Recebido em: 28/02/2009 Emitido parece em: 17/03/2009 Artigo original

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA AMBIENTE NO CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO E NA FREQUÊNCIA CARDÍACA MÁXIMA EM EXERCÍCIO PROGRESSIVO

Christian Emmanuel Torres Cabido, Lucas de Ávila Carvalho Fleury Mortimer,
Cristiano Lino Monteiro de Barros, Thiago Teixeira Mendes, Emerson Silami Garcia.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi comparar o $VO_{2máx}$ e a $FC_{máx}$ em ambientes quente (40°C) e temperado (22°C) obtidos em exercício realizado em cicloergômetro, além de verificar se o protocolo utilizado possibilitou a medida do $VO_{2máx}$. A amostra foi composta por nove homens jovens e saudáveis que, inicialmente, realizaram um exercício progressivo (P_{ACSM}) em ambiente temperado (22 ± 1ºC e 61 ± 8% URA) para determinação do $VO_{2máx}$ (ACSM, 1996). Posteriormente, foram realizados aleatoriamente dois protocolos de exercícios progressivos máximos em uma câmara ambiental em duas situações: 40°C ($P_{40°C}$) e 22°C ($P_{20°C}$), ambas com URA de 50%. Estes protocolos iniciavam a 60W e tiveram acréscimos de 15W a cada três minutos até a fadiga. O $VO_{2máx}$ encontrado no $P_{40°C}$ (44,48 ± 4,82 $mL•kg^{-1}•min^{-1}$) foi menor que os observados no $P_{22°C}$ e P_{ACSM} (51,38 ± 4,95 e 53,41 ± 5,15 $mL•kg^{-1}•min^{-1}$, respectivamente). O $VO_{2máx}$ atingido no P_{ACSM} não foi diferente do encontrado no $P_{22°C}$. A $FC_{máx}$ foi maior no $P_{40°C}$ (195 ± 8 bpm) quando comparada ao $P_{22°C}$ e P_{ACSM} (188 ± 7 e 191 ± 5, respectivamente), mas não houve diferença significativa entre o P_{ACSM} e o $P_{22°C}$. Os resultados do presente estudo mostram que o exercício progressivo máximo realizado em um ambiente quente, onde ocorrerá uma maior sobrecarga no sistema termorregulatório, resulta em um menor $VO_{2máx}$ e uma maior $FC_{máx}$. Além disso, o $VO_{2máx}$ e $FC_{máx}$ encontrados no $P_{22°C}$ não foram diferentes daqueles encontrados no P_{ACSM}, mesmo o primeiro tendo uma maior duração.

Palavras chave: capacidade aeróbica, ambiente quente, exercício incremental.

ABSTRACT

The objective of this study was to compare the VO_{2max} and the HR_{max} of physically active individuals in a hot (40°C) and temperate (22°C) environments in exercise carried through in a cyclergometer; and to verify if the protocol elicited VO_{2max}. Nine male volunteers participated in the study and initially, performed a graded exercise test (P_{ACSM}) in a temperate environment (22 ± 1ºC and 61 ± 8% RH) (ACSM, 1996). Later, two protocols of maximum graded exercises were completed randomly in a climatic chamber in two experimental situations: 40°C ($P_{40°C}$) and 22°C ($P_{22°C}$), both with RH of 50%. These protocols initiated at 60W and had increments of 15W every three minutes until fatigue. VO_{2max} was lower in the $P_{40°C}$ situation (44.48 ± 4.82 $mL•kg^{-1}•min^{-1}$) when compared to $P_{22°C}$ and P_{ACSM} (51.38 ± 4.95 and 53.41 ± 5.15 $mL•kg^{-1}•min^{-1}$, respectively). No differences were found between $P_{22°C}$ and P_{ACSM}. HR_{max} was higher in the 40°C situation (195 ± 8 bpm) when compared to $P_{22°C}$ and P_{ACSM} (188 ± 7 and 191 ± 5 bpm, respectively), but no differences were found between the latter. The results show that a maximum graded exercise performed in a hot environment, in which the thermoregulatory overload is higher, results in a reduction of the VO_{2max}. Additionally, VO_{2max} and HR_{max} were not different between $P_{22°C}$ and P_{ACSM}, even though $P_{22°C}$ had a longer duration.

Key words: Endurance capacity, incremental exercise, hot environment.

INTRODUÇÃO

O consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$) é definido como a capacidade máxima de transporte e de utilização de oxigênio pelo corpo durante o exercício (BASSETT e HOWLEY, 2000) ou também como a região na qual o consumo de oxigênio (VO_2) alcança um platô ou aumenta um pouco mesmo aumentando a intensidade do exercício (MCARDLE et al., 2003). No entanto, não é sempre possível identificar uma estabilização no VO_2, sendo considerado o maior valor atingido como o consumo pico de oxigênio (VO_{2pico}) (BASSETT e HOWLEY, 2000).

