

MATHEUS AUGUSTO SANTOS SILVA

**ALTERAÇÕES DAS TEMPERATURAS ABDOMINAL E DA PELE DA
CAUDA DE RATOS INDUZIDAS POR TRÊS DIFERENTES EXERCÍCIOS
FÍSICOS PROGRESSIVOS**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional / UFMG

2016

Matheus Augusto Santos Silva

**ALTERAÇÕES DAS TEMPERATURAS ABDOMINAL E DA PELE DA
CAUDA DE RATOS INDUZIDAS POR TRÊS DIFERENTES EXERCÍCIOS
FÍSICOS PROGRESSIVOS**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Educação Física da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como pré-requisito para obtenção do título de Licenciado em Educação Física.

Orientador: Dr. Samuel Penna Wanner

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional /UFMG
2016

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	OBJETIVOS	8
2.1	Objetivo geral	8
2.2	Objetivo específico	8
3	MATERIAIS E MÉTODOS	9
3.1	Cuidados éticos	9
3.2	Animais	9
3.3	Delineamento experimental	9
3.4	Implante do sensor de temperatura	10
3.5	Familiarização	11
3.6	Exercício físico e determinação da fadiga	11
3.7	Eutanásia	12
3.8	Variáveis	12
3.8.1	Variáveis medidas	12
3.8.1.1	Massa corporal	12
3.8.1.2	Temperatura abdominal	12
3.8.1.3	Temperatura da cauda	13
3.8.1.4	Temperatura ambiente	13
3.8.2	Variáveis calculadas	13
3.8.2.1	Velocidade máxima	13
3.8.2.2	Análise estatística	14
4	RESULTADOS	15
5	DISCUSSÃO	21
6	CONCLUSÃO	24
	REFÊRENCIAS	25

RESUMO

O exercício físico promove o aumento da temperatura corporal interna (T_{INT}) de animais homeotérmicos de maneira proporcional à intensidade e duração do esforço físico. A hipótese investigada no presente estudo foi que diferentes relações entre a intensidade e a duração do esforço físico, induzidas por diferentes protocolos de exercícios progressivos, podem promover modificações diferentes na T_{INT} e na dissipação cutânea de calor de ratos. Portanto, este estudo tem como objetivo comparar as alterações da T_{INT} (abdominal) e da pele da cauda de ratos induzidas por três diferentes protocolos de exercícios físicos progressivos. Ratos adultos Wistar ($n = 7$) foram familiarizados ao exercício em esteira rolante por 5 dias consecutivos (sessões de 10 min). Posteriormente, os animais foram submetidos a 3 protocolos de exercício progressivo: P1) aumentos de 1 m/min a cada 3 min; P2) aumentos de 1 m/min a cada 1 min; P3) aumentos de 3 m/min a cada 3 min. O critério para determinar a fadiga foi a permanência dos animais por 10 s na grade de estímulo elétrico. Os ratos foram eutanasiados, após realizarem o terceiro exercício progressivo. Todos os procedimentos experimentais realizados foram aprovados pela CEUA da UFMG (protocolo 269/2013). Ao realizarem o P1, os animais correram por mais tempo em comparação com P2 e P3 (**P1** . $55,4 \pm 12,3$ min vs. **P2** $22,9 \pm 4,9$ min . vs. **P3** . $23,3 \pm 7,1$ min; $p < 0,001$). No entanto, os ratos atingiram menor velocidade máxima no protocolo 1 em comparação apenas com o protocolo 2, mas sem diferença em relação ao protocolo 3 (**P1** . $26,6 \pm 4,1$ m/min vs. **P2** $33,1 \pm 4,9$ m/min . vs. **P3** . $30,3 \pm 7,1$ m/min; $p < 0,05$). As temperaturas iniciais (abdominal, da cauda e ambiente) foram semelhantes nos três protocolos e apenas a temperatura abdominal final foi maior no protocolo 1 em comparação com o protocolo 3 (**P1** . $39,45 \pm 0,59$ °C vs. **P2** $38,95 \pm 0,70$ °C . vs. **P3** . $38,71 \pm 0,80$ °C; $p < 0,05$). Em contraste, não foram observadas diferenças significativas na temperatura da cauda final dos ratos entre os três protocolos de exercício progressivo. Concluímos que os ratos apresentaram maior tempo total de exercício, mas menores velocidades máximas, ao realizarem o protocolo 1 (aumento mais lento da intensidade) em comparação com os protocolos 2 e 3 (aumento mais rápido da intensidade). Além disso, a T_{INT} dos ratos ao final do exercício foi maior no protocolo 1 em relação ao protocolo 3, sugerindo que maiores durações do exercício progressivo promovem maiores aumentos da temperatura abdominal.

Palavras-chave: Desempenho físico. Dissipação de calor. Termorregulação. Vasodilatação cutânea.

1 INTRODUÇÃO

A termorregulação pode ser definida como os processos fisiológicos que possibilitam o controle preciso da temperatura corporal interna (T_{INT}) ao longo da vida de um animal. A termorregulação busca o equilíbrio entre as taxas de produção metabólica de calor e as taxas de dissipação de calor do corpo para o ambiente, por meio da ativação / inibição de respostas efetoras autonômicas e comportamentais (GORDON, 1993). Essas respostas efetoras variam de acordo com o ambiente em que o animal se encontra (GORDON, 1990), sendo que, além da temperatura ambiente, a velocidade do vento e a umidade relativa do ar também influenciam a termorregulação dos animais.

Os mamíferos e as aves são considerados animais endotérmicos, uma vez que produzem energia térmica (calor) endogenamente a partir do metabolismo corporal. Em contraste, existem os animais ectotérmicos que não possuem uma taxa metabólica elevada e que dependem principalmente do ambiente como fonte de calor (ROMANOVSKY, 2007). Os animais endotérmicos geralmente também são classificados como animais homeotérmicos, uma vez que conseguem manter a sua T_{INT} em uma faixa estreita de variação, independente de variações na temperatura ambiente. Já os animais endotérmicos são classificados como animais pecilotérmicos, uma vez que apenas utilizam mecanismos comportamentais para trocarem calor com o ambiente e, portanto, a sua T_{INT} varia bastante em função de alterações na temperatura ambiente. O presente estudo investigará as respostas termorregulatórias de ratos, uma espécie animal classificada como endotérmica e homeotérmica.

Em ambientes frios, a perda de calor para o ambiente está facilitada e o mecanismo homeostático inclui respostas autonômicas que reduzem a perda de calor corporal, como a vasoconstrição cutânea e piloereção, além de respostas autonômicas que aumentam a produção metabólica de calor, como a termogênese não induzida pelo tremor no tecido adiposo marrom, termogênese induzida pelo tremor nos músculos esqueléticos e taquicardia (NAKAMURA e MORRISON, 2011). Em ambientes quentes, a dissipação de calor está dificultada e os animais tendem a ganhar calor a partir do ambiente; portanto, os mecanismos para a manutenção da temperatura interna incluem respostas

termorregulatórias autonômicas que estimulam a perda de calor, como a vasodilatação cutânea e o resfriamento corporal através da evaporação do suor ou da saliva espalhada pelo corpo ou através da respiração ofegante. Esses mecanismos de dissipação de calor são empregados em diferentes níveis em diferentes espécies (MORRISON e NAKAMURA, 2011).

