
Table tennis players	11.43	556.7	12	0.970
Water slalomers	11.70	490.1	20	0.968

Our data indicate that the relationship between energy output and intensity of running and/or cycling of all subjects were largely linear within of intensity range which were investigated. The using of linear description can be supported by the height of correlation coefficients which were found highly significant in all cases ($p < 0.001$).

The energy cost of running and/or cycling may be characterized with help of a coefficient of regression equations. Because these coefficients are constant in wide range of submaximal work intensities, we can conclude that the energy cost of running and/or cycling is independent in submaximal range of intensities of load. From the other point of view we can demonstrate with help of these coefficients the fact, that the higher is the training state, i.e. the higher is degree of adaptation to this type of physical activity, the smaller is a coefficient a and the smaller is the energetic output in the same intensity.



da ou ciclismo podem ser devido à diferenças na predisposição da composição da fibra muscular, potência e velocidade, bem como na eficiência mecânica e tolerância ao lactato sanguíneo (4,8,13,15,16,38). O coeficiente constante significa que nesta faixa a eficiência mecânica também é constante (8,22). Nesta faixa, que é menor que a intensidade do limiar anaeróbico, e é dividida em somente 10% da demanda total de energia, provém do sistema anaeróbico (12) e assim as reservas anaeróbicas de energia não desempenham um papel importante.

Os coeficientes de variação em todos os grupos são inferiores a 6%. A partir desses resultados para um uso prático, podemos concluir que a dependência entre produção de energia e intensidade de corrida ou ciclismo não depende da idade, sexo, peso corporal, estado de treinamento e predisposição de potência e velocidade. Entretanto, baseado em nossas medidas em diferentes atletas e indivíduos destreinados, suplementados por dados de outros autores com corrida em esteira rolante (1,3,4,5,6,13,15,18,25,26,27,28,29,30,32,34,36,39,40) foi possível demonstrar essas relações por equação pelo intervalo com menor limite determinado $\dot{V}O_2$ (kg/ml.kg⁻¹.min⁻¹) = 2,825 . V (km.h⁻¹) + 1,980 e maior limite como sendo:

$$\dot{V}O_2 \text{ (kg/ml.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}) = 2,912 \cdot v \text{ (km.h}^{-1}) + 14,210.$$

A equação é independente do estado de treinamento, idade e predisposição para velocidade foi estabelecida para homens da seguinte forma: $\dot{V}O_2$ (kg/ml.kg⁻¹.min⁻¹) = 3,077 . v (km.h⁻¹) + 3,098 com erro máximo dentro das velocidades de 8-15 km.h⁻¹ de 10%, sem depender de Costill (13), onde o erro é ao redor de 20% e na faixa de velocidade de corrida de 16-20 km.h⁻¹ e um erro de 8% aproximadamente.

Similarmente, em nossos resultados em bicicleta ergométrica, em grupos de indivíduos que diferiam no nível de treinamento, idade, peso corporal e predisposição de potência, suplementado por dados de outros autores (2,4,17,19,20,21,23,24,31,35,37) foi possível determinar a relação entre produção energética e intensidade do ciclismo pela equação no intervalo de menor limite determinado por:

$$\dot{V}O_2 \text{ (ml.min}^{-1}) = 10,74 \cdot P(W) + 776 \text{ e com maior limite pela equação: } \dot{V}O_2 \text{ (ml.min}^{-1}) = 10,80 \cdot P(W) + 412.$$

A equação "geral" independente do nível de treinamento, idade, peso corporal

of running and/or cycling. The individual variation or reaction in the same intensity of running and/or cycling may be due to the interindividual differences in muscle fiber composition, in power and speed predisposition, in mechanical efficiency and in the blood lactate tolerance (4,8,13,15,16,38). The constant coefficient of a denote, that in this range is constant the mechanical efficiency too (8,22). In this range, which is lower than "anaerobic threshold intensity", is a share of anaerobic energy demands lower than 10% (12), and thus the anaerobic sources of energy play no important role.

