

UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS - UNIEVANGÉLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MOVIMENTO HUMANO E
REABILITAÇÃO- PPGMHR

**NEUROMODULAÇÃO, SUPLEMENTAÇÃO E PREDIÇÃO DO EXERCÍCIO:
NOVAS PERSPECTIVAS DE POTENCIALIZAÇÃO DO RENDIMENTO FÍSICO**

THIAGO ALBERNAZ SILVA

Anápolis, GO
2023

UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS - UNIEVANGÉLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MOVIMENTO HUMANO E
REABILITAÇÃO- PPGMHR

THIAGO ALBERNAZ SILVA

**NEUROMODULAÇÃO, SUPLEMENTAÇÃO E PREDIÇÃO DO EXERCÍCIO:
NOVAS PERSPECTIVAS DE POTENCIALIZAÇÃO DO RENDIMENTO FÍSICO**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Movimento Humano e Reabilitação da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA para qualificação no Mestrado em Movimento Humano e Reabilitação.

Orientador: Dr. Alberto Souza de Sá Filho
Coorientador: Eduardo da Matta Mello Portugal

Anápolis, GO

2023

Ficha Catalográfica

S586

Silva, Thiago Albernaz.

Neuromodulação, suplementação e predição do exercício: novas perspectivas de potencialização do rendimento físico / Thiago Albernaz Silva - Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, 2023. 68 p.; il.

Orientadora: Prof. Dr. Alberto Souza de Sá Filho.

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo da Matta Mello Portugal

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Movimento Humano e Reabilitação – Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, 2023.

1. Eletroestimulação 2. Performance 3. VO2Máx 4. Crossfit.
I. Sá Filho, Alberto Souza de II. Portugal, Eduardo da Matta Mello Portugal
III. Título

CDU 615.8

Catálogo na Fonte
Elaborado por Rosilene Monteiro da Silva CRB1/3038

FOLHA DE APROVAÇÃO

NEUROMODULAÇÃO, SUPLEMENTAÇÃO E PREDIÇÃO DO DESEMPENHO: NOVAS PERSPECTIVAS DE POTENCIALIZAÇÃO DO RENDIMENTO FÍSICO

THIAGO ALBERNAZ SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Movimento Humano e Reabilitação - PPGMHR da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA como requisito parcial à obtenção do grau de MESTRE.

Linha de Pesquisa: Efeitos agudos e crônicos do Exercício

Aprovado em 18 de outubro de 2023.

Banca examinadora

Prof. Dr. Alberto Souza de Sá Filho

Prof. Dr. Iransé Oliveira Silva

Prof. Dr. Sérgio Eduardo de Carvalho Machado

APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação será apresentada da seguinte forma: 1) Referencial teórico sobre a temática Cafeína e Performance, bem como, Eletroestimulação transcraniana de corrente contínua (tDCS) e seus mecanismos; 2) Artigo 1 intitulado “A Neuromodulação Excitatória com Adição de Cafeína não Melhorou o Rendimento em Workout de Crossfit®”; 3) Artigo 2 intitulado “Pode o “Personal Record” Predizer Adequadamente o Desempenho de Resistência de Força em um Workout de Clean & Jerk: Uma Análise do Benchmark Grace da Crossfit®”, submetido a revista Qualis B1 Cuadernos de Psicología del Deporte; 4) Artigo Extra intitulado “A Obtenção Direta do VO2máx Não é Influenciada pela Característica dos Protocolos de Teste de Esforço Máximo”, aceito para publicação na revista nacional B2 Revista Brasileira de Educação Física e Esporte.

SUMÁRIO

Apresentação da Dissertação	05
Referencial Teórico	07
Ação da cafeína e Mecanismos neurofisiológicos	07
Cafeína e Desempenho	09
Cafeína e Crossfit®	09
Estimulação Transcraniana de Corrente Contínua (tDCS)	16
Mecanismos de Ação da tDCS	16
tDCS Como Recurso Potencializador para o Desempenho Físico	18
Artigo 1: A Neuromodulação Excitatória com Adição de Cafeína não Melhorou o Rendimento em Workout de Crossfit®	22
Métodos	27
Resultados	31
Discussão	34
Referências	36
Artigo 2: Pode o “Personal Record” Predizer Adequadamente o Desempenho de Resistência de Força em um Workout de Clean & Jerk: Uma Análise do Benchmark Grace da Crossfit®	40
Métodos	43
Resultados	45
Discussão	46
Referências	48
Artigo Extra: A Obtenção Direta do VO2máx Não é Influenciada Pela Característica dos Protocolos de Teste de Esforço Máximo	52
Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	67
Parecer Comitê de Ética em Pesquisa	69

