

REPRODUTIBILIDADE DO TESTE CARDIOPULMONAR DE EXERCÍCIO COM RESISTÊNCIA ELÁSTICA APLICADO EM ADULTOS MAIS VELHOS E IDOSOS

Alana Kock Ferregueti Costa^{1*} Zirlei Vidal Soares¹ Wellington Lunz² Lenice Brum Nunes¹ Victor Hugo Gasparini Neto¹ Luciana Carletti³

¹ Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFEX); ² Professor Associado III da UFES/LAFEX; ³ Professora Titular da UFES. Pesquisadora do LAFEX.

Resumo: O teste cardiopulmonar de exercício com resistência elástica é uma proposta de teste incremental de baixo custo que apresenta especificidade com um programa de treinamento de corrida/caminhada com resistência elástica e boa reprodutibilidade quando aplicado em jovens saudáveis. Este estudo avaliou a reprodutibilidade do teste cardiopulmonar de exercício com resistência elástica em pessoas mais velhas e idosas. Foram avaliadas 36 pessoas (30 a 65 anos; 7 homens). Cada participante realizou dois testes incrementais em que executavam um movimento alternando passadas, seguindo o ritmo de um metrônomo, atados à uma resistência elástica, sobre um tapete de borracha com 8 estágios. Esse teste foi aplicado duas vezes com intervalo de 7 dias entre eles. Também foi realizada uma fase de verificação do consumo máximo de oxigênio e aplicados critérios primários e secundários para identificação dos limiares ventilatórios. Não foram encontradas diferenças significativas na comparação teste vs. reteste, para as variáveis: consumo de oxigênio, frequência cardíaca, ventilação, cadência, tempo de teste, e lactato; nas intensidades dos limiares ventilatórios e no esforço máximo ($p \geq 0,05$), com tamanho de efeito de irrisório a pequeno, exceto para o lactato (tamanho de efeito = 0,34 – moderado). O coeficiente de correlação intraclass para o consumo de oxigênio e frequência cardíaca foi de muito alto a alto, em todas as intensidades, com valores baixos para mínima diferença detectável e erro padrão da medida. O teste cardiopulmonar de exercício com resistência elástica apresentou alta reprodutibilidade em adultos mais velhos e idosos, sendo possível utilizá-lo na identificação de parâmetros submáximos e máximos.

Palavras-chave: teste de esforço¹; consumo de oxigênio²; aptidão física³; limiar anaeróbio⁴.

* Autor correspondente. alanakock@hotmail.com; UFES; Avenida Fernando Ferrari, 514, 29.075.910, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

REPRODUCIBILITY OF THE CARDIOPULMONARY EXERCISE TEST WITH ELASTIC RESISTANCE APPLIED IN OLDER ADULTS AND ELDERLY

Abstract: The cardiopulmonary exercise test with elastic resistance is a low-cost incremental test proposal that presents specificity with a running/walking training program with elastic resistance and good reproducibility when applied to healthy young people. This study evaluated the reproducibility of cardiopulmonary exercise test with elastic resistance in older adults and elderly people. 36 people (30 to 65 years old; 7 men) were evaluated. Each participant performed two incremental tests in which they performed a movement alternating steps, following the rhythm of a metronome, tied to an elastic resistance, on a rubber mat with 8 stages. This test was applied twice with an interval of 7 days between them. A verification phase of maximum oxygen uptake was also carried out and primary and secondary criteria were applied to identify ventilatory thresholds. No significant differences were found in the test vs. retest comparison for the variables: oxygen consumption, heart rate, ventilation, cadence, test time, and lactate; in the intensities of ventilatory thresholds and maximum effort ($p \geq 0.05$), with an effect size ranging from negligible to small, except for lactate (effect size = 0.34 – moderate). The intraclass correlation coefficient for oxygen consumption and heart rate was very high to high at all intensities, with low values for minimal detectable difference and standard error of measurement. The cardiopulmonary exercise test with elastic resistance showed high reproducibility in older adults and elderly people, making it possible to identify submaximal and maximum parameters.

Key words: exercise test¹; oxygen consumption²; physical fitness³; anaerobic threshold⁴.

Introdução

O teste cardiopulmonar de exercício (TCPE) é uma ferramenta não invasiva capaz de avaliar a integralidade dos sistemas cardiovascular, respiratório e muscular, para captar, distribuir e utilizar o oxigênio no metabolismo¹. Ele permite identificar o consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$), um importante indicador da aptidão cardiorrespiratória e os limiares ventilatórios, que podem ser utilizados no diagnóstico de risco à saúde, e na prescrição e monitoramento do treinamento físico².

Os limiares ventilatórios demarcam os momentos de incremento da colaboração anaeróbica ao longo de um teste de carga progressiva, através dos quais é possível prever zonas de treinamento para a prescrição da intensidade do treino³. Isso garante o direcionamento de estratégias a serem adotadas para melhor adaptar o organismo aos estímulos recebidos elevando o condicionamento cardiorrespiratório e a performance⁴.

O TCPE é comumente realizado em ergômetros tradicionais (esteira e cicloergômetro), sendo necessário um ambiente preparado, climatizado e equipado com itens de alto custo⁵. Porém isso torna o exame pouco aplicável na prática, principalmente para programas que envolvem número elevado de pessoas, como acontece nos programas públicos de atividade física (AF)⁶. Nessas circunstâncias, essa ferramenta se torna pouco usual na prescrição do exercício físico, exigindo metodologias alternativas⁷.

Dentre as metodologias alternativas, existem algumas evidências científicas favoráveis à utilização da resistência elástica como recurso para o treinamento de endurance⁸. Esses estudos se concentram principalmente em testes de corrida de velocidade, utilizando a resistência elástica⁹. Existem também, algumas evidências da resposta aguda de uma sessão de corrida com resistência elástica aplicada em idosos¹⁰, em jovens saudáveis^{11,12} e um estudo de caso em paciente obesa¹³.

Desse modo, o exercício aeróbio com resistência elástica, que também requer avaliação específica para sua adequada prescrição, foi recentemente aprimorado com o desenvolvimento do Teste Cardiopulmonar com Resistência Elástica (TCPEe). Esse teste, que simula uma corrida tendo o voluntário atado a um tubo elástico, apresentou alta reprodutibilidade indicando que uma única familiarização com o método foi suficiente para realizar o teste em população jovem e saudável. O modelo proposto permite a avaliação funcional por ergômetro acessível (tubo elástico) e a especificidade da prescrição do treinamento para a população estudada¹⁴.