Pode-se determinar o $VO_{2máx}$ utilizando uma ampla variedade de exercícios que ativam os grandes grupos musculares do corpo, desde que a intensidade e a duração do esforço sejam suficientes para maximizar a transferência de energia pela via aeróbica (MCARDLE et al., 2003). As variáveis obtidas durante exercício incremental máximo dão informações sobre o comportamento dos sistemas fisiológicos e suas

compensações com o estresse crescente do exercício. Isto torna o exercício incremental interessante para finalidades de diagnóstico e prognóstico (VANHEES et al., 2005).

Assim como o $VO_{2máx}$, a frequência cardíaca máxima ($FC_{máx}$) pode ser utilizada como uma variável de referência da intensidade máxima de esforço realizada por um indivíduo, devido a relação linear observada entre a frequência cardíaca (FC) e o VO_2 em atividades predominantemente aeróbicas (ASTRAND e RYHMING, 1954; MOON e BUTTE, 1996). Em função desta relação, admite-se que a uma determinada intensidade de esforço, o $\%FC_{máx}$ corresponda a um determinado $\%VO_{2máx}$ (LONDEREE et al., 1995). Apesar de algumas controvérsias (BOUDET et al., 2002; CONDESSA et al., 2006), a $FC_{máx}$ tem sido definida como a maior FC atingida em um teste de avaliação do $VO_{2máx}$ (ENGELS et al., 1998; HAWKINS et al., 2001; TANAKA et al., 2001).

Durante a realização de exercício prolongado no calor, há uma redução do desempenho físico (ROWELL et al., 1969; MACDOUGALL et al., 1974; NIELSEN et al., 1993). No entanto, não há consenso na literatura se a redução no desempenho é relacionada à diminuição do $VO_{2máx}$ em altas temperaturas. Alguns estudos sugerem que temperaturas ambientais elevadas reduzem o $VO_{2máx}$ (ROWELL et al., 1969; TAYLOR et al., 1955; KLAUSEN et al., 1967; SAWKA et al., 1985; TANAKA et al., 2001; ARNGRIMSSON et al., 2004), enquanto outros estudos não apresentaram diferenças (WILLIAMS et al., 1962; ROWELL et al., 1965; ROWELL et al., 1966).

Smolander et al. (1986) encontraram um consumo de oxigênio significativamente reduzido (em média 5%) durante exercício progressivo em cicloergômetro realizado em ambiente quente e seco (40ºC) quando comparado ao ambiente termoneutro (25ºC). Arngrimsson et al. (2004) estudaram o efeito da hipertermia no $VO_{2máx}$ em sete situações diferentes. Na situação controle foi utilizado um teste progressivo em esteira em uma temperatura ambiente de 25ºC com 50% de umidade relativa do ar (URA). O $VO_{2máx}$ diminuiu em temperaturas de 35, 40 e 45ºC quando foi realizado, anteriormente, um exercício de baixa intensidade com a finalidade de elevar a temperatura interna (T_i). Ainda, ao comparar as situações de 25 e 45ºC, sem aquecimento prévio, também foi encontrada uma redução no $VO_{2máx}$ (~9%). Assim como Nybo et al. (2001), que encontraram uma redução no $VO_{2máx}$ quando os indivíduos eram pré-aquecidos (+1ºC na T_i), Arngrimsson et al. (2004) relataram que o $VO_{2máx}$ sofre uma diminuição marcante (acima de 9%), apenas quando tanto a T_i quanto a temperatura da pele (T_p) estão aumentadas. Esses mesmos autores encontraram que a redução no $VO_{2máx}$ em condições hipertérmicas é fortemente relacionada a uma diminuição no tempo de exercício.

Smolander et al. (1986) reportaram uma maior FC pré-exercício (81 ± 5 bpm) no ambiente quente (40ºC) quando comparada ao ambiente termoneutro (25ºC) (69 ± 3 bpm). Durante o exercício no ambiente quente a FC foi constantemente maior, exceto nos dois últimos estágios, evidenciando que talvez a $FC_{máx}$ possa não ser alterada em ambiente quente. Sawka et al. (1985) encontraram maiores valores de $FC_{máx}$ em um exercício progressivo máximo no ambiente quente quando comparado ao ambiente termoneutro. Essa diferença também foi encontrada pelo estudo de Nybo et al. (2001), quando estes compararam indivíduos em condições normotérmicas e hipertérmicas.

Vários esportes são praticados em condições ambientais adversas, como no calor. Frequentemente, testes de campo são utilizados para a mensuração do $VO_{2máx}$ e da $FC_{máx}$, que são variáveis utilizadas na prescrição de treinamentos para diversas modalidades esportivas. Desta forma, torna-se importante verificar a influência do ambiente no comportamento dessas variáveis para auxiliar os profissionais da Educação Física na prescrição e controle de treinamentos.