REFERENCIAL TEÓRICO

A cafeína é um psicoestimulante comumente consumido pela população, e quando em doses moderadas parecem produzir efeitos positivos sobre a atenção, memória, tempo de reação, dentre outros domínios cognitivos ^{1,2}. A literatura sustenta também a ideia de que a cafeína exibe potencial recurso ergogênico capaz de melhorar o desempenho físico, e tal mecanismo estaria relacionado ao aumento da atividade simpática, e o nível de excitação do sistema nervoso central (SNC), ou pela minimização dos efeitos da fadiga ³⁻⁷. Outros mecanismos de interação com SNC também são propostos para o efeito de facilitação da cafeína. É amplamente aceito que esses efeitos estariam relacionados a liberação de serotonina no córtex cerebral, e/ou a interação da metilxantina com receptores de adenosina no cérebro ⁸.

Da mesma forma que a cafeína pode ser um poderoso neuroestimulante, o exercício de caracter aeróbio quando realizado em moderadas a vigorosas intensidades, parece exercer semelhantes efeitos ⁹⁻¹³. Substâncias como catecolaminas atuam estimulando o cronotropismo e inotropismo positivo ¹⁴, produzindo um estado de preparação, vigília, e alerta, o que parece favorecer tarefas cognitivas que demandem principalmente atenção, memória, e o desempenho psicomotor ¹². Tais efeitos facilitatórios sobre processos cognitivos são semelhantemente reportados na literatura a partir da administração de uma ou mais sessões de exercícios aeróbios, estabelecendo-se uma relação de U invertido (“∩”) ^{11,15,16}, propondo doses moderadas de exercício.

Parece então existir um nível ótimo de interação “neurotransmissor-receptor”, ou “substância-receptor” capaz de gerar uma facilitação dos processos cognitivos, tanto para o exercício aeróbio quanto para a ingestão de cafeína ^{15,16}. Quando o nível de interação “neurotransmissor-receptor”, e excitação do SNC excede os limites fisiológicos, manifestações deletérias são proporcionadas, e altos níveis de ansiedade, irritabilidade, e estresse, acarretam a redução do desempenho cognitivo ¹⁷.

Portanto, entendendo que possa ser exibido um positivo efeito de ambas as estratégias ^{3,13}, objetivamos analisar as recomendações acerca do uso da cafeína sobre o desempenho físico.

Ação da cafeína e Mecanismos neurofisiológicos

A cafeína é uma metilxantina comumente consumida pela população por suas

propriedades psicoestimulantes, e sua ingestão diária quando em doses moderadas parecem produzir efeitos positivos sobre o estresse, humor e memória ^{1,2}. Além desses efeitos, a cafeína também tem sido apontada como um potencial recurso ergogênico capaz de manifestar positiva melhora ao desempenho físico, possivelmente pelo aumento do nível de excitação do sistema nervoso central (SNC), e/ou por um processo de minimização dos efeitos da fadiga, ou uma percepção alterada da mesma ³⁻⁶.

Essa facilitação produzida pelo uso da cafeína é normalmente observada a partir de 30 a 45 minutos após sua ingestão, quando é completamente absorvida pelo trato intestinal ³⁹, e por ser uma molécula hidrofóbica, é capaz de atravessar facilmente a barreira hematoencefálica. Após esse período, é amplamente aceito que esses efeitos estariam relacionados a liberação de serotonina no córtex cerebral, e/ou a interação da metilxantina com receptores de adenosina ⁸. Este último produz uma ação antagônica inibindo as enzimas adenilciclase e fosfodiesterase, aumentando a concentração de adenosina monofosfato (AMP_{cíclico}), poderoso sinalizador de processos fisiológicos. Decorrente disso, outras substâncias como por exemplo, as catecolaminas, atuam estimulando o cronotropismo e inotropismo positivo ¹⁴. Portanto, um estado de preparação, vigília e alerta são observados, e parecem favorecer tarefas cognitivas que demandem principalmente atenção, memória, e também o desempenho psicomotor.

Por exemplo, para explicar a ação antagônica da ligação da cafeína aos receptores de adenosina (A1), Simons et al. (2012) realizaram estimulação sináptica com eletrodos interpostos diretamente no hipocampo nas áreas de CA1 e CA2 de camundongos ⁴⁰. Os potenciais evocados pela estimulação seguida da administração oral de 20mg/kg de cafeína, são aumentados principalmente em CA2, sugerindo potencialização sináptica relacionado a memória de reconhecimento.