O exercício físico promove o aumento da T_{INT} de animais homeotérmicos de maneira proporcional à intensidade e duração do exercício (HARRY *et al.*, 1982; GALLOWAY & MAUGHAN, 1997; WANNER *et al.*, 2015). Durante a realização de esforços físicos, o controle da dissipação de calor é considerado fundamental para manutenção da homeostasia térmica (WEBB, 1995). O principal mecanismo de dissipação de calor durante o exercício físico em ratos é a vasodilatação dos vasos sanguíneos da cauda, uma vez que os ratos são incapazes de espalhar saliva sobre as suas superfícies corporais enquanto estão correndo (WILSON *et al.*, 1978). A cauda do rato representa 7% da sua área de superfície corporal total (GORDON, 1990) e possui características que favorecem a troca de calor com o ambiente: é um tecido altamente vascularizado, livre de pelos, possui elevada razão entre área de superfície/volume, densa rede de vasos sanguíneos e presença de anastomoses arteriovenosas (ROMANOVSKY *et al.*, 2002). A cauda dos ratos é responsável pela dissipação de 25% de calor metabólico em situações de repouso e de 40% durante o exercício físico (YOUNG & DAWSON, 1982).

O controle da homeostase térmica durante o exercício físico é um importante fator que determina o processo de fadiga, uma vez que taxas elevadas de aumento da T_{INT} podem ser consideradas um fator limitante do desempenho físico aeróbico de ratos (RODRIGUES *et al.*, 2003; KUNSTETTER *et al.*, 2014). É importante ressaltar que, durante o exercício físico, pode existir uma competição por fluxo sanguíneo entre os diferentes leitos vasculares, o que sobrecarregaria o sistema cardiovascular. Especificamente, a competição pelo fluxo sanguíneo pode ocorrer os vasos sanguíneos próximos a pele que aumentaram o fluxo sanguíneo para a dissipação de calor e os músculos em contração que precisam receber sangue para receber oxigênio e substratos energéticos e para remoção dos produtos do metabolismo (GONZALEZ-ALONSO *et al.*, 2008).

Assim, a hipótese investigada no presente estudo foi que diferentes relações entre a intensidade e a duração do esforço físico, induzidas por diferentes protocolos de exercícios progressivos, podem promover modificações diferentes na T_{INT} e na dissipação cutânea de calor dos animais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar as respostas termorregulatórias e o desempenho físico de ratos submetidos a três diferentes exercícios progressivos.

2.2 Objetivo específico

Analisar as seguintes respostas termorregulatórias de ratos submetidos a três diferentes exercícios progressivos:

- Temperatura corporal interna;
- Temperatura da pele da cauda;

Analisar os seguintes parâmetros de desempenho físico de ratos submetidos a três exercícios progressivos diferentes:

- Tempo total de exercício até a falha momentânea;
- Velocidade máxima de corrida alcançada pelos ratos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Cuidados éticos

Todos os procedimentos experimentais realizados neste estudo foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFMG . protocolo 269/2013.

3.2 Animais

Foram utilizados ratos Wistar adultos ($n = 7$), com massa corporal inicial de 294 ± 19 g (média \pm EPM), provenientes do Centro de Bioterismo do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG. Os animais foram mantidos em uma sala com temperatura seca controlada em $24 \pm 2^\circ\text{C}$, sob um ciclo claro-escuro de 14/10 horas e tiveram acesso livre à água e ração granulada (Nuvilab CR1, SP, Brasil). Antes da cirurgia para o implante do sensor de temperatura abdominal, os ratos foram mantidos em gaiolas coletivas, sendo quatro animais por caixa. Após a cirurgia, os ratos foram mantidos em gaiolas individuais de polipropileno. As caixas e as gaiolas individuais foram limpas a cada três dias.

3.3 Delineamento experimental

A Figura 1 apresenta o delineamento experimental deste estudo. Inicialmente, foi realizada a cirurgia para implante do sensor de temperatura na cavidade abdominal dos ratos. Os animais tiveram dois dias para se recuperarem da cirurgia e então foram familiarizados a correr em uma esteira rolante com estímulo elétrico, durante 5 dias diferentes (as sessões consistiram de 5 min de repouso e 5 min de corrida), com aumentos gradativos na velocidade de corrida ao longo dos 5 dias. Terminado o período de familiarização, os ratos foram submetidos aleatoriamente de forma balanceada a três testes progressivos experimentais distintos, citados abaixo:

- Protocolo 1 . Exercício progressivo com aumento de 1 m/min na velocidade a cada 3 min (PRÍMOLA-GOMES *et al.*, 2009).
- Protocolo 2 - Exercício progressivo com aumento de 1 m/min na velocidade a cada 1 min (LIMA, 2000).
- Protocolo 3 - Exercício progressivo com aumento de 3 m/min na velocidade a cada 3 min (ZANCHI *et al.*, 2006).

As três situações foram realizadas sempre no mesmo período do dia e, após o último protocolo de exercício físico, os animais foram eutanasiados.

Figura 1. Linha do tempo que descreve o delineamento experimental.



3.4 Implante do sensor de temperatura

Previamente ao protocolo de familiarização e à realização dos exercícios progressivos, os ratos foram submetidos à cirurgia para implante do sensor de temperatura abdominal (G2 E-Mitter, Starr Life Sciences Corp., EUA). Os animais foram anestesiados com uma mistura de ketamina (80 mg/kg de massa corporal, i.p) e Xilazina (10,5 mg/kg, i.p). Imediatamente após a indução da anestesia, os animais receberam 0,1 mL de analgésico (Banamine, 1,1 mg/kg, via subcutânea) no dorso e uma dose profilática de 0,2 mL de antibiótico (48000 UI . Pentabiótico Veterinário Pequeno Porte, via intramuscular), sendo 0,1 mL em cada pata traseira. Para possibilitar o acesso ao abdome do rato, uma incisão ventral de aproximadamente 2 cm foi realizada sobre a pele, seguida de outra incisão sobre a linha alba do

músculo reto abdominal. O sensor foi então inserido, fixado por meio de suturas à parede esquerda do reto abdominal e, em seguida, o músculo e a pele foram suturados em camadas.

3.5 Familiarização

Os animais foram considerados recuperados do procedimento cirúrgico quando alcançaram a massa corporal pré-operatória. Após a recuperação da cirurgia, os animais foram submetidos a 5 sessões de familiarização à corrida em esteira rolante, realizadas em 5 dias diferentes. Cada sessão consistiu de 5 min de repouso, seguidos de 5 min de corrida com velocidade constante de 10 m/min no 1º dia; 11 m/min . 2º dia; 13 m/min . 3º dia; 14 m/min . 4º dia; 15 m/min . 5º dia. Os objetivos da familiarização foram: selecionar os animais capazes de correr, ensiná-los em qual direção deveriam correr e diminuir a exposição ao estímulo elétrico durante as situações experimentais.

3.6 Exercício físico e determinação da fadiga

Dois dias após o término do protocolo familiarização, os animais foram submetidos aos diferentes exercícios progressivos, cuja ordem foi determinada de forma aleatória e balanceada. Foram realizados os seguintes exercícios: protocolo 1 - aumento de 1 m/min a cada 3 min; protocolo 2 - aumento de 1 m/min a cada 1 min; ou protocolo 3 - aumento de 3 m/min a cada 3 min. Independente do protocolo utilizado, os exercícios progressivos sempre foram iniciados com velocidade de 10 m/min.

Cada exercício progressivo foi iniciado após o registro da massa corporal dos ratos como forma de controlar o seu estado de saúde e de hidratação. Na sequência, um termopar foi afixado sobre a cauda do animal, na porção lateral a 1 cm da base da cauda, com auxílio de esparadrapo. A temperatura ambiente foi controlada na faixa entre 22 °C e 24 °C, por meio de um aparelho de ar condicionado. Os dados de temperatura abdominal, da cauda e ambiente foram registrados a cada minuto em todas as situações experimentais.

O critério para determinar a fadiga e, conseqüentemente, o tempo total de exercício, foi a permanência dos animais sobre a grade de estímulo elétrico por 10 s, evidenciando a incapacidade de manter a intensidade momentânea de exercício. Este critério de determinação da fadiga foi adotado em estudos anteriores do nosso laboratório (LIMA *et al.*, 1998; WANNER *et al.*, 2007). O tempo total do exercício foi medido por meio de um cronômetro com precisão de segundos.

3.7 Eutanásia

Após o último dia de experimento, os animais foram eutanasiados por meio de uma dose letal de anestésico: ketamina (240 mg/kg de massa corporal) e xilazina (31,5 mg/kg). Os anestésicos foram aplicados via intraperitoneal, após o preparo de uma solução única contendo ambos os fármacos.

3.8 Variáveis

3.8.1 Variáveis medidas

3.8.1.1 Massa corporal

A massa corporal dos ratos foi registrada diariamente como uma variável de controle do estado de saúde e de hidratação dos animais (Resource Book for the Design of Animal Exercise Protocols. *American Physiology Society*, 2006).

3.8.1.2 Temperatura abdominal

A temperatura abdominal foi medida por telemetria e utilizada como um índice da temperatura corporal interna. As ondas de rádio emitidas pelo sensor abdominal (G2 E-Mitter, série 4000, Mini-Mitter, OR, EUA) foram captadas por uma placa receptora (ER-4000 energizer/receiver), posicionada próxima à esteira. Os dados

coletados pela placa foram transmitidos para um software que converte os dados de frequência das ondas de rádio em temperatura (Vital View).

3.8.1.3 Temperatura da cauda

A temperatura da pele da cauda foi registrada por meio de um termopar afixado com esparadrapos na superfície lateral da região proximal da cauda.

3.8.1.4 Temperatura ambiente

A temperatura ambiente foi registrada por meio de um termopar afixado na parede do acrílico que envolve a esteira, e foi regulada por um aparelho de ar-condicionado. A temperatura ambiente foi mantida entre 22 °C e 24 °C durante as sessões de familiarização à corrida e situações experimentais.

3.8.2 Variáveis calculadas

3.8.2.1 Velocidade máxima

A velocidade máxima foi calculada através da equação:

$$V_{\text{máx}} = V_{\text{estágio completo}} + \left[\text{Aumento } V \text{ a cada estágio} \times \frac{\text{Tempo estágio incompleto}}{\text{Tempo total do estágio}} \right]$$

Adaptado da equação proposta por Kuipers *et al.* (1985) para o cálculo da potência máxima:

$$V_{\text{máx}} = V_1 + (V_2 \times t_1/t_2)$$

Sendo:

V1: a velocidade da esteira atingida no último estágio completo;

V2: o incremento na velocidade da esteira a cada estágio;

t1: o tempo gasto no estágio incompleto (em segundos).

t2: a duração de cada estágio (em segundos).

3.8.2.2 Análise estatística

Os dados foram expressos como média \pm EPM. Para a comparação do tempo total de exercício, $V_{\text{máx}}$, $T_{\text{abdominal}}$, T_{cauda} e T_{ambiente} entre os protocolos de exercício, foram utilizadas análises de variância de uma via (ANOVA one-way) e com medidas repetidas. Caso a ANOVA tenha identificado um efeito principal relacionado ao diferentes protocolos de exercício, as diferenças nos valores médios entre os três protocolos foram identificadas por meio do teste post hoc de Tukey. As diferenças foram consideradas significativas quando $p < 0,05$.

4 RESULTADOS

Os diferentes protocolos de exercícios progressivos influenciaram o desempenho físico, tanto quando determinado a partir do tempo total de exercício (TTE), quanto a partir da velocidade máxima ($V_{m\acute{a}x}$) alcançada pelos ratos. O TTE foi maior no P1 ($55,4 \pm 12,3$ min) em comparação ao P2 ($22,9 \pm 4,9$ min) e ao P3 ($23,3 \pm 7,1$ min; $p < 0,001$). No entanto, não foram observadas diferenças significativas no TTE entre os protocolos 2 e 3 ($p > 0,05$), conforme demonstrado no (GRÁFICO 1).

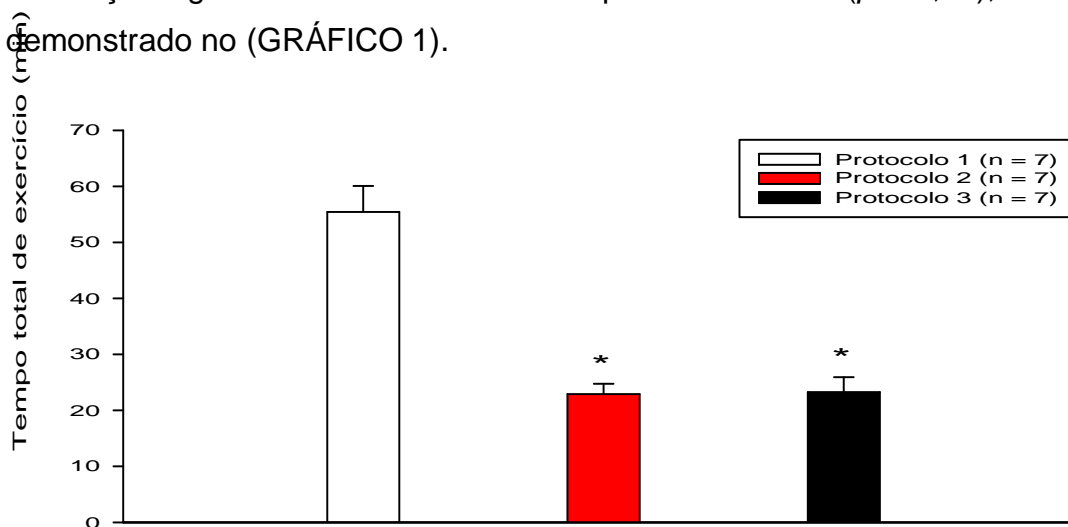
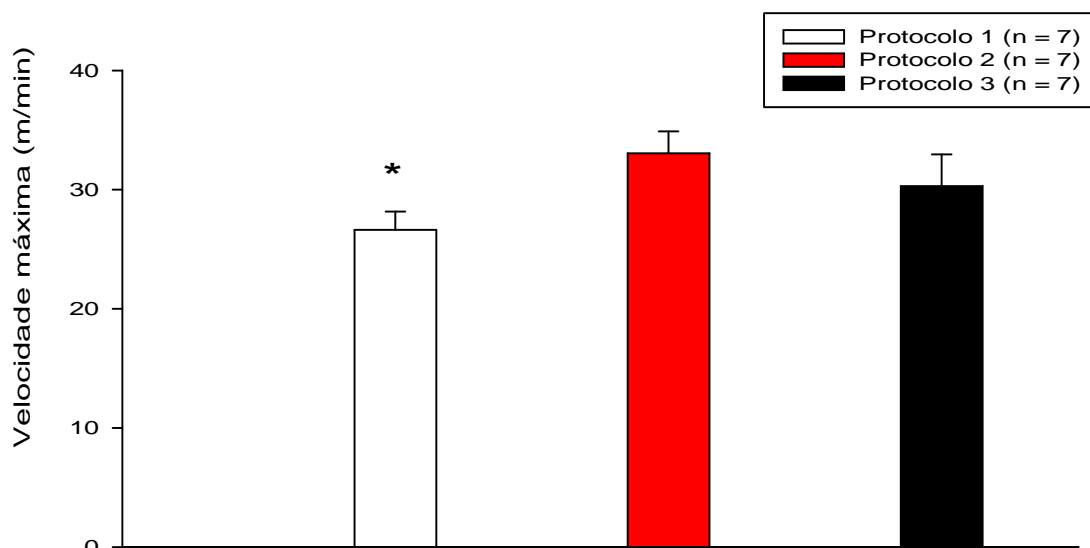