The coefficients of variations in all groups are lower than 6%. From these results, for practical using we can conclude, that dependence between energy output and intensity of running and/or cycling is not depending of the age, body weight, training state and speed and power predispositions. Therefore on the basis of our measurements in differently trained athletes and untrained subjects, supplemented for the running on the treadmill by data of other authors (1,3,4,5,6,13,15,18,25,26,27,28,29,30,32,34,36,39,40) it was possible to demonstrate these relationships by the equation by the interval with lower limit determined $\dot{V}O_2$ (kg/ml.kg⁻¹.min⁻¹) = 2,825 . V (km.h⁻¹) + 1,980 and with upper limit by the equation $\dot{V}O_2$ (kg/ml.kg⁻¹.min⁻¹) = 2,912 . v (km.h⁻¹) + 14,210

The equation independent of training state, age and speed predispositions was established for males in the form $\dot{V}O_2$ (kg/ml.kg⁻¹.min⁻¹) = 3,077 . v (km.h⁻¹) + 3,098 with maximal error within speed 8 - 15 km.h⁻¹ of 10% - without dependence of Costill (13) where error is about 20% - and in range of speeds of running 16 - 20 km.h⁻¹ is a maximal error about 8%.

Similarly on the ground of our measurements on the bicycle ergometer in groups of subjects which differ in training state, age, body weight and power predispositions, supplemented by data of other authors (2,4,17,19,20,21,23,24,31,35,37) it was possible to demonstrate the relationships between energy output and intensity of cycling by the equation by the interval with lower limit determined $\dot{V}O_2$ (ml.min⁻¹) = 10,74 . P (W) + 776



e predisposição de potência que nós podemos estabelecer para homens é a seguinte: $\dot{V}O_2(\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) = 10,89 \cdot P(W) + 408$ com erro máximo na determinação do consumo de oxigênio no ciclismo ao redor de 10% e/ou menor na faixa de 100 a 400 W de intensidade.

A máxima diferença e/ou erro de determinação da produção energética para corrida ou ciclismo pode ser ampla, mas é necessário notar que erros de medida em espirometria são cerca de 5%, como exemplo determinação do consumo de oxigênio ou mais. Deste ponto de vista, é possível aceitar as equações acima descritas para as reações humanas para a carga de trabalho físico e para a chamada "calibragem biológica" em bicicleta ergométrica e esteira rolante. Na prática dos diagnósticos laboratoriais existem diferentes tipos de equipamentos de carga como a bicicleta ergométrica, esteira rolante, os quais são produzidos por diferentes fábricas e principalmente os diferentes tipos de diagnóstico nos aparelhos, que apresentam diferentes tipos de erros na determinação das variáveis cardíaco-respiratórias. Para a comparação desses resultados nós podemos utilizar as equações acima.

De acordo com nossos resultados (11) e de acordo com os resultados de Pugh (34), nós podemos assumir que diferenças no custo energético em esteira rolante e corrida ao ar livre não têm base biomecânica, como por exemplo a biomecânica da corrida em esteira rolante e terreno plano que são muito similares. As diferenças no custo energético da corrida em laboratório e em terreno podem ser devido a diferenças sensoriais (visual) "feedback" importantes no balanço e estabilidade principalmente na resistência do ar. De acordo com nossas medidas (11), a diferença na produção de energia em laboratório e corrida em pista, que pode ser medida, são para a intensidade de corrida 13 km.h⁻¹ ou mais. Por razões práticas podemos concluir que a velocidade da corrida, as quais eram menores que 13 km.h⁻¹, a relação acima mencionada pode ser utilizada em condições de pista (11), como por exemplo, exercícios diários ou semanais, induzindo uma produção de energia, sobre certo nível, aumentando o nível de aptidão física, bem como redução do peso corporal.

and with upper limit by the equation $\dot{V}O_2(\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) = 10,80 \cdot P(W) + 412$

The "mean" equation independent of training state, age, body weight and power predispositions we can established for males in the form:

$$\dot{V}O_2(\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) = 10,89 \cdot P(W) + 408$$

with maximal error of determination of oxygen uptake from intensity of cycling about 10% and/or lower in range of intensities from 100 to 400 W.

The maximal differences and/or errors of determination of energy output from intensity of running and/or cycling can seem to be large, but necessary to note, that the errors of spiroergometric measurements are about 5%, i.e. determination of oxygen uptake, or more. From this point of view it is possible to use and accept the above described equations for the assessment of reactions of a human organism to the physical work load and for the so called "biological calibration" of the bicycle and/or the treadmill. In practice in diagnostics laboratories there are used different types of loading equipments, i.e. bicycle ergometers and treadmills which were produced from differently factories, and mainly the different types of diagnostics apparatus with different errors of determination of cardiorespiratory variables. For a comparison of these results we can use above mentioned equations.

According to our results (11) and according to results of Pugh (34) we can assume that the differences in energy cost of treadmill and outdoor flat running are no of biomechanical ground, i.e. the biomechanics of the running on the treadmill and on the flat terrain is practically the same. For differences in energy cost of running in laboratory and in terrain could be responsible beside sensory (visual) feedback important to balance and stability, mainly a air resistance. According to our measurements (11), the differences in energy output in laboratory and outdoor horizontal running, which may be measured, are for intensity of running 13 km.h⁻¹ or higher. For practical reason we can conclude, that for the speeds of running which are lower than 13 km.h⁻¹, the above mentioned relationship between energy output and



Em resumo, nós temos estabelecido que a relação entre produção de energia e intensidade da corrida ou ciclismo são independentes do estado de treinamento, idade, peso corporal e predisposição para velocidade e potência e que podem ser utilizadas para orientação da capacidade do organismo humano em laboratório e/ou condição de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. American College of Sports Medicine: guidelines for graded Exercise testing and exercise prescription. Philadelphia, Lea and Febiger, 1975.
02. AIGNER, A.; MUSS, N. and FENNINGER, H. Berechnung der maximalen Sauerstoffaufnahme anhand von Regressionsgleichungen. *Öst. J. Sportmed*, 11:3-8, 1981.
03. ÅSTRAND, P.O. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen, Ejnar Munksgaard, 1952.
04. ÅSTRAND, P.O. and RODAHL, K. Textbook of work physiology. New York, McGraw Hill, 1977.
05. BALKE, B. A simple field test for assessment of physical fitness. Publ. No. 63-6, Oklahoma, Civil Aeromed Res. Inst., 1963.
06. BRANSFORD, D.R. and HOWLEY, E.G. Oxygen cost of running in trained and untrained men and women. *Med. Sci. Sports*, 9:41-44, 1977.
07. BUNC, V.; SPRYNAROVÁ, S.; BARÍZKOVÁ, J. and LESO, J. Effects of Adaptation on the mechanical efficiency and energy cost of physical work. *Hum.Nutr.Clin.Nutr.*, 38C:317-319, 1984.
08. BUNC, V.; HELLER, J.; LESO, J.; SPRYNAROVÁ, S. and ZDANOWICZ, R. Comparison of the anaerobic threshold and mechanical efficiency of running in young and adult athletes. *Int J Sports Med*, 7:156-160, 1986.
09. BUNC, V.; HELLER, J. and LESO, J. Energy requirements of running on a treadmill and in the field. *Cas Lék ces*, 125:1391-1394, 1986. (in czech)
10. BUNC, V.; HELLER, J.; LESO, J.; KREJCI, P. and SPRYNAROVÁ, S. Energy expenditure during pedalling on bicycle ergometer. *Cas Lék Ces*, 125: 1188-1192, 1986. (in czech)
11. BUNC, V.; HELLER, J.; LESO, M. and BOJANOVSKY, I. Nomograms for a conversion of running speed on a treadmill in the laboratory to that in the field. *Pracov Lék*, 39:170-174, 1987. (in czech)
12. BUNC, V.; HELLER, J.; LESO, J.; SPRYNAROVÁ, S. and ZDANOWICZ, R. Ventilatory threshold in various groups of highly trained athletes. *Int. J. Sports Med.*, 8:275-280, 1987.
13. COSTILL, D.L.; THOMASON, H. and ROBERTS, D. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med.Sci.Sports*, 5:248-252, 1973.
14. DANIELS, J.; KRAHENBUHL, G.; FOSTER, C.; GILBERTS, J. and DANIELS, S. Aerobic responses of female distance runners to submaximal and maximal exercise. *N.Y. Aca Sci. Ann*, 301: 726-733, 1977.
15. DI PRAMPERO, P.E.; ATCHOU, G.; BRÜCKNER, J.C. and MOIA, D. The energetics of endurance running. *Eur.J.Appl.Physiol*, 55:259-266, 1986.
16. FALLS, H.S. and HUMPHREY, L.D. Energy cost of running and walking in young women. *Med.Sci. Sports*, 8:9-13, 1976.
17. FARREL, P.A.; WILMORE, J.H.; COYLE, E.F.; BILLING, J.E. and COSTILL, D.L. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports*, 11:338-344, 1977.
18. GIMENEZ, J.; SALINAS, W.; SERVERA, E. and KUNTZ, C. $\dot{V}O_{2max}$ during progressive and constant bicycle exercise in sedentary men and women. *Eur.J.Appl.Physiol*, 46:237-248, 1981.
19. GIVONI, B.; GOLDMAN, R.F. Predicting metabolic energy cost. *J Appl Physiol*, 30:429-433, 1971.
20. HECK, H.; LIESEN, H.; OTTO, J. and HOLLMANN, W. Das Verhalten spirometrischer Messgrößen im Ausbelastungsbereich bei ABC-Kaderuntersuchungen. *Dtsch Zsch Sportmed*, 33:105-111, 1982.
21. HERMANSEN, L. and SALTIN, B. Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle. *J Appl Physiol*, 26:31-37, 1969.