No entanto, especula-se que um possível efeito deletério aconteça após exceder determinado nível de alerta, o que pode deteriorar o desempenho psicomotor, produzindo uma relação entre ativação do SNC e o desempenho cognitivo, uma curva invertida em forma de U. Esse mecanismo é explicado pela lei de Yerkes–Dodson ⁴¹, na qual afirmam que existe um nível ótimo de interação “neurotransmissor-receptor”, ou “substância-receptor” capaz de gerar uma facilitação dos processos cognitivos, mas quando o nível de interação e excitação do SNC é excessiva, uma série de manifestações deletérias são manifestadas, tal como, altos

níveis de ansiedade, irritabilidade, e estresse, reduzindo o desempenho cognitivo ¹⁷. Esse evento descrito é semelhantemente ao observado pela interação excessiva de glicocorticóides a receptores específicos, na qual produzem o mesmo padrão de “U” invertido, e por fim, prejuízos ao mecanismo de potencialização de longo prazo (“*long-term potentiation*”) ⁴².

Em contrapartida, existem evidências de efeitos adversos decorrentes do uso excessivo e indiscriminado da cafeína, trazendo prejuízos gastrointestinais ⁴³, assim como, hipercauciúria, em outras palavras, aumento da concentração de cálcio na urina, e também por via intestinal. Tal mecanismo pode estar relacionado a uma supressão da produção de prostaglandinas (subunidade E2), que por sua vez influencia o metabolismo ósseo. Para esse mecanismo ainda são necessárias maiores investigações ^{44,45}.

Cafeína e Desempenho

No esporte de alto rendimento e no esporte amador, o uso de suplementos é algo comum, as pesquisas buscando comprovar os efeitos benéficos e posologia adequada a cada modalidade e tipologia física são amplamente realizadas. São vários os suplementos comercializados nos dias atuais e para vários objetivos, sendo os mais utilizados aqueles voltados para o ganho de massa muscular (Bisotto et al, 2016). Como atletas assim como praticantes de atividade física estão sempre buscando melhorar seus resultados o mercado de suplementos alimentares só cresce, desde suplementos para ganho de massa muscular, para perda de peso, estimulantes, dentre outros. Dentre estes podemos citar a cafeína, em suas várias formas, como um dos suplementos mais utilizados atualmente por atletas e por praticantes de atividade física.

Cafeína e Crossfit®

No Crossfit não encontramos muitos estudos relacionando os diferentes tipos de workouts e o uso de cafeína. Stein et al (2019), selecionou 13 homens treinados em Crossfit para realizar um estudo que consistia em realizar o maior número de voltas possíveis de 3 exercícios ginásticos comuns na modalidade dentro do tempo estabelecido de 20 minutos. Com o intervalo de 7 dias o grupo faria o treino, hora

consumindo a quantidade de 5 mg/kg de massa corporal de cafeína, hora placebo. Foi encontrado no estudo diferença na quantidade de repetições no grupo cafeína, mas segundo os autores é preciso levar em consideração a possibilidade de “efeito de aprendizagem”.

Os estudos sobre o consumo e benefícios da cafeína para o desempenho esportivo são amplamente conhecidos e seu uso para este fim amplamente praticado. O benefício da cafeína é comprovado em esportes de endurance (França et al, 2015; Brunetto et al, 2010), em esportes anaeróbios (Spineli et al, 2022) e em treino com predominância de exercícios ginásticos no Crossfit (Stein et al, 2019). Este último esporte carece de mais estudos, utilizando diferentes workouts com diferentes domínios e demandas metabólicas.

Spineli et al (2022) demonstrou em seu estudo, realizado com 30 homens saudáveis com experiência em treino de força, que a suplementação aguda de 350mg de cafeína anidra aumentou o tempo até a falha no exercício supino com a intensidade de 20% de 1RM. A mesma suplementação não surtiu efeito em intensidades maiores, neste estudo 25% e 30%. O tempo até a fadiga com suplementação de cafeína e intensidade de 20% de 1RM, apresentou o resultado de 243.2s versus 202.6s com placebo (p-valor = 0.02).

França et al (2015), realizou um estudo onde distribuiu aleatoriamente 27 ratos machos adultos em 3 protocolos diferentes, são eles: controle, salina e cafeína. O estudo demonstrou que os ratos que foram suplementados com cafeína anidra 99%, sendo a dose administrada de 6mg/Kg, obtiveram influência positiva no desempenho em exercícios de endurance. Esse resultado pode ser explicado pela manutenção dos níveis de glicose e glicogênio hepático, juntamente com o aumento de glicerol sérico obtidos a partir da administração de cafeína na mobilização de substrato energéticos, fatores importantes quando se trata de atividade física de longa duração, endurance.