Gráfico 1 . Tempo total de exercício dos ratos submetidos aos três protocolos de exercícios físicos progressivos. Os dados estão expressos em média \pm EPM. * $p < 0,05$ em comparação ao protocolo de exercício 1.

Em relação à $V_{m\acute{a}x}$ alcançada pelos ratos, foi observada uma diferença significativa apenas entre os P1 e P2 (GRÁFICO 2). A $V_{m\acute{a}x}$ foi menor no protocolo 1 ($26,6 \pm 4,1$ m/min) em comparação ao P2 ($33,1 \pm 4,9$ m/min; $p < 0,05$), mas não apresentou diferença significativa em relação ao P3 ($30,3 \pm 7,1$ m/min; $p > 0,05$). Assim como descrito para o TTE, não foram observadas



diferenças significativas entre os P2 e P3 ($p = 0,057$).

Gráfico 2 . Velocidade máxima alcançada pelos ratos durante os três protocolos de exercícios físicos progressivos. Os dados estão expressos em média \pm EPM. * $p < 0,05$ em comparação ao protocolo de exercício 1.

Em relação à T_{abd} inicial dos ratos, não foram observadas diferenças significativas entre os três protocolos de exercício, conforme demonstrado no (GRÁFICO 3).

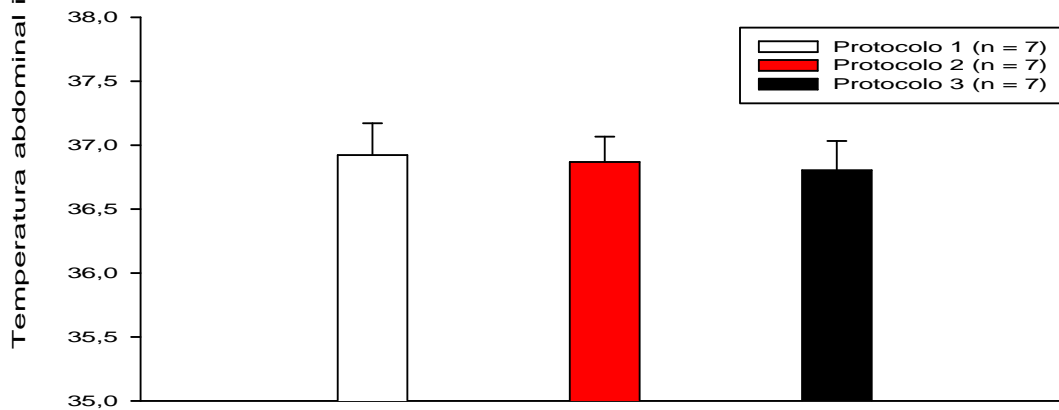


Gráfico 3 . Temperatura abdominal inicial dos ratos submetidos aos três protocolos de exercícios físicos progressivos. Os dados estão expressos em média \pm EPM.

Por outro lado, foram observadas diferenças significativas na T_{abd} final dos ratos entre os protocolos de exercício. Conforme demonstrado no Gráfico 4, a T_{abd} alcançada pelos ratos ao final do P1 ($39,45 \pm 0,59^{\circ}\text{C}$) foi significativamente maior em relação ao P3 ($38,71 \pm 0,80^{\circ}\text{C}$), mas não em relação ao protocolo 2 ($38,95 \pm 0,70^{\circ}\text{C}$). Além disso, não foram observadas diferenças na T_{abd} final dos ratos entre os P2 e P3.

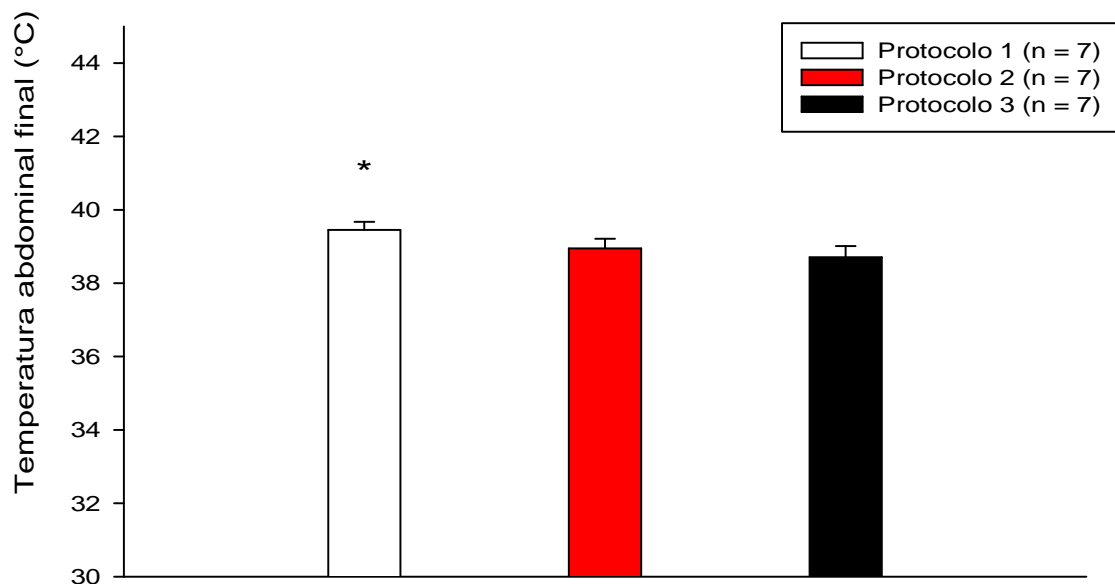


Gráfico 4 . Temperatura abdominal final dos ratos submetidos aos três protocolos de exercícios físicos progressivos. Os dados estão expressos em média \pm EPM. * $p < 0,05$ em comparação ao protocolo de exercício 1.

Ao analisarmos a T_{abd} ao longo do tempo, observamos que ao longo do tempo ela subiu de forma exponencial nos três protocolos, porém houve uma diferença significativa entre o P1 e P3 ($p=0.006$), conforme demonstrado no (GRÁFICO 5).

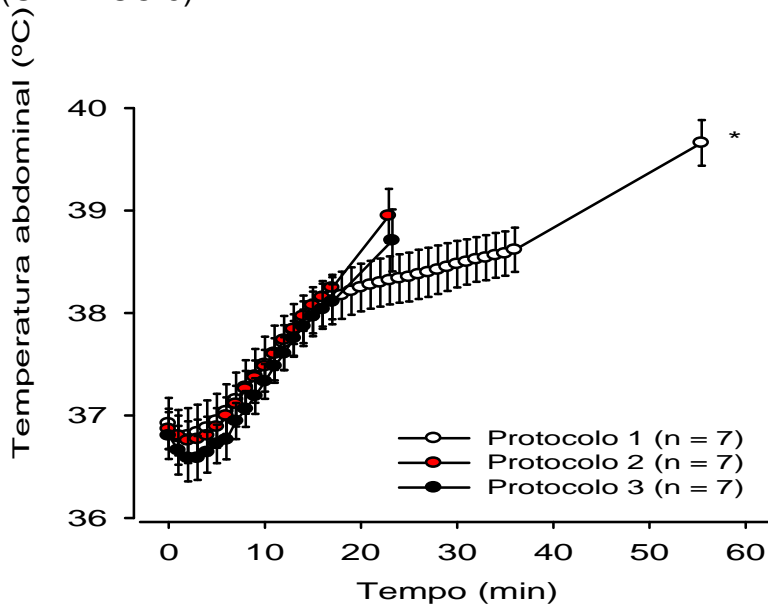


Gráfico 5 . Temperatura abdominal ao longo do tempo dos ratos submetidos aos três protocolos de exercícios físicos progressivos. Os dados estão expressos em média \pm EPM. * $p < 0,05$ em comparação P1 com P3.

Outra variável analisada no presente estudo foi a temperatura da cauda, um índice da dissipação cutânea de calor. Não foram observadas diferenças significativas na T_{cauda} inicial dos ratos entre os três protocolos de exercício, conforme demonstrado no (GRÁFICO 6).

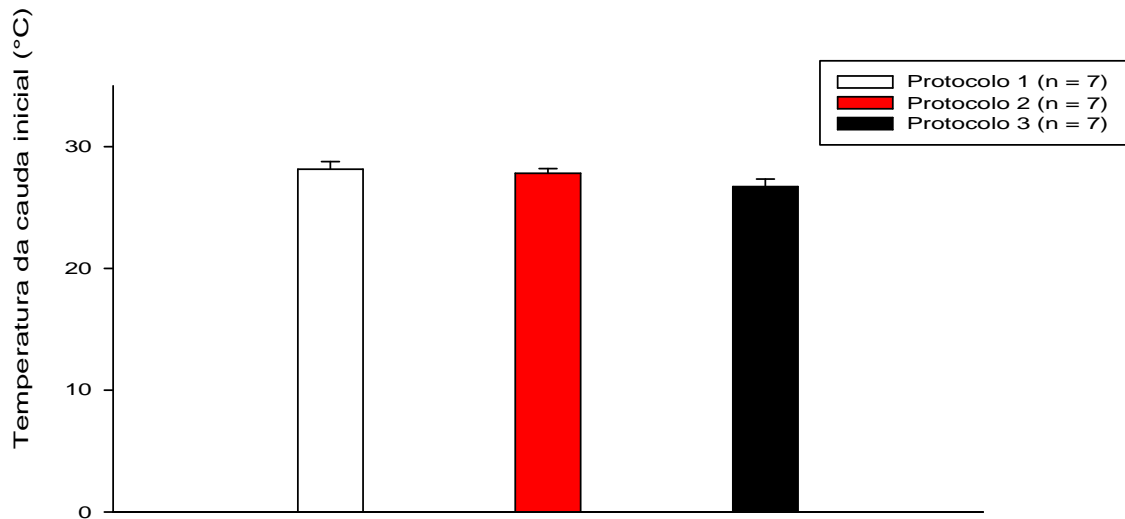


Gráfico 6 . Temperatura da cauda inicial dos ratos submetidos aos três protocolos de exercícios físicos progressivos. Os dados estão expressos em média \pm EPM.

De maneira similar ao que foi observado na T_{cauda} inicial, não foram observadas diferenças significativas na T_{cauda} final dos ratos entre os três protocolos de exercício físico, conforme demonstrado no (GRÁFICO 6).

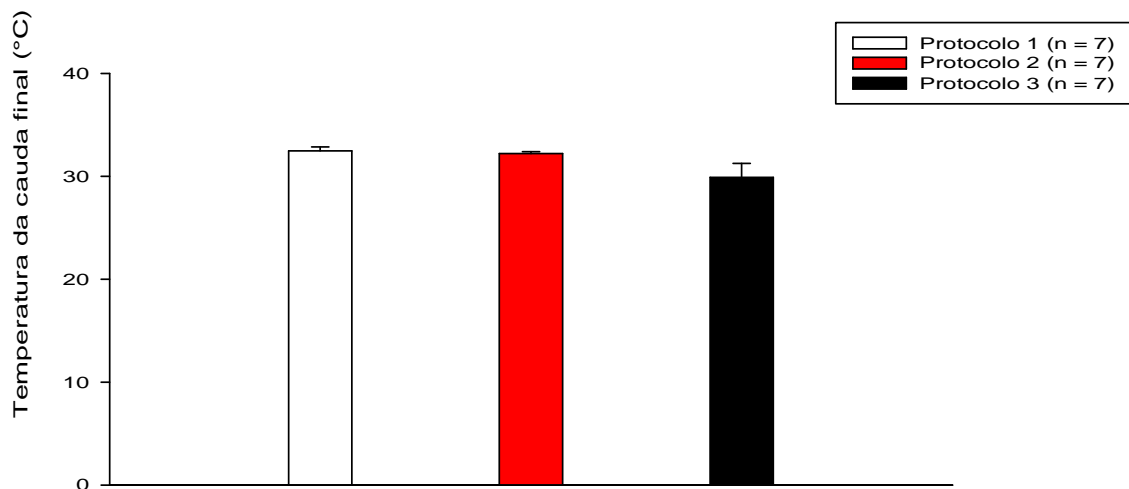


Gráfico 7 . Temperatura da cauda final dos ratos submetidos aos três protocolos de exercícios físicos progressivos. Os dados estão expressos em média \pm EPM.

Porém, ao analisarmos o comportamento da T_{cauda} ao longo do tempo, foram observadas diferenças significativas entre P1 e P3 ($p=0,021$) e entre P2 e P3 ($p=0,041$).

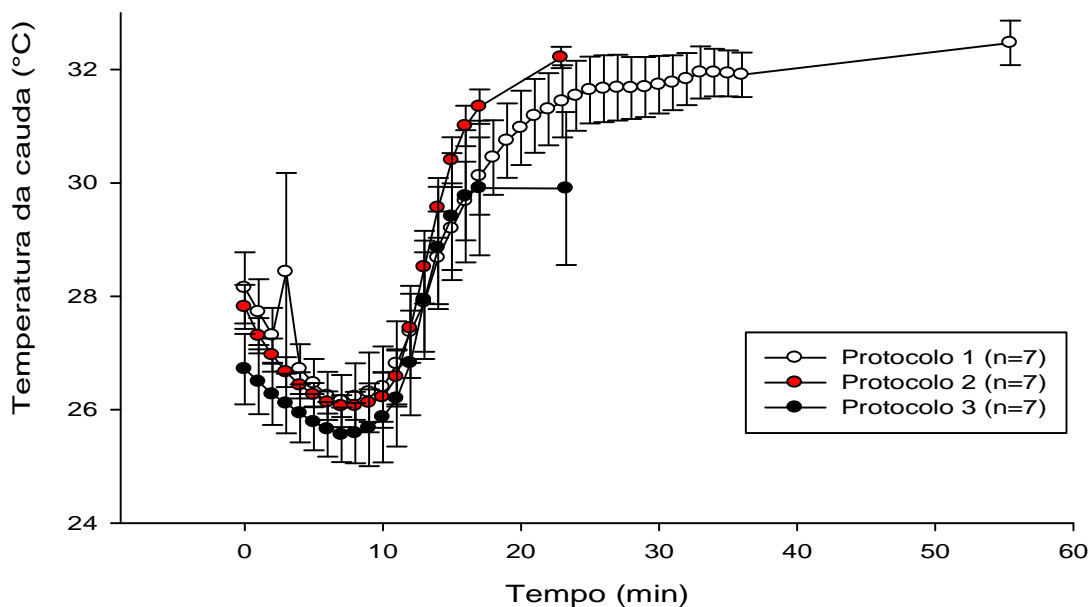


Gráfico 8 . Temperatura da cauda ao longo do tempo dos ratos submetidos aos três protocolos de exercícios físicos progressivos. Os dados estão expressos em média \pm EPM. * $p < 0,005$.

Em relação à temperatura ambiente, não foram observadas diferenças significativas nas temperaturas inicial, final e ao longo do tempo entre as três situações experimentais, conforme demonstrado nos gráficos 9, 10 e 11, respectivamente.

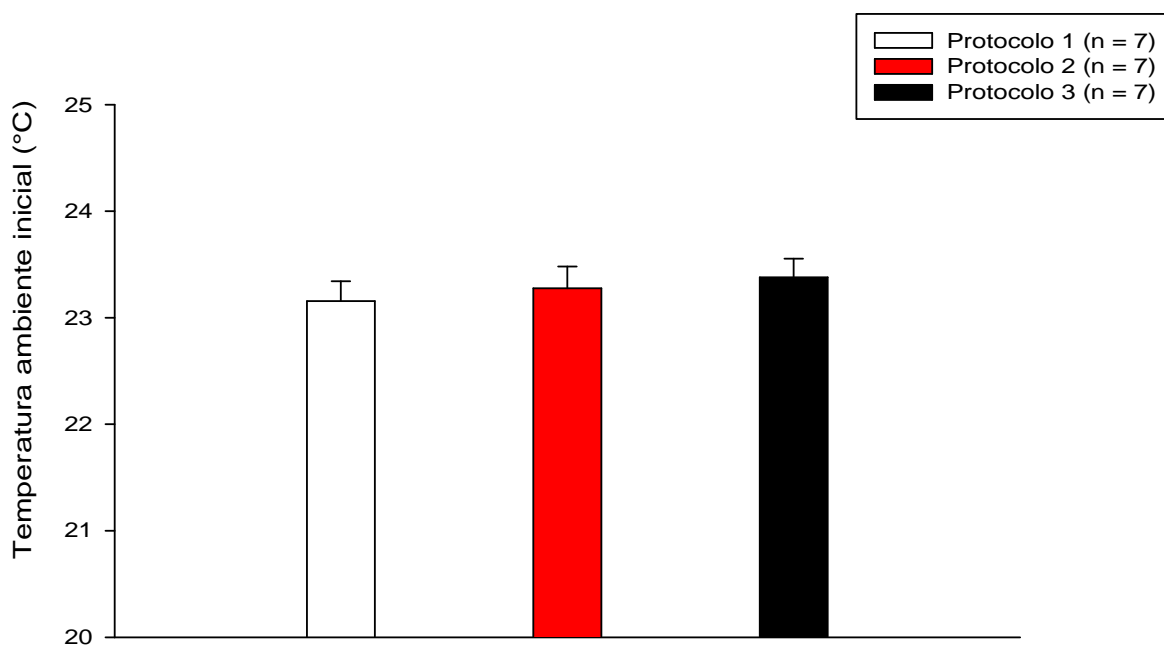


Gráfico 9 . Temperatura ambiente no início dos três protocolos de exercícios físicos progressivos. Os dados estão expressos em média \pm EPM.

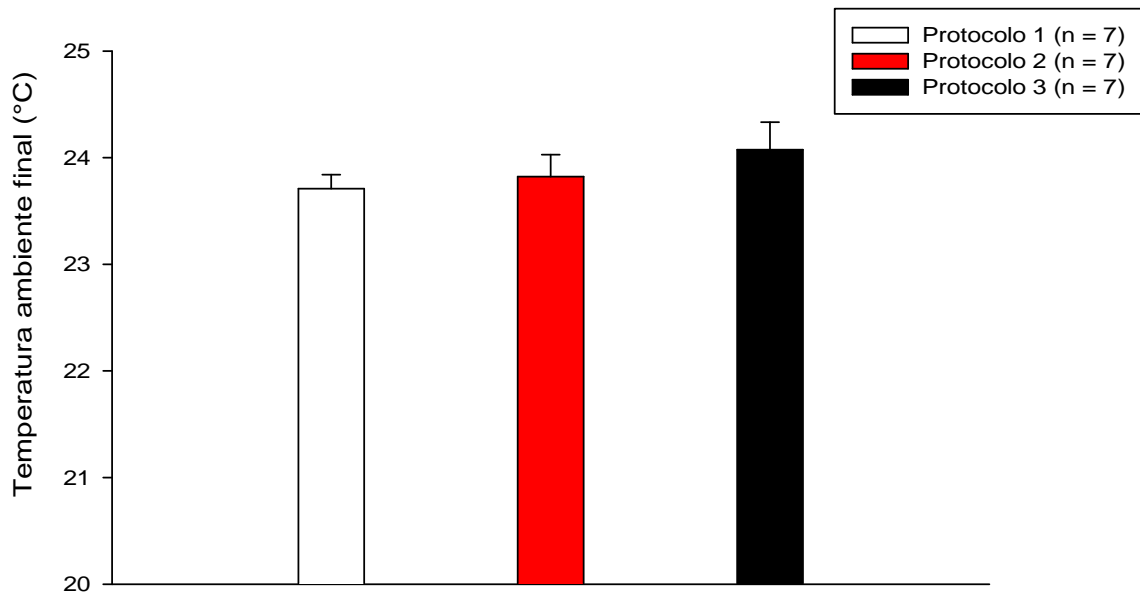


Gráfico 10 . Temperatura ambiente ao final dos três protocolos de exercícios físicos progressivos. Os dados estão expressos em média \pm EPM.

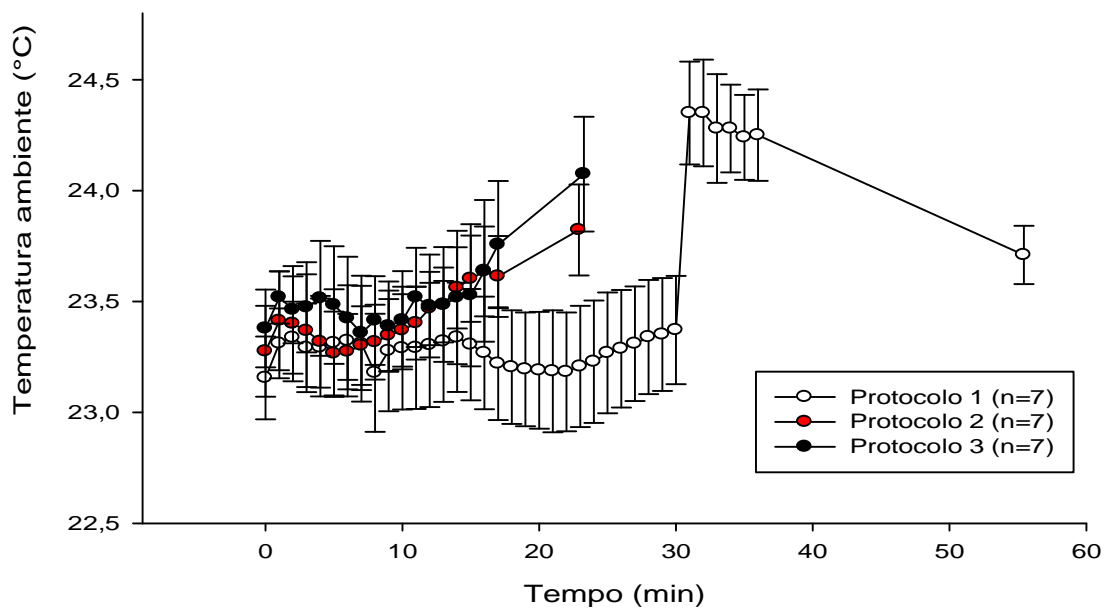


Gráfico 11 . Temperatura ambiente ao longo do tempo dos três protocolos de exercícios físicos progressivos. Os dados estão expressos em média \pm EPM.

5 DISCUSSÃO

Os dados obtidos no presente estudo apontam que a T_{INT} foi diferente e a T_{CAUDA} foi igual entre os protocolos. Os animais correram por mais tempo até atingirem a fadiga momentânea no protocolo de exercício progressivo 1 (GRÁFICO 1). Esses resultados eram esperados e reproduzem os dados obtidos por Vaz (2015), que investigou o consumo máximo de oxigênio e velocidade máximo de ratos submetidos aos mesmos protocolos de exercícios físicos progressivos. Embora os ratos tenham se exercitado por mais tempo, tenham atingido maiores distâncias e menores velocidades máximas no protocolo 1, aparentemente isso não influenciou o $VO_{2máx}$ (VAZ, 2015), pois mesmo com as diferenças observadas na duração na distância e na velocidade máxima atingida pelos animais, o $VO_{2máx}$ e o consumo de oxigênio ao longo do tempo não apresentaram diferenças significativas entre os três protocolos de exercício (VAZ, 2015). É importante ressaltar que, no protocolo 1, o aumento da velocidade e, conseqüentemente, o aumento da intensidade é mais gradual em comparação aos protocolos 2 e 3, o que explica as diferenças na duração da corrida entre os três protocolos e distância percorrida no trabalho de Vaz (2015).

Embora tenham corrido por mais tempo no protocolo 1, a velocidade máxima alcançada pelos ratos do protocolo 1 foi menor em comparação aos protocolos 2 e 3 (GRÁFICO 2); portanto, no protocolo 1, a duração da corrida foi maior e a velocidade máxima menor, ao contrário dos protocolos 2 e 3, quando a duração foi menor e a velocidade máxima maior. As diferenças na velocidade máxima alcançada pelos ratos nos diferentes protocolos de corrida também podem ser explicadas pelas diferenças na evolução da intensidade dos exercícios. Como a velocidade aumentou mais lentamente no protocolo 1, é possível que a duração mais prolongada do exercício tenha induzido maior esforço muscular nos ratos, limitando assim a velocidade máxima alcançada pelos mesmos.

Comparando os protocolos 2 e 3, não foram observadas diferenças significativas em relação ao tempo total de exercício (gráfico 1) e à velocidade máxima alcançada pelos ratos (GRÁFICO 2), assim como foi previamente observado por Vaz (2015). Podemos relacionar a ausência de diferenças no

tempo total e na velocidade máxima entre os protocolos 2 e 3 ao fato de o aumento de intensidade ser semelhante entre os dois protocolos. Vale notar que, apesar de a velocidade aumentar 1 m/min a cada 1 min no protocolo 2 e aumentar 3 m/min a cada 3 min no protocolo 3, sempre a cada 3 min de exercício, a velocidade momentânea dos animais torna-se semelhante nestes dois protocolos.

Considerando os dados apresentados nos três parágrafos anteriores, podemos afirmar que o nosso estudo reproduziu com precisão os dados de desempenho físico obtidos por Vaz (2015), que investigou as alterações da taxa de consumo de oxigênio induzidas pelos mesmos três exercícios progressivos. No estudo de Vaz (2015), os ratos também correram por mais tempo (**P1** . $35,2 \pm 2,6$ min vs. **P2** . $18,5 \pm 1,2$ min vs. **P3** . $17,7 \pm 1,2$ min; $p < 0,05$), porém atingiram velocidades máximas menores no protocolo 1 em comparação ao protocolos 2 e 3 (**P1** . $21,3 \pm 0,9$ m/min vs. **P2** . $28,0 \pm 1,2$ m/min vs. **P3** . $26,0 \pm 1,5$ m/min; $p < 0,05$).

Ao compararmos as temperaturas (abdominal, da cauda e ambiente) medidas no início do exercício, percebemos que não houve diferenças significativas entre as três situações experimentais (GRÁFICOS 3, 6 e 9), garantido que todas as condições iniciais foram semelhantes e indicando que os métodos utilizados foram adequados.

Mesmo com as diferenças na evolução da intensidade entre os diferentes protocolos de exercício, foram observadas diferenças significativas na temperatura abdominal final dos ratos apenas no protocolo 1 em relação ao protocolo 3 (GRÁFICO 4); esta diferença correspondeu a $0,74^{\circ}\text{C}$. Apesar da diferença na T_{abd} final dos animais entre os protocolos 1 e 2 não ter sido significativa, esta diferença correspondeu, em média, a $0,50^{\circ}\text{C}$. Talvez se o número de ratos avaliados fosse maior, essa diferença entre protocolos se tornaria significativa. Por outro lado, não foram observadas diferenças significativas na temperatura abdominal final alcançada pelos ratos entre os protocolos 2 e 3. Esses dados reforçam o conceito de que a temperatura interna pode ser considerada fator determinante para a falha momentânea concêntrica durante o exercício físico, independente da sua intensidade e volume.

Ao compararmos a T_{abd} e a T_{cauda} ao longo do tempo os animais apresentaram uma queda de temperatura no início do exercício durante aproximadamente 5 minutos iniciais (T_{abd}) e 10 minutos iniciais (T_{cauda}). Logo após esse tempo, os animais apresentaram uma rápida elevação da Temperatura, decorrente do desequilíbrio entre os mecanismos de dissipação de calor e de produção de calor (WEBB, 1995). Esse desequilíbrio ocorre através do controle termorregulatório durante o exercício físico e pode ser dividido em duas fases: a dinâmica e a estável. Durante a fase dinâmica, que ocorre nos minutos iniciais do esforço, há uma rápida elevação da taxa metabólica devido à baixa eficiência das reações metabólicas envolvidas no fornecimento de energia para o desenvolvimento de fora muscular (GLESSON, 1998). Isto é associado à vasoconstrição periférica mediada pelo sistema nervoso simpático (McALLISTER *et al.*, 1995). Ao atingirem a fase estável, há uma rápida elevação da T_{int} e T_{cauda} , caracterizando a vasodilatação dos vasos sanguíneos da cauda (GLESSON, 1998).

Em relação à dissipação cutânea de calor, não foram observadas diferenças na temperatura da cauda dos ratos ao final dos três protocolos de exercício progressivo (GRÁFICO 7). Esses achados indicam que, embora os ratos tenham se exercitado por mais tempo e tenham alcançado menores velocidades máximas no protocolo 1, aparentemente isso não influenciou a temperatura final do animal, ou seja, a sua dissipação cutânea de calor.. Em conjunto, esses dados sugerem que maiores durações do exercício progressivo, e não as maiores velocidades alcançadas, promovem maiores aumentos da temperatura abdominal, não modificando os mecanismos de dissipação de calor.

6 CONCLUSÃO

Concluimos que os animais correram por mais tempo no protocolo em que o aumento de intensidade foi mais lento (P1), sugerindo que maiores durações de exercício promovem maior aumento da temperatura abdominal dos ratos. Por outro lado, a temperatura da cauda não foi diferente entre os três protocolos, indicando que as variações de velocidade e duração utilizadas no presente estudo não afetaram a dissipação cutânea de calor.

REFÊRENCIAS

GALLOWAY, S. D.; MAUGHAN, R. J. Effects of ambient temperature on the capacity of perform prolonged cycle exercise in man. **Medicine and Science Sport and Exercise**, v. 29, n.9, p. 1240-1249, set. 1997.

GLEESON, M. Temperature regulation during exercise. **International Journal of Sports Medicine**, v. 19, Supl. 2, p. S96-99, jun. 1998.

GONZÁLEZ-ALONSO, J.; CRANDALL, C.G.; JOHNSON, J.M. The cardiovascular challenge of exercising in the heat. **Journal of Physiology**, v. 586, n. 1, p. 45-53, jan. 2008.

GORDON, C. J. Thermal biology of the laboratory rat. **Physiology & Behavior**, v. 47, n.5, p. 963-991, mai. 1990.

GORDON, C. J. **Temperature regulation in laboratory rodents**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1993.

HARRY, M; KUUSELA, P.; OKSANEN-ROSSI, R. Temperature responses of rats to treadmill exercise, and the effect of thermoregulatory capacity. **Acta Physiologica Scandanavica**, v. 115, n.1, p. 79-84, mai. 1982.

KUIPERS, H. *et al.* Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. **International Journal of Sports Medicine**, v.6, p.197-201, 1985.

KUNSTETTER A.C.; WANNER S.P.; MADEIRA L.G.; WILKE C.F.; RODRIGUES L.O.; LIMA N.R. Association between the increase in brain temperature and physical performance at different exercise intensities and protocols in a temperate environment. **Braz J Med Biol Res.**, v.47, n.8, p.679-88, 2014.

LIMA, N. R. V. **Efeitos da microinjeção de metilatropina nos núcleos ventromediais do hipotálamo (HVM) de ratos durante o exercício**. Tese (Doutorado) Departamento de Fisiologia e Biofísica do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 2000.

McALLISTER, R.M.; HIRAI, T.; MUSCH, T.I. Contribution of endothelium-derived nitric oxide (EDNO) to the skeletal muscle blood flow response to exercise. **Medicine and Science Sports and Exercise**, v. 27, n. 8.

NAKAMURA, K; MORRISON, S. F. Central efferent pathways for cold-defensive and febrile shivering. **J Physiol**. n. 589, p. 3641-3658, 2011.

NAKAMURA, K. Central circuitries for body temperature regulation and fever. **Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol**. n.301, p. R1207-R1228, 2011.

PRIMOLA-GOMES, T.N.; CAMPOS, L.A.; LAUTON-SANTOS, S.; BALTHAZAR, C.H.; GUATIMOSIM, S.; CAPETTINI, L.S.; LEMOS, V.S.;

COIMBRA, C.C.; SOARES, D.D.; CARNEIRO-JUNIOR, M.A.; QUINTAO-JUNIOR, J.F.; SOUZA, M.O.; CRUZ, J.S.; NATALI, A.J. Exercise capacity related to calcium transients in ventricular cardiomyocytes. **J. Appl. Physiol.** v.107, p. 593-598, 2009.

RODRIGUES, L.O.; OLIVEIRA, A.; LIMA, N.R.; MACHADO-MOREIRA, C.A. Heat storage rate and acute fatigue in rats. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 36, n.1, p. 131-135, jan. 2003.

ROMANOVSKY, A.A.; IVANOV, A.I. SHIMANSKY, Y.P. Selected contribution: Ambient temperature of experiments in rats: a new method for determining the zone of thermal neutrality. **Journal of Applied Physiology**, v. 92, n.6, p. 2667-2679, jun. 2002.

ROMANOVSKY, A.A. Thermoregulation: some concepts have changed. Functional architecture of the thermoregulatory system. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.** n. 292, p. R37-R46, 2007.

WANNER S.P.; PRÍMOLA-GOMES T.N.; PIRES W.; GUIMARÃES J.B.; HUDSON A.S.; KUNSTETTER A.C.; FONSECA C.G.; DRUMMOND L.R.; DAMASCENO W.C.; TEIXEIRA-COELHO F. **Thermoregulatory responses in exercising rats: methodological aspects and relevance to human physiology.** v.2, n.4, p.457-75, 2015. doi: 10.1080/23328940.2015.1119615.

VAZ, F. F.; RABELO, P. C. R; WANNER, S. P. **Comparação do consumo máximo de oxigênio e da velocidade máxima de ratos submetidos à três exercícios físicos progressivos.** 2015. Monografia para obtenção de título de graduação em Educação Física pela Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2015.

WEBB, P. The physiology of heat regulation. **American Journal of Physiology**, v. 268, n. 4, p. R838-850, abr. 1995.

WILSON, N.C.; GISOLFI, C.V.; FARBER, J.; HINRICHS, D.K. Colonic and tail-skin temperature responses of the rat at selected running speeds. **Journal of Applied Physiology**, v. 44, n. 4, p. 571-575, abr. 1978.

YOUNG, A.A.; DAWNSON, N.J. Evidence for on-off control of heat dissipation from the tail of the rat. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 60, n.3, p. 392-398, mar. 1982.