22. HERMANSEN, L. Oxygen transport during exercise in human subjects. *Acta Physiol Scand Suppl*, 399, 1973.
23. ITO, A.; KOMI, P.V.; SJÖDIN, B.; BOSCO, C. and KARLSSON, J. Mechanical efficiency of positive work in running at different speeds. *Med Sci Sports Exer*, 15:299-308, 1983.
24. KÖNING, K.; REINDELL, H. KEUL, J. and ROSHAMM, H. Untersuchungen über das Verhalten der Atmung und Kreislauf im Belastungsversuch bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 10 - 19 Jahren. *Int Z angew Physiol*, 18:393-434, 1961.
25. LABITZKE, H. and DÖSCHER, I. Spiroergometrische Untersuchungen in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Trainingszustand. *Med u Sport*, 1:24-28, 1968.
26. LÉGER, L. and BOUCHER, R. An indirect continuous running multistage field test: The Université de Montréal Track Test. *Can. J Appl Sport Sci*, 5:77-84, 1980.
27. MARGARIA, R.; CERRETELLI, P.; AGHEMO, R. and SASSI, G. Energy cost of running. *J Appl Physiol*, 18:367-370, 1963.
28. MAUGHAN, R.J. and LEIPER, J.B. Aerobic capacity and fractional utilization of aerobic capacity in elite and non-elite male and female marathon runners. *Eur. J. Appl Physiol*, 52:80-87, 1983.
29. MAYHEW, J.L. Oxygen cost and energy expenditure of running in trained runners. *Brit J Sports Med*, 11:116-130, 1977.
30. McDONALD, I. Statistical Studies of recorded energy expenditure in man. *Nutr Abstr Rev*, 31:739-762.
31. McKIKEN, D.F. and DANIELS, J.T. Aerobic requirements and maximal aerobic power in treadmill and track running. *Med Sci Sports*, 8:14-17, 1976.
32. MELLEROWICZ, H. and SMOGLAKA, V.N. *Ergometry: Basic of medical exercise testing*. Baltimore, Urban and Schwarzenber, 1981.
33. MENIER, R. and PUGH, L.G.C.E. Comparaison du cout énergétique de la marche et de la course. *Med Sport*, 1:22-23, 1970.
34. MONTJOYE, J.J.; AYEN, T. and HOWLEY, E.T. The oxygen requirement for horizontal and grade walking on a motor-driven treadmill. *Med Sci Exer*, 17:640-645, 1985.
35. PUGH, L.G.C.E. Oxygen intake in track and treadmill with observation on the effect of air resistance. *J Physiol, London*, 207:823-835, 1970.
36. REITERER, W. and BACHL, N. Kriterien der Körperliche Leistungsfähigkeit: Limitierende Faktoren und diagnostische Kriterien des Ausdauerleistungsvermögens. *WMW* 127: Suppl, 42, 1977.
37. SHEPARD, R.J. A nomogram to calculate the oxygen cost of running at slow speeds. *J. Sports Med Fitness*, 9:10-16, 1969.
38. TLUSTY, L. Aerobic capacity and the other parameters of physical fitness followed by means of graded exercise in ergometric examination of elderly individuals. *Respiration*, 26:161-181, 1969.
39. VAN DER WALT, W.H. and WYDHAM, C.H. An equation for prediction of energy expenditure of walking and running. *J Appl Physiol*, 34:559-563, 1973.
40. WORKMAN, J.M. and ARMSTRONG, B.W. Oxygen cost of treadmill walking. *J Appl Physiol*, 18: 798-803, 1963.
41. WORKMAN, J.M. and ARMSTRONG, B.W. Metabolic cost walking: equation and mode. *J Appl Physiol*, 61:1369-1374, 1986.
42. ZARRUGH, M.Y.; TODD, F.N. and RELATON, H.J. Optimization of energy expenditure during level walking. *Eur J Appl Physiol*, 33:293-296, 1974.

Endereço do Autor/Author Address

Václav Bunc, PhD
Physical Culture Research Institute
Charles University, Újezd 450, CS 118 07
Prague 1, Czechoslovakia

Claudia Monaci / Aylton José Figueira Júnior [Inglês]