Acerca do mecanismo de ação da cafeína, Yamada, Pimentel, Pickering et al (2022), citam em seu estudo que a cafeína pode estimular a biogênese mitocondrial. Os resultados de pesquisas mostram que a administração de cafeína aumentou a expressão do receptor gama ativado por proliferadores de peroxissoma (PPAR γ) e PGC-1^a e fator de transcrição mitocondrial A (mtTFA). Além disso, segundo o autor, também há um aumento na ligação de NRF-1 e NRF-2 ao DNA. Finalmente, a

exposição à cafeína aumentou as proteínas enzimáticas marcadoras mitocondriais. Como resultado, aumento nos níveis de Ca^{2+} semelhante ao exercício.

Ainda segundo Yamada, Pimentel, Pickering et al (2022), a cafeína é ergogênica para diferentes aspectos do desempenho do exercício, incluindo resistência aeróbica, força muscular, resistência muscular, potência, desempenho de salto e velocidade do exercício. Os autores acreditam que um dos principais mecanismos que contribuem para os efeitos ergogênicos acima citados é a inibição competitiva dos receptores de adenosina.

REFERÊNCIAS

- 1.Fredholm BB, Battig K, Holmen J, Nehlig A, Zvartau EE. Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. *Pharmacological reviews* 1999;51:83-133.
- 2.Duncan MJ, Oxford SW. The effect of caffeine ingestion on mood state and bench press performance to failure. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association* 2011;25:178-85.
- 3.Doherty M, Smith PM. Effects of caffeine ingestion on exercise testing: a meta-analysis. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism* 2004;14:626-46.
- 4.Doherty M, Smith PM. Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 2005;15:69-78.
- 5.Spriet LL. Caffeine and performance. *International journal of sport nutrition* 1995;5 Suppl:S84-99.
- 6.Spriet LL, Gibala MJ. Nutritional strategies to influence adaptations to training. *Journal of sports sciences* 2004;22:127-41.
- 7.Lorist MM, Tops M. Caffeine, fatigue, and cognition. *Brain and cognition* 2003;53:82-94.
- 8.Ribeiro JA, Sebastiao AM. Caffeine and adenosine. *Journal of Alzheimer's disease : JAD* 2010;20 Suppl 1:S3-15.
- 9.Audiffren M, Tomporowski PD, Zagrodnik J. Acute aerobic exercise and information processing: energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta psychologica* 2008;129:410-9.
- 10.Chmura J, Kryzstofiak H, Ziemba AW, Nazar K, Kaciuba-Uscilko H. Psychomotor performance during prolonged exercise above and below the blood lactate threshold. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 1998;77:77-80.

- 11.Chmura J, Nazar K, Kaciuba-Uscilko H. Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. International journal of sports medicine 1994;15:172-6.
- 12.Coles K, Tomporowski PD. Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. Journal of sports sciences 2008;26:333-44.
- 13.Kashihara K, Maruyama T, Murota M, Nakahara Y. Positive effects of acute and moderate physical exercise on cognitive function. Journal of physiological anthropology 2009;28:155-64.
- 14.Benowitz NL. Clinical pharmacology of caffeine. Annual review of medicine 1990;41:277-88.
- 15.Kamijo K, Nishihira Y, Hatta A, et al. Changes in arousal level by differential exercise intensity. Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology 2004;115:2693-8.
- 16.Kamijo K, Nishihira Y, Higashiura T, Kuroiwa K. The interactive effect of exercise intensity and task difficulty on human cognitive processing. International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology 2007;65:114-21.
- 17.Smith A. Effects of caffeine on human behavior. Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association 2002;40:1243-55.
- 18.ACSM. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins; 2010.
- 19.Billat LV. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: anaerobic interval training. Sports Med 2001;31:75-90.
- 20.Billat LV. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. Sports Med 2001;31:13-31.
- 21.Billat VL, Flechet B, Petit B, Muriaux G, Koralsztejn JP. Interval training at VO₂max: effects on aerobic performance and overtraining markers. Medicine and science in sports and exercise 1999;31:156-63.
- 22.Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. Sports Med 2013;43:927-54.
- 23.Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. Sports Med 2013;43:313-38.