Entretanto, o TCPEe pode apresentar algumas limitações quando aplicado à população mais velha, isso porque o processo de envelhecimento (progressivo e inevitável) é caracterizado

pela diminuição das funções fisiológicas como perda de massa muscular e força, podendo limitar a capacidade de vencer a resistência do elástico e a progressão do teste¹⁵. Também há alteração na função química cerebral (redução de serotonina, acetilcolina e ácido gama-aminobutírico - Gaba), que associada ao comprometimento estrutural, trará redução da atividade visual e auditiva do córtex cerebral, da área de memória, da função de aprendizagem, recuperação muscular, destreza, reflexos, coordenação motora e equilíbrio^{16,17}. Essa desarmonia compromete o controle voluntário da cadência, força e ritmo necessários no TCPEe para atingir a capacidade cardiorrespiratória máxima¹⁸.

Dessa forma, é importante considerar a reprodutibilidade do TCPEe permitindo adequada prescrição dessa modalidade de exercício físico em adultos mais velhos e idosos. Portanto, o objetivo desse estudo é avaliar a reprodutibilidade do TCPEe em adultos mais velhos e idosos, e tem como hipótese que esse teste é reprodutível para a população mencionada.

Material e Métodos

Os critérios utilizados para inclusão foram: 1. Participar de um Programa da Academia da Saúde ou similar (programas públicos e/ou municipais de academia da saúde), 2. Ser fisicamente independente, 3. Ter idade entre 30 e 65 anos, 4. IMC menor que 30 Kg/m². Foram excluídos aqueles que apresentassem: 1. Uso de substâncias ou fármacos que influenciem a resposta cardiovascular ao exercício (e.g.: betabloqueador, anabolizantes, etc.); 2. Doenças cardiovascular, respiratória ou metabólica descompensada (e.g.: diabetes, hipertensão, doença pulmonar obstrutiva crônica, etc.); 3. Doenças osteomioarticulares que impedissem a execução do exercício; 4. Não aprovação no exame cardiológico de esforço realizado pelo médico cardiologista do Laboratório de Fisiologia do Exercício/UFES (LAFEX).

O cálculo amostral foi realizado através da aplicação de um teste de hipótese ("t" de Student) pelo software GPower (versão 3.1), análise bicaudal, considerando um tamanho de efeito grande (0,8), poder estatístico de 95% e um erro alfa de 5% chegou-se ao número total de 23 indivíduos.

Os participantes foram convidados nos polos da Academia da Saúde do Município de Vitória (ES), denominado Serviço de Orientação ao Exercício (SOE/SEMUS/PMV), com anuência da Secretaria Municipal de Vitória (SEMUS/ETSUS/PMV). O recrutamento aconteceu de forma presencial, por telefone e por rede social (WhatsApp).

A adesão ao estudo formalizou-se a partir do preenchimento de formulário eletrônico,

para identificação dos critérios de inclusão (Figura 1). Em seguida, por ordem de preenchimento e disponibilidade pessoal, foi feito o agendamento dos procedimentos laboratoriais, mediante aceite do termo de consentimento livre e esclarecido. Esse estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Espírito Santo (CEP-UFES), CAAE nº 09109319.2.0000.5542.

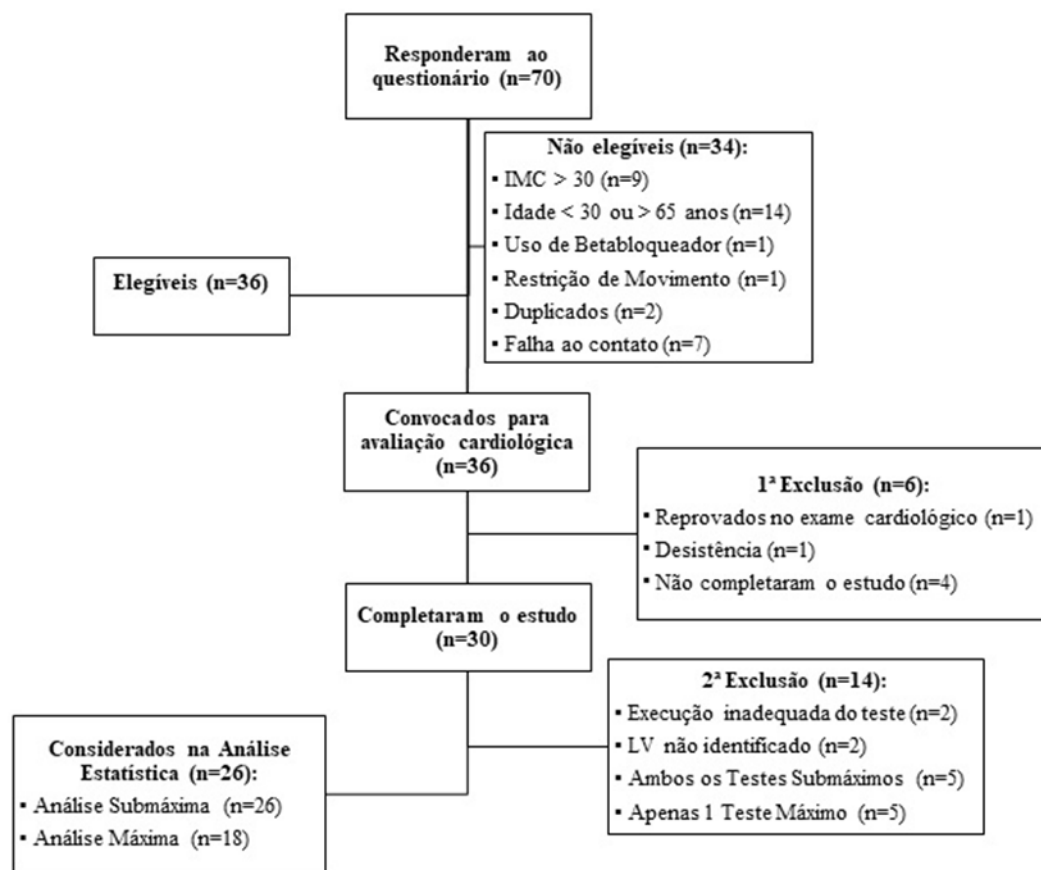


Figura 1 - Organograma do Estudo

Legenda: IMC: Índice de massa corporal; LV: Limiar ventilatório.

O agendamento foi realizado via aplicativo de celular (WhatsApp), onde os participantes também receberam orientações quanto à vestimenta, alimentação e hidratação 48 h antes da primeira avaliação. Todas as avaliações ocorreram no período matutino (7 às 12 h) com intervalo mínimo de 7 dias e máximo de 15 dias para realização dos testes (Figura 2).

A avaliação da composição corporal foi realizada por bioimpedância (In Body 270 – InBodyCo.Ltd - KOR) seguindo as recomendações do manual¹⁹, permitindo obter os valores de massa corporal, massa muscular esquelética, massa gorda, percentual de gordura corporal e índice de massa corporal (IMC). A estatura foi medida no primeiro dia de avaliação por meio de balança antropométrica digital com estadiômetro de precisão de um milímetro (Marte

Científica, L200, São Paulo).

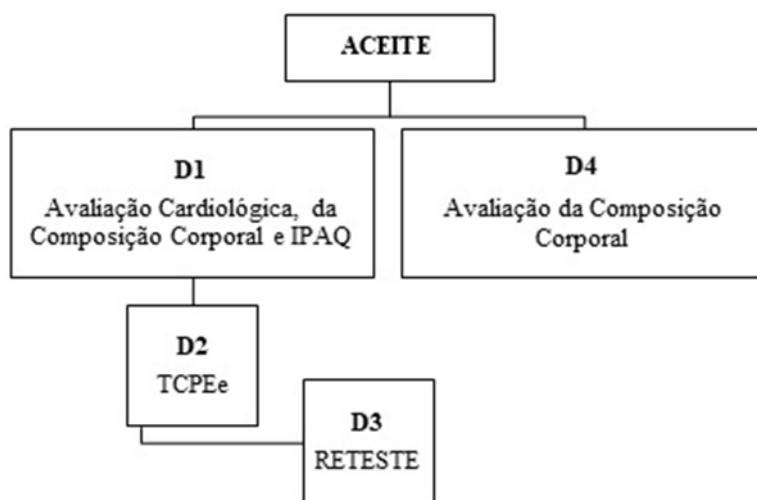


Figura 2 - Fluxograma do estudo.

Legenda: D – Dia; IPAQ – Questionário internacional de atividade física; D4 - Dia extra, em caso de não completar a avaliação da composição corporal no D1, totalizando quatro dias de avaliação.

O nível de AF foi mensurado através do Questionário Internacional de Atividade Física (IPAQ) versão curta. Posteriormente os dados foram classificados em categorias: a) sedentário; b) insuficientemente ativo; c) ativo e d) muito ativo²⁰. O registro da aptidão cardiorrespiratória foi realizado através da identificação do $\dot{V}O_2\text{max}$ adquirido no TCPEe e padronizado seguindo a tabela de faixa etária e sexo para população brasileira publicada pela Sociedade Brasileira de Cardiologia²¹, classificando-as em: a) muito fraca; b) fraca; c) regular; d) boa ou e) excelente.

Dos 30 participantes que completaram o estudo (Figura 1), a média de idade foi $57 \pm 7,07$ anos, IMC $26,37 \pm 4,03$ Kg/m² e predomínio do sexo feminino (n=25, 83,3%). A metade (n=15, 50%) sem doenças ou comorbidades, sendo autodeclaradas apenas síncope neuro cardiogênica, transplante tardio de fígado, correção tardia de comunicação interatrial, hipertensão arterial sistêmica, diabetes melitos e dislipidemias. Houve predomínio de participantes ativos (53,33%) e a caminhada foi a AF de prevalência no grupo, com tempo médio de $270,38 \pm 216,12$ (Mediana: 242,50) minutos por semana. Dos participantes que apresentaram ao menos um teste máximo (n=23, 76,66%), houve predomínio de aptidão cardiorrespiratória fraca (n=10, 33,33%), seguida de regular (n=8, 26,66%). Assim, 60% (n=18) deles realizaram teste e reteste máximos; enquanto 23,33% (n=7) não realizou teste máximo.

Os participantes foram submetidos ao TCPEe até a exaustão voluntária. Ao final do reteste, no D3, foi realizado descanso passivo por 10 minutos seguido de uma fase de verificação (FV) do $\dot{V}O_2\text{max}$. Foram coletadas amostras de sangue do lóbulo da orelha direita

e obtidas quatro amostras por participante por teste (no repouso e nos tempos de 3, 5 e 7 minutos após o término do teste), totalizando oito amostras por pessoa. As amostras foram armazenadas em freezer e a análise posterior foi realizada pelo método eletro-enzimático, por meio de um analisador de lactato (modelo YSI 2.300 STAT; Yellow Springs Inc. - USA).

Durante os testes de resistência elástica foram aplicadas duas escalas de percepção subjetiva de esforço: BORG (CR-10) para o esforço geral²² e OMNI-RES EB para esforço de membros inferiores²³. As escalas foram aplicadas nos 15 segundos finais do aquecimento e a cada minuto (estágio) dos testes até a exaustão. A FC foi monitorada pelo transmissor cardíaco Polar® (T31 Coded - USA) e as variáveis ventilatórias foram medidas respiração a respiração pelo analisador de gases Metalyzer® 3B (Córtex LEIPZIG Biophysik – Alemanha). O analisador de gases foi diariamente calibrado utilizando uma amostra de gás conhecida (16% O₂ e 5% CO₂) e volume de 3 L com Seringa Hans-Hudolf. Os demais materiais utilizados para o TCPEe foram conferidos diariamente de acordo com o protocolo de segurança desenvolvido pelo LAFEX, incluindo as medidas de deformação do elástico, trocado a cada 2 cm (10%) de variação do comprimento ou a cada 15 testes. Todos os testes foram realizados em ambiente climatizado com temperatura controlada de 21 a 24 °C.