Além disso, a maioria dos estudos que verificaram a resposta do VO_2 e da FC durante exercício progressivo em diferentes ambientes, com exceção do estudo de Arngrimsson et al. (2004), datam de mais de 20 anos atrás.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo principal comparar o consumo máximo de oxigênio e a frequência cardíaca máxima de indivíduos fisicamente ativos, durante a realização de um exercício progressivo máximo em cicloergômetro, em dois ambientes diferentes: quente e temperado.

Um objetivo secundário foi verificar se o protocolo de exercício progressivo proposto para as comparações entre os dois ambientes estudados proporcionava um $VO_{2máx}$ semelhante ao obtido em um teste proposto pelo Colégio Americano de Medicina do Esporte (ACSM, 1996).

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP 355/05). Todos os voluntários assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

após as explicações. A amostra foi composta por nove homens saudáveis, fisicamente ativos, cujas características estão descritas na Tabela 1. O percentual de gordura foi avaliado de acordo com o protocolo de Jackson e Pollock (1978)

Tabela 1. Características da amostra. Valores apresentados como média ± desvio padrão.

n	Idade (anos)	Massa Corporal (kg)	Estatura (cm)	%Gordura
9	24,22 ± 2,49	74,99 ± 7,40	178,72 ± 3,95	13,60 ± 5,76

Os indivíduos realizaram três exercícios progressivos máximos em cicloergômetro (Monark, Ergomedic 824-E, Suécia). O primeiro foi um exercício progressivo máximo (P_{ACSM}) em ambiente temperado (22 ± 1ºC e 61 ± 8% URA) para a determinação do $VO_{2máx}$ (ACSM, 1996) e foi utilizado como critério de inclusão na pesquisa. Posteriormente, foram realizados outros dois exercícios progressivos máximos em uma câmara ambiental (Russells Inc.®, WMF-1150-5, USA) em duas situações experimentais: quente (temperatura seca de 40°C) ($P_{40ºC}$) e temperado (temperatura seca de 22°C) ($P_{22ºC}$), ambas a 50%URA. Os voluntários permaneciam em média 20 minutos em repouso no local onde foram realizados os testes. A ordem de realização desses dois testes foi aleatória. O intervalo mínimo e máximo entre os três testes foi de cinco e quatorze dias, respectivamente, sendo estes realizados sempre no mesmo horário do dia.

Os voluntários foram instruídos a não ingerir bebida alcoólica ou bebida contendo cafeína e nem realizar atividade física vigorosa 24 horas antes do experimento. Também foi requisitado que os voluntários ingerissem 500 mL de água duas horas antes do experimento para garantir que iniciariam os testes hidratados (ACSM, 1996).

O primeiro exercício progressivo máximo (P_{ACSM}) iniciou com uma intensidade correspondente a 50W e teve acréscimo de 25W a cada 2 minutos até a fadiga (ACSM, 1996). A cadência foi de 50rpm. Os outros dois exercícios progressivos máximos ($P_{22ºC}$ e $P_{40ºC}$) foram realizados em uma câmara ambiental, sendo iniciados com uma intensidade correspondente a 60W com acréscimo de 15W, a cada três minutos, mantendo-se uma cadência de 60rpm, até a fadiga. A potência pico (W_{pico}) foi calculada de acordo com a equação proposta por Kuipers et al. (1985). Os critérios para interrupção dos testes foram: 1) Percepção Subjetiva de Esforço (PSE) igual a 20; 2) FC maior que 90% da $FC_{máx}$ estimada pela idade (220 – idade); e/ou 3) o voluntário interrompesse espontaneamente o teste.

Em todos os testes, as variáveis ergoespirométricas foram medidas diretamente (espirometria de circuito aberto), a cada respiração (breath-by-breath), utilizando-se um analisador de gases (BIOPAC Systems®, GasSys2, EUA; precisão de ±1% para O_2 e ±3% para CO_2) calibrado vinte minutos antes do início dos testes. O analisador de gases permanecia do lado externo da câmara ambiental e era calibrado no mesmo local de realização dos testes.

Amostras de sangue (25 µL) foram coletadas do lobo da orelha com a utilização de capilares heparinizados, e foram imediatamente armazenadas em tubos de Ependorff contendo 50 µL NaF (1%) 10 minutos antes do início do exercício (repouso), durante os 15 segundos finais cada estágio, e nos minutos 1, 3, 5 e 10 pós exercício, para posterior dosagem da lactatemia (Yellow Springs®, YSI 2300 STAT, EUA). A concentração máxima de lactato ($La_{máx}$) foi considerada a maior concentração de lactato encontrado durante o teste.

Durante a realização dos exercícios progressivos, a temperatura retal (T_r) foi monitorada continuamente, sendo considerada um indicador da T_i. A mesma foi medida por meio de uma sonda retal descartável (Yellow Springs®, 4491-E, EUA) inserida cerca de 12 centímetros além do esfíncter anal. A T_p também foi monitorada continuamente e medida através de um termosensor de pele (Yellow Springs®, 409B, EUA). Ambas foram monitoradas através de um teletermômetro digital (Yellow Springs®, 4000A, EUA) e registradas a cada minuto. As T_i e T_p iniciais, foram consideradas como a média dos últimos cinco minutos antes do início do exercício e as temperaturas finais aquelas correspondentes ao último minuto de exercício.

A frequência cardíaca foi mensurada continuamente durante as situações experimentais, utilizando-se um cardiofrequencímetro (Polar Electro Oy®, S810i, Finlândia). A FC inicial ($FC_{inicial}$) foi considerada como a média da FC registrada nos cinco minutos anteriores ao início do teste e a $FC_{máx}$ como a maior FC registrada durante o teste. A PSE foi avaliada ao final de cada estágio utilizando-se a escala de Borg (1982).

Os voluntários foram orientados a urinar em um béquer antes e após cada teste para avaliar o estado de hidratação (ARMSTRONG, 2000). A densidade urinária foi medida através de um refratômetro (INLAB, Uridens, Brasil) devidamente calibrado. O percentual de desidratação foi calculado pela diferença entre a massa corporal pré e pós-exercício.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados estão apresentados como média e desvio padrão. Foi utilizada uma análise de variância (ANOVA) *one-way* com medidas repetidas seguida do teste *post-hoc* de Tukey quando necessário. As T_r e T_p foram comparadas utilizando o Teste t de Student pareado. Em todos os testes foi adotado um nível de significância de 5% (P<0,05).

RESULTADOS

Os resultados do presente estudo estão apresentados na Tabela 2. Todas as variáveis foram estudadas em nove indivíduos, exceto $VO_{2máx}$, ventilação máxima ($VE_{máx}$) e $T_{r\text{-}inicial}$ no $P_{40ºC}$ (n=8) e a $T_{p\text{-}inicial}$ e $T_{p\text{-}final}$ no $P_{40ºC}$ (n=7).

Tabela 2. Consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$), ventilação máxima ($VE_{máx}$), frequência respiratória máxima ($FR_{máx}$), potência pico (W_{pico}), tempo total de exercício (TTE), frequência cardíaca inicial ($FC_{inicial}$), concentração de lactato sanguíneo em repouso e máxima (La_{rep} e $La_{máx}$) e desidratação nas três situações avaliadas. Valores apresentados como média ± desvio padrão.

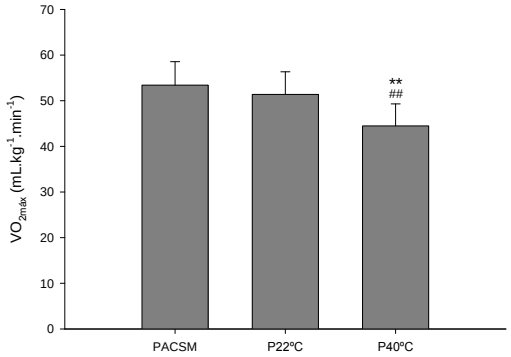
Variáveis	P_{ACSM}			$P_{22ºC}$			$P_{40ºC}$		
$VO_{2máx}$ ($L•min^{-1}$)	3,99	±	0,40	3,83	±	0,32	3,27	±	0,42** ##
$VE_{máx}$ ($L•min^{-1}$)	95,46	±	15,75	91,23	±	10,83	78,01	±	6,81** #
$FR_{máx}$ ($respirações•min^{-1}$)	51	±	8	50	±	8	47	±	9
W_{pico} (W)	258	±	26	225	±	28*	195	±	25** ##
TTE (min)	19,07	±	1,89	36,15	±	5,62*	30,12	±	4,90** ##
$FC_{inicial}$ (bpm)	70	±	9	69	±	13	80	±	11** ##
La_{rep} ($mmol•L^{-1}$)	1,11	±	0,27	1,19	±	0,16	1,04	±	0,24
$La_{máx}$ ($mmol•L^{-1}$)	9,52	±	1,74	9,13	±	1,32	7,57	±	0,99** #
Desidratação (%)	0,33	±	0,09	0,61	±	0,16*	1,18	±	0,39** ##

*P<0,05 e **P<0,01 em relação a P_{ACSM}; #P<0,05 e ##P<0,01 em relação a $P_{22ºC}$.

Todos os voluntários reportaram PSE maior ou igual a 19 e atingiram uma $FC_{máx}$ maior que 90% da $FC_{máx}$ estimada pela idade (220 – idade) em todos os testes. Isso evidencia que um esforço máximo foi realizado pelos voluntários.

Como pode ser visto na figura 1, o $VO_{2máx}$ relativo à massa corporal foi menor na situação $P_{40ºC}$ (44,48 ± 4,82 $mL•kg^{-1}•min^{-1}$) quando comparado às situações P_{ACSM} e $P_{22ºC}$ (51,38 ± 4,95 e 53,41 ± 5,15 $mL•kg^{-1}•min^{-1}$, respectivamente; P<0,01).

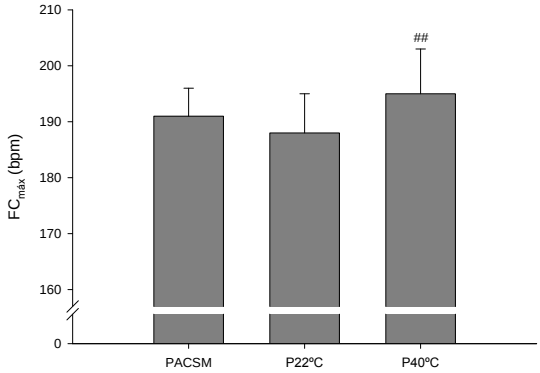
Figura 1. Resultados das comparações do $VO_{2máx}$ relativo.



##P<0,01 em relação a $P_{22ºC}$; **P<0,01 em relação a P_{ACSM}.

A Figura 2 apresenta os resultados de $FC_{máx}$. Esta foi maior na situação $P_{40ºC}$ (195 ± 8 bpm) quando comparada a $P_{22ºC}$ (188 ± 7 bpm; P<0,01), mas não foi diferente em relação a P_{ACSM} (191 ± 5 bpm; P=0,057).

Figura 2. Resultados das comparações da $FC_{máx}$.



##P<0,01 em relação a $P_{22ºC}$.

A T_r e a T_p foram medidas apenas nas situações $P_{22ºC}$ e $P_{40ºC}$. Como pode ser observado na Tabela 3, não houve diferença entre as T_r inicial e final entre as situações, no entanto as T_p inicial e final foram maiores no $P_{40ºC}$.

Tabela 3. Temperatura retal inicial e final ($T_{r\text{-}inicial}$ e $T_{r\text{-}final}$) e temperatura de pele inicial e final ($T_{p\text{-}inicial}$ e $T_{p\text{-}final}$) nas duas situações analisadas. Resultados apresentados como média ± desvio padrão.

Temperaturas	$P_{22ºC}$			$P_{40ºC}$		
$T_{r\text{-}inicial}$ (ºC)	37,10	±	0,18	37,01	±	0,20
$T_{r\text{-}final}$ (ºC)	37,76	±	0,22	37,91	±	0,28
$T_{p\text{-}inicial}$ (ºC)	31,98	±	1,15	36,70	±	0,82##
$T_{p\text{-}final}$ (ºC)	35,44	±	1,35	38,54	±	0,91##

##P<0,01 em relação a $P_{22ºC}$.

DISCUSSÃO

O principal achado do presente estudo foi que o estresse térmico imposto pelo ambiente quente reduz o $VO_{2máx}$ em relação àquele obtido em um ambiente temperado. Vários autores já registraram uma redução no $VO_{2máx}$ alcançado no calor (ROWELL et al., 1969; TAYLOR et al., 1955; KLAUSEN et al., 1967; SAWKA et al., 1985; SMOLANDER et al., 1986; ARNGRIMSSON et al., 2004). No entanto, alguns autores (WILLIAMS et al., 1962; ROWELL et al., 1965; ROWELL et al., 1966) não observaram esta alteração.

No estudo de Sawka et al. (1985), houve uma diminuição de 8% no $VO_{2máx}$ no calor, em um exercício máximo realizado em esteira com soldados americanos. Smolander et al. (1986), observaram uma redução de 5% no $VO_{2máx}$ durante a realização de um teste máximo no calor. Assim como no presente estudo, em ambos os estudos citados anteriormente, os voluntários permaneciam cerca de 20 minutos em repouso na temperatura ambiente do teste a ser realizado, antes do mesmo iniciar.

A diminuição do $VO_{2máx}$ no calor (13%), encontrada no presente estudo, mostrou-se semelhante ou menor àquelas encontradas em estudos que empregaram um protocolo de pré-aquecimento induzido pelo exercício. Rowell et al. (1969) encontraram reduções de 10-14% no $VO_{2máx}$ em relação àquele obtido em ambiente termoneutro em dois indivíduos pré-aquecidos. Pirnay et al. (1970) observaram uma diminuição de 25% no $VO_{2máx}$ no calor (46ºC) após 20 minutos de exercício de baixa intensidade que elevou a T_i. Em outro grupo de voluntários, o $VO_{2máx}$ reduziu apenas 7%, na mesma temperatura, sem o protocolo de pré-aquecimento. Arngrimsson et al. (2004) utilizaram pré-aquecimento ativo (20 minutos de caminhada a ~33%$VO_{2máx}$) ou pré-aquecimento passivo (até que a T_i atingisse os valores encontrados no pré-aquecimento ativo), e encontraram uma redução de 17-19% no $VO_{2máx}$.

No presente estudo a $T_{r\text{-}inicial}$ e $T_{r\text{-}final}$ não foram diferentes nos dois ambientes estudados. Arngrimsson et al. (2004) afirmam que T_i e T_p aumentadas causam uma diminuição no $VO_{2máx}$. Além disso, eles argumentam que a T_p final elevada, por si só, não é suficiente para causar uma considerável redução no $VO_{2máx}$. Ao compararem o $VO_{2máx}$ em temperaturas ambientais de 25ºC e 45ºC (50%URA) sem pré-aquecimento, eles observaram uma redução de ~9% no ambiente quente, juntamente com um aumento significativo da T_i final. No entanto, nossos resultados mostram que mesmo sem uma elevação significativa na T_i final, o $VO_{2máx}$ foi reduzido em aproximadamente 13% no calor (40ºC). Isso pode significar que a redução do $VO_{2máx}$ no calor pode não ser dependente somente de um aumento da temperatura interna. Esse resultado corrobora com os achados de Rowell et al. (1969) que não encontraram relação entre o aumento da T_r e a diminuição do $VO_{2máx}$ em ambiente quente, mesmo considerando que a T_r possui um atraso em relação à T_i medida por um termômetro esofagiano (ROWELL et al., 1969). No entanto, Sawka et al. (1985) alertam para o fato de que se os sujeitos tivessem ficado mais de 20 minutos em repouso no calor antes da realização do exercício, aumentos na T_i poderiam produzir uma maior diminuição no $VO_{2máx}$, o que está de acordo com os achados de Arngrimsson et al. (2004).

Diferentemente da comparação entre P_{ACSM} e $P_{22ºC}$, na qual os protocolos resultaram em $VO_{2máx}$ semelhantes, apesar de W_{pico} diferentes, o $VO_{2máx}$ e a W_{pico} foram menores no $P_{40ºC}$ quando comparados ao $P_{22ºC}$. Esse resultado está de acordo com o observado por Arngrimsson et al. (2004), mas difere dos achados de Sawka et al. (1985), no qual a W_{pico} não foi diferente entre o calor e o ambiente temperado.

Os resultados da $VE_{máx}$ e do $La_{máx}$, que foram menores no calor, corroboram os achados de Wingo et al. (2005) e reforçam a ideia de que o $VO_{2máx}$ foi reduzido no calor porque os indivíduos não conseguiram desenvolver uma W_{pico} semelhante nos dois ambientes. No entanto, Smolander et al. (1986) não encontraram diferenças no $La_{máx}$ entre ambientes quente e termoneutro, e argumentam que devido à menor duração de um exercício progressivo máximo, os efeitos do calor podem não ser expressivos para aumentar o $La_{máx}$.

Contudo, alguns estudos recentes têm tentado esclarecer os possíveis mecanismos pelos quais o $VO_{2máx}$ é reduzido no calor (ARNGRIMSSON et al., 2004; WINGO et al., 2005; GONZÁLEZ-ALONSO e CALBET, 2003). Assim como relatado por alguns autores (SAWKA et al., 1985; ARNGRIMSSON et al., 2004), a $FC_{máx}$ no presente estudo foi maior no ambiente quente quando comparada ao ambiente temperado. Uma maior $FC_{máx}$ também foi encontrada no estudo de Nybo et al. (2001) no qual os voluntários realizaram um exercício máximo em condições hipertérmicas (+1ºC na T_i). Alguns estudos (ARNGRIMSSON et al., 2004; WINGO et al., 2005) relatam que a diminuição do $VO_{2máx}$ foi acompanhada por uma diminuição do pulso de O_2 (razão do VO_2 pela FC). Assim, assumindo que a diferença arteriovenosa de oxigênio não foi reduzida (WILLIAMS et al., 1962; ROWELL et al., 1966), essa diminuição no pulso de O_2 reforça uma possível redução do volume sistólico e débito cardíaco (WINGO et al., 2005).

O volume sistólico reduzido no calor pode ser causado por: 1) vasodilatação cutânea e um aumento no volume sanguíneo venoso, reduzindo o volume sanguíneo central, a pressão de enchimento ventricular e volume sistólico (ROWELL et al., 1966); 2) um aumento na desidratação, diminuindo o volume plasmático e também a pressão de enchimento ventricular e volume sistólico (GONZÁLEZ-ALONSO et al., 1995); e 3) um aumento da atividade simpática do sistema nervoso central, causando um aumento da resistência vascular sistêmica e da FC (GONZÁLEZ-ALONSO e CALBET, 2003). A maior $FC_{máx}$ encontrada no ambiente quente poderia reduzir o tempo de enchimento ventricular e diminuir o volume de ejeção sistólico (FRITZSCHE et al.,1999). Pode-se inferir que tenha ocorrido uma vasodilatação cutânea maior no calor, pois a $T_{p\text{-}inicial}$ e $T_{p\text{-}final}$ foram maiores no $P_{40ºC}$ do que no $P_{22ºC}$. Uma T_p aumentada indica que houve um maior desvio do fluxo sanguíneo para a pele.

González-Alonso e Calbet (2003) mostraram que o $VO_{2máx}$ no calor foi menor devido à redução do débito cardíaco e pressão arterial média, ocasionando uma redução do fluxo sanguíneo aos músculos locomotores e, consequentemente, fornecimento de O_2. Além disso, eles mostraram que a diminuição no VO_2 dos músculos ativos antes da fadiga foi associada com a redução no aporte de O_2 sistêmico e muscular. Esses dados sugerem que a redução do desempenho que precede a fadiga com ou sem estresse térmico é fortemente relacionada à incapacidade do coração de manter o débito cardíaco e o fornecimento de O_2 à musculatura locomotora.

Pelos resultados obtidos no presente estudo, concluímos que um exercício progressivo máximo realizado em ambiente quente, o qual desencadeará uma maior sobrecarga no sistema termorregulatório, resultou em uma redução do $VO_{2máx}$, mesmo sem apresentar uma maior T_r. Portanto, recomenda-se que a capacidade aeróbica máxima de um indivíduo seja avaliada em ambiente temperado. Além disso, o $VO_{2máx}$ obtido no $P_{22°C}$ não apresentou diferença em relação àquele obtido no protocolo proposto pelo ACSM.

Do mesmo modo, deve-se ter cuidado ao utilizar a $FC_{máx}$ obtida em um ambiente quente como indicador da intensidade máxima de esforço para controle de treinamentos. Tendo em vista que, caso a $FC_{máx}$ no ambiente quente seja maior do que aquela obtida no ambiente temperado, a intensidade média de uma atividade neste ambiente, determinada enquanto $\%FC_{máx}$, será subestimada. Isto poderia acarretar um erro na prescrição da carga de treinamento do atleta. Portanto, recomenda-se o monitoramento das condições ambientais na realização de testes e também durante os treinamentos.

REFERÊNCIAS

American College of Sports Medicine (ACSM). Position Stand – Exercise and fluid replacement. **Medicine and Science in Sports and Exercise, vol.28 n.1,** p. i-vii, 1996

ARMSTRONG, L.E. **Performing in Extreme Environments.** USA: Human Kinetics Publishers: 333, 2000.

ARNGRIMSSON, S.A.; PETITT, D.S.; BORRANI, F.; SKINNER, K.A.; CURETON, K.J. Hyperthermia and maximal oxygen uptake in men and women. **European Journal of Applied Physiology, vol.92 n.4-5,** p. 524-532, 2004.

ASTRAND, P-O.; RYHMING, I. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. **Journal of Applied Physiology, vol.7 n.2,** p. 218-221, 1954.

BASSETT, JR. D.R.; HOWLEY, E.T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise, vol.32 n.1,** p. 70-84, 2000.

BORG, G. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise, vol.14 n.5,** p. 377-381, 1982.

BOUDET, G.; GARET, M.; BEDU, M.; ALBUISSON, E.; CHAMOUX, A. Median maximal heart rate for calibration in different conditions: Laboratory, Field and Competition. **International Journal of Sports Medicine, vol. 23 n.4,** p. 290-297, 2002.

CONDESSA, L.A.; MORTIMER, L.A.; COELHO, D.B.; SILAMI-GARCIA, E. Comparação da frequência cardíaca máxima obtida em três diferentes situações. **In FIEP bulletin** 76: 67-70. (2006).

ENGELS, H.J.; ZHU, W.; MOFFAT, R.J. An empirical evaluation of prediction of maximal heart rate. **Research Quarterly for Exercise and Sport, vol.69 n.1,** p. 94-8, 1998.

FRITZSCHE, G.F.; SWITZER, T.W.; HODGKINSON, B.J.; COYLE, E.F. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. **Journal of Applied Physiology, vol.86 n.3,** p. 799-805, 1999.

GONZÁLEZ-ALONSO, J.; CALBET, J.A. Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. **Circulation, vol.107 n.6,** p.824-30, 2003.

GONZÁLEZ-ALONSO, J.; MORA-RODRÍGUEZ, R.; BELOW, P.R.; COYLE, E.F. Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance. **Journal of Applied Physiology, vol.79 n.5,** p. 1487-1496, 1995.

HAWKINS, S.A.; MARCELL, T.J.; JAQUE, V.; WISWEL, R.A. A longitudinal assessment of change in VO_{2max} and maximal heart rate in master athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise, vol.33 n.10,** p. 1744-1750, 2001.

JACKSON, A.S.; POLLOCK, M.L. Generalized equations for predicting body density of men. **The British Journal of Nutrition, vol.40 n.3,** p. 497-504, 1978.

KLAUSEN, K.; DILL, D.B.; PHILLIPS, JR. E.E.; MCGREGOR, D. Metabolic reactions to work in the desert. **Journal of Applied Physiology, vol.22 n.2,** p. 292-6, 1967.

KUIPERS, H.; VERSTAPPEN, F.T.J.; KEIZER, H.; GEURTEN, P.; VAN KRANENBURG, G. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiological correlates. **International Journal of Sports Medicine, vol.6 n.4,** p. 197-201, 1985.

LONDEREE, B.R.; THOMAS, R.T.; ZIOGAS, G.; SMITH, T.D.; ZIOAS, G. %VO2max versus %HRmax regression for six modes of exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise, vol.27 n.3,** p. 458-61, 1995.

MACDOUGALL, J.D.; REDDAN, W.G.; LAYTON, C.R.; DEMPSEY, J.A. Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. **Journal of Applied Physiology, vol.36 n.5,** p. 538-44, 1974.

MCARDLE, W.W.; KATCH, R.I.; KATCH, V.L. **Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano**. Quinta Edição. Editora Guanabara Koogan, 2003.

MOON, J.K.; BUTTE, N.F. Combined heart rate and activity improve estimates of oxygen consumption and carbon dioxide production rates. **Journal of Applied Physiology, vol.81 n.4,** p. 1754-61, 1996.

NIELSEN, B.; HALES, J.R.; STRANGE, S.; JUEL-CHRISTENSEN, N.; WARBERG, J.; SALTIN, B. Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. **The Journal of Physiology, vol.460 n.1,** p. 467-85, 1993.

NYBO, L.; JENSEN, T.; NIELSEN, B.; GONZÁLEZ-ALONSO, J. Effects of marked hyperthermia with and without dehydration on VO_2 kinetics during intense exercise. **Journal of Applied Physiology, vol.90, n.3,** p. 1057-1064, 2001.

PIRNAY, F.; DEROANNE, R.; PETIT, J.M. Maximal oxygen consumption in a hot environment. **Journal of Applied Physiology, vol.28 n.5,** p. 642-5, 1970.

ROWELL, L.B.; BLACKMON, J.R.; MARTIN, R.H.; MAZZARELLA, J.A.; BRUCE, R.A. Hepatic clearance of indocyanine green in man under thermal and exercise stresses. **Journal of Applied Physiology, vol.20 n.3,** p. 384-94, 1965.

ROWELL, L.B.; BRENGELMANN, G.L.; MURRAY, J.A.; KRANING, K.K.; KUSUMI, F. Human metabolic responses to hyperthermia during mild to maximal exercise. **Journal of Applied Physiology, vol.26 n.4,** p. 395-402, 1969.

ROWELL, L.B.; MARX, H.J.; BRUCE, R.A.; CONN, R.D.; KUSUMI, F. Reductions in Cardiac Output, Central Blood Volume, and Stroke Volume with Thermal Stress in Normal Men during Exercise. **Journal of Clinical Investigation, vol.45 n.11,** p. 1801–1816, 1966.

SAWKA, M.N.; YOUNG, A.J.; CADARETTE, B.S.; LEVINE, L.; PANDOLF, K.B. Influence of heat stress and acclimation on maximal aerobic power. **European Journal of Applied Physiology, vol.53 n.4,** p. 294-8, 1985.

SMOLANDER, J.; KOLARI, P.; KORHONEN, O.; ILMARINEN, R.. Aerobic and anaerobic responses to incremental exercise in a thermoneutral and a hot dry environment. **Acta physiologica Scandinavica, vol.128 n.1,** p. 15-21, 1986.

TANAKA, H.; MONAHAN, K.D.; SEALS, D.R. Age-Predicted Maximal Heart Rate Revisited. **Journal of the American College of Cardiology, vol.37 n.1,** p.153-156, 2001.

TAYLOR, H.L.; BUSKIRK, E.; HENSCHEL, A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. **Journal of Applied Physiology, vol.8 n.1,** p. 73-80, 1955.

VANHEES, L.; LEFEVRE, J.; PHILIPPAERTS, R.; MARTENS, M.; HUYGENS, W.; TROOSTERS, T.; BEUNEN, G. How to assess physical activity? How to assess physical fitness? **European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation, vol.12 n.2,** p. 102-114, 2005.

WILLIAMS, C.G.; BREDELL, G.A.; WYNDHAM, C.H.; STYDOM, N.T.; MORRISON, J.F.; PETER, J.; FLEMING, P.W.; WARD, J.S. Circulatory and metabolic reactions to work in heat. **Journal of Applied Physiology, vol.17 n.4,** p. 625-38, 1962.

WINGO, J.E.; LAFRENZ, A.J.; GANIO, M.S.; EDWARDS, G.L.; CURETON, K.J.; Cardiovascular drift is related to reduced maximal oxygen uptake during heat stress. **Medicine and Science in Sports and Exercise, vol.37 n2,** p. 248-255, 2005.

Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFISE), Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Apoio Financeiro: CAPES, CNPq, FAPEMIG e Ministério do Esporte.

Prof. Dr. Emerson Silami Garcia
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional – Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Presidente Carlos Luz, 4664 - Pampulha - CEP 31310-250
Belo Horizonte, MG – Brasil
Telefone: 55 31 34992350 / Tel-Fax: 55 11 34992325 silami@ufmg.br