- 24.Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of physiology* 2008;586:151-60.
- 25.Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJ, Bradwell SN, Gibala MJ. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol* (1985) 2005;98:1985-90.
- 26.Gibala MJ. High-intensity interval training: a time-efficient strategy for health promotion? *Current sports medicine reports* 2007;6:211-3.
- 27.Gibala MJ, Little JP. Just HIT it! A time-efficient exercise strategy to improve muscle insulin sensitivity. *The Journal of physiology* 2010;588:3341-2.
- 28.Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of physiology* 2012;590:1077-84.
- 29.Gormley SE, Swain DP, High R, et al. Effect of intensity of aerobic training on VO₂max. *Medicine and science in sports and exercise* 2008;40:1336-43.
- 30.Gibala MJ, Little JP, van Essen M, et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *The Journal of physiology* 2006;575:901-11.
- 31.Gibala MJ, McGee SL. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exercise and sport sciences reviews* 2008;36:58-63.
- 32.Helgerud J, Hoydal K, Wang E, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:665-71.
- 33.Babraj JA, Volvaard NB, Keast C, Guppy FM, Cottrell G, Timmons JA. Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males. *BMC Endocr Disord* 2009;9:3.
- 34.Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJ, Bradwell SN, Gibala MJ. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol* 2005;98:1985-90.
- 35.Coyle EF. Very intense exercise-training is extremely potent and time efficient: a reminder. *J Appl Physiol* 2005;98:1983-4.
- 36.Talanian JL, Galloway SD, Heigenhauser GJ, Bonen A, Spriet LL. Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *J Appl Physiol* 2007;102:1439-47.
- 37.Perry CG, Heigenhauser GJ, Bonen A, Spriet LL. High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal muscle. *Appl Physiol Nutr Metab* 2008;33:1112-23.

- 38.Burgomaster KA, Heigenhauser GJ, Gibala MJ. Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J Appl Physiol* 2006;100:2041-7.
- 39.Durlac PJ, Edmunds R, Howard L, Tipper SP. A rapid effect of caffeinated beverages on two choice reaction time tasks. *Nutritional neuroscience* 2002;5:433-42.
- 40.Simons SB, Caruana DA, Zhao M, Dudek SM. Caffeine-induced synaptic potentiation in hippocampal CA2 neurons. *Nature neuroscience* 2012;15:23-5.
- 41.Anderson KJ. Impulsivity, caffeine, and task difficulty: A within-subjects test of the Yerkes-Dodson Law. *Personality and Individual Differences* 1994;16:813-29.
- 42.Lupien SJ, Wilkinson CW, Briere S, Menard C, Ng Ying Kin NM, Nair NP. The modulatory effects of corticosteroids on cognition: studies in young human populations. *Psychoneuroendocrinology* 2002;27:401-16.
- 43.Rabello GDF, L.V.; Galvão, A.C.R. Avaliação Clínica da Eficácia da Combinação Paracetamol e Cafeína no Tratamento da Cefaléia Tipo Tensão. *Arq Neuropsiquiatr* 2000;58:90-8.
- 44.Massey LK, Whiting SJ. Caffeine, urinary calcium, calcium metabolism and bone. *The Journal of nutrition* 1993;123:1611-4.
- 45.Massey LK. Dietary factors influencing calcium and bone metabolism: introduction. *The Journal of nutrition* 1993;123:1609-10.
- 46.Nehlig A. Is caffeine a cognitive enhancer? *Journal of Alzheimer's disease : JAD* 2010;20 Suppl 1:S85-94.
- 47.Haskell CF, Kennedy DO, Milne AL, Wesnes KA, Scholey AB. The effects of L-theanine, caffeine and their combination on cognition and mood. *Biological psychology* 2008;77:113-22.
- 48.Aguiar R.A; Turnes T; Cardoso TE; Vasconcellos DDCF. Efeito da Ingestão de Cafeína em Diferentes Tarefas de Tempo de Reação. *Rev Bras Ciênc Esporte* 2012;34:465-76.
- 49.Durlach PJ. The effects of a low dose of caffeine on cognitive performance. *Psychopharmacology* 1998;140:116-9.
- 50.Lieberman HR. Nutrition, brain function and cognitive performance. *Appetite* 2003;40:245-54.
- 51.Attwood AS, Higgs S, Terry P. Differential responsiveness to caffeine and perceived effects of caffeine in moderate and high regular caffeine consumers. *Psychopharmacology* 2007;190:469-77.
- 52.Cropley V, Croft R, Silber B, et al. Does coffee enriched with chlorogenic acids

improve mood and cognition after acute administration in healthy elderly? A pilot study. *Psychopharmacology* 2012;219:737-49.

53.Davis CL, Tomporowski PD, McDowell JE, et al. Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children: a randomized, controlled trial. *Health psychology : official journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association* 2011;30:91-8.