Para o TCPEe foi utilizado um tapete emborrachado (Figura 3) com 4,5 m de comprimento e 1 m de largura. Foram considerados estágios para progressão do teste, sendo demarcadas 11 linhas de 5 cm de espessura, pintadas de cores diferentes e intercaladas. O avaliado foi conectado a um cinto de lona, posicionado na altura das cristas ilíacas, com um tubo elástico de 2 m (Thera Tubing - Thera Band® - Prata) atado ao cinto. A outra extremidade do tubo elástico foi fixada numa barra de aço chumbada na parede. O ritmo do teste foi determinado por metrônomo por meio de um aplicativo de celular (App - Cifraclub® - Brasil), e foram considerados 112 bpm para o aquecimento realizando movimentos de ida e volta, por 3 min no primeiro estágio. O avaliado progrediu a cada minuto nos estágios, considerando 132 bpm de ritmo, com movimentos de passada (para frente e para trás), até atingir a exaustão. Caso atingisse o último estágio sem exaustão, eram acrescidos 10 bpm a cada minuto. Foram considerados último estágio aquele em que a performance biomecânica se mantivesse adequada ou o último estágio do tapete (E8). O desaquecimento foi realizado no primeiro estágio por 2 min com 112 bpm executando o mesmo movimento de ida e volta. Os valores determinados para o ritmo do metrônomo foram obtidos a partir de um estudo piloto considerando a cadência e perfil da população estudada.

No reteste todos os procedimentos foram repetidos e foi incluída a FV que consistiu em

levar o participante até o estágio máximo alcançado no tapete e acrescentar 10 bpm ao ritmo máximo alcançado no reteste, determinando o ritmo da FV. Assim que posicionado, o voluntário foi orientado a realizar os mesmos movimentos de passada mantendo o ritmo determinado até atingir a exaustão. Os participantes foram incentivados verbalmente na execução de ambos os testes e na FV. O protocolo foi adaptado para a população deste estudo¹⁴.

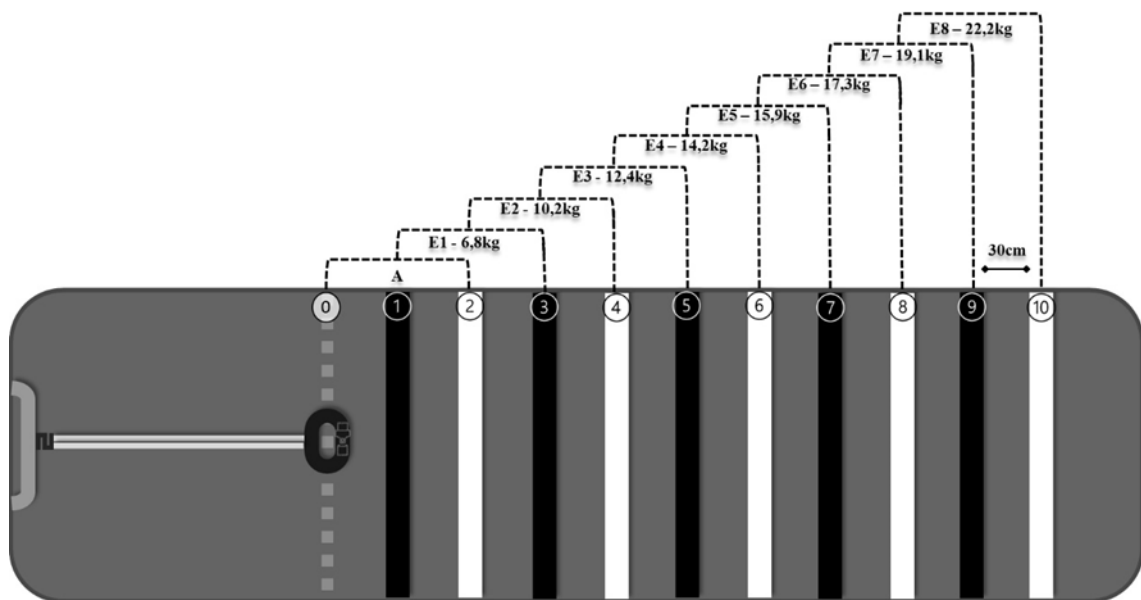


Figura 3 - Desenho esquemático do tapete emborrachado (Gasparini-Neto et al., 2022).

Legenda: E- estágio.

Todos os testes foram avaliados para identificação dos limiares ventilatórios e posteriormente classificados como teste máximo ou submáximo. O critério primário era apresentar diferença inferior a 5% entre $\dot{V}O_2\text{max}$ do teste e da FV, confirmando que o teste foi máximo. Quando não aprovados no primeiro critério, foram avaliados os critérios secundários: a) 90% da FCmax prevista para idade²⁴; b) $RER \geq 1,0525$; c) Escala de BORG (CR-10) maior ou igual a 7^{26,27}; d) concentração sérica de lactato $\geq 5 \text{ mmol.L}^{-1}$ para mulheres e $\geq 6 \text{ mmol.L}^{-1}$ para homens²⁵. Quando avaliados pelos critérios secundários apenas os testes que apresentaram ao menos três critérios confirmados foram considerados máximos.

Para identificação dos limiares ventilatórios foram utilizados critérios visuais e calculados pelo software MetasoftTM. Três avaliadores independentes e experientes fizeram a análise dos limiares, sendo aceitos os valores de concordância de pelo menos dois avaliadores. Foram aceitos aqueles valores que divergissem no máximo 20s entre si.

O primeiro limiar ventilatório (LV1) foi identificado no ponto mais baixo seguido de um aumento exponencial do equivalente ventilatório de oxigênio ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$), sem aumento do

equivalente ventilatório de dióxido de carbono ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$). Também foi considerado o aumento abrupto na $\dot{V}E$ e na $PETCO_2$. Para identificação do segundo limiar ventilatório foi considerado o ponto mais baixo do $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ seguido de uma elevação, além de queda gradual da $PETCO_2$.

Os dados foram tabulados em uma planilha (Microsoft Office Excel). O mesmo software foi utilizado para a análise descritiva dos dados, sendo as variáveis contínuas expressas como média e desvio padrão (DP), e variáveis categóricas como frequência e porcentagem.

Para a análise estatística foram utilizados os softwares: Statistical Package for the Social Sciences (SPSS/ International Business Machines Corporation – IBM; versão 29.0.1.0, 2023), Medical Calculators (MedCalc/ versão 12.5, Bélgica) e Jamovi (versão 2.3.28, Sidney). O teste Shapiro-Wilk foi utilizado para averiguar a normalidade dos dados. A análise de variáveis paramétricas foi realizada pelo teste “t” pareado e as variáveis não paramétricas pelo teste de Wilcoxon. Os métodos estatísticos foram bicaudais, os valores de P foram exatos e o nível de significância foi determinado por $P \leq 0,05$.

A reprodutibilidade do TCPEe foi avaliada pelo teste “t” pareado, erro típico (ET), coeficiente de variação (CV%) e coeficiente de correlação intraclasse (CCI). O CCI foi classificado em pequeno ou nulo (0,00 – 0,30); baixo (0,30 – 0,49); moderado (0,50 – 0,69); alto (0,70 – 0,89) e muito alto (0,90 – 1,00), utilizando intervalo de confiança (IC) de 95%²⁸. Para avaliar a sensibilidade do teste o erro padrão da medida (EPM) foi calculado pela fórmula: $EPM = DP \cdot \sqrt{1 - CCI}$ ²⁹; e a mínima mudança detectável (MMD) pela fórmula: $MMD = [1,96 \cdot (\sqrt{2} \cdot EPM)]$ ³⁰. O DP foi determinado pela soma dos quadrados através do teste ANOVA One Way. Também foi avaliada a magnitude das diferenças encontradas através do “d” de Cohen (tamanho de efeito - TE) e classificado como irrisório (0 – 0,19), pequeno (0,2 – 0,49); moderado (0,5 – 0,79) e grande ($\geq 0,8$)³¹.

Resultados

Não houve diferenças significativas no repouso, no LV1 e no LV2. Na exaustão houve diferença estatística apenas para a RER. O LV1 ocorreu em 61,25% vs. 59,75% do $\dot{V}O_{2max}$ ($p = 0,17$); e o LV2 ocorreu em 84,96% vs. 83,62% do $\dot{V}O_{2max}$ ($p = 0,25$) no teste e reteste do TCPEe respectivamente. A FC no LV1 ocorreu em 73,72% vs. 72,44% da FC_{max} ($p = 0,38$) enquanto para o LV2 ocorreu em 91,22% vs. 89,43% da FC_{max} ($p = 0,18$), respectivamente para TCPEe e reteste (Tabela 1).

Tabela 1 - Reprodutibilidade do teste cardiopulmonar com resistência elástica.

	TCPEe	RETESTE	p	TE	ET	CV (%)	EPM	MMD	CCI
Repouso (N=26)									
Lactato (mmol.L) N=26	0,96 ± 0,32	1,06 ± 0,35	0,14	0,29 ^P	0,05	6,38	0,02	0,06	0,685 ^M
Lactato (mmol.L) N=18	1 ± 0,3	1,03 ± 0,4	0,81	0,06 ^I	0,05	7,18	0,03	0,10	0,531 ^M
LV1 (N=26)									
VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	16,3 ± 2,79	15,8 ± 3,05	0,17	0,17 ^I	0,40	3,48	0,06	0,17	0,891 ^A
FC (bpm)	117,3 ± 13	115,58 ± 12,33	0,38	0,11 ^I	1,84	2,23	0,30	0,83	0,885 ^A
RER	0,74 ± 0,05	0,75 ± 0,06	0,27	0,21 ^P	0,01	1,59	0,00	0,01	0,692 ^M
Ventilação (L/min)	31,32 ± 7,5	30,52 ± 8,19	0,33	0,10 ^I	1,07	4,91	0,11	0,31	0,927 ^{MA}
Cadência (bpm)	132 ± 0	132 ± 0	S/D	0,00 ^I	0,00	0	0,00	0,00	1,000 ^{MA}
Tempo (s)	269,41 ± 52,49	280 ± 74,83	0,19	0,16 ^I	6,78	3,56	0,98	2,71	0,898 ^A
LV2 (N=26)									
VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	22,61 ± 3,98	22,11 ± 3,45	0,25	0,13 ^I	0,56	3,56	0,08	0,21	0,905 ^{MA}
FC (bpm)	145,15 ± 13,27	142,69 ± 11,96	0,18	0,19 ^I	1,88	1,85	0,40	1,10	0,851 ^A
RER	0,91 ± 0,05	0,91 ± 0,06	0,76	0,06 ^I	0,01	1,23	0,00	0,01	0,660 ^M
Ventilação (L/min)	51,82 ± 12,29	49,56 ± 11,82	0,24	0,19 ^I	1,74	4,85	0,46	1,29	0,811 ^A
Cadência (bpm)	133,53 ± 3,67	134,69 ± 7,24	0,44	0,20 ^P	0,52	0,55	0,59	1,63	0,201 ^P
Tempo (s)	507,05 ± 130	511,76 ± 121,66	0,82	0,04 ^I	15,21	4,35	3,63	10,07	0,831 ^A
Exaustão (N=18)									
VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	26,61 ± 6,42	26,44 ± 5,67	0,72	0,03 ^I	1,10	5,88	0,05	0,13	0,971 ^{MA}
FC (bpm)	159,11 ± 14,22	159,55 ± 11,67	0,82	0,03 ^I	2,44	2,17	0,19	0,51	0,881 ^A
RER	0,97 ± 0,05	1,00 ± 0,06*	0,00	0,53^G	0,01	1,39	0,00	0,01	0,856 ^A
Ventilação (L/min)	70,68 ± 21,95	69,92 ± 18,73	0,70	0,04 ^I	3,77	7,57	0,23	0,64	0,957 ^{MA}
Cadência (bpm)	151,44 ± 23,88	150,33 ± 22	0,54	0,01 ^I	4,10	3,84	0,16	0,45	0,972 ^{MA}
Tempo (s)	681,11 ± 190,67	686,27 ± 174,88	0,68	0,03 ^I	32,70	6,76	1,03	2,85	0,978 ^{MA}
Lactato (mmol.L)	6,14 ± 1,9	5,56 ± 1,55	0,20	0,34^M	0,30	7,91	0,19	0,51	0,599 ^M

Legenda: Dados apresentados em média ± desvio padrão. (*): Dados estatisticamente significantes. LV: Limiar Ventilatório; VO₂: Consumo Máximo de Oxigênio; FC: Frequência Cardíaca; RER: Razão de Troca Respiratória; bpm: Batimento por Minuto; S/D: Sem diferença; s: segundo; TE: Tamanho de Efeito (I: irrisório; P: pequeno; M: moderado; G: grande); ET: Erro Típico; CV(%): Coeficiente de Variação; EPM: Erro Padrão da Medida; MMD: Mínima Mudança Detectável; CCI: Coeficiente de Correlação Intraclass (P: pequeno; M: moderado; A: alto; MA: muito alto).

As escalas de BORG (CR-10) e a OMNI-RES EB, analisadas por estatística não paramétrica, mostraram reprodutibilidade nos valores de mediana. Porém, o estágio do teste, apresentou diferenças (aumento) no reteste para o LV1 e LV2 (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise descritiva não paramétrica.

	TCPEe	RETESTE	P
LV1 (N=26)			
BORG (CR 0-10)	1,5 (1 - 3)	2 (1 - 3)	0,39
OMNI-RES EB	1 (1 - 2,7)	1,5 (1 - 2,7)	0,48
Estágio	2 (1 - 2)	2 (2 - 2,7)	0,00*
LV2 (N=26)			
BORG (CR 0-10)	4 (3 - 6)	4,5 (3 - 7,7)	0,10
OMNI-RES EB	4 (4 - 6)	5 (3,2 - 7)	0,19
Estágio	5 (4 - 6)	6 (5 - 7)	0,01*
Exaustão (N=18)			
BORG (CR 0-10)	8 (6 - 9)	8,5 (6 - 9,75)	0,49
OMNI-RES EB	7 (5,25 - 8)	7,5 (5,2 - 9)	0,68
Estágio	8 (7 - 8)	8 (6,2 - 8)	0,82

Legenda: Dados apresentados em mediana e (intervalo interquartil). LV: Limiar Ventilatório; *: Diferença significativa.

Quanto aos estágios alcançados nos testes máximos: na exaustão (n=18) 66,6% (n=12) dos participantes mantiveram seus estágios no reteste, enquanto 16,6% (n=3) avançaram e outros 16,6% (n=3) regrediram. Desses (n=18), dois participantes (n=2) não tiveram identificação do LV em algum dos testes, embora em ambos os testes tenham atingido critérios máximos e, portanto, para a comparação entre os estágios alcançados nos limiares foram computados apenas 16 participantes (n=16), aqueles que realizaram dois testes máximos com todos os LV identificados. Assim, em LV1 56,2% (n=9) avançaram seu estágio no reteste, 43,7% (n=7) mantiveram seus estágios e nenhum (n=0) participante regrediu o estágio. Em LV2 50% (n=8) mantiveram seus estágios, 37,5% (n=6) progrediram e 12,5% (n=2) regrediram.

Na análise submáxima total (n=26) (todos os participantes que obtiveram todos os LV em ambos os testes): para LV1 53,8% (n=14) dos participantes alcançaram estágios maiores no reteste, 42,3% (n=11) mantiveram seus estágios e 3,8% (n=1) regrediram. No LV2, 50% (n=13) avançaram seus estágios, 38,4% (n=10) mantiveram e 11,5% (n=3) regrediram seu estágio em relação ao primeiro teste.

Quando apenas um dos testes foi considerado máximo (n=5): para LV1 60% (n=3) mantiveram seus estágios, 20% (n=1) progrediram e 20% (n=1) regrediram. Em LV2 60% (n=3) progrediram, 20% (n=1) mantiveram e 20% (n=1) regrediram.

Se analisarmos ainda os participantes que obtiveram ambos os testes submáximos (n=5): no LV1, 60% (n=3) mantiveram seus estágios, 40% (n=2) progrediram e nenhum (n=0) participante regrediu o estágio no reteste. No LV2, 60% (n=3) progrediram, 20% (n=1) mantiveram e 20% (n=1) regrediram seus estágios em comparação ao primeiro teste.

Discussão

Os achados dessa investigação demonstraram alta reprodutibilidade do TCPEe em adultos mais velhos e idosos, corroborando com dados já disponíveis na literatura, porém para adultos jovens e saudáveis¹⁴. O TCPEe se apresenta como um teste qualificado para determinação dos parâmetros fisiológicos submáximos e máximos de ambas as populações já estudadas.

O EPM e MMD permitiram avaliar a sensibilidade do TCPEe, indicando que as mudanças encontradas para essa população não estão relacionadas à variação ou erro na medição, reforçando seu potencial de reprodutibilidade³⁰. Nossos achados apresentam valores de referência que podem contribuir com a especificidade da prescrição do exercício aeróbio com resistência elástica, corroborando com estudos anteriores^{10,13}.

Os valores obtidos no CCI sugerem alta confiabilidade entre teste e reteste. Além disso, também foram evidenciados baixos valores do CV, TE irrisório e baixos valores de ET, confirmando a alta reprodutibilidade entre teste e reteste³⁰.

Em comparação ao estudo anterior¹⁴, nosso estudo apresentou valores mais baixos de $\dot{V}O_2\text{max}$, FCmax e RER, essa redução está associada ao processo de envelhecimento. Dentre os critérios secundários avaliados, a RER não atingiu os valores esperados ($\geq 1,05$) e apresentou diferença significativa na exaustão, sendo maior no reteste. Sabemos que durante o TCPE em esteira a concentração de lactato sanguíneo e a RER diminuem com a idade²⁵. O aumento da RER é uma resposta ao processo de tamponamento do ácido láctico, resultado do metabolismo glicolítico anaeróbio, reduzido nos idosos³². Além disso, mudanças das fibras do tipo II para o tipo I e mudanças no metabolismo, preferencialmente oxidativo, também favorecem a diminuição da RER³³. Ainda que o valor de referência da RER não tenha sido alcançado nesse estudo, 60% (n=18) dos participantes atingiram outros critérios máximos em ambos os testes e não apresentaram diferenças significativas para as demais variáveis estudadas.

A capacidade aeróbia diminui rapidamente após os 40 anos. Com a idade ocorre redução da eficiência e aumento da demanda de oxigênio durante o exercício, em parte pelas alterações na atividade muscular³⁴. As causas primárias desse declínio envolvem a redução do débito

cardíaco, em consequência a redução da FCmax e do volume sistólico, não comprometendo a extração de oxigênio (O₂) pelos tecidos. Portanto, a redução da aptidão aeróbia está predominantemente relacionada a mecanismos cardíacos inotrópicos e cronotrópicos, sem alteração da diferença arteriovenosa de O₂³⁵. Essas alterações podem ser revertidas com o exercício físico, melhorando a eficiência dessa população^{36,37}.

O aumento observado nos estágios relativos ao LV1 e LV2 pode ser justificado pelo efeito do aprendizado, já que os valores atingidos no reteste tendem a ser maiores em relação ao primeiro. Ainda, considerando a perda amostral para a análise máxima é sugerido e necessário investir mais tempo na familiarização para adaptação da população estudada, possibilitando maior confiança e destreza na execução do teste³⁸. Vale ressaltar que não houve diferença no estágio de exaustão e que a proximidade dos valores encontrados sugere uma “zona” para a prescrição do exercício que se apresenta entre os estágios 1-2 para LV1, 5-6 para LV2 e 8 na exaustão.

Durante o TCPEe é necessário coordenar o ritmo das passadas ao estímulo sonoro, além de garantir a tração e manutenção da tensão do elástico enquanto avança ou permanece nos estágios determinados¹⁴. Nos idosos ocorre envolvimento generalizado do sistema nervoso central para o controle motor, entretanto apresentam tempos de reação aumentados e/ou precisão reduzida durante a execução de uma variedade de tarefas motoras. Quando há aumento das demandas cognitivo-motoras e o desempenho é diminuído (observado em alguns participantes), ocorre uma resposta compensatória levando à maior ativação do sistema, revelando a perda de automaticidade motora¹⁸.

Apesar disso, existe também a capacidade de manter e adquirir novas habilidades motoras. A atividade física regular realizada com membros inferiores pode modular a excitabilidade dos músculos envolvidos no exercício, e diante de um comportamento sedentário em idosos, mais atividade física foi associada a maior plasticidade e tanto uma sessão intensa de exercícios quanto exercícios regulares beneficiam os processos do córtex motor dessa população. Os mecanismos pelos quais o exercício promove a plasticidade ainda não estão bem definidos³⁹. Por outro lado, isoladamente, a capacidade cardiorrespiratória pode não estar relacionada a melhora do desempenho cognitivo em idosos ativos⁴⁰.

O desempenho no TCPEe pode exigir maior tempo de treino para execução adequada das suas habilidades, porém a partir dele é possível realizar a prescrição de sessões de treinamento que também requer a duplicidade de tarefas¹¹⁻¹³. Essa ferramenta (dupla tarefa) tem mostrado resultados favoráveis para a capacidade funcional em idosos⁴¹.

A coordenação de movimentos amplos que demandam força, velocidade, agilidade e flexibilidade para sua execução são notoriamente afetadas com o avançar da idade⁴². Por isso, além da necessidade de aumentar a familiarização, nosso grupo também considerou a necessidade de adaptações na cadência para atender a população envolvida, reduzindo o ritmo de passadas e possibilitando melhor desenvoltura motora, diferente da proposição de Gasparini-Neto et al. (2022)¹⁴.

Desse modo, embora não avaliado neste estudo, é sugerido utilizar o TCPEe para avaliação e prescrição de corrida/caminhada com resistência elástica, e aplicar em adultos mais velhos e idosos, possibilitando a aquisição de benefícios adaptativos aeróbios.

Conclusão

Os resultados apresentados mostram alta reprodutibilidade teste-reteste do TCPEe para adultos mais velhos e idosos, sendo possível a identificação do $\dot{V}O_2\text{max}$ e limiares ventilatórios. Para essa população é sugerido aplicar um tempo maior de familiarização, além de adaptações na cadência, de acordo com o grau de habilidade do avaliado a fim de garantir uma avaliação mais adequada dos estágios nos limiares ventilatórios.

Futuramente, essa ferramenta poderá ser utilizada por uma equipe preparada, em ambientes externos e com pouco espaço físico de modo que atinja um grande número de pessoas e possa contribuir significativamente com a prescrição individualizada do exercício, sendo possível prever LV e $\dot{V}O_2\text{max}$ a partir das escalas de percepção subjetiva de esforço e demarcação dos estágios alcançados.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio das agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Código de Financiamento 001 – bolsa de estudo; e Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), edital Nº 21/2022 – Apoio à infraestrutura da pesquisa, desenvolvimento e inovação em laboratórios interdisciplinares. Agradecemos também aos participantes pelo compromisso e tempo dedicado à nossa pesquisa.

Referências

1. Sietsema KE, Rossiter HB. Exercise Physiology and Cardiopulmonary Exercise Testing.

Semin Respir Crit Care Med. 2023; 44: 661-680.

2. Triantafyllidi H, Birmpa D, Benas D, Trivilou P, Fambri A, Iliodromitis EK. Cardiopulmonary Exercise Testing: The ABC for the Clinical Cardiologist. *Cardiology*. 2022; 147: 62-71.

3. Seiler S. What is Best Practice for Training Intensity and Duration Distribution in Endurance Athletes? *Int J Sports Physiol Perform*. 2010; 5: 276-291.

4. Thompson PD, Arena R, Riebe D, Pescatello LS. ACSM's New Preparticipation Health Screening Recommendations from ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, Ninth Edition. *Curr Sports Med Rep*. 2013; 12: 215-217.

5. Meneghelo R, Araújo C, Stein R, Mastrocolla L, Albuquerque P, Serra S. III Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre teste ergométrico. *Arq Bras Cardiol*. 2010; 95: 1-26.

6. Marriott CFS, Petrella AFM, Marriott ECS, Boa Sorte Silva NC, Petrella RJ. High-Intensity Interval Training in Older Adults: a Scoping Review. *Sports Med Open*. 2021; 7: 1-24.

7. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, et al. Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications. 5. ed. Philadelphia, PA: LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS; 2012 [s.d].

8. Pinna M, Milia R, Roberto S, et al. Assessment of the specificity of cardiopulmonary response during tethered swimming using a new snorkel device. *The Journal of Physiological Sciences*. 2013; 63: 7-16.

9. Manchado-Gobatto FB, Marostegan AB, Rasteiro FM, et al. New Insights into Mechanical, Metabolic and Muscle Oxygenation Signals During and After High-Intensity Tethered Running. *Sci Rep*. 2020; 10: 6336.

10. Gasparini-Neto VH, Caldas LC, de Lira CAB, et al. Profile of blood pressure and glycemic responses after interval exercise in older women attending (in) a public health physical activity program. *J Bodyw Mov Ther*. 2021; 25: 119-125.

11. Duarte LF, Gasparini-Neto VH, Neves LNS, et al. A Cardiopulmonary Exercise Testing for Prescribing High-Intensity Interval Training Sessions with Elastic Resistance. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20: 7097.

12. Neves LNS, Gasparini-Neto VH, Leite RD, Carletti L. Acute Cardiopulmonary Response of High-Intensity Interval Training with Elastic Resistance vs. High-Intensity Interval Training on a Treadmill in Healthy Adults. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20: 6061.

13. Nunes LB, Oliveira JP de, Gasparini Neto VH, Neves LNS, Carletti L. Doze semanas de treinamento intervalado com resistência elástica aumenta a aptidão aeróbia: relato de caso.

Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício. 2024; 23: e235582-e235582.

14. Gasparini-Neto VH, Neves LNS, Kalva-Filho CA, Schwingel PA, Leite RD, Carletti L. Cardiopulmonary Exercise Testing with Elastic Resistance: A New Reproducible Proposal for Determination of Ventilatory Thresholds and Maximum Oxygen Consumption. *J Sports Sci Med*. 2022; 21: 426-434.
15. Cheitlin MD. Cardiovascular Physiology—Changes With Aging. *Am J Geriatr Cardiol*. 2003; 12: 9-13.
16. Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Neurociências: Desvendando o Sistema Nervoso. 4. ed. Porto Alegre (RS): ARTMED; 2017 [s.d.].
17. Toricelli M, Pereira AR, Souza Abrao G, et al. Mechanisms of neuroplasticity and brain degeneration: strategies for protection during the aging process. *Neural Regen Res*. 2021; 16: 58-67.
18. Zapparoli L, Mariano M, Paulesu E. How the motor system copes with aging: a quantitative meta-analysis of the effect of aging on motor function control. *Commun Biol*. 2022; 5: 79.
19. InBody Co. L. User's Manual for Measurement Guide and Setup. Gangnam-gu, Seoul: InBody; 2022 [s.d.].
20. Matsudo S, Araújo T, Marsudo V, et al. International physical activity questionnaire (IPAQ): study of validity and reliability in Brazil. *Rev Bras ativ fis saúde*. 2001; 6: 5-18.
21. Herdy AH, Caixeta A. Brazilian Cardiorespiratory Fitness Classification Based on Maximum Oxygen Consumption. *Arq Bras Cardiol*. 2016; 106: 389-395.
22. Foster C, Florhaug JA, Franklin J, et al. A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res*. 2001; 15: 109-115.
23. Colado JC, Garcia-Masso X, Triplett NT, et al. Construct and concurrent validation of a new resistance intensity scale for exercise with theraband® elastic bands. *J Sports Sci Med*. 2014; 13: 758-766.
24. Davis JA, Storer TW, Caiozzo VJ, Pham PH. Lower reference limit for maximal oxygen uptake in men and women. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2002; 22: 332-338.
25. Edvardsen E, Hem E, Anderssen SA. End Criteria for Reaching Maximal Oxygen Uptake Must Be Strict and Adjusted to Sex and Age: A Cross-Sectional Study. *PLoS One*. 2014; 9: e85276.
26. Edvardsen E, Hansen BH, Holme IM, Dyrstad SM, Anderssen SA. Reference Values for Cardiorespiratory Response and Fitness on the Treadmill in a 20- to 85-Year-Old Population. *Chest*. 2013; 144: 241-248.

27. Midgley AW, McNaughton LR, Polman R, Marchant D. Criteria for Determination of Maximal Oxygen Uptake. *Sports Medicine*. 2007; 37: 1019-1028.
28. Mukaka MM. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Med J*. 2012; 24: 69-71.
29. Weir JP. Quantifying Test-Retest Reliability Using the Intraclass Correlation Coefficient and the SEM. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005; 19: 231-240.
30. Haley SM, Fragala-Pinkham MA. Interpreting Change Scores of Tests and Measures Used in Physical Therapy. *Phys Ther*. 2006; 86: 735-743.
31. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Front Psychol*. 2013; 4.
32. Issekutz B, Rodahl K. Respiratory quotient during exercise. *J Appl Physiol*. 1961; 16: 606-610.
33. Larsson L, Degens H, Li M, et al. Sarcopenia: Aging-Related Loss of Muscle Mass and Function. *Physiol Rev*. 2019; 99: 427-511.
34. Ades PA, Toth MJ. Accelerated Decline of Aerobic Fitness With Healthy Aging. *Circulation*. 2005; 112: 624-626.
35. Pandey A, Kraus WE, Brubaker PH, Kitzman DW. Healthy Aging and Cardiovascular Function. *JACC Heart Fail*. 2020; 8: 111-121.
36. Grgic J, Garofolini A, Orazem J, Sabol F, Schoenfeld BJ, Pedisic Z. Effects of Resistance Training on Muscle Size and Strength in Very Elderly Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Sports Medicine*. 2020; 50: 1983-1999.
37. Leslie E, Luna V, Gibson AL. Older Adult Aerobic Capacity, Muscular Strength, Fitness and Body Composition After 20+ Years of Exercise Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Exerc Sci*. 2023; 16: 620-637.
38. Lamb KL, Rogers L. A re-appraisal of the reliability of the 20 m multi-stage shuttle run test. *Eur J Appl Physiol*. 2007; 100: 287-292.
39. Cirillo J. Physical activity, motor performance and skill learning: a focus on primary motor cortex in healthy aging. *Exp Brain Res*. 2021; 239: 3431-3438.
40. Porto M, Almeida ML, Miyasaki AHL, Lacchini R, Bueno Junior CR, Papoti M. Capacidade cardiorrespiratória não representa indicador efetivo do efeito do exercício físico sobre a função cognitiva de idosos ativos. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*. 2020; 28.
41. Varela-Vásquez LA, Minobes-Molina E, Jerez-Roig J. Dual-task exercises in older adults:

A structured review of current literature. J Frailty Sarcopenia Falls. 2020; 05: 31-37.

42. Daly RM, Rosengren BE, Alwis G, Ahlborg HG, Sernbo I, Karlsson MK. Gender specific age-related changes in bone density, muscle strength and functional performance in the elderly: a-10 year prospective population-based study. BMC Geriatr. 2013; 13: 71.