

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM
EDUCAÇÃO FÍSICA

EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA GANGLIONAR NA
CAPACIDADE DO EXERCÍCIO EM INDIVÍDUOS JOVENS
SAUDÁVEIS

Fernanda Priore Tomasi

BRASÍLIA
2012

EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA GANGLIONAR NA CAPACIDADE DO EXERCÍCIO EM INDIVÍDUOS JOVENS SAUDÁVEIS

FERNANDA PRIORE TOMASI

Dissertação a ser apresentada à
Faculdade de Educação Física da
Universidade de Brasília, como requisito
parcial para obtenção do grau de Mestre em
Educação Física.

ORIENTADOR: PROF. DR. GERSON CIPRIANO JUNIOR

FERNANDA PRIORE TOMASI

EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA GANGLIONAR NA CAPACIDADE
DO EXERCÍCIO EM INDIVÍDUOS JOVENS SAUDÁVEIS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação Física pelo Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação Física da Universidade de Brasília.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gerson Cipriano Júnior
(orientador – FEF/ UnB)

Prof. Dr. Martim Francisco Bottaro Marques
(Membro interno – FEF/ UnB)

Prof. Dr. Gaspar Rogério da Silva Chiappa
(Membro externo – UFRGS)

Prof. Dr. Alexandre Luiz G. de Rezende
(Suplente – FEF/ UnB)

Brasília, 12 de julho de 2012.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Roberto Tomasi e Maria Cristina Priore, exemplos de carinho e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Gerson Cipriano Junior pela orientação, pelo incentivo e pela confiança durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Gaspar Rogério da Silva Chiappa pela contribuição na discussão do trabalho e pela colaboração voluntária na análise dos dados coletados, bem como na realização do artigo que antecedeu este trabalho.

Ao Prof. Dr. Martim Francisco Bottaro Marques e ao Prof. Dr. Alexandre Luiz G. de Rezende pela leitura crítica e pelas sugestões propostas no exame de qualificação.

Aos colegas do grupo de pesquisa, Vinicius Maldaner da Silva, Marianne Lucena da Silva e Alexandra Lima Fulano, pela amizade e colaboração na realização deste trabalho, dividindo essa experiência comigo.

Às alunas de iniciação científica, Mariana Vieira e Ana Letícia Souza Oliveira, que contribuíram com o trabalho cuidadoso de coleta de dados e recrutamento de voluntários para participar do estudo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física e à CAPES pela bolsa de mestrado e pelo auxílio financeiro à participação em congressos no país e no exterior, que muito contribuíram para o desenvolvimento do trabalho e para minha formação. Também ao Centro Universitário de Brasília, UniCEUB, por aprovar a realização deste trabalho, disponibilizando o laboratório de fisiologia do exercício e equipamentos.

A todos os meus familiares pelo apoio e incentivo. Amo cada um de vocês.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
Objetivos gerais	4
Objetivos específicos	4
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1 Estimulação elétrica nervosa transcutânea	5
3.2 Avaliação da capacidade física.....	6
3.2.1 Teste de esforço cardiopulmonar	6
3.2.1.1 Variáveis cardiológicas.....	7
3.2.1.2 Variáveis ventilatórias.....	8
3.2.1.3 Variáveis metabólicas.....	9
3.2.1.4 Limiares ventilatórios.....	10
3.2.1.5 Sintomas	11
3.2.2 Métodos de aplicação do teste cardiopulmonar	12
3.2.3 Cinética de VO ₂	13
3.3 Escala de esforço percebido	14
4 MÉTODOS.....	16
4.1 Delineamento do estudo.....	16
4.2 Considerações éticas	16
4.3 Seleção da amostra.....	16
4.3.1 Critérios de inclusão	16
4.3.2 Critérios de exclusão	17
4.4 Visão geral do estudo	17
4.5 Avaliação clínica e testes específicos.....	18
4.5.1 Avaliação clínica inicial.....	18
4.5.2 Teste cardiopulmonar de exercício incremental	18
4.5.3 Teste cardiopulmonar de exercício constante	21
4.5.4 Modelagem matemática para avaliação da cinética durante teste de carga constante.....	23

4.6	Aplicação da TENS ganglionar.....	24
4.7	Análise estatística.....	26
5	RESULTADOS	27
5.1	Caracterização da amostra.....	27
5.2	Variáveis metabólicas.....	30
5.3	Variáveis ventilatórias.....	35
5.4	Variáveis cardiovasculares	35
5.4.1	Frequência cardíaca.....	35
5.4.2	Pulso de O ₂	37
5.5	Tempo máximo de tolerância ao exercício	38
5.6	Escala de esforço percebido	39
6	DISCUSSÃO.....	40
6.1	Efeito da TENS nas variáveis metabólicas	40
6.2	Efeito da TENS nas variáveis cardiovasculares	44
6.3	Efeito da TENS nas variáveis ventilatórias e tolerância ao exercício	45
6.4	Limitações do estudo.....	47
7	CONCLUSÃO.....	48
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
	ANEXO	55

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Características da amostra e valor médio das variáveis registradas no Teste Cardiopulmonar de Exercício Incremental.....	29
Tabela 2 – Variáveis da cinética do consumo de oxigênio, da frequência cardíaca e do pulso de oxigênio coletadas nos protocolos com aplicação da TENS e placebo.....	31
Tabela 3 – Resultado para as diferentes variáveis no tempo máximo de tolerância ao exercício associados a TENS e placebo.....	34

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Escala RPE de <i>Brog</i> (1982).....	15
Figura 2 - Representação da sequência das intervenções nas quais cada indivíduo participou. A escolha da ordem para aplicação da TENS ou placebo foi aleatória....	18
Figure 3 – Escala RPE de <i>Borg</i> (1982), adaptada para a língua portuguesa.....	20
Figura 4 – Imagem representativa do consumo de oxigênio em dois testes de exercício com carga constante e identificação dos momentos <i>isotime</i> (linhas tracejadas) através da divisão em quartis do teste de menor tempo.....	22
Figura 5 – Imagem representativa do posicionamento dos eletrodos para aplicação da estimulação elétrica transcutânea (TENS).....	25
Figura 6 - Diagrama de blocos representativo da sequência de definição e caracterização da amostra, em que “n” é o número de participantes.....	28
Figura 7 – Curva da cinética do consumo de oxigênio (VO ₂) em teste cardiopulmonar de exercício constante de apenas um indivíduo em uso de TENS (●) e placebo (○). Constante de tempo (τ).....	32
Figura 8 – Consumo de oxigênio (VO ₂) e produção de dióxido de carbono (VCO ₂) nos momentos de mesmo percentual de tempo (<i>isotime</i>) durante o exercício associado a TENS (●) e placebo (○). * diferença significativa entre TENS e placebo: p < 0,05.....	33
Figura 9 – Ventilação minuto (VE) e equivalentes ventilatórios para dióxido de carbono (VE/VCO ₂), nos momentos de mesmo percentual de tempo (<i>isotime</i>), durante o exercício, associado a TENS (●) e placebo (○). * diferença significativa entre TENS e placebo: p < 0,05.....	35
Figura 10 – Cinética da frequência cardíaca (FC) de um dos indivíduos, durante teste cardiopulmonar de exercício constante associado a TENS (●) e placebo (○). Constante de tempo (τ).....	36
Figura 11 – Frequência cardíaca (FC) e pulso de oxigênio (VO ₂ /FC), nos momentos de mesmo percentual de tempo (<i>isotime</i>), durante o exercício associado a TENS (●) e placebo (○). * diferença significativa entre TENS e placebo: p < 0,05.....	37
Figura 12 – Cinética do pulso de oxigênio (VO ₂ /FC) de um dos indivíduos durante teste cardiopulmonar de exercício constante associado a TENS (●) e placebo (○). Constante de tempo (τ).....	38
Figura 13 – Variação do tempo máximo de tolerância ao exercício (T _{lim}) entre as amostras placebo e TENS.....	39

LISTA DE SIGLAS, ABREVIACOES E SÍMBOLOS

A - amplitude

A β - fibras sensoriais beta

A δ - fibras sensoriais delta

ATP – adenosina trifosfato

BAV – bloqueio trio ventricular

bpm – batimentos por minuto

CO₂ – dióxido de carbono

FA – fibrilação atrial

FC - frequência cardíaca

FES - *Functional Electrical Stimulation*

FR - frequência respiratória

Hz – Hertz

LV₁ - 1 limiar ventilatório

μ s - microssegundos

mA - mil ampre

MRT – tempo médio de resposta (*mean response time*)

mV - milivolts

O₂ - oxigênio

pps - pulsos por segundo

R – razão de trocas gasosas

RPE – *Rating Perceived Exertion* - escala de esforço percebido

rpm- rotações por minuto

TENS - do termo em inglês *Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation* - Estimulação Elétrica Nervosa Transcutânea

T_{lim} - tempo máximo de tolerância ao exercício

τ – constante de tempo (letra grega Tau)

TD – tempo de atraso (*time delay*)

TVS – taquicardia supraventricular

VC - volume corrente

VCO_2 - produção de dióxido de carbono

VE - ventilação pulmonar

VO_2 - consumo de oxigênio

W - watts

RESUMO

A estimulação elétrica nervosa transcutânea (TENS) pode aumentar o fluxo sanguíneo local, resultando em possível melhora no aporte de oxigênio aos músculos, em atividade durante o exercício. Estudo recente demonstrou que a TENS ganglionar atenua as respostas vasoconstritoras durante o exercício e a ativação metaborreflexa, associado à melhora do balanço simpátovagal em indivíduos jovens e idosos saudáveis. No entanto, ainda não se sabe dos efeitos da TENS no desempenho do exercício e na dinâmica da cinética de consumo de oxigênio (VO_2). Foi testada a hipótese de que a aplicação da TENS em região ganglionar pode resultar em uma aceleração da cinética do VO_2 e do pulso de oxigênio, durante exercício de carga constante e alta intensidade, além de melhorar os ajustes de frequência cardíaca (FC) e a tolerância ao exercício. Nove indivíduos ($21,3 \pm 2,4$ anos) receberam aplicação de TENS e placebo (45 min, 80 Hz, 150 μ s) em região ganglionar, em ordem aleatória. Foram registrados o consumo de oxigênio, a frequência cardíaca, o pulso de oxigênio e o tempo máximo de tolerância ao exercício (T_{lim}), durante teste máximo com carga constante. Para comparação das respostas, teste *t* pareado ou de Mann-Whitney foi utilizado, conforme distribuição. Foram consideradas diferenças estatisticamente significantes, quando $p < 0,05$. Quando aplicada a TENS, foi encontrado maior VO_2 no pico do exercício ($p < 0,05$) e aceleração da cinética do VO_2 e da cinética do pulso de oxigênio ($p < 0,05$), visto haver uma redução em suas constantes de tempo. Adicionalmente, a cinética da FC foi significativamente mais lenta e seus valores basais foram menores, quando a TENS foi aplicada. T_{lim} se apresentou estatisticamente maior no exercício associado a TENS (321 ± 41 vs. 390 ± 41 s; $p < 0,05$). Pode-se concluir que a aplicação da TENS em região ganglionar é capaz de aumentar a tolerância ao exercício e acelerar a cinética do VO_2 e pulso de oxigênio, bem como diminuir a velocidade da cinética da FC de indivíduos jovens saudáveis, durante exercício de alta intensidade.

Palavras-chave: TENS, cinética de VO_2 e teste cardiopulmonar.

ABSTRACT

Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) increases regional blood flow, which may result in improved oxygen supply in working muscles during exercise. Recent research has demonstrated that TENS applied to ganglion region attenuates vasoconstrictor responses during exercise and metaboreflex activation, associated with improved sympatho-vagal balance in healthy young and older individuals. However, the effects of TENS on exercise performance and on the dynamic oxygen uptake kinetics in healthy individuals remains unknown. We assessed the hypothesis that application of TENS at ganglion region may result in faster regulation of oxygen uptake and oxygen pulse kinetics, improve exercise tolerance and heart rate adjustments during heavy-intensity exercise. Nine healthy subjects (21.3 ± 2.4 years) were randomized to TENS (45 min, 80 Hz, 150 μ s) and placebo applied on the ganglion region. Oxygen uptake, heart rate (HR), oxygen pulse and tolerance limit time were measured during heavy-intensity constant-work rate exercise performed to the tolerance limit. In order to contrast TENS and placebo responses, non-paired *t* or Mann-Whitney tests was used as appropriate. Statistical significance was set at $p < 0.05$ for all tests. Compared with placebo, subjects exhibited augmented oxygen uptake at peak exercise ($p < 0.05$), a faster oxygen uptake kinetics identified by a significantly reduced time constant (placebo 38.77 ± 14.09 vs. TENS 24.66 ± 3.39 s; $p < 0.05$), faster oxygen pulse kinetics (placebo 39.58 ± 14.45 vs. TENS 27.69 ± 1.22 s; $p < 0.05$) and slower HR kinetics (placebo 42.54 ± 17.41 vs. TENS 51.01 ± 17.14 s; $p < 0.05$). Additionally, baseline HR was statistically lower when TENS was applied, as well as its amplitude at the end of exercise test ($p < 0.05$). Time to exercise tolerance was significantly longer during application of TENS (321 ± 41 vs. 390 ± 41 s; $p < 0.05$). In conclusion, our data show that application of TENS to ganglion region is potentially able to increase exercise tolerance and accelerate oxygen uptake and oxygen pulse kinetics during heavy-intensity exercise. Data also confirm that HR can be diminished from onset to tolerance limit during heavy-intensity exercise by TENS application.

Keywords: exercise test, TENS, Oxygen Uptake Kinetics.

1 INTRODUÇÃO

A estimulação elétrica nervosa transcutânea (TENS) é um dispositivo que emite ondas elétricas e foi criado com o objetivo primário de aliviar sintomas de dor. Foi desenvolvido com base na teoria de comportas para controle de dor e tem se mostrado útil para diversas condições álgicas (1-5), inclusive para pacientes isquêmicos, com angina, atuando de forma diferenciada da ação analgésica, uma vez que pode produzir aumento no aporte de oxigênio ao miocárdio ou redução na demanda de oxigênio, melhorando o nível de isquemia (6-9).

Essa corrente estimula aferentes primários por pulsos elétricos de baixa frequência (0 a 250 Hz), por meio de eletrodos aplicados na pele, causando uma parestesia local e inibindo o sintoma da dor (5, 10).

A literatura mostra que, além dos efeitos convencionais, traz também efeitos positivos no fluxo sanguíneo local (11-13), melhorando a perfusão de membros com déficit vascular periférico (14, 15). Entre alguns possíveis mecanismos que se tem sugerido para esse aumento de fluxo sanguíneo após tratamento com TENS, incluem-se a liberação de peptídeos vasodilatadores na região aplicada (13) e a inibição segmentar de vasoconstrição simpática, como observado em pacientes com angina isquêmica (7, 8, 16).

Mannheimer et al. (1985) sugerem, a partir de uma série de estudos com TENS aplicada na região do tórax, em que ocorre a angina, que o tratamento promove um efeito anti-isquêmico no miocárdio, mediado pela redução na demanda de oxigênio no local. Seus resultados mostraram uma redução na pós-carga, em decorrência da redução na pressão arterial sistólica, e menor produção de lactato pelo miocárdio, além de redução na depressão do segmento ST característica, que é peculiar à isquemia do miocárdio (6).

Esse mecanismo tem sido hipoteticamente associado à redução da ativação do sistema nervoso simpático, com base na observação de redução nos níveis de epinefrina e norepinefrina, em resposta à estimulação elétrica de baixa frequência (7).

Quanto à sua atuação no sistema nervoso autonômico, como sugerido por Mannheimer et al. (1990), encontram-se estudos mais recentes que reafirmam um efeito sob ativação simpática (8, 17, 18). Em 1995, foi proposto o uso da TENS para bloqueio ganglionar supratorácico, podendo, assim, ser considerado um meio não invasivo para controle da frequência cardíaca (19).

Outro estudo verificou que, quando aplicada em região cervicotorácica na altura dos gânglios estrelados, a TENS se mostrou eficaz na melhora do sinal de oximetria periférica, em pacientes hipotérmicos, o que pode estar relacionado à ativação simpática e à melhora da perfusão (20).

Resultados recentes, descritos por Vieira et al (2011), mostraram que a aplicação da TENS ganglionar produziu acentuada melhora no fluxo sanguíneo muscular periférico em indivíduos jovens saudáveis, assim como redução nas respostas vasoconstritoras e pressóricas a uma possível atenuação da atividade simpática, com mudanças significativas na variabilidade da frequência cardíaca e redução do balanço simpátovagal (21).

Diferentemente, Layec et al.(2008) não conseguiu encontrar melhora na perfusão muscular, quando aplicada eletroestimulação muscular, periféricamente, na modalidade FES (*functional electrical stimulation*). Os autores verificaram, no entanto, aumento significativo no aporte de oxigênio por um aumento na concentração de oxi-hemoglobina e hemoglobinas totais, as quais se associam a uma hiperemia residual.

Esse resultado, diferentemente do esperado, não foi acompanhado de melhora na cinética do consumo de oxigênio durante exercício de alta intensidade (22).

Dessa forma, apesar de os resultados de Layec et al. (2008) não sustentarem a hipótese de que o aumento da perfusão por aplicação de eletroestimulação local pode melhorar a performance no exercício por meio de uma aceleração dos fatores limitantes do metabolismo aeróbico, acredita-se que os resultados mais atuais descritos por Vieira et al. (2011) podem evidenciar tal benefício, uma vez que os efeitos produzidos parecem ser sistêmicos, tendo como base uma aplicação ganglionar e não localizada.

O metabolismo oxidativo é o principal meio pelo qual o organismo humano gera energia para realizar trabalho e, assim, efetuar suas atividades. Fatores como o consumo de oxigênio tecidual (VO_2), necessário para se realizar um exercício, e a taxa em que o VO_2 aumenta na transição de uma atividade de menor intensidade para uma de maior intensidade influenciam na tolerância de um indivíduo a uma atividade física.

O estudo da cinética do consumo de oxigênio se tornou uma importante ferramenta para entender os possíveis mecanismos fisiológicos da resposta dinâmica do consumo de oxigênio ao exercício e sua recuperação subsequente (23).

Considerando os resultados decorrentes da aplicação da TENS em região ganglionar, referidos anteriormente, a hipótese aqui é a de que a aplicação da TENS ganglionar, a concomitante vasodilatação periférica e o aumento de fluxo sanguíneo podem ter como resultado maior aporte de oxigênio aos músculos, proporcionando aumento na cinética de oxigênio (O_2).

A atuação da TENS no sistema nervoso autonômico e consequentes modulações no débito cardíaco e na pressão arterial também permitem supor que a aplicação da TENS ganglionar pode levar a um melhor ajuste na frequência cardíaca (FC), durante o exercício, e a uma melhor tolerância ao exercício.

Observada a grande procura de alternativas para potencializar um treino de exercício nas mais variadas populações, podem ser citados diferentes aspectos de um treino, os quais podem ser ajustados de acordo com o objetivo do programa. Alguns deles são: número ideal de treinos por semana, tempo de duração, tipo de exercício mais indicado, intensidades variadas, alimentação ideal, entre muitos outros (24).

A partir de tantas possíveis variáveis dentro de um programa de treino, a estimulação elétrica em região ganglionar poderia ser uma forma prática e não invasiva de potencializar o desempenho durante um treino, assim como abrir um leque de pesquisa em populações especiais com capacidade de exercício limitada por alterações fisiológicas.

2 OBJETIVOS

Objetivos gerais

Analisar o efeito da TENS ganglionar no desempenho durante exercício dinâmico de alta intensidade em indivíduos jovens e saudáveis.

Objetivos específicos

Analisar o comportamento de consumo de oxigênio durante exercício de alta intensidade, quando aplicada TENS ganglionar, a partir do estudo da cinética de O₂.

Analisar o comportamento cardiopulmonar durante exercício de alta intensidade, quando aplicada TENS ganglionar, por meio do estudo da frequência cardíaca, ventilação pulmonar e da cinética da frequência cardíaca e pulso de oxigênio.

Analisar a tolerância ao exercício de alta intensidade, quando aplicada TENS ganglionar por análise do tempo máximo em exercício e da escala categórica de esforço percebido.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Estimulação elétrica nervosa transcutânea

A estimulação elétrica transcutânea, também conhecida como TENS (do termo em inglês *transcutaneous electrical nerve stimulation*), é um dispositivo simples que emite ondas elétricas para a pele, usado com o objetivo primário de aliviar a sensação de dor.

O uso da eletricidade na medicina não é uma ideia tão recente quanto se possa pensar. Foi escrito por um romano o primeiro documento sobre o uso da eletricidade na medicina, com o aproveitamento de peixes elétricos, como forma de tratamento. Há evidências, no entanto, de que os egípcios já faziam uso do método com peixes. Da década de 1960 em diante, surgem mais estudos referentes ao uso de estimulação elétrica. (5)

A TENS é um método de fácil aplicação, não invasivo e que proporciona menos efeitos colaterais quando comparado com terapias medicamentosas. As principais reações adversas se relacionam com reações alérgicas ao material dos eletrodos e géis condutores ou até mesmo às fitas usadas para manter os eletrodos posicionados sobre a pele. Surge como um método para alívio de dores que, por meio de pulsos elétricos, excitam os nervos sensoriais. Suas características elétricas podem ser manipuladas, variando sua intensidade, sua frequência de pulso e seu comprimento (ou duração) de pulso. Esses ajustes permitem ativar diferentes tipos de fibras nervosas e proporcionar resultados analgésicos diferentes (5, 25).

A intensidade da corrente pode variar entre 0 e 80 (mA) e é regulada de acordo com a sensação referida pelo paciente. A frequência de pulso corresponde a quantas vezes por minuto os pulsos de energia elétrica serão emitidos. Essa frequência pode variar de 1 ou 2 pulsos por segundo (pps, ou Hz – Hertz), atingindo 200 a 250 Hz. O comprimento de pulso é o tempo de duração de cada pulso elétrico emitido. Pode variar em uma faixa de aproximadamente 40 a 250 microssegundos (μ s) (25).

Com excitação dos nervos sensoriais, a TENS estimula diferentes tipos de fibras, envolvendo o sistema de comportas de dor e o sistema opioide. A ativação do

primeiro envolve estimulação de fibras sensoriais A β (beta), diminuindo a transmissão para a medula e, assim, para o sistema central. A estimulação dessas fibras parece ocorrer por frequências mais elevadas (entre 80-130 Hz). Estimulações com frequências menores (2-5Hz) ativam principalmente fibras A α (delta), causando a liberação de opioides endógenos induzidos (5).

3.2 Avaliação da capacidade física

3.2.1 Teste de esforço cardiopulmonar

O teste de esforço cardiopulmonar existe há mais de meio século e, juntamente com diversos métodos de avaliação cardiovascular, evoluiu em tecnologia e abrangência. No Brasil, foi introduzido em 1972 e rapidamente tornou-se um importante método de avaliação diagnóstica, passando a ser amplamente utilizado na rotina dos serviços médicos do país e na de avaliação de atletas (26, 27). Trata-se de um procedimento não invasivo, no qual um indivíduo é submetido a um estresse físico programado, com o objetivo de avaliar a resposta clínica, hemodinâmica, eletrocardiográfica e metabólica, durante o exercício, além de avaliar a capacidade individual para exercícios dinâmicos (27, 28).

Sabe-se que a diminuição da capacidade física pode ser critério de avaliação em muitas doenças, em especial as respiratórias e cardiovasculares. Tal limitação está relacionada à reduzida qualidade de vida e ao maior risco de morte. Quando submetidos a um grande esforço físico, como quando da realização de uma corrida ou de caminhadas rápidas, bem como em atividades como andar de bicicleta e nadar, impõe-se maior atividade fisiológica, o que requer maiores taxas de trocas gasosas de oxigênio e dióxido de carbono entre meios celular e ambiente. Esse processo exige ajustes principalmente dos sistemas respiratório e cardiovascular.

Dessa forma, o teste traz informações importantes sobre o funcionamento desses sistemas, assim com das respostas metabólicas, neurológicas e humorais durante o exercício. Assim, seus resultados são relevantes no diagnóstico e no prognóstico, que vão além daqueles observados no repouso (29, 30). Quando aplicado em indivíduos saudáveis ou mesmo em atletas, a quantidade de informações disponíveis permite uma melhor programação e um maior controle dos treinos (31).

A avaliação clínica da tolerância ao esforço, na prática médica, pode ter enfoque cardiológico ou respiratório. No primeiro caso, é conhecido como teste de exercício cardíaco, teste ergométrico, *stress testing*, entre outros nomes, e é mais comumente realizado para avaliação da função e estrutura cardíaca por meio da observação contínua da atividade elétrica cardíaca, durante o esforço (eletrocardiograma). No segundo caso, é conhecido como teste de exercício cardiopulmonar, cardiorrespiratório ou teste ergoespirométrico. Nesse caso, além do eletrocardiograma, são realizados registros do volume ventilatório e das frações de oxigênio e dióxido de carbono expiradas.

Esses dados, coletados continuamente durante o teste por tecnologia digital, permitem a obtenção de variáveis de interesse clínico para mensurar a capacidade pulmonar e metabólica durante o exercício (29).

3.2.1.1 Variáveis cardiológicas

a) Comportamento da frequência cardíaca

A resposta imediata do sistema cardiovascular ao exercício é de aumento da frequência cardíaca (FC). Essa elevação durante o exercício dinâmico ocorre de forma linear com a intensidade e o consumo de oxigênio (VO_2) (26, 31, 32). A maneira como ocorre essa elevação e sua magnitude variam de acordo com a idade, o condicionamento físico, o tipo de exercício, o posicionamento e o estágio da doença e do tratamento (31). A frequência cardíaca é controlada pela atividade do sistema nervoso autônomo, por meio dos ramos simpático e parassimpático ou vagal. Em repouso, a atividade vagal é predominante; entretanto, ao iniciar um exercício, para que ocorra o aumento da FC, essa atividade é progressivamente inibida, seguida de um aumento da atividade simpática. Essa resposta é observada logo nos primeiros instantes do exercício, mas, com o aumento progressivo da carga ao longo do tempo, como ocorre no teste de esforço, outros meios de controle da frequência começam a se destacar (33, 34). Durante a recuperação, ocorre a desaceleração da FC mediada pela reativação vagal.

b) Monitoração eletrocardiográfica

Os registros eletrocardiográficos devem ocorrer durante todas as fases do teste, desde o repouso, com os dados basais, durante cada fase do exercício (cada incremento de carga) e, por fim, até durante a fase de recuperação (27). A escolha do número de derivações deve estar de acordo com as indicações do teste e os riscos individuais pré-teste do paciente. O uso de três derivações se mostra suficiente para pacientes com doenças pulmonares ou indivíduos saudáveis, ao passo que doze derivações são o mais adequado para aqueles que apresentam queixas de angina e maior risco de alterações eletrocardiográficas, permitindo avaliação mais localizada e específica (29).

Alterações como arritmias, bradicardias e taquicardias, assim como incapacidade cronotrópica, são identificadas pela observação da FC. Além da frequência, alterações no formato do traçado eletrocardiográfico, observadas nas diferentes derivações, permitem identificar defeitos na função e estrutura cardíaca.

Alterações na onda P podem estar relacionadas a disfunções de ventrículo esquerdo, na onda Q e no segmento ST, com ocorrência de isquemia do miocárdio (27). São diversas associações, entre desnivelamentos positivos e negativos de ondas e segmentos do traçado, que permitem identificar focos de isquemia, distúrbios na contratilidade do miocárdio em região atrial ou ventricular e arritmias. Essas especificidades de avaliação não são relevantes nesta discussão, porém ressalta-se a grande importância de um aparelho adequadamente aplicado, garantindo uma imagem, além da presença de um profissional experiente na leitura eletrocardiográfica (29).

3.2.1.2 Variáveis ventilatórias

Ajustes ventilatórios ocorrem de forma a garantir que os valores das tensões homeostáticas gasosas sejam mantidos. Durante o exercício, a ventilação pulmonar (VE) aumenta proporcionalmente à produção de dióxido de carbono. A VE é resultante do produto da frequência respiratória (FR) pelo volume corrente (VC), isto é, o volume de ar que é inspirado a cada respiração (29, 30). A VE, durante o exercício, aumenta progressivamente, até atingir um valor máximo, um platô, que, em atletas, pode atingir valores de até 200 L por minuto. Como a VE é resultante do produto $FR \times VC$, seu aumento é decorrente de um aumento tanto da FR quanto do

VC. O volume corrente é alterado logo no início do exercício e pode apresentar um aumento de até, aproximadamente, 70% (30).

O controle da ventilação pulmonar é sensível aos níveis de dióxido de carbono (CO_2), visto que pequenas variações da pressão de CO_2 podem ter grandes consequências no pH sistêmico. Dessa forma, a resposta ventilatória (VE , volume minuto expiratório, expresso em litros por minuto) está intimamente relacionada com os determinantes da pressão arterial de CO_2 – os volumes expirados de CO_2 (VCO_2) vindo dos músculos em atividade e controle dos centros ventilatórios.

Assim, quanto menor a pressão arterial de CO_2 , maior deverá ser a ventilação alveolar para mantê-la reduzida, ou seja, maior o volume corrente (26, 29, 30).

3.2.1.3 Variáveis metabólicas

O exercício físico envolve, inevitavelmente, um aumento das necessidades orgânicas de suprimento de energia para a contração muscular. A principal fonte de energia, em forma de adenosina trifosfato, ou ATP, não está disponível no organismo em quantidade suficiente para manter uma atividade por mais que alguns segundos.

O organismo deve, então, recorrer a uma forma de obter energia. Inicialmente, isso ocorre por metabolismo aeróbio ou oxidativo, que, apesar de levar mais tempo para se ajustar, produz energia em maior quantidade, tornando-se um grande potencial para sustentar uma atividade prolongada. A outra opção é por metabolismo anaeróbio (glicólise anaeróbia), que, por um elevado gasto de substrato, pode rapidamente fornecer energia. Esta última tem a grande vantagem de não depender do aporte de oxigênio às mitocôndrias, porém tem como produto o ácido láctico (26, 29, 30).

Dentre as variáveis obtidas pelo teste cardiopulmonar, tem-se: o consumo de oxigênio ($\text{VO}_2 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$), o dióxido de carbono produzido pelo organismo ($\text{VCO}_2 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$), o pulso de oxigênio e a razão de trocas gasosas (R).

O consumo de oxigênio é uma medida objetiva da capacidade do organismo de transportar e utilizar o oxigênio para a produção de energia; aumenta linearmente com o incremento do trabalho muscular e é considerado máximo ($\text{VO}_2 \text{ máx.}$) quando

apresenta uma tendência a se estabilizar, com o aumento da carga de exercício. O VO_2 é determinado pelo débito cardíaco, que, por sua vez, depende da FC e do volume sistólico, e pela diferença arteriovenosa de oxigênio (26, 31).

O dióxido de carbono produzido pelo organismo, ou VCO_2 , durante o exercício, é gerado, em parte, a partir do metabolismo oxidativo, e outra parte resulta do tamponamento do lactato, que ocorre em níveis mais elevados de exercício. O VCO_2 tem relação direta com a VE, durante o exercício, o que mantém um pH relativamente normal, na maioria das condições (29). Em intensidades moderadas de exercício, o VCO_2 e o VE se elevam em paralelo com os valores de VO_2 ; porém, em intensidades maiores, acima de 70% do VO_2 máx., VE e VO_2 aumentam desproporcionalmente. Isso ocorre porque, em maiores intensidades de exercício, existe maior produção de ácido láctico e, por sua vez, maior produção de CO_2 , o qual estimula os centros ventilatórios para manter os valores de pH (29, 31).

Outra maneira de transportar o oxigênio cardiopulmonar é indireta, por meio do cálculo de pulso de oxigênio (pulso de O_2). Ele é calculado dividindo-se o consumo de oxigênio (ml/min) pela frequência cardíaca. Os valores normais em repouso variam de 4 a 6, podendo atingir valores de 10 a 20, com o esforço máximo (29, 31).

Por fim, a partir dos valores de VCO_2 e VO_2 , pode-se obter a razão de trocas gasosas (R). Aproximadamente 75% do oxigênio consumido é convertido em CO_2 ; portanto, em repouso, o R varia entre 0,75 e 0,85. Essa proporção, no entanto, varia de acordo com o combustível utilizado. Dessa forma, o R pode fornecer um índice do metabolismo dos carboidratos e das gorduras (31).

3.2.1.4 Limiares ventilatórios

Quando atingida determinada intensidade de exercício, ocorre aumento da produção de ácido láctico nas células musculares ativas e, conseqüentemente, seu acúmulo no sangue. Em decorrência do processo de tamponamento do ácido láctico pelo sistema do bicarbonato, são formados lactato de sódio e ácido carbônico, o qual se dissocia em gás carbônico e água. Esse acúmulo de lactato traz dramáticos efeitos na habilidade humana de tolerar o exercício dinâmico. Assim, as taxas de lactato em determinado consumo metabólico têm sido amplamente utilizadas como

marcador de aptidão cardiorrespiratória e delimitador da intensidade de exercício. O excesso de gás carbônico e a acidose metabólica geram estímulos dos centros respiratórios que promovem o aumento desproporcional da ventilação, o qual, por sua vez, em conjunto com níveis elevados de gás carbônico, provocaria a elevação do quociente respiratório (R) (29, 31).

Dessa forma, o limiar anaeróbio ou 1º limiar ventilatório (LV_1) pode ser definido como a intensidade de esforço ou consumo de oxigênio, acima da qual a produção de dióxido de carbono supera sua própria remoção, por aumento desproporcional da ventilação (35). A partir desse ponto, pode-se considerar que o metabolismo anaeróbio suplementar supera o metabolismo aeróbio.

O LV_1 pode ser estimado indiretamente, por métodos envolvendo a troca gasosa (como, por exemplo, o método da *V-slope*) e/ou analisando-se o comportamento da ventilação em relação à VO_2 e à VCO_2 (VE/VO_2 ou *equivalente ventilatório para o O_2* e VE/VCO_2 ou *equivalente ventilatório para o CO_2*) e as respectivas estimativas das pressões alveolares médias, ou seja, as *pressões expiratórias finais* (P_{efO_2} e P_{efCO_2}) (27, 31).

3.2.1.5 Sintomas

As respostas subjetivas são parte inerente da análise clínica de qualquer teste de esforço e contribuem muito para a avaliação da capacidade de exercício, somando dados para diagnóstico ou mesmo interrupção do teste (26, 29).

Em indivíduos com suspeita de intolerância ao exercício, o desconforto associado à atividade física frequentemente limita a progressão desta antes que os limites fisiológicos máximos sejam atingidos. Dentre as diversas alternativas disponíveis para a mensuração das sensações associadas ao esforço, ou seja, esforço percebido ou fadiga geral, cansaço ou esforço muscular e desconforto respiratório ou dispneia, as mais utilizadas são as escalas categórica de Borg e a escala analógico-visual (29, 36).

A dispneia, sensação de dificuldade para respirar, é classificada por uma escala visual ou escala de percepção subjetiva. A conhecida e validada escala de Borg (37), que pontua a sensação de 6 a 20, ajuda a quantificar níveis de fadiga e

intensidade do exercício ao longo do teste (26). A mesma escala também é utilizada para classificar o cansaço e a fadiga em membros em atividade, como as pernas, para teste de esforço em cicloergômetro. Outros sintomas também devem ser notados, como a presença de dor no peito, um sinal clínico que, juntamente com as demais variáveis, é usado como critério diagnóstico e prognóstico. Não menos importante, também pode ser observada a ocorrência de cianose, sudorese, palidez, tontura, mal-estar, parestesia, dor muscular e câimbras.

3.2.2 Métodos de aplicação do teste cardiopulmonar

Os objetivos do teste de esforço cardiopulmonar podem ser atingidos por dois tipos principais de protocolo: o *incremental*, com aumentos progressivos da carga em períodos predeterminados, e o *de carga constante*, em que a carga é mantida estável por tempo fixo previamente definido ou mantida até o limite máximo tolerado pelo indivíduo (29).

Existem diferentes métodos de teste incremental (ou teste de rampa), já descritos por diversos autores, como os de Bruce e de Balke. Os protocolos variam os valores de incremento de carga e os períodos para cada incremento. Também podem ser aplicados em esteira e em cicloergômetro. A escolha do protocolo adequado é muito importante e deve considerar as condições específicas do paciente (26, 27). Protocolos com grande incremento de carga a cada estágio normalmente apresentam baixa relação entre o VO_2 e a intensidade. Esse é um motivo considerado quando se sugerem protocolos que envolvem menores aumentos de carga a cada estágio, como o de Balke (27).

Os protocolos de rampa normalmente envolvem intervalos entre 10 e 60 segundos entre cada incremento de intensidade, no entanto, independentemente do protocolo escolhido, ele deve impor uma carga, de forma que o indivíduo atinja seu limite máximo, ou fadiga, em um período entre 8 e 12 minutos. Mesmo quando se aplica a carga em pequenas doses, os resultados da relação entre VO_2 e intensidade podem não se relacionar, quando a duração do teste for menor que 6 minutos. Quando a duração do teste for maior que 12 minutos, o sujeito pode interromper, por motivos como fadiga muscular ou fatores ortopédicos, em vez de fatores cardiopulmonares (26).

3.2.3 Cinética de VO_2

O estudo sobre o consumo de oxigênio pelo organismo tem sido foco de pesquisas há mais de um século. O desenvolvimento tecnológico facilitou medir a ventilação e as trocas gasosas de respiração a respiração, o que permitiu maior aprofundamento no comportamento do consumo de O_2 . Na década de 1970, os pesquisadores Karl Wasserman, Brian J. Whipp e colaboradores estabeleceram o campo da cinética do VO_2 (23).

O estudo da cinética de O_2 envolve os possíveis mecanismos fisiológicos da resposta dinâmica do consumo de oxigênio ao exercício e sua recuperação subsequente. Fatores como VO_2 máximo, VO_2 necessário para realização de exercício submáximo, e a taxa em que ele aumenta na transição para um exercício de maior exigência metabólica, até atingir um platô em seu valor máximo, influenciam na tolerância à atividade física de um indivíduo (23). Medidas da cinética do VO_2 têm sido uma importante ferramenta para avaliar as disfunções e o mecanismo em que as disfunções ocorrem, em diferentes doenças crônicas (23, 38).

Como mencionado anteriormente, as adaptações do consumo de oxigênio às cargas de trabalho, durante o exercício, dependem do bom desempenho dos sistemas cardiovascular, respiratório e metabólico periférico (38). A variação com VO_2 , durante o exercício, decorrentes de ajustes fisiológicos, foi descrita e é dividida em três fases de adaptação. No início do exercício, ocorre um rápido aumento do VO_2 .

A fase I representa a troca de O_2 associada com o aumento do débito cardíaco e o fluxo sanguíneo pulmonar, nos primeiros 20 até 45 segundos. Nessa fase ocorre um atraso temporário na resposta do VO_2 decorrente da dissociação entre o O_2 absorvido no pulmão e o consumido pela musculatura esquelética ativa (tempo de atraso ou *time delay*) (23).

Na fase II ocorre um aumento exponencial do VO_2 , levando-o ao seu estado de equilíbrio. Caracteriza-se pela utilização dos estoques de oxigênio pelos músculos, diminuindo o conteúdo de oxigênio sanguíneo e aumentando a diferença do conteúdo arteriovenoso (38). A resposta do VO_2 na fase II também é denominada “componente rápido” ou “componente primário”.

A fase III ocorre quando o débito cardíaco atinge seu valor máximo, mantendo-se contínuo, e o conteúdo venoso de O₂ chega a seu valor mínimo. Durante um exercício realizado com intensidade abaixo do primeiro limiar ventilatório, o VO₂ atinge seu estado estável e permanece até o final, o que representa um aparente equilíbrio metabólico. Essa estabilização caracteriza a fase III.

Quando o exercício é realizado acima do primeiro limiar ventilatório, no entanto, o VO₂ se encontra acima do valor esperado e não chega a estabilizar. Esse consumo excedente de oxigênio é denominado componente lento do consumo de oxigênio (38).

Em estudos anteriores, foi visto que a resposta do consumo de oxigênio na fase II tem caráter exponencial. E uma função exponencial é composta por uma constante de tempo e uma amplitude. A fase II é representada pela seguinte equação:

$$VO_2(t) = VO_{2b} + A_p \text{ base } (1 - e^{-(t-TD_p)/\tau_p})$$

Em que *b* e *p* subscritos se referem aos momentos iniciais de cicloergômetro sem carga e componente primário, respectivamente. Já *A_p*, *TD_p* e *τ_p* se referem à amplitude, ao tempo de atraso e à constante de tempo da resposta exponencial em foco (23).

Para que a análise dos dados de cinética seja realizada, os valores de respiração a respiração são interpolados de forma linear, a fim de fornecer valores para cada segundo. A dinâmica da resposta do VO₂ durante o exercício utiliza, portanto, essa função exponencial, ajustando os dados e possibilitando sua comparação em momentos diferentes, como antes e depois de uma intervenção (23, 26, 38).

3.3 Escala de esforço percebido

A importância de entender sobre a percepção individual de sintomas subjetivos e como eles se relacionam com dados objetivos é um assunto bastante discutido e bem definido na literatura (36, 37). Métodos foram desenvolvidos para

qualificar esses sintomas igualmente para todos os indivíduos, permitindo reproduzir resultados e detectar o efeito de intervenções (37, 39).

A percepção do esforço registrada por meio de métodos por escalas é válida quando se descrevem variações de percepção, porém métodos categóricos são mais úteis em diversas situações aplicadas, quando descritas diferenças entre indivíduos (37).

A conhecida escala RPE (*Rating Perceived Exertion*) de BORG é uma escala categórica, desenvolvida por Borg, para classificar o esforço percebido. Ela foi originalmente escrita em inglês, porém aplicada em português em diversos estudos, os quais mostram sua aplicabilidade em diferentes populações (40-42).

Sua constante aplicação durante avaliações físicas não se deve apenas por sua fácil aplicação, mas também pelos resultados que demonstram em sua correlação com o consumo de oxigênio e a frequência cardíaca (37).

A escala apresenta valores numéricos de 6 a 20 e expressões que classificam o grau de dificuldade (43). Cores foram incluídas posteriormente como uma forma não verbal representativa da graduação dos sentidos classificados pela escala. Esse acréscimo de recursos visuais já foi usado para facilitar a interpretação da escala (40, 41).

6	
7	Very, very light
8	
9	Very light
10	
11	Fairly light
12	
13	Somewhat hard
14	
15	Hard
16	
17	Very hard
18	
19	Very, very hard
20	

Figura 1 – Escala RPE de *Borg* (1982).

4 MÉTODOS

4.1 Delineamento do estudo

Trata-se de um estudo experimental transversal para testar a eficácia do efeito da TENS ganglionar sobre o desempenho durante exercício dinâmico de alta intensidade em indivíduos jovens saudáveis.

4.2 Considerações éticas

O estudo foi projetado de acordo com as Diretrizes e Normas Regulamentadoras de Pesquisas Envolvendo Seres Humanos e foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/UniCEUB (CAAE 0248/11). Após explicação do estudo, os participantes receberam uma cópia do termo de consentimento, sendo disponibilizado um dia para sua leitura. Todos os participantes assinaram o termo de consentimento informado (ANEXO 1), antes de iniciar sua participação. Não houve qualquer tipo de remuneração.

4.3 Seleção da amostra

Os indivíduos foram selecionados para o estudo por meio de convite no Centro Universitário de Brasília, UniCEUB; local de fácil acesso à população de interesse para o estudo. Foram incluídos apenas os indivíduos que se encaixaram nos critérios de inclusão e exclusão descritos a seguir.

4.3.1 Critérios de inclusão

Foram incluídos indivíduos que apresentavam as seguintes características:

- sexo masculino;
- idade entre 18 e 30 anos;
- saudáveis ao exame clínico;
- fisicamente ativos, porém não atletas;
- capazes de realizar exercício em ciclo ergômetro.

4.3.2 Critérios de exclusão

Os participantes foram considerados inelegíveis para o estudo quando as seguintes características foram encontradas:

- alterações cardíacas ao eletrocardiograma e teste ergométrico;
- incapacidade de realizar exercício em ciclo ergômetro;
- dor articular ou em membros inferiores, lesão e\ou cirurgia prévia em membros que pudessem alterar a capacidade de realizar o protocolo do estudo;
- uso de medicamentos que interferissem na capacidade cardiorrespiratória ou na frequência cardíaca, tais como, broncodilatador, betabloqueador e anti-hipertensivo;
- histórico de doença pulmonar e\ou tabagismo;
- história clínica de doença vascular periférica;
- não seguimento das orientações prévias ao início das avaliações, como: não fazer uso de cafeína nas 12 horas precedentes e não realizar exercício físico nas 24 horas precedentes.

4.4 Visão geral do estudo

O estudo foi dividido em duas etapas. Na etapa 1 ocorreram as avaliações preliminares onde, após a assinatura do termo de consentimento informado, os participantes passaram por uma avaliação clínica com um médico cardiologista, caracterizando-os e identificando possíveis fatores de exclusão (ver avaliação clínica inicial). Na sequência foram convidados a realizar um teste cardiopulmonar incremental máximo (uma vez). Na etapa 2 ocorreram os testes para coleta das variáveis dependentes do estudo. Nesta etapa os indivíduos selecionados foram convidados a realizar dois testes cardiopulmonares máximos com carga constante que ocorreriam em dias diferentes. Num dia o teste foi associado a aplicação da TENS em região ganglionar, e no outro dia foi associado a aplicação da TENS placebo (ver aplicação da TENS ganglionar).

Todos os participantes realizaram ambos os testes cardiopulmonares com carga constante, com TENS e com placebo. A ordem de aplicação dos testes foi

determinada de forma aleatória por meio de sorteio simples, sendo assim um estudo em *cross-over*. Em um dia, o teste foi executado associado à aplicação de TENS convencional e, no outro dia, o mesmo teste foi realizado, porém foi aplicado TENS placebo. Os testes nessa etapa foram realizados em dias separados, com um intervalo de 48 horas. Durante cada uma das intervenções associadas ao exercício de carga constante, foram adquiridas as variáveis dependentes do estudo.

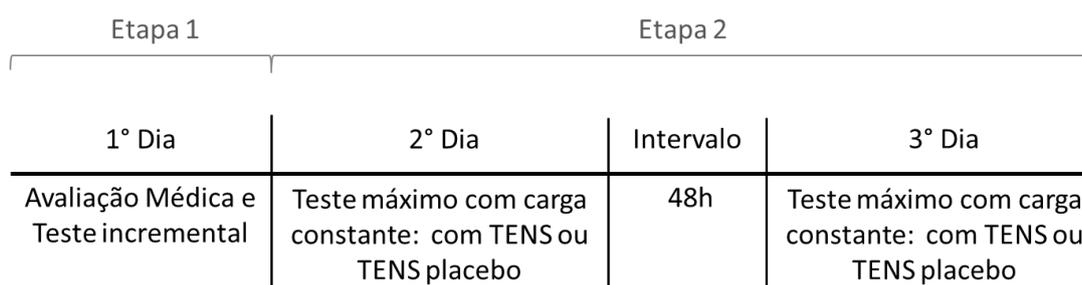


Figura 2 – Representação da sequência das intervenções nas quais cada indivíduo participou. A escolha da ordem para aplicação da TENS ou placebo foi aleatória.

4.5 Avaliação clínica e testes específicos

4.5.1 Avaliação clínica inicial

Os voluntários selecionados foram convidados a comparecer ao UniCEUB para a realização de uma avaliação inicial, que consistiu em um exame clínico feito por médico cardiologista e exame de eletrocardiograma. Os indivíduos que estavam de acordo com os critérios de inclusão foram então agendados para realizarem o teste cardiopulmonar de exercício incremental, conforme descrição.

4.5.2 Teste cardiopulmonar de exercício incremental

Os participantes foram encaminhados ao laboratório de fisiologia da UniCEUB para realização do teste cardiopulmonar de exercício incremental limitado por sintomas, realizado em bicicleta (Inbrasport 400E, Inbrasport, Porto Alegre, Brasil), por um protocolo de rampa (26). Os participantes foram orientados a não realizar exercícios nas 24 horas precedentes ao teste, a se alimentar antes e não ingerir

caféina ou alimentos estimulantes nas 12 horas precedentes. Essas questões foram certificadas antes de iniciar o protocolo, assim como as horas dormidas.

Antes do início de cada teste, o indivíduo permaneceu em repouso por um período de no mínimo 5 minutos, para estabilização dos sinais vitais, e outros 5 minutos para adaptação ao ciclo ergômetro e estabilização das trocas gasosas. Após essa fase de adaptação, iniciou-se a de aquecimento, com duração de 3 minutos e carga zero, em que o indivíduo pedalou em uma velocidade média de 60 rotações por minuto (rpm). Para garantir que o indivíduo mantivesse a velocidade desejada, foi utilizado um metrônomo programado para marcar o tempo a 60 batidas por minuto. Após o aquecimento de três minutos, iniciou-se o protocolo de rampa, com uma carga inicial de 25 watts, progredindo com incremento de 20 watts a cada minuto. A velocidade deveria ser mantida entre 60 e 70 rpm, durante todo o tempo de teste. Quando não era mais possível manter essa velocidade, o teste era então terminado.

O eletrocardiograma de três derivações foi monitorado continuamente (WinCardio, Micromed, Brasília, Brasil), com registro ao final de cada minuto. A pressão arterial foi verificada com esfigmomanômetro padrão, a cada 2 minutos, durante o exame, e até 5 minutos após o final da parte ativa do teste. Os gases expirados foram coletados por alíquotas, a cada respiração, por um analisador de gases computadorizado (Cortex Metalyzer, 2B system, Leipzig, Alemanha).

Durante o teste, foram registrados o consumo de oxigênio (VO_2), a produção de dióxido de carbono (VCO_2), a ventilação minuto (VE), o volume corrente (VC), a frequência respiratória (FR), a razão de troca respiratória (R), os equivalentes ventilatórios para oxigênio (VE/VO_2) e o dióxido de carbono (VE/VCO_2).

Os dados foram coletados por pelo menos 5 minutos após interrupção do exercício, registrando, assim, o período de recuperação. Durante todo o protocolo, também foram registrados os índices de percepção de esforço (43) para dispneia e fadiga dos membros inferiores (Figura 3). Foram utilizados como critério de interrupção do teste: quando o indivíduo atingisse a exaustão, sendo incapaz de manter uma cadência de até 10 rotações abaixo da velocidade requerida de 60 rpm; apresentasse sinais e sintomas de exaustão, como cianose, sudorese, palidez,

tontura, dispneia desproporcional ao esforço ou dor torácica. Também foram considerados critérios para interrupção aqueles descritos na II Diretriz da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre Teste Ergométrico, de 2002 (27), tais como, alterações eletrocardiográficas de isquemia; infradesnível do segmento ST de 0,3 mV ou 3 mm, adicional aos valores de repouso; presença de doença arterial coronariana suspeita; supradesnível do segmento ST de 0,2 mV ou 2 mm em derivação que observe região sem presença de onda Q; arritmia ventricular complexa; aparecimento de TSV sustentada; taquicardia atrial; FA, BAV de 2º ou 3º graus; elevações pressóricas, com pressão diastólica superior a 120 mmHg; e pressão arterial sistólica de 260 mmHg ou queda desproporcional ao esforço.

6	
7	MUITO FÁCIL
8	
9	FÁCIL
10	
11	RELATIVAMENTE FÁCIL
12	
13	LIGEIRAMENTE CANSATIVO
14	
15	CANSATIVO
16	
17	MUITO CANSATIVO
18	
19	EXAUSTIVO
20	

Figure 3 – Escala RPE de *Borg* (1982), adaptada para a língua portuguesa.

4.5.3 Teste cardiopulmonar de exercício constante

Para avaliação do comportamento cardiorrespiratório e da cinética do consumo de oxigênio, os participantes completaram um teste máximo em ciclo ergômetro, em que, diferentemente do teste de exercício incremental, a intensidade foi mantida a mesma até seu término. O uso do cicloergômetro foi por promover menor interferência de outros fatores de adaptação ao exercício, como ocorre durante a corrida, o que diminui ruídos na leitura dos dados (23). A intensidade foi determinada a partir de cálculo (44), utilizando 80% do delta das cargas obtidas nos momentos de potência máxima e primeiro limiar ventilatório (LV_1), no teste ergoespirométrico incremental.

$$Carga = 0,8 \times (Carga\ máx - Carga\ LV_1) + CargaLV_1$$

Nesse teste, inicialmente, cada indivíduo permaneceu em repouso por no mínimo 10 min, para estabilização de seus sinais vitais basais. O passo seguinte foi posicionar eletrodos de ECG, máscara da espirometria, e ajustar cicloergômetro, certificando-se de que o voluntário estava confortável para iniciar o teste. Um período de tempo variável foi observado com o indivíduo já posicionado para o teste, para garantir estabilização das trocas gasosas, sendo R de repouso $\leq 0,85$ (30).

Durante o teste, foram monitorados o tempo máximo de tolerância ao exercício (T_{lim} , s), a ventilação minuto (VE, $L \cdot \text{min}^{-1}$), a frequência respiratória (FR), a frequência cardíaca (FC) e a pressão arterial (PA). O sistema foi calibrado antes de cada teste. Eletrocardiograma de três derivações foi continuamente monitorado. Os indivíduos foram questionados acerca da sensação de esforço ventilatório e cansaço nos membros inferiores, a cada 2 minutos, de acordo com a escala RPE de *Borg* (43) representada pela Figura 3. Após período em repouso, houve um aquecimento com duração de 3 minutos, com zero de carga e uma velocidade de 60 rpm. Terminados os 3 minutos, a intensidade calculada para cada indivíduo foi imposta e mantida até a exaustão. Os critérios de interrupção do teste foram os mesmos que para o teste cardiopulmonar incremental.

Como mencionado anteriormente, As variáveis dependentes para comparação da intervenção TENS e placebo foram registradas durante o teste

cardiopulmonar de exercício constante. São elas: VO_2 , VCO_2 , R (VO_2/VCO_2), VE , VE/VO_2 , VE/VCO_2 , FC , pulso de oxigênio (VO_2/FC), tempo máximo de tolerância ao exercício (T_{lim}), e índice de percepção de esforço para dispnéia e fadiga de membros inferiores. Cada variável foi comparada entre os testes associados a TENS e a placebo nos momentos: antes da imposição da carga (o que chamamos de valores basais), ao final do exercício (no instante T_{lim}), e em alguns mesmos instantes ao longo do exercício. Esses instantes foram determinados através da identificação dos pontos nos quartis do teste de menor tempo total, como na Figura 4. Esses mesmos instantes percentuais de tempo foram chamados aqui de *isotime* nos instantes de 0, 25, 50, 75 e 100%.

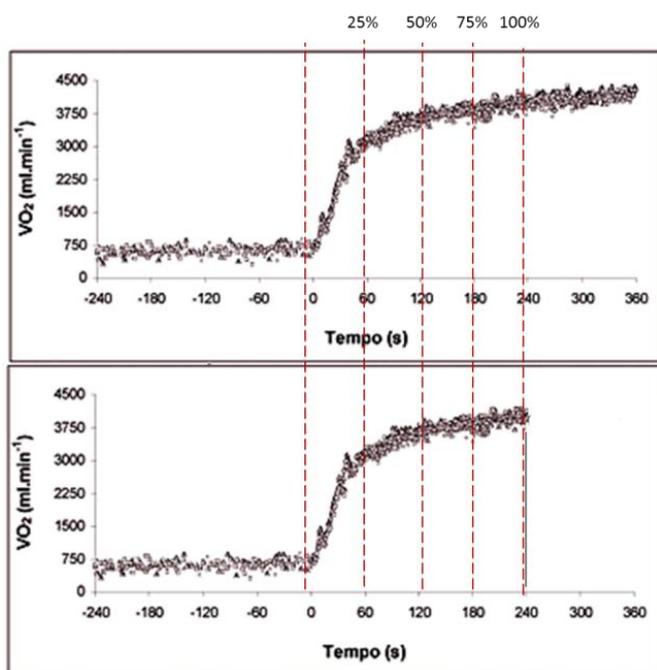


Figura 4 – Imagem representativa do consumo de oxigênio em dois testes de exercício com carga constante e identificação dos momentos isotime (linhas tracejadas) através da divisão em quartis do teste de menor tempo.

4.5.4 Modelagem matemática para avaliação da cinética durante teste de carga constante

A cinética do VO_2 foi examinada, inicialmente, respiração a respiração. Para excluir alterações na respiração causadas por tosse, deglutição, suspiros, etc., todos os valores acima de quatro desvios-padrões da média foram removidos. Os dados foram posteriormente interpolados de forma linear, para fornecer valores para cada segundo, como transições para o exercício (SigmaPlot 11.0, Systat Software, San Jose, CA). Os primeiros 20 segundos dos dados, após o início do exercício (ou seja, a fase I ou cardiodinâmica), foram excluídos, e o método de ajuste proposto por Barstow & Mole (45) foi utilizado para análise da cinética. O algoritmo não linear utilizado para ajustar os dados das respostas de VO_2 , FC e VO_2/FC foi o seguinte:

$$[Y]_{(t)} = [Y]_{(b)} + A_p \cdot (1 - e^{-(t - \text{TD}_p) / \tau_p})$$

Em que $[Y]_{(t)}$ representa o valor absoluto, em um dado tempo t da variável em análise (VO_2 , FC ou VO_2/FC); $[Y]_{(b)}$ ($b = \text{basal}$) representa a média no período inicial; A_p , $t - \text{TD}_p$ e τ_p representam a amplitude da fase, tempo de atraso (s) e constante de tempo, respectivamente, que descrevem a fase II, com aumento dessas variáveis acima de seus valores iniciais.

Para quantificar a dinâmica de resposta do VO_2 durante o exercício, ajustar-se-ão os dados com o modelo exponencial, em uma janela de 180 segundos, para determinar a qualidade do ajuste, conforme determinação prévia pelo quadrado do erro médio (44). Uma vez que o ajuste do modelo adequado foi identificado, foram comparadas a aplicação da TENS e a TENS placebo, durante o exercício máximo de resposta dinâmica do VO_2 .

A cinética do VO_2 e VO_2/FC como um todo (tempo para atingir 63% da resposta a partir do início do exercício) foi determinada como a média do tempo de resposta (*Mean Response Time*, MRT) e calculada por meio da fórmula $\text{MRT} = \tau + \text{TD}$, sendo τ a constante de tempo, e TD, o tempo de atraso (*time delay*) (46). O déficit de O_2 foi calculado usando a seguinte fórmula: $\text{O}_2 \text{ déficit} = (\text{TD}_p + \tau_p) A_p$. Estes cálculos não foram realizados para a FC visto que esta é uma variável

coletada diretamente e que responde imediatamente à imposição da carga. Desta forma não há tempo de atraso sendo assim TD é igual a zero.

4.6 Aplicação da TENS ganglionar

A aplicação da TENS ganglionar (TensMed 911 Device, Enraf-Nonius B.V., Rotterdam, Netherlands, GB 3004) ou placebo foi o que diferenciou os dois dias de testes da segunda etapa. A ordem de aplicação foi aleatória e não revelada ao participante. Como a percepção de uma corrente e o placebo seriam diferentes, os indivíduos foram informados de que, apesar da diferença, estariam recebendo alguma forma de estimulação elétrica em ambos os momentos.

A aplicação da estimulação elétrica nervosa transcutânea foi realizada antecedendo o teste de exercício constante por 45 minutos e durante o exercício, até o término do protocolo.

Os eletrodos autoadesivos (MultiStick[®], Axelgaard Manufacturing CO, Ltd, Fallbrook, CA, USA) foram colocados sobre área marcada previamente com caneta dermatográfica na pele dos participantes. A disposição deles foi paralela, ao lado dos processos vertebrais C7 (canal 1) e T4 (canal 2), como mostrado na Figura 5.

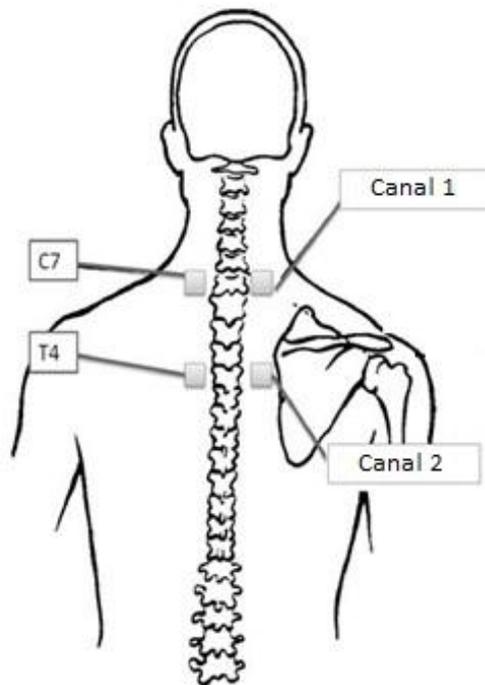


Figura 5 – Imagem representativa do posicionamento dos eletrodos para aplicação da estimulação elétrica transcutânea (TENS).

A frequência de estimulação foi de 80 Hz, largura de pulso de 150 μ s e intensidade ajustada em miliamperes (mA), de acordo com a sensibilidade de cada participante. Essa estimulação com corrente elétrica de baixa frequência causa uma sensação de parestesia local, sem causar estímulo doloroso ou desagradável. A intensidade foi ajustada a partir de zero, até que a sensação percebida atingisse seu limite sensorial máximo, sem dor, desconforto ou movimentos involuntários.

Neste estudo foi usada como controle a aplicação da TENS, seguindo os mesmos passos que o protocolo de intervenção, porém sem emitir impulsos elétricos (a intensidade permaneceu em zero), denominando-se TENS placebo.

4.7 Análise estatística

A análise foi feita utilizando o programa SPSS versão 18.0 (SPSS, Chicago, IL, EUA). Para análise dos dados, foi primeiramente utilizado o teste de distância K-S, a fim de verificar a distribuição da população estudada em cada variável, classificando os dados em paramétricos ou não paramétricos.

Para comparar os valores de repouso e de resposta ao exercício, foram usados os testes t de *student* pareado ou de Mann-Whitney, para dados paramétricos e não paramétricos, respectivamente.

Foi usada análise de variância para medidas repetidas (ANOVA), a fim de comparar variáveis fisiológicas entre os *quartis* do *isotime* (mesmo instante percentual de tempo), que foi identificado pelo teste com menor T_{lim} , entre intervenções com TENS e placebo.

Scheffé test foi usado para pós-teste. Foi considerado um valor de p significativo quando menor que 0,05, para todos os testes.

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização da amostra

A partir das avaliações iniciais, foram incluídos 11 participantes do sexo masculino. Como ilustrado na Figura 6, um foi excluído por apresentar R de repouso maior que 0,85, em duas tentativas de realização do protocolo de exercício; outro foi excluído por abandono. Permaneceram, assim, nove indivíduos, com média de idade de $21,3 \text{ anos} \pm 2,4$ e estatura de $177 \pm 7 \text{ (cm)}$, IMC de $24,2 \pm 1,2 \text{ (kg.m}^{-2}\text{)}$.

Ao serem randomizados quanto ao protocolo de teste que deveriam iniciar, quatro indivíduos iniciaram o teste cardiopulmonar com carga constante, associado ao TENS, e cinco iniciaram com placebo.

No teste de esforço cardiopulmonar, atingiram uma carga máxima de $293 \pm 46 \text{ W}$; VO_2 pico de $3,32 \pm 0,35 \text{ (L.min}^{-1}\text{)}$; VCO_2 pico $4,41 \pm 0,64 \text{ (L.min}^{-1}\text{)}$; FC pico de $195 \pm 7 \text{ (bpm)}$ (Tabela 1). Todos os indivíduos relataram realizar exercícios regularmente, totalizando aproximadamente 6 horas por semana. Apenas dois dos nove participantes tinham como atividade física principal exercícios de característica aeróbica; os demais referiram atividades de característica para ganho de força.

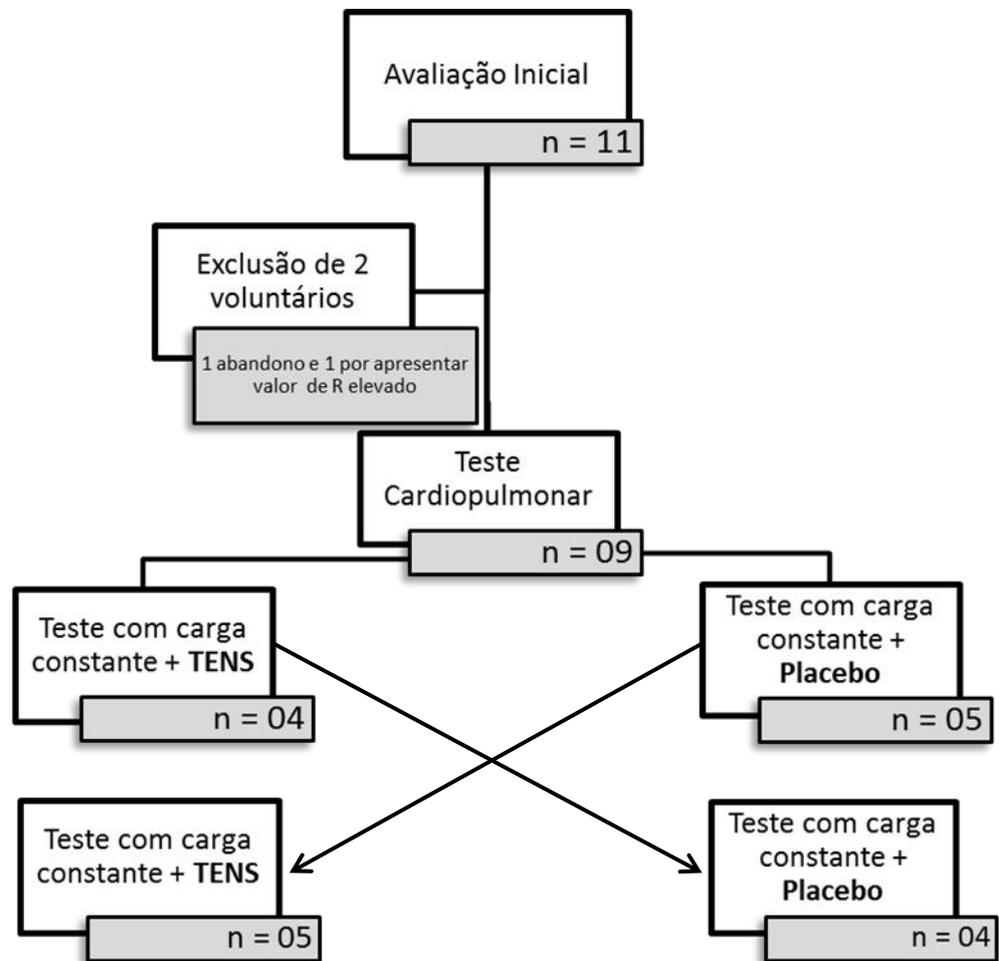


Figura 6 - Diagrama de blocos representativo da sequência de definição e caracterização da amostra, em que “n” é o número de participantes.

Tabela 1 - Características da amostra e valor médio das variáveis registradas no Teste Cardiopulmonar de Exercício Incremental.

	Valores
N	09
Idade (anos)	21,3 ± 2,4
Altura (cm)	177 ± 7
Massa corporal (Kg)	79 ± 7
Índice de massa corporal (kg.m ⁻²)	24,2 ± 1,2
Teste cardiopulmonar	
VO ₂ pico (L.min ⁻¹)	3,32 ± 0,35
VCO ₂ pico (L.min ⁻¹)	4,41 ± 0,64
R pico	1,34 ± 0,11
VE pico (L.min ⁻¹)	131,72 ± 24,61
VE/ VCO ₂	29,07 ± 3,82
FC pico (bpm)	195 ± 7
VO ₂ /FC	17,01 ± 3,56
Potência (W)	293 ± 46
BORG para dispneia	19 (17 - 20)
BORG para cansaço nas pernas	20 (18 - 20)

Legenda: Pico de consumo de oxigênio (VO₂ pico), pico de volume expirado de dióxido de carbono (VCO₂ pico), razão de trocas gasosas (R pico), pico da ventilação pulmonar (VE pico), equivalente ventilatório para dióxido de carbono (VE/VCO₂). Os valores estão representados por média e ± desvio-padrão; com exceção do valor de n e BORG (mediana e amplitude).

5.2 Variáveis metabólicas

Quando analisada a cinética do VO_2 nos primeiros 180 segundos de exercício, considerando que os primeiros 20 segundos foram eliminados, excluindo-se a fase cardiodinâmica, as variáveis comparadas entre os protocolos realizados com TENS e TENS placebo foram: amplitude (A), constante de tempo (τ , s), tempo de atraso (TD, s), tempo médio de resposta (MRT, s) e déficit de oxigênio (O_2 def, mL).

Como descrito na Tabela 2, os valores basais de VO_2 obtido pelo cálculo da média dos valores, dentro de um intervalo de 60 segundos, mostraram-se iguais entre aplicação de TENS e placebo. A amplitude foi estatisticamente maior quando TENS foi aplicado (Placebo $2,12 \pm 0,39$ vs. TENS $2,66 \pm 0,72$; $p < 0,05$). Entretanto, o τ e o MRT foram maiores na aplicação do placebo ($38,77 \pm 14,09$ vs. $24,66 \pm 3,39$ s e $62,70 \pm 15,01$ vs. $48,44 \pm 7,30$ s, respectivamente). TD e O_2 def. não apresentaram diferença estatística. Observe o exemplo de representação da cinética do VO_2 (fase II) de um dos participantes do estudo (Figura 7).

Tabela 2 – Variáveis da cinética do consumo de oxigênio, da frequência cardíaca e do pulso de oxigênio coletadas nos protocolos com aplicação da TENS e placebo.

	VO ₂		FC		VO ₂ /FC	
	Placebo	TENS	Placebo	TENS	Placebo	TENS
Valor basal	0,80 ± 0,07	0,81 ± 0,08	106 ± 13	93 ± 5*	7,64 ± 0,62	8,77 ± 0,87*
A	2,12 ± 0,39	2,66 ± 0,72*	88,51 ± 9,79	82,36 ± 10*	9,54 ± 2,93	9,52 ± 2,69
τ (s)	38,77 ± 14,09	24,66 ± 3,39*	42,54 ± 17,41	51,01 ± 17,14*	39,58 ± 14,45	27,69 ± 12,22*
TD (s)	8,93 ± 8,89	7,77 ± 7,01	-	-	24,29 ± 14,45	28,16 ± 13,88
MRT (s)	62,70 ± 15,01	48,44 ± 7,30*	-	-	63,87 ± 12,88	55,85 ± 18,91
O₂def (mL)	136,04 ± 55,54	127,79 ± 36,31	-	-	-	-

Legenda: Médias da amplitude (A), constante de tempo (τ), tempo de atraso (TD), média do tempo de resposta (MRT) e déficit de oxigênio (O₂def), consumo de oxigênio (VO₂), frequência cardíaca (FC) e pulso de oxigênio (VO₂/FC). Valores representados por média ± desvio padrão. * Diferença significativa entre placebo e TENS: p < 0,05 .

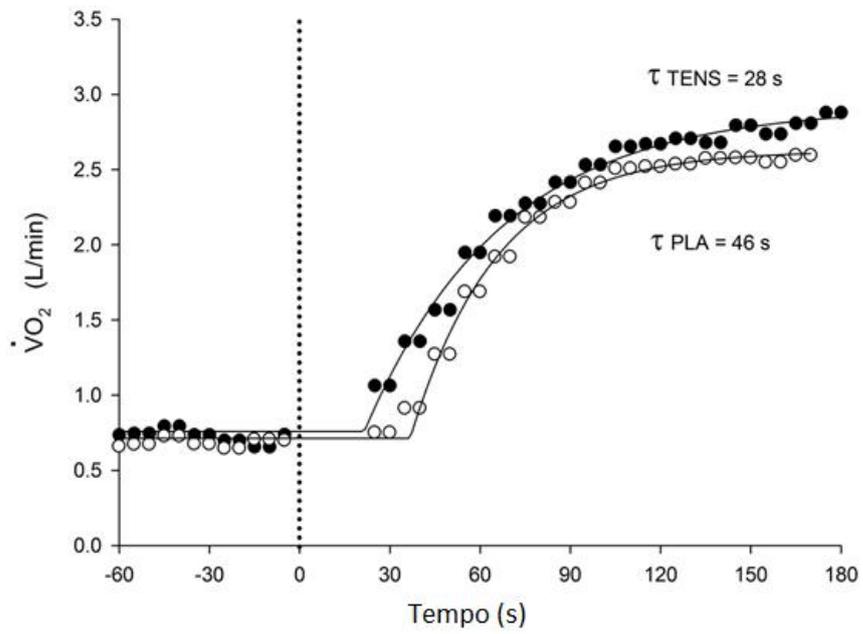


Figura 7 – Curva da cinética do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) em teste cardiopulmonar de exercício constante de apenas um indivíduo em uso de TENS (●) e placebo (○). Constante de tempo (τ).

Observando os valores de $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ nos momentos *isotime* (mesmo instante percentual de tempo) de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, identifica-se um aumento significativo do $\dot{V}O_2$ no pico do exercício com TENS ($3,67 \pm 0,50$ vs. $3,24 \pm 0,49$ L.min⁻¹; $p < 0,05$) (Figura 8). Para o $\dot{V}CO_2$, no entanto, o TENS implicou uma redução que foi estatisticamente significativa apenas no *isotime* de 75% e 100% (Figura 8). Em T_{lim} (tempo máximo de tolerância ao exercício), no entanto, os $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ e a relação R não apresentaram diferença entre os protocolos (Tabela 3).

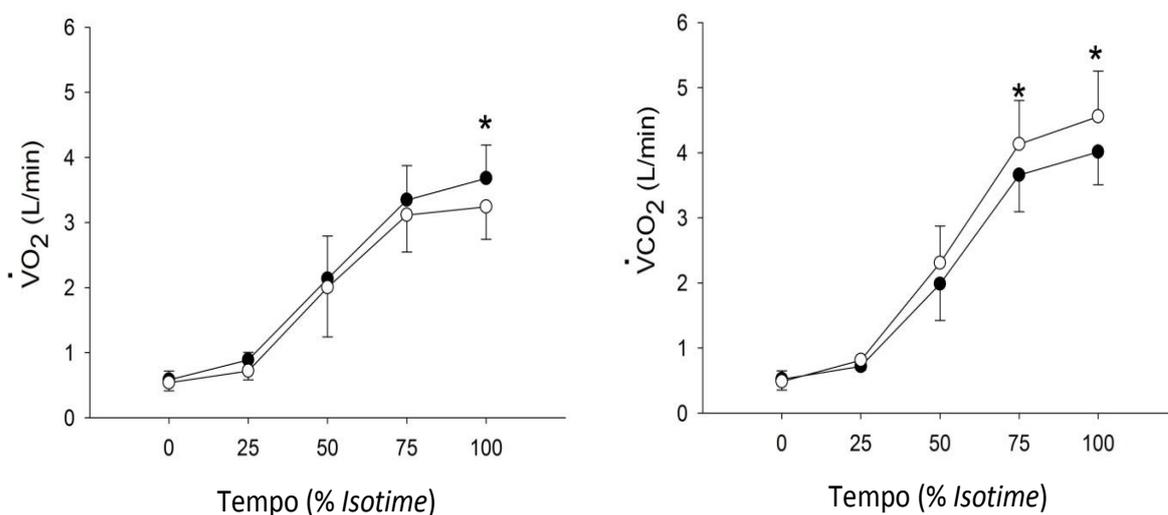


Figura 8 – Consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) e produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) nos momentos de mesmo percentual de tempo (*isotime*) durante o exercício associado a TENS (●) e placebo (○). * diferença significativa entre TENS e placebo: $p < 0,05$.

Tabela 3 – Resultado para as diferentes variáveis no tempo máximo de tolerância ao exercício associados a TENS e placebo.

Variáveis	T _{lim}	
	Placebo	TENS
Metabólicas		
VO ₂ (mL/min)	3,420 ± 712	3,332 ± 515
VCO ₂ (mL/min)	4,654 ± 296	4,498 ± 226
R	1,36 ± 0,15	1,35 ± 0,21
Ventilatórias/Trocas gasosas		
VE (L/min)	146 ± 24	134 ± 17*
VE/VO ₂	42 ± 5	39 ± 6
VE/VCO ₂	31 ± 3	29 ± 3
Cardiovascular		
FC (bpm)	195 ± 14	186 ± 10*
VO ₂ /FC (mL/min/bpm)	21 ± 3	19 ± 2
Subjetivas (BORG)		
Escore Dispneia	19(13-20)	18(17-20)
Escore Fadiga	20 (16-20)	19 (18-20)

Legenda: consumo de oxigênio (VO₂), volume expirado de dióxido de carbono (VCO₂), razão de trocas gasosas (R), ventilação pulmonar (VE), equivalente ventilatório para oxigênio (VE/ VO₂) e para dióxido de carbono (VE/ VCO₂), frequência cardíaca (FC), pulso de oxigênio (VO₂/FC). Os valores estão representados em média e ± desvio-padrão e escores de dispneia e fadiga em mediana e amplitude.* Diferença significativa entre placebo e TENS: p < 0,05.

5.3 Variáveis ventilatórias

Comparando TENS e placebo nos instantes *isotime*, pode-se identificar uma redução significativa de VE, em 75% e 100% e, conseqüentemente, de VE/VCO₂, nos mesmos instantes ($p < 0,05$) (Figura 9). VE/VO₂, no entanto, não apresentou diferença estatística entre os protocolos. Em T_{lim}, houve redução apenas no VE (placebo 146 ± 24 vs. TENS 134 ± 17 , $p < 0,05$) em TENS, comparado com placebo (Tabela 3).

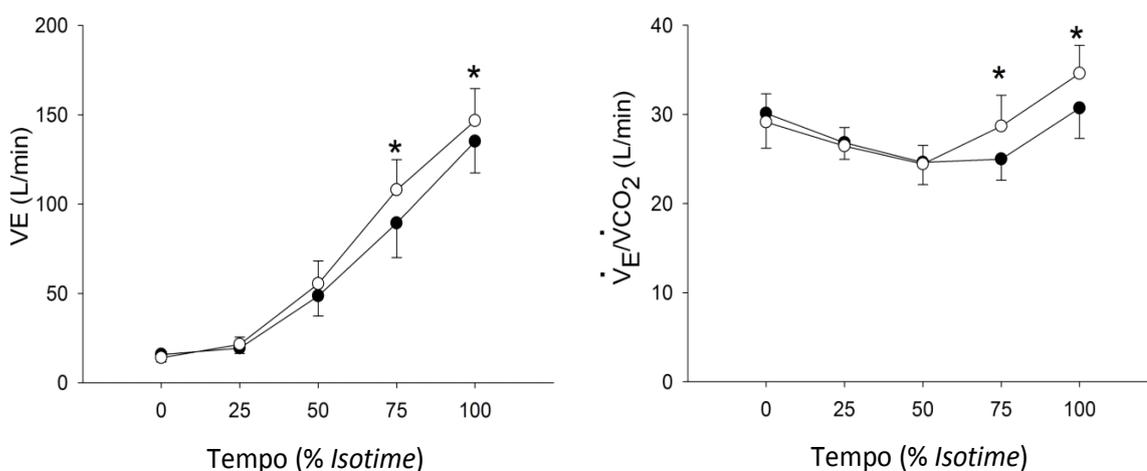


Figura 9 – Ventilação minuto (VE) e equivalentes ventilatórios para dióxido de carbono (VE/VCO₂), nos momentos de mesmo percentual de tempo (*isotime*), durante o exercício, associado a TENS (●) e placebo (○). * diferença significativa entre TENS e placebo: $p < 0,05$.

5.4 Variáveis cardiovasculares

5.4.1 Frequência cardíaca

Para os valores basais de FC, pode-se verificar (Tabela 2) que foram menores no protocolo com aplicação de TENS, com um $p < 0,05$ (placebo 106 ± 13 vs. TENS 93 ± 5). Em relação à cinética da FC no protocolo com TENS, a amplitude foi menor, e τ , significativamente maior (placebo $88,51 \pm 9,79$ vs. TENS $82,36 \pm 10$, $p < 0,05$ e placebo $42,54 \pm 17,41$ vs. TENS $51,01 \pm 17,14$; $p < 0,05$ respectivamente), como se pode ver na Figura 10, que mostra a curva da FC de um dos indivíduos participantes.

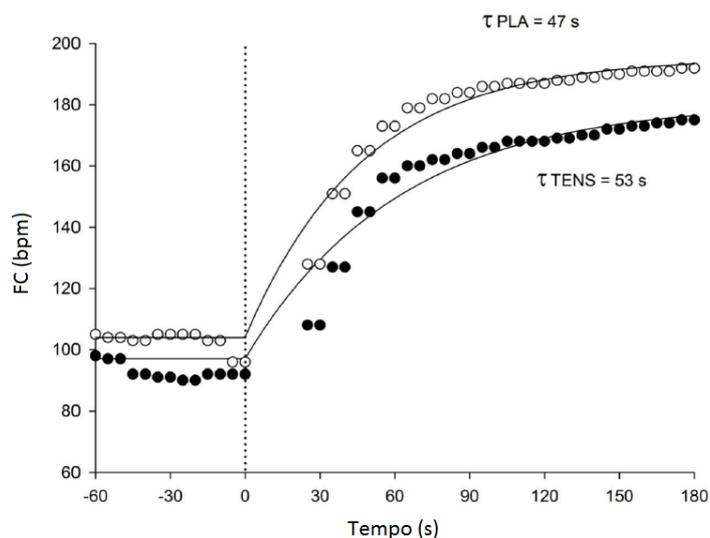


Figura 10 – Cinética da frequência cardíaca (FC) de um dos indivíduos, durante teste cardiopulmonar de exercício constante associado a TENS (●) e placebo (○). Constante de tempo (τ).

Quando comparado os valores da FC de TENS e placebo nos instantes *isotime*, vê-se uma redução ao longo de todo o exercício, exceto no pico do exercício (*isotime* 100%) (Figura 11). Em T_{lim} , no entanto, os valores da FC foram significativamente menores no TENS, quando comparado ao placebo (placebo 195 ± 14 vs. TENS 186 ± 10 , $p < 0,05$) (Tabela 3).

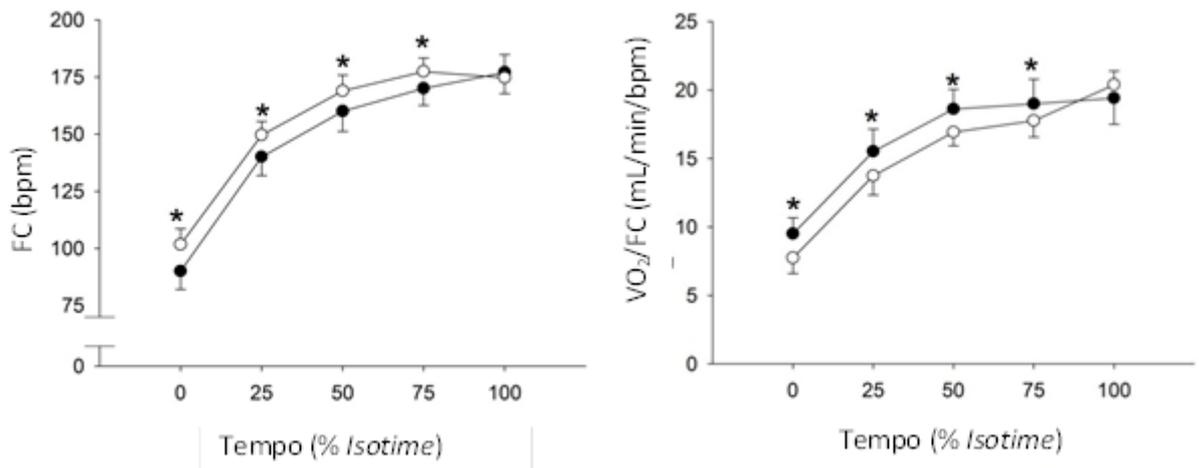


Figura 11 – Frequência cardíaca (FC) e pulso de oxigênio (VO₂/FC), nos momentos de mesmo percentual de tempo (*isotime*), durante o exercício associado a TENS (●) e placebo (○). * diferença significativa entre TENS e placebo: $p < 0,05$.

5.4.2 Pulso de O₂

Como se observa na Tabela 2, apresentaram diferença: a média basal do pulso de O₂, que foi menor no protocolo em que a TENS foi aplicada, enquanto T foi maior ($7,64 \pm 0,62$ vs. $8,77 \pm 0,87$ e $39,58 \pm 14,45$ vs. $27,69 \pm 12,22$; $p < 0,05$, respectivamente). A amplitude, TD e MRT não apresentaram diferença estatística entre os protocolos. Esses resultados podem ser identificados na Figura 12, com exemplo da cinética do pulso de O₂ de um dos participantes. Em T_{lim} não houve diferença do pulso de O₂ entre TENS e placebo (Tabela 3). Quando observados os instantes *isotime*, o pulso de O₂ foi maior durante todo o exercício com TENS, porém não houve diferença quando atingiu 100% do protocolo (Figura 11).

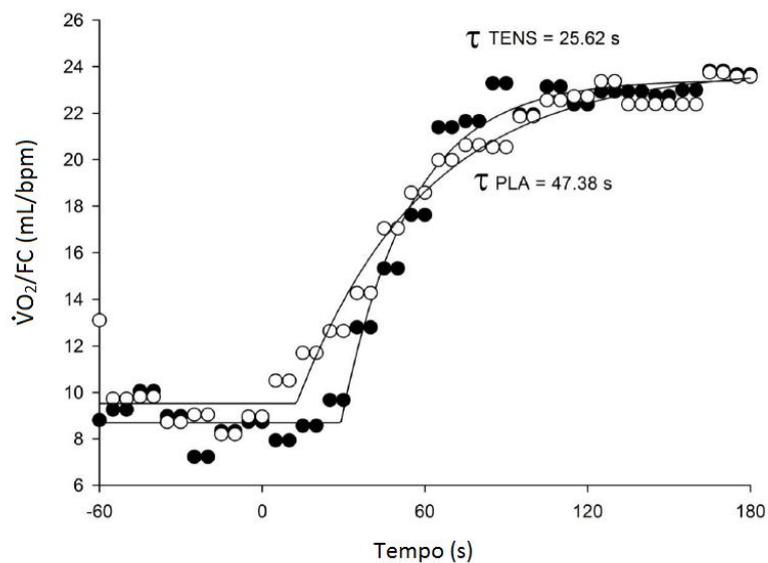


Figura 12 – Cinética do pulso de oxigênio ($\dot{V}O_2/FC$) de um dos indivíduos durante teste cardiopulmonar de exercício constante associado a TENS (●) e placebo (○). Constante de tempo (τ).

5.5 Tempo máximo de tolerância ao exercício

Como demonstrado na Figura 13, o tempo máximo de tolerância ao exercício foi significativamente maior quando aplicada TENS (placebo 321 ± 41 vs. TENS 390 ± 41 , $p < 0,05$).

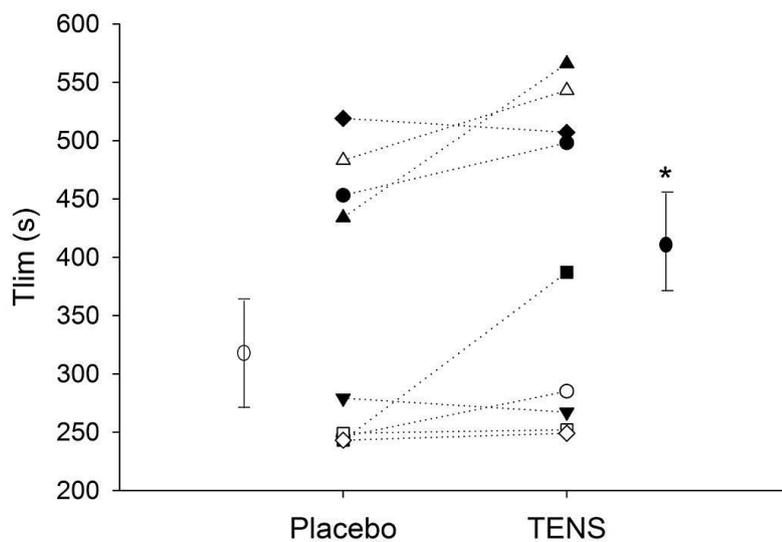


Figura 13 – Variação do tempo máximo de tolerância ao exercício (T_{lim}) entre as amostras placebo e TENS.* diferença significativa entre placebo e TENS.

5.6 Escala de esforço percebido

Os valores referentes aos índices de esforço percebido, avaliados pela escala RPE de BORG, cansaço nas pernas e dispneia ao final do exercício, não apresentaram diferença entre TENS e placebo (Tabela 3).

6 DISCUSSÃO

O presente estudo se propôs a testar a hipótese de que a aplicação da TENS em região ganglionar pode melhorar o desempenho de indivíduos jovens e saudáveis na realização de um exercício dinâmico de alta intensidade. Os resultados mostraram que essa intervenção foi capaz de aumentar o tempo de tolerância ao exercício, melhorar as trocas gasosas e aumentar o valor máximo de VO_2 ao final do exercício. Além disso, proporcionou valores reduzidos da FC em repouso e ao longo de todo o exercício.

Tratou-se de um ensaio clínico controlado e randomizado de tipo *cross-over*. Apesar de incluir um número pequeno de participantes, os dados apresentaram diferença estatística significativa. Como esperado em um estudo de *cross-over*, as características basais dos momentos de TENS e placebo não apresentaram diferença, garantindo um pareamento ideal para comparação.

O teste escolhido para tal investigação foi o Teste Cardiopulmonar de Exercício Constante, de acordo com Jones e Pool (2005) (23), visto que é um teste reproduzível que disponibiliza dados fidedignos acerca dos sistemas cardiovascular, respiratório e metabólico, de forma não invasiva. Além disso, seu caráter constante e de alta intensidade permite identificar as fases I e II (componente rápido) do exercício e atingir os valores máximos de VO_2 , em que ocorre a estabilização da produção de lactato.

Todos os testes foram realizados pelo mesmo avaliador, garantindo que a instruções e os incentivos fossem dados da mesma maneira. A análise dos dados foi realizada por um profissional capacitado e experiente na avaliação da cinética.

6.1 Efeito da TENS nas variáveis metabólicas

A maneira em que ocorre o consumo de oxigênio e a consequente liberação de dióxido de carbono pelos tecidos pode ser afetada por fatores endógenos, como temperatura corporal e diferente atividade intracelular mitocondrial de acordo com o tecido, e/ou fatores exógenos, como estar em local de maior altitude. Para este último, no entanto, certificou-se de que apenas os fatores intervenção com TENS e

placebo poderiam ser considerados atuantes; temperatura ambiente e pressão barométrica foram mantidas constantes durante o estudo.

No presente estudo, a aplicação do TENS implicou melhora na resposta do consumo de oxigênio, visto que houve aceleração da cinética do VO_2 , identificada pela redução no valor do τ , e aumento da amplitude (A) na fase II. Viu-se também aumento do VO_2 e diminuição do VCO_2 no pico do exercício em que os participantes receberam TENS.

O consumo de oxigênio pelos tecidos, a partir da equação de Fick, depende: (1) do fluxo sanguíneo no tecido, que, por sua vez, depende do débito cardíaco (produto da FC e do volume sistólico) e do grau de vasodilatação; e (2) da diferença arteriovenosa de oxigênio (23). Sabendo sobre esses fatores citados, podem ser encontrados meios que vão interferir na leitura final do VO_2 durante o exercício. Quando se observa a cinética do VO_2 , além dos fatores apresentados, a disponibilidade e o transporte de oxigênio também são considerados fatores limitantes (23, 44).

Tendo em vista a melhora da oferta de O_2 aos tecidos, diversos estudos mostraram que a TENS pode provocar vasodilatação periférica importante e melhora da perfusão muscular (12, 13, 21, 47-50), aumentando, assim, o aporte de oxigênio ao músculo em exercício e contribuindo para uma melhora aparente no exercício aeróbico.

Grande parte desses estudos identificaram esse efeito no músculo em que a corrente foi aplicada (12, 13, 48-50) ou até mesmo uma melhora do sintoma angina, em situações de isquemia do miocárdio, estimulando a região da dor e promovendo uma melhora na perfusão colateral (do fluxo coronariano), além de inibição segmentar de vasoconstricção simpática (7, 10, 16, 47, 51, 52).

O efeito nesses casos foi, no entanto, local diferente do atual estudo que avaliou o efeito sistêmico de uma aplicação central. Poucos estudos avaliaram os ajustes fisiológicos relacionados à aplicação da eletroestimulação na região central. Barker et al. identificaram melhora na leitura de oximetria periférica em indivíduos após aplicação de TENS em região ganglionar, tal como realizado neste estudo, sugerindo que a eletroestimulação nessa região resultou em redução da

vasoconstricção periférica em pacientes pós-trauma, em hipotermia e sem qualquer instabilidade hemodinâmica (20).

Recentemente, no estudo de Vieira et al. (2011) (21) mostrou que a aplicação da TENS em região ganglionar atenua as respostas vasoconstritoras durante o exercício, assim como a ativação do metaborreflexo em indivíduos jovens e idosos saudáveis. Esse efeito foi observado por meio da medida de pletismografia em membro inferior, durante um exercício estático de preensão palmar. Foi visto que, durante a contração muscular, o ajuste da frequência cardíaca foi significativamente menor durante estimulação elétrica, além de apresentar menor resistência vascular e maior fluxo sanguíneo de membro inferior. Nesse mesmo estudo, quando a resposta metabolorreflexa foi induzida por meio de manobra oclusiva, identificou-se menor ativação da resposta com a aplicação do TENS, assim como redução no balanço simpátovagal por aumento do componente de alta frequência, a qual é modulada pelo sistema nervoso parassimpático.

Esse efeito do TENS no controle da resposta tensional vascular também foi observado por Hollman e Morgan, em 1997. Nesse estudo, verificou-se que a aplicação da TENS no antebraço resultou na redução da resposta pressórica mediada por estimulação simpática (17).

Apesar dos diferentes métodos de aplicação da TENS encontrados nos estudos, alguns autores já demonstraram que a TENS pode modular a atividade autonômica a partir da redução da atividade simpática (18, 21), produzindo, então, vasodilatação periférica (8, 19, 21).

Até onde se sabe, o sistema simpático regula o tônus vascular via gânglios autonômicos. Em contraste, a administração de bloqueador ganglionar ou bloqueador neuronal ganglionar nicótico aboliu a vasodilatação provocada pela TENS (18). Esses resultados indicaram que o efeito vasodilatador da TENS pode também ser mediado por um efeito inibidor da vasoconstricção periférica, que é mediada pela atividade simpática aferente, incluindo transmissão nicotínica ganglionar e receptores α -adrenérgico pós-ganglionares (53).

Os achados descritos anteriormente, bem como a melhora do fluxo periférico e da oferta de oxigênio aos tecidos, podem estar relacionados não somente ao

aumento do VO_2 ao final do exercício, como encontrado aqui nos resultados, mas também com a aceleração na cinética do VO_2 . Poucos estudos verificaram essa influência, entretanto, Layec et al., em 2008, também procuraram encontrar melhora na cinética do VO_2 por aplicação de estimulação elétrica, no entanto, a corrente usada foi FES (*Functional Electrical Stimulation* [FES]), aplicada em membros inferiores.

Verificou-se um aumento significativo do fluxo sanguíneo periférico, identificado por hiperemia residual (22). Nesse estudo, indivíduos jovens e saudáveis receberam mioeletroestimulação por 15 minutos, previamente ao exercício. Apesar de encontrar maior concentração de hemoglobina e oxihemoglobina em fase de repouso previamente ao exercício, os autores não identificaram alterações dessas variáveis ao longo do exercício ou na cinética do VO_2 . Sugerem, assim, que essa hiperemia não promoveu efeito na cinética de O_2 ou em sua extração periférica. Parece, no entanto, que esses aspectos estão diretamente associados ao modo, à região aplicada e ao tipo de corrente aplicada, visto que a corrente FES tem como objetivo estimular fibras musculares e gerar contração muscular, fazendo uso de frequência e amplitude de onda particularmente diferentes da TENS.

Até o momento, não se identificou outro estudo na resposta do O_2 durante o exercício em humanos em que a cinética pode ser acelerada por intervenção aguda não farmacológica.

Neste estudo também se verificou aumento significativo na amplitude do VO_2 com a administração de TENS, o que pode estar ligado ao aumento da temperatura muscular (54-58), assim como na atividade enzimática mitocondrial (59, 60), fluxo sanguíneo e substrato (61).

A literatura mostra que o aumento da temperatura muscular pode ocorrer com o uso da TENS não ganglionar (11, 13, 55) tal como ocorre durante um exercício de alta intensidade (54, 62), porém não foram encontrados estudos que evidenciam que o mesmo ocorre quando aplicada em região ganglionar.

No presente estudo, quando da avaliação da cinética de consumo de oxigênio, verificou-se que o aumento da disponibilidade de O_2 resultante da

administração de TENS pode ser a chave para a aceleração da cinética do VO_2 primário. Burnley et al. (2002) sugerem que o aumento na amplitude do VO_2 , logo após o exercício, está associado ao aumento da atividade muscular. Adicionalmente, estudos mostraram que a aplicação da TENS pode mudar a ordem de recrutamento da unidade motora (63).

Tendo em vista uma maior disponibilidade de oxigênio ao músculo, poderia se supor uma diferente atuação das fibras musculares à imposição de uma atividade. Alguns autores sugerem uma ordem inversa durante a estimulação elétrica, enquanto outros sugerem um recrutamento similar naquele encontrado em uma contração voluntária normal (64, 65). A inversão da ordem do recrutamento durante o TENS poderia alterar a proporção de fibras musculares tipo I e II, utilizadas durante o exercício constante (48). No entanto, um maior recrutamento de fibras do tipo II, durante o exercício com a aplicação da TENS, poderia levar a um aumento na liberação de metabólitos vasodilatadores (66) (67). Esse efeito, no entanto, foi avaliado apenas na aplicação periférica da TENS e parece pouco claro.

Acredita-se que a disponibilidade aumentada de O_2 decorrente de uma vasodilatação e a modulação autonômica podem ser a justificativa para a aceleração na cinética e o aumento na amplitude do VO_2 primário, o que afetou os valores máximos do VO_2 , após a aplicação ganglionar da TENS, em comparação com placebo.

6.2 Efeito da TENS nas variáveis cardiovasculares

No presente estudo, a TENS reduziu a frequência cardíaca, assim como foi descrito por Vieira et al. Essa resposta não foi inesperada, visto que relatos anteriores demonstraram que a administração da TENS atenua a pressão arterial média e as respostas vasoconstritoras, durante o exercício, em indivíduos jovens saudáveis (68). Adicionalmente, a influência da TENS nos ajustes autonômicos já havia sido identificada, tem em vista uma redução nos níveis de epinefrina e norepinefrina (7, 69). Considerando que os ajustes da FC quando do exercício são controlados pelo sistema nervoso autônomo e por respostas simpáticas ao metaborreflexo, o balanço simpátovagal é considerado importante fator influente na cinética da frequência cardíaca (32, 44).

Os achados de Vieira e Li suportam a ideia de que a aplicação ganglionar da TENS promove atenuação do metaborreflexo e melhora do balanço simpátovagal agudamente, o que pode estar relacionado aos menores valores iniciais da FC e a um aumento da resposta de vasodilatação periférica, contribuindo para a redução na cinética da FC, identificada nos resultados.

Esses referidos fatores que conjuntamente contribuem para a redução da frequência cardíaca levam a um conseqüente aumento do pulso de O_2 ($VO_2/FC =$ consumo de oxigênio a cada batida cardíaca), durante o exercício. O pulso de oxigênio é uma medida importante, que traduz os ajustes de volume sistólico e extração periférica de oxigênio durante o exercício (70), refletindo no suprimento de oxigênio ao miocárdio e na reserva funcional cardíaca durante estresse físico (71, 72). Também foi identificado como preditor de doença arterial coronariana em indivíduos que não apresentam sintomas (71).

Os resultados aqui mostraram que o pulso de oxigênio foi maior ao longo do exercício em que houve aplicação da TENS (Figura 9) e aceleração da cinética com menor valor de τ (Figura 10). A aceleração do pulso de O_2 encontrada, como esperado, acompanhou a aceleração da cinética do VO_2 e lentificação da cinética da FC, durante exercício associado a TENS ganglionar.

Pode-se considerar que o aumento do pulso de O_2 permitiu maior consumo de oxigênio para um mesmo ritmo cardíaco, ao aplicar a TENS, representando, assim, melhora da perfusão muscular. Tais achados confirmam uma melhora da dinâmica oferta e consumo de oxigênio.

6.3 Efeito da TENS nas variáveis ventilatórias e tolerância ao exercício

Encontrou-se uma melhora significativa na eficácia ventilatória demonstrada pela redução de VE e da relação VE/VCO_2 (Figura 7). Os valores de VE durante o exercício aumentam proporcionalmente à produção de CO_2 (30). Dessa forma, já se espera uma redução do VE, visto que houve redução do VCO_2 durante o exercício associado a TENS.

Neric et al. (2009) (73) provou que a mioeletroestimulação periférica é eficaz na redução do lactato sanguíneo, 20 minutos após exercício, comparado ao

repouso. Esse efeito na concentração de ácido láctico pode estar relacionado à melhora da eficiência ventilatória e do desempenho no exercício.

Como mencionado anteriormente, a aplicação de estimulação elétrica ao músculo esquelético parece aumentar significativamente a temperatura muscular (11, 55, 57). Esse fato está ligado ao aumento do volume e fluxo sanguíneo (12, 57, 74) e vasodilatação local, permitindo a remoção de substratos (75) e, assim, diminuindo as respostas quimiorreceptoras. Resultados que mostram que a estimulação elétrica ganglionar também promovem vasodilatação e aumento do fluxo sanguíneo por atenuação da ativação do metaborreflexo e da atividade simpática durante o exercício (18, 21, 68) suportam a ideia de que uma maior remoção de substratos permite menor resposta quimiorreceptora e assim, menores valores de VCO_2 expirados e menor VE durante o exercício em que a TENS foi aplicada.

Menores concentrações de lactato sanguíneo também poderiam estar associadas ao aumento do T_{lim} encontrado no exercício associado ao TENS. Koppo et al. (2002), no entanto, não encontraram diferença no tempo para exaustão, quando houve alteração na cinética do VO_2 . Apesar de não ter encontrado diferença no déficit de O_2 , a aceleração na resposta do VO_2 (menor τ) está relacionada à menor depleção de fosfocreatina intramuscular e à menor taxa de glicogenólise, o que leva a menor acúmulo de lactato e menor utilização das reservas de glicogênio intramuscular, os quais, juntamente, predispõem a melhor tolerância ao exercício (23). Adicionalmente, a redução da FC durante o exercício e a maior oxigenação muscular poderiam explicar a maior capacidade de sustentar o desempenho durante um teste máximo de exercício. O *score* para dispneia e fadiga de membros inferiores, no entanto, não foi significativamente menor quando TENS foi aplicada, em comparação com o placebo. Esse fato se explica tendo em vista que foram comparados apenas os valores coletados ao final do teste, o qual ocorreu no momento de exaustão máxima do indivíduo. Esperou-se, então, que, para ambas as situações de exercício, esse valor fosse igualmente alto.

6.4 Limitações do estudo

O estudo apresentou algumas limitações durante a coleta dos dados. O uso de apenas uma transição para identificar diferenças na cinética do VO_2 e da FC foi visto como fator limitante em outros estudos (44), que pode limitar a leitura de pequenas alterações nas respostas cinéticas.

Os resultados, no entanto, mostraram diferenças entre a TENS e placebo grandes o suficiente para que fossem identificadas estatisticamente. Também é válido citar que o sistema de ajuste de carga do cicloergômetro não era conectado a um sistema computadorizado que fizesse um incremento instantâneo e imediato da carga, o que pode ter causado um atraso nas respostas na fase I do exercício maior que o esperado. Os 20 segundos após incremento da carga foram retirados da análise para excluir essa fase e minimizar a influência desse viés.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo mostrou que a aplicação da TENS em região ganglionar melhora o desempenho de indivíduos jovens e saudáveis na realização de exercício dinâmico de alta intensidade, favorecendo os ajustes cardiorrespiratórios. Os resultados obtidos mostraram que essa intervenção acelera a cinética de VO_2 na fase II do exercício, além de aumentar o valor máximo de VO_2 ao seu final. A aplicação da TENS também proporcionou menores valores de FC ao longo de todo o exercício, associados à lentificação e à aceleração da cinética da FC e pulso de O_2 , respectivamente. Além disso, o tempo máximo de tolerância ao exercício foi maior após intervenção com TENS.

Ademais, este estudo trouxe informações sobre o uso de recurso terapêutico adjuvante, que pode ser utilizado como forma prática e não invasiva de potencializar o desempenho durante um treinamento físico. A partir desses resultados, novos estudos se tornam importantes para maior esclarecimento dos atuais achados e possível verificação dos benefícios da TENS no treinamento físico de diferentes populações.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barr JO, Nielsen DH, Soderberg GL. Transcutaneous electrical nerve stimulation characteristics for altering pain perception. *Phys Ther.* 1986 Oct;66(10):1515-21.
2. Carroll D, Tramer M, McQuay H, Nye B, Moore A. Randomization is important in studies with pain outcomes: systematic review of transcutaneous electrical nerve stimulation in acute postoperative pain. *British Journal of Anaesthesia.* 1996;77(6):798-803.
3. Cipriano G, Jr., de Camargo Carvalho AC, Bernardelli GF, Tayar Peres PA. Short-term transcutaneous electrical nerve stimulation after cardiac surgery: effect on pain, pulmonary function and electrical muscle activity. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2008 Aug;7(4):539-43.
4. Gregorini C, Cipriano Junior G, Aquino LM, Branco JN, Bernardelli GF. Short-duration transcutaneous electrical nerve stimulation in the postoperative period of cardiac surgery. *Arq Bras Cardiol.* 2010 Mar;94(3):325-31, 45-51.
5. Kitchen S, Bazin S, Clayton EB. *Electrotherapy: evidence-based practice.* 11th ed. New York: Churchill Livingstone; 2002.
6. Mannheimer C, Carlsson CA, Emanuelsson H, Vedin A, Waagstein F, Wilhelmsson C. The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation in patients with severe angina pectoris. *Circulation.* 1985 Feb;71(2):308-16.
7. Mannheimer C, Emanuelsson H, Waagstein F. The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on catecholamine metabolism during pacing-induced angina pectoris and the influence of naloxone. *Pain.* 1990 Apr;41(1):27-34.
8. Sanderson JE, Tomlinson B, Lau MSW, So KWH, Cheung AHK, Critchley JAJH, et al. The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on autonomic cardiovascular reflexes. *Clinical Autonomic Research.* 1995;5(2):81-4.
9. Gersbach PA, Hasdemir MG, Eeckhout E, von Segesser LK. Spinal cord stimulation treatment for angina pectoris: more than a placebo? *The Annals of thoracic surgery.* 2001;72(3):S1100-S4.
10. Jessurun GAJ, Tio RA, De Jongste MJL, Hautvast RWM, Den Heijer P, Crijns HJGM. Coronary blood flow dynamics during transcutaneous electrical nerve stimulation for stable angina pectoris associated with severe narrowing of one major coronary artery. *The American journal of cardiology.* 1998;82(8):921-6.
11. Cramp A, Gilsenan C, Lowe A, Walsh D. The effect of high-and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation upon cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects. *Clinical Physiology.* 2000;20(2):150-7.
12. Sandberg ML, Sandberg MK, Dahl J. Blood flow changes in the trapezius muscle and overlying skin following transcutaneous electrical nerve stimulation. *Physical Therapy.* 2007;87(8):1047-55.
13. Sherry JE, Oehrlein KM, Hegge KS, Morgan BJ. Effect of burst-mode transcutaneous electrical nerve stimulation on peripheral vascular resistance. *Phys Ther.* 2001 Jun;81(6):1183-91.

14. Kaada B. Vasodilation induced by transcutaneous nerve stimulation in peripheral ischemia (Raynaud's phenomenon and diabetic polyneuropathy). *Eur Heart J*. 1982 Aug;3(4):303-14.
15. Twist DJ. Acrocyanosis in a spinal cord injured patient--effects of computer-controlled neuromuscular electrical stimulation: a case report. *Phys Ther*. 1990 Jan;70(1):45-9.
16. Chauhan A, Mullins PA, Thuraisingham SI, Taylor G, Petch MC, Schofield PM. Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on coronary blood flow. *Circulation*. 1994 Feb;89(2):694-702.
17. Hollman JE, Morgan BJ. Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on the pressor response to static handgrip exercise. *Physical Therapy*. 1997;77(1):28-36.
18. Stein C, Lago PD, Ferreira JB, Casali KR, Plentz RDM. Transcutaneous electrical nerve stimulation at different frequencies on heart rate variability in healthy subjects. *Autonomic Neuroscience*. 2011.
19. Larsen B, Macher F, Bolte M, Larsen R. Stellate ganglion block with transcutaneous electric nerve stimulation (TENS): a double-blind study with healthy probands. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 1995 May;30(3):155-62.
20. Barker R, Lang T, Hager H, Steinlechner B, Hoerauf K, Zimpfer M, et al. The influence of stellate ganglion transcutaneous electrical nerve stimulation on signal quality of pulse oximetry in prehospital trauma care. *Anesth Analg*. 2007 May;104(5):1150-3, tables of contents.
21. Vieira PJ, Ribeiro JP, Cipriano G, Jr., Umpierre D, Cahalin LP, Moraes RS, et al. Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on muscle metaboreflex in healthy young and older subjects. *Eur J Appl Physiol*. 2011 Jul 28.
22. Layec G, Millet GP, Jouglu A, Micallef JP, Bendahan D. Electrostimulation improves muscle perfusion but does not affect either muscle deoxygenation or pulmonary oxygen consumption kinetics during a heavy constant-load exercise. *European journal of applied physiology*. 2008;102(3):289-97.
23. Jones AM, Poole DC. Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine. Abingdon , UK: Routledge; 2005.
24. Balady GJ, Williams MA, Ades PA, Bittner V, Comoss P, Foody JAM, et al. Core components of cardiac rehabilitation/secondary prevention programs: 2007 update. *Circulation*. 2007;115(20):2675-82.
25. Watson T. Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS). <http://www.electrotherapy.org/downloads.htm>; 2010 [cited 2012].
26. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010 Jul 13;122(2):191-225.
27. Brito FS, Vilas-Boas F, Castro I, Oliveira JA, Guimarães JI, Stein R, et al. II Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre teste ergométrico. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. 2002;78(supl. 2):01-17.

28. Guimarães JI, Stein R, Vilas-Boas F. Normatização de técnicas e equipamentos para realização de exames em ergometria e ergoespirometria. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. 2003;80:457-64.
29. Neder JA, Nery LE. Teste de exercício cardiopulmonar. *J Pneumol*. 2002;28(Supl 1):S166-S206.
30. Yazbek Jr P, Carvalho RT, Sabbag LMS, Battistella LR. Ergoespirometria. Teste de esforço cardiopulmonar, metodologia e interpretação. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. 1998;71(5):719-24.
31. de Barros Neto TL, Tebexreni AS, Tambeiro VL. Aplicações práticas da ergoespirometria no atleta. *Rev Soc Cardiol*. 2001;11(3-695):705.
32. de Moraes Bertuzzi RC, NAKAMURA FY, FRANCHINI E, MATSUSHIGUE KA, KISS MAPDM. Cinética e variabilidade da frequência cardíaca mediante exercício físico predominantemente aeróbio: influência da intensidade e do tempo de análise. *Rev bras Educ Fís Esp, São Paulo*. 2007;21(3):205-18.
33. Almeida MB, Araújo CGS. Efeitos do treinamento aeróbico sobre a frequência cardíaca. *Rev Bras Med Esporte*. 2003;9(2):104-12.
34. Herdy AH, Fay CES, Bornschein C, Stein R. Importância da análise da frequência cardíaca no teste de esforço. *Rev Bras Med Esporte*. 2003;4:247-51.
35. Naimark A, Wasserman K, McIlroy MB. Continuous Measurement of Ventilatory Exchange Ratio during Exercise. *J Appl Physiol*. 1964 Jul;19:644-52.
36. Aitken R. Measurement of feelings using visual analogue scales. *Proceedings of the royal society of medicine*. 1969;62(10):989.
37. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med sci sports exerc*. 1982;14(5):377-81.
38. Silva AEL, de Oliveira FR. Consumo de oxigênio durante o exercício físico: aspectos temporais e ajustes de curvas. *Rev Bras Cine Des Hum ISSN*. 2004;1415:8426.
39. Grant S, Aitchison T, Henderson E, Christie J, Zare S, McMurray J, et al. A comparison of the reproducibility and the sensitivity to change of visual analogue scales, Borg scales, and Likert scales in normal subjects during submaximal exercise. *Chest*. 1999 Nov;116(5):1208-17.
40. Costa MG, Dantas M, Enrique E, Bottaro M, Novaes JS. Percepção subjetiva do esforço-classificação do esforço percebido: proposta de utilização da escala de faces. *Fitness & performance journal*. 2004(6):305-13.
41. Burnetto A, Paulin E, Yamaguti W. Comparacao entre a escala de Borg modificada ea escala de Borg modificada analogo visual aplicadas em pacientes com dispneia; Comparison between Modified Borg Scale (MBS) to the Visual Analogue Borg Scale (EBMAV) applied in patients with dyspnea. *Rev bras fisioter*. 2002;6(1):41-5.
42. de Liz Cavallazzi TG, Cavallazzi RS, Cavalcante TMC, de Cássia Bettencourt AR, Diccini S. Avaliação do uso da Escala Modificada de Borg na crise asmática. *Acta Paul Enferm*. 2005;18(1):39-45.

43. Borg G. Escalas de Borg para a dor eo esforço: percebido: Manole; 2000.
44. Chiappa GR, Borghi-Silva A, Ferreira LF, Carrascosa C, Oliveira CC, Maia J, et al. Kinetics of muscle deoxygenation are accelerated at the onset of heavy-intensity exercise in patients with COPD: relationship to central cardiovascular dynamics. *Journal of Applied Physiology*. 2008;104(5):1341-50.
45. Barstow TJ, Mole PA. Simulation of pulmonary O₂ uptake during exercise transients in humans. *Journal of Applied Physiology*. 1987;63(6):2253-61.
46. Gurd BJ, Scheuermann BW, Paterson DH, Kowalchuk JM. Prior heavy-intensity exercise speeds V_{O₂} kinetics during moderate-intensity exercise in young adults. *Journal of Applied Physiology*. 2005;98(4):1371-8.
47. Kaada B, Vik-Mo H, Rosland G, Woie L, Opstad P. Transcutaneous nerve stimulation in patients with coronary arterial disease: haemodynamic and biochemical effects. *European Heart Journal*. 1990;11(5):447-53.
48. Miller BF, Gruben KG, Morgan BJ. Circulatory responses to voluntary and electrically induced muscle contractions in humans. *Physical Therapy*. 2000;80(1):53-60.
49. Chen CC, Johnson MI, McDonough S, Cramp F. The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on local and distal cutaneous blood flow following a prolonged heat stimulus in healthy subjects. *Clinical physiology and functional imaging*. 2007;27(3):154-61.
50. Hallén K, Hrafnkelsdóttir T, Jern S, Biber B, Mannheimer C, DuttaRoy S. Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Induces Vasodilation in Healthy Controls But Not in Refractory Angina Patients. *Journal of pain and symptom management*. 2010;40(1):95-101.
51. Jessurun G, Hautvast R, Tio R, DeJongste M. Electrical neuromodulation improves myocardial perfusion and ameliorates refractory angina pectoris in patients with syndrome X: fad or future? *European Journal of Pain*. 2003;7(6):507-12.
52. De Vries J, Anthonio R, DeJongste M, Jessurun G, Tan ES, de Smet B, et al. The effect of electrical neurostimulation on collateral perfusion during acute coronary occlusion. *BMC cardiovascular disorders*. 2007;7(1):18.
53. Linderoth B, Herregodts P, Meyerson BA. Sympathetic mediation of peripheral vasodilation induced by spinal cord stimulation: animal studies of the role of cholinergic and adrenergic receptor subtypes. *Neurosurgery*. 1994 Oct;35(4):711-9.
54. Koga S, Shiojiri T, Kondo N, Barstow TJ. Effect of increased muscle temperature on oxygen uptake kinetics during exercise. *J Appl Physiol*. 1997 Oct;83(4):1333-8.
55. Abram SE, Asiddao CB, Reynolds AC. Increased skin temperature during transcutaneous electrical stimulation. *Anesth Analg*. 1980 Jan;59(1):22-5.
56. Zelis R, Mason DT, Braunwald E. A comparison of the effects of vasodilator stimuli on peripheral resistance vessels in normal subjects and in patients with congestive heart failure. *J Clin Invest*. 1968 Apr;47(4):960-70.

57. Currier DP, Petrilli CR, Threlkeld AJ. Effect of graded electrical stimulation on blood flow to healthy muscle. *Phys Ther.* 1986 Jun;66(6):937-43.
58. de Marchi SF, Schwerzmann M, Billinger M, Windecker S, Meier B, Seiler C. Sympathetic stimulation using the cold pressor test increases coronary collateral flow. *Swiss Medical Weekly.* 2001;131(23/24):351-6.
59. Zoladz JA, Korzeniewski B, Grassi B. Training-induced acceleration of oxygen uptake kinetics in skeletal muscle: the underlying mechanisms. *J Physiol Pharmacol.* 2006 Nov;57 Suppl 10:67-84.
60. Korzeniewski B, Zoladz JA. Biochemical background of the VO₂ on-kinetics in skeletal muscles. *J Physiol Sci.* 2006 Feb;56(1):1-12.
61. Grassi B, Hogan MC, Greenhaff PL, Hamann JJ, Kelley KM, Aschenbach WG, et al. Oxygen uptake on-kinetics in dog gastrocnemius in situ following activation of pyruvate dehydrogenase by dichloroacetate. *J Physiol.* 2002 Jan 1;538(Pt 1):195-207.
62. Koppo K, Bouckaert J. The decrease in the $\dot{V}O_2$ slow component induced by prior exercise does not affect the time to exhaustion. *International journal of sports medicine.* 2002;23(4):262-7.
63. Burnley M, Doust JH, Ball D, Jones AM. Effects of prior heavy exercise on VO₂ kinetics during heavy exercise are related to changes in muscle activity. *J Appl Physiol.* 2002 Jul;93(1):167-74.
64. Adams GR, Harris RT, Woodard D, Dudley GA. Mapping of electrical muscle stimulation using MRI. *Journal of Applied Physiology.* 1993;74(2):532-7.
65. Knaflitz M, Merletti R, De Luca CJ. Inference of motor unit recruitment order in voluntary and electrically elicited contractions. *Journal of Applied Physiology.* 1990;68(4):1657-67.
66. Hilton S, Hudlicka O, Marshall J. Possible mediators of functional hyperaemia in skeletal muscle. *The Journal of physiology.* 1978;282(1):131-47.
67. Vanderthommen M, Duchateau J. Electrical stimulation as a modality to improve performance of the neuromuscular system. *Exercise and sport sciences reviews.* 2007;35(4):180.
68. Li P, Ayannusi O, Reid C, Longhurst JC. Inhibitory effect of electroacupuncture (EA) on the pressor response induced by exercise stress. *Clin Auton Res.* 2004 Jun;14(3):182-8.
69. Emanuelsson H, Mannheimer C, Waagstein F, Wilhelmsson C. Catecholamine metabolism during pacing-induced angina pectoris and the effect of transcutaneous electrical nerve stimulation. *American heart journal.* 1987;114(6):1360-6.
70. Sietsema KE, Daly JA, Wasserman K. Early dynamics of O₂ uptake and heart rate as affected by exercise work rate. *Journal of Applied Physiology.* 1989;67(6):2535-41.
71. Laukkanen JA, Kurl S, Salonen JT, Lakka TA, Rauramaa R. Peak oxygen pulse during exercise as a predictor for coronary heart disease and all cause death. *Heart.* 2006;92(9):1219-24.

72. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ, Froelicher VF. Principles of exercise testing and interpretation. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*. 1987;7(4):189.
73. Neric FB, Beam WC, Brown LE, Wiersma LD. Comparison of swim recovery and muscle stimulation on lactate removal after sprint swimming. *J Strength Cond Res*. 2009 Dec;23(9):2560-7.
74. Indergand HJ, Morgan BJ. Effects of high-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation on limb blood flow in healthy humans. *Phys Ther*. 1994 Apr;74(4):361-7.
75. Seo B, Kim D, Choi D, Kwon C, Shin H. The Effect of Electrical Stimulation on Blood Lactate after Anaerobic Muscle Fatigue Induced in Taekwondo Athletes. *Journal of Physical Therapy Science*. 2011;23(2):271-5.

ANEXO 1

TERMO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

TÍTULO: EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA GANGLIONAR NA CAPACIDADE DO EXERCÍCIO EM INDIVÍDUOS JOVENS SAUDÁVEIS

INTRODUÇÃO

Este termo de consentimento livre e esclarecido descreve finalidades, procedimentos, benefícios, desconfortos e precauções relativos ao estudo.

Leve o tempo que for necessário para fazer todas as perguntas que você queira. O médico ou algum integrante da equipe do estudo lhe explicará todas as palavras ou informações que não estejam claras para você.

NATUREZA E FINALIDADE DO ESTUDO

Você está sendo convidado a participar de um estudo que envolve aplicação de uma pequena corrente elétrica muito utilizada na fisioterapia. Neste estudo será utilizada com intuito de diminuir o cansaço durante o exercício. Será realizado na UNICEUB, prevendo a inclusão de no mínimo 15 pacientes saudáveis. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) sob o registro 0248/11.

Para esse estudo usaremos a aplicação de uma corrente elétrica muito utilizada para diminuição de dor e desconfortos musculares. Funciona como se o senhor (a) recebesse pequenos “choques” na região do pescoço que fazem sentir um leve formigamento.

A finalidade deste estudo para o qual você está sendo convidado a participar é verificar se após a aplicação desta pequena corrente o cansaço ao realizar exercício irá diminuir e sua capacidade de suportar esforços aumentar;

PROCEDIMENTO DO ESTUDO E TRATAMENTO

Seu médico ou membro da equipe deste estudo discutirá o propósito e os procedimentos com você e perguntará se está interessado em participar. Caso você esteja interessado(a), deverá ser submetido aos seguintes procedimentos:

Você será submetido(a) a um breve exame físico e seu histórico médico passado será anotado por um médico cardiologista. O médico ou membro da equipe deste verificará seu prontuário para se assegurar que você tenha todos os exames necessários antes do início do estudo.

A avaliação inclui um teste cardiopulmonar, que consiste em avaliar sua verdadeira capacidade de exercitar-se. O teste será realizado em bicicleta ergométrica para poder dar melhor tranquilidade. Durante o teste poderá sentir cansaço, falta de ar, tontura, dor no peito ou dor nas pernas. Quando sentir um desses sintomas o teste será imediatamente interrompido. Durante o teste, o Sr.(a) estará monitorizado por equipamento de eletrocardiograma, sua pressão arterial será verificada frequentemente e estará acompanhado por um médico cardiologista para evitar qualquer risco.

Com base nestes resultados, o examinador e/ou médico irá determinar se você pode participar deste estudo.

O tempo de sua participação no estudo será de aproximadamente 30 dias. Aceitando participar, você será designado(a), por sistema automatizado (como se fosse um jogo de cara ou coroa), para fazer parte de um dos grupos de tratamento que receberá um dos seguintes tratamentos:

Corrente placebo: uma corrente sem qualquer efeito, porém vai sentir a mesma sensação da corrente de TENS.

Corrente TENS: pequena corrente elétrica que tem efeito, porém a sensação será a mesma da corrente placebo.

Após a aplicação de uma das correntes, o senhor(a) irá realizar um exercício na bicicleta que exigirá o máximo de sua capacidade. As respostas cardiorrespiratórias e metabólicas serão

avaliadas durante todo o protocolo por meio de um sistema de análise dos gases liberados durante a respiração composto pelo próprio sistema ligado a uma máscara que será acoplada em seu rosto. Sua frequência cardíaca e pressão arterial também serão verificadas e registradas ao longo do exercício. Esse exame causará cansaço com algum desconforto muscular nas pernas podendo ou não haver falta de ar.

RISCOS E BENEFÍCIOS

Normalmente, o TENS é bem tolerado, além disso, após o uso desta corrente o Sr.(a) será convidado a responder um questionário sobre que sintomas o Sr.(a) sentiu. É importante relatar que os efeitos podem ser manifestados de forma diferente para cada indivíduo. O médico fará um acompanhamento de quaisquer efeitos adversos durante o estudo.

Você deverá imediatamente avisar o médico se apresentar qualquer evento anormal ou inesperado ocorra, ou se você for internado(a) em hospital qualquer que seja o motivo. Caso ocorra qualquer sintoma decorrente da participação no estudo, o médico responsável fornecerá tratamento adequado.

A corrente elétrica administrada durante o estudo pode ou não representar um benefício pessoal adicional para você, mas as informações coletadas a partir do estudo fornecerão dados importantes sobre a capacidade da corrente utilizada em melhorar ou diminuir a sensação de cansaço em indivíduos jovens saudáveis.

PARTICIPAÇÃO NO ESTUDO

Sua participação neste estudo é estritamente voluntária. A recusa em participar não implicará em nenhuma penalidade (punição), perda de benefícios ou diminuição na qualidade de atendimento médico. Caso surjam novas informações que possam afetar sua disposição em continuar nesta pesquisa, elas lhe serão fornecidas.

CUSTOS, NÃO REMUNERAÇÃO E COMPENSAÇÃO.

Você não terá qualquer despesa com os exames requeridos pelo estudo. Portanto, sua participação neste estudo não terá nenhum custo adicional para você. No entanto, sua participação neste estudo não será remunerada.

DESISTÊNCIA DO ESTUDO

Você poderá se retirar deste estudo em qualquer momento, sem necessidade de explicar o motivo sem que você seja punido(a) por isso. Caso isso ocorra, você deve contatar os membros da equipe deste estudo. Além disso, você não perderá os benefícios aos quais possa ter direito. É muito importante para a interpretação deste estudo, que seu médico possa relatar seu estado de saúde por ocasião do término do estudo, e que você permita que estas informações sejam coletadas através de meios apropriados. Se o médico achar que é melhor para você interromper sua participação neste estudo, ou se você não seguir as instruções do seu médico, você será excluído(a) do estudo, independente da sua aceitação. Nos casos de ocorrência de um efeito colateral ou de uma condição clínica que possa coloca-lo(a) sob risco, a interrupção poderá ser feita imediatamente pelo seu médico. Em qualquer um dos casos você será notificado. A desistência deste estudo, por qualquer motivo, não afetará em hipótese alguma a qualidade de tratamento médico que virá receber.

CONFIDENCIALIDADE

Os pesquisadores do estudo irão coletar as informações requeridas para este estudo a seu respeito. Em todos estes registros um código substituirá seu nome. Estas informações coletadas durante a pesquisa serão mantidas de forma confidencial e usadas em publicações médicas, porém seu nome não será revelado. Este estudo respeitará todas as Resoluções e Leis Brasileiras aplicáveis a esta pesquisa, garantindo sigilo e assegurando a sua privacidade quanto aos dados confidenciais envolvidos nesta pesquisa.

SOLICITAÇÃO DE INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Os investigadores Fernanda Tomasi, telefone (61) 8134 8891, e/ou Gerson Cipriano Jr. (61) 78135534, responderão todas as dúvidas que você possa ter sobre sua participação nesse estudo. Em caso de dúvidas ou preocupações quanto aos seus direitos como participante desse estudo, você pode entrar em contato com o Comitê de Ética e Pesquisa da Unesc. Uma cópia desse termo será entregue a você.

O abaixo assinado e identificado, sob a responsabilidade do médico que assina este documento declara ter recebido uma explicação clara e completa sobre a pesquisa acima mencionada a qual se submete de livre e espontânea vontade, reconhecendo que:

1º - Foram explicadas as justificativas e os objetivos da pesquisa.

2º - Foram explicados os procedimentos que serão utilizados, incluindo os que ainda são experimentais. Junto a outros procedimentos ou testes que se fizerem necessários.

3º - Foram descritos os desconfortos e riscos esperados.

Os procedimentos a serem executados poderão apresentar os seguintes efeitos:

Durante os testes e/ou exames, cansaço, falta de ar e tontura, dor de cabeça ou dor no peito, formigamento ou dor nas pernas e pés.

Caso venha sentir algum desses sintomas, acima relacionado, devo informar prontamente ao pesquisador responsável.

4º - Foi dada garantia de receber resposta a toda pergunta ou esclarecimento a qualquer dúvida acerca dos procedimentos, riscos, e outros assuntos relacionados com a pesquisa.

Caso tiver novas perguntas sobre este estudo, sobre os direitos como participante do mesmo ou se pensar que fui prejudicado pela minha participação, posso chamar aos Fisioterapeutas Fernanda Tomasi, telefone (61) 8134 8891, e/ou Gerson Cipriano Jr. (61) 78135534.

5º - Foi dada a liberdade de retirar meu consentimento a qualquer momento e deixar de participar do Estudo, sem que isso traga prejuízo à continuidade do meu cuidado e tratamento.

6º - Foi dada a garantia de não ser identificado e de ser mantido o caráter confidencial de informação em relação à minha privacidade.

7º - Foi assumido o compromisso de proporcionar-me informação atualizada obtida durante o estudo, ainda que esta possa afetar minha privacidade.

8º - Assino o presente documento, em duas vias de igual teor, ficando uma em minha posse.

A minha assinatura neste Consentimento Livre e Esclarecido dará autorização ao pesquisador do estudo, ao Comitê de Ética da UNESC, e a organização governamental de saúde de utilizarem os dados obtidos quando se fizer necessário, incluindo a divulgação dos mesmos, sempre preservando minha privacidade.

Li e compreendi este termo de consentimento e todas as minhas dúvidas foram resolvidas. Recebi explicações sobre o objetivo da pesquisa, os procedimentos do estudo a que serei submetido(a), os possíveis riscos e desconfortos, e os benefícios que posso apresentar. As alternativas à minha participação nesse estudo também foram discutidas. Portanto, concordo voluntariamente em fornecer meu consentimento para participar desse estudo clínico.

Nome do paciente _____

Assinatura do paciente _____

Data ___ / ___ / ___

Nome do investigador _____

Assinatura do investigador _____

Data ___ / ___ / ___

PARECER CONSULTIVO Nº 028/11 Brasília, 16 de setembro de 2011.

Parecer 428/11.
Do Comitê de Ética em Pesquisa – CEP / UniCEUB.
Para: Gerson Cipriano Júnior
Vinícius Zacarias M. da Silva
João Paulo C. Cardozo.

Assunto: Encaminhamento do Parecer CAAE 0248/11.

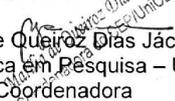
Prezados Pesquisadores,

Informamos que o projeto de título **“Efeitos da estimulação elétrica ganglionar na capacidade do exercício em indivíduos jovens saudáveis”** e de **CAAE 0248/11** atendeu a todas as solicitações apontadas; está **aprovado** por este Comitê de Ética em Pesquisa e em condições de ser iniciado.

Ressaltamos a necessidade de atenção aos Incisos IX.1 e IX.2 da Resolução 196/96 CNS/MS concernentes às responsabilidades do pesquisador no desenvolvimento do projeto.

Após o seu encerramento, solicitamos o envio do relatório, conforme anexo.

Cordialmente,


Marília de Queiroz Dias Jácome
Comitê de Ética em Pesquisa – UniCEUB
Coordenadora