54.Tomporowski PD. Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta psychologica* 2003;112:297-324.

55.Kramer AF, Colcombe SJ, McAuley E, Scalf PE, Erickson KI. Fitness, aging and neurocognitive function. *Neurobiology of aging* 2005;26 Suppl 1:124-7.

56.Hogervorst E, Riedel W, Jeukendrup A, Jolles J. Cognitive performance after strenuous physical exercise. *Perceptual and motor skills* 1996;83:479-88.

57.Hogervorst E, Riedel WJ, Kovacs E, Brouns F, Jolles J. Caffeine improves cognitive performance after strenuous physical exercise. *International journal of sports medicine* 1999;20:354-61.

58.van Praag H. Neurogenesis and exercise: past and future directions. *Neuromolecular medicine* 2008;10:128-40.

59.van Praag H, Shubert T, Zhao C, Gage FH. Exercise enhances learning and hippocampal neurogenesis in aged mice. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* 2005;25:8680-5.

60.Vaynman S, Gomez-Pinilla F. License to run: exercise impacts functional plasticity in the intact and injured central nervous system by using neurotrophins. *Neurorehabilitation and neural repair* 2005;19:283-95.

61.Ferris LT, Williams JS, Shen CL. The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Medicine and science in sports and exercise* 2007;39:728-34.

62.Young J, Angevaren M, Rusted J, Tabet N. Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *The Cochrane database of systematic reviews* 2015;4:CD005381.

ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA DE CORRENTE CONTÍNUA (tDCS)

Desde os seus primeiros relatos na literatura, a tDCS tem sido utilizada em muitas áreas de pesquisa, já que a mesma pode modular as redes neurais cerebrais de forma indolor e não invasiva (Nitsche e Paulus, 2011). A tDCS fornece uma corrente de baixa intensidade para o córtex através de dois eletrodos colocados no couro cabeludo. O efeito neuromodulador depende da modulação da polaridade da membrana, que pode ocorrer por meio da tDCS anódica (tDCS -a; excitatória) e tDCS catódica (tDCS -c; inibitória) (Bindman et al., 1964), embora seja importante diferenciar entre os efeitos mediados pelo eletrodo alvo e o eletrodo referência.

A tDCS é aplicada através de eletrodos de silicone ou metálicos embutidos em uma esponja embebida em solução salina (Woods et al., 2016). Os eletrodos são conectados a um estimulador que distribui uma corrente elétrica constante, o que é essencial para a estabilidade da corrente para garantir efeitos confiáveis. Os parâmetros de estimulação aplicados geralmente variam de 1 a 2 mA de intensidade de corrente, de 3,5 até 100 cm² de tamanho de eletrodo e até 20 min de duração da estimulação na maioria dos estudos.

Mecanismos de Ação da tDCS

O efeito primário da tDCS nos neurônios é uma mudança abaixo do limiar dos potenciais de membrana em repouso, despolarizando ou hiperpolarizando, dependendo da direção do fluxo de corrente em relação a orientação dos axônios (Bindman et al., 1964; Nitsche e Paulus, 2011).

A tDCS -a aumenta a excitabilidade do córtex subjacente, como revelado por um aumento na amplitude do potencial evocado motor (PEM), enquanto a tDCS -c diminui a excitabilidade (Nitsche e Paulus, 2011). A estimulação de curta duração (alguns segundos) é suficiente para induzir essas alterações de excitabilidade, que, no entanto, não sobrevivem de forma relevante ao período de estimulação (Nitsche e Paulus, 2011). Uma maior duração da estimulação (vários minutos) induz alterações na excitabilidade que podem durar uma hora ou mais (Nitsche e Paulus, 2011).

No geral, acredita-se que a plasticidade sináptica dependente de cálcio dos neurônios glutamatérgicos desempenhe um papel importante, fundamental no mecanismo de ação neuroplástico duradouro da tDCS, uma vez que o bloqueio do N-metil Daspartato (NMDA) diminui os efeitos da tDCS (Liebetanz et al., 2002; Nitsche et al., 2003). Além disso, a tDCS pode reduzir localmente a neurotransmissão do

ácido gama-aminobutírico (GABA), independentemente da polaridade da tDCS (Stagg et al., 2009) e isso também pode impactar na plasticidade glutamatérgica devido estreita relação entre os dois neurotransmissores (Nitsche e Paulus, 2011).

Além dos efeitos locais, também foram descritos efeitos conectivos da tDCS. Redes neurais respondem a correntes elétricas de forma mais sensível do que neurônios individuais (Francis et al., 2003) e a tDCS pode interferir na conectividade funcional, sincronização e atividades oscilatórias em várias redes corticais e subcorticais. Isso foi demonstrado na M1 (Polanía et al., 2012) e no córtex pré-frontal (CPF) (Keeser et al., 2012).

Além disso, como a tDCS modula o potencial de membrana em repouso no nível sináptico, mas ao longo de todos os axônios, isso pode resultar em efeitos não sinápticos, o que também pode contribuir aos efeitos colaterais da tDCS (Ardolino et al., 2005). Esses mecanismos não sinápticos da tDCS podem ser baseados em mudanças funcionais de várias moléculas axonais, envolvidas na condutância iônica transmembrana, estrutura da membrana, citoesqueleto ou transporte axonal, quando expostos a um campo elétrico (Jefferys, 1995).

No entanto, os efeitos classicamente assumidos da tDCS na excitabilidade cortical (ou seja, tDCS -a versus tDCS -c), principalmente com o M1 envolvido, não pode ser considerado como regra geral, pois inúmeros fatores podem tornar-se facilitadores transforma-se em inibitório e vice-versa. A influência celular local dos campos elétricos no cérebro é complexa, dependendo da distância e orientação do eixo axonal ou somatodendrítico em relação ao campo elétrico (Bikson et al., 2016). Pensa-se que os terminais sejam duas ou três vezes mais suscetíveis do que os somas à polarização induzida pela tDCS, mas o fluxo de corrente radial ou tangencial não determina as mesmas mudanças na eficácia sináptica no axônio nível terminal, de acordo com a polaridade do eletrodo estimulador (Rahman et al., 2013). Mais precisamente, a orientação axonal poderia determinar se o campo elétrico é excitatório ou inibitório, enquanto a orientação dendrítica pode afetar a orientação magnitude, mas não a direção dos efeitos elétricos resultantes (Kabakov et al., 2012). Além disso, estudos de modelagem mostraram que a tDCS -a focal aplicada na superfície de um giro apenas ou preferencialmente ativa fibras "horizontais" com um componente direcional paralelo a superfície do eletrodo, enquanto a tDCS -a excita fibras no córtex subjacente que são perpendicular à superfície do eletrodo (Holsheimer et al., 2007a,b). Finalmente, mesmo se os campos elétricos induzirem

efeitos despolarizantes ou hiperpolarizantes em populações neuronais em relação à orientação da fibra e polaridade do eletrodo, o efeito fisiológico resultante da tDCS depende se a rede afetada é predominantemente inibitória ou excitatória.

tDCS Como Recurso Potencializador para o Desempenho Físico

A tDCS é vista como um potencial recurso ergogênico para melhorar a força muscular (Lattari et al., 2016, 2020) e resistência (Lattari et al., 2018) em ambos não atletas (Lattari et al., 2016, 2020) e atletas (Sales et al., 2016; Vargas et al., 2018).

No que diz respeito ao esporte e exercício, as áreas mais frequentemente utilizadas área é o córtex pré-frontal dorsolateral (CPFDL) esquerdo, pois é responsável pela inibição das áreas motoras. Geralmente, essa área tem um papel na modulação de muitas funções e processos cognitivos, como emoção, humor e memória. Portanto, é difícil medir o impacto de uma determinada estimulação em apenas um parâmetro. O CPFDL esquerdo é uma área que atua no controle da fadiga e do esforço, portanto, é uma das áreas mais importantes envolvidas na decisão de continuar ou não o exercício (Lattari et al., 2016; Tanaka et al., 2013). A fadiga física é um fenômeno complexo, e fatores como esforço percebido e pode haver inibição central. Na fadiga, há um aumento da atividade cerebral medida por eletroencefalograma (EEG) e uma maior sincronização entre o CPFDL esquerdo e direito (Tanaka et al., 2013). A fadiga pode ser compensada no CPFDL quando há uma diminuição na ativação da M1 devido à presença de fadiga central induzida pelo exercício (Menotti et al., 2014). Em consonância com isso, Lattari et al. (2020) descobriram que o tDCS -a aplicada ao CPFDL esquerdo e a tDCS -c sobre o córtex órbito frontal (COF) a 2 mA por 20 min melhorou o volume de carga e o esforço percebido em comparação com a tDCS -sham (placebo) e com a tDCS usando uma montagem reversa para exercícios de membros inferiores em indivíduos jovens saudáveis. Vinte minutos de tDCS -a a 2 mA aplicados sobre o CPFDL esquerdo aumentou a tolerância ao exercício realizado no cicloergômetro com carga máxima em mulheres moderadamente ativas em comparação com a tDCS -sham (Lattari et al., 2018). Este achado implica que a modificação da atividade neuronal no CPFDL esquerdo poderia melhorar o desempenho do exercício de resistência, mantendo o impulso volitivo para a M1. No entanto, outros estudos falharam em mostrar efeitos significativos da tDCS no desempenho do exercício (Kan et al., 2013; Muthalib et al., 2013). Os primeiros estudos sobre a facilitação da aprendizagem motora (Nitsche et

al., 2003) foram recentemente confirmados e estendidos para a melhoria do desempenho do salto (Grosprêtre et al., 2021). Se os dados sobre músicos habilidosos pudessem ser transferidos para esportes, uma conclusão generalizada poderia ser que a chance de melhorar a força motora grossa ou a resistência poderia ser maior em comparação com os requisitos de esportes habilidosos (Furuya et al., 2014). O uso de tDCS para melhorar o desempenho no esporte/exercício pode ser considerado uma forma de “neurodoping” (Davis, 2013), pois está associado a riscos físicos, comportamentais e questões éticas. No entanto, o tDCS escapou até agora dos padrões da agência mundial antidoping (WADA), que são totalmente focados em drogas: https://www.wadaama.org/sites/default/files/resources/files/2021list_en.pdf.

Como há evidências razoáveis de que alguns protocolos de tDCS podem melhorar o desempenho motor em pessoas normais, pode ser visto como um “método de dopagem”, sem regulamentação legal até o momento. Além disso, até o momento, não existe um “biomarcador” para detectar seu uso. Isto sugere que o tDCS não deva ser proibido, mas a WADA deve adotar uma abordagem semelhante para monitorar seu uso, como faz atualmente com a cafeína (Pugh e Pugh, 2021). A proibição encorajaria o uso de dispositivos e protocolos seguros. Como parte desse monitoramento, a WADA poderia trabalhar com empresas de estimulação desenvolvendo dispositivos de tDCS para garantir que os usuários sejam devidamente informados sobre as aplicações, riscos e efeitos da tDCS.

REFERÊNCIAS

- Ardolino G, Bossi B, Barbieri S, Priori A. Non-synaptic mechanisms underlie the after-effects of cathodal transcutaneous direct current stimulation of the human brain. *J Physiol (London)* 2005;568:653-63.
- Bikson M, Grossman P, Thomas C, Zannou AL, Jiang J, Adnan T, et al. Safety of Transcranial Direct Current Stimulation: Evidence Based Update 2016. *Brain Stimul* 2016;9:641-61.
- Bindman LJ, Lippold OCJ, Redfearn JWT. The action of brief polarizing currents on the cerebral cortex of the rat (1) during current flow and (2) in the production of long-lasting after-effects. *J Physiol (London)* 1964;172:369-82.
- Davis, N.J., 2013. Neurodoping: brain stimulation as a performance enhancing endurance. *Appl. Physiol. Nutr. Metabol.* 38, 734–739.
- Francis JT, Gluckman BJ, Schiff SJ. Sensitivity of neurons to weak electric fields. *J*

Neurosci 2003;23:7255-61.

Furuya, S., Klaus, M., Nitsche, M.A., Paulus, W., Altenmueller, E., 2014. Ceiling effects prevent further improvement of transcranial stimulation in skilled musicians. *J. Neurosci.* 34, 13834–13839.

Grosprêtre, S., Grandperrin, Y., Nicolier, M., Gimenez, P., Vidal, C., Tio, G., Haffen, E., Bennabi, D., 2021. Effect of transcranial direct current stimulation on the psychomotor, cognitive, and motor performances of power athletes. *Sci. Rep.* 11 (1), 9731.

Holsheimer J, Lefaucheur JP, Buitenweg JR, Goujon C, Nineb A, Nguyen JP. The role of intra-operative motor evoked potentials in the optimization of chronic cortical stimulation for the treatment of neuropathic pain. *Clin Neurophysiol* 2007a;118:2287-96.

Holsheimer J, Nguyen JP, Lefaucheur JP, Manola L. Cathodal, anodal or bifocal stimulation of the motor cortex in the management of chronic pain? *Acta Neurochir Suppl* 2007b;97:57-66.

Jefferys JG. Nonsynaptic modulation of neuronal activity in the brain: electric currents and extracellular ions. *Physiol Rev* 1995;75:689-723.

Kabakov AY, Muller PA, Pascual-Leone A, Jensen FE, Rotenberg A. Contribution of axonal orientation to pathwaydependent modulation of excitatory transmission by direct current stimulation in isolated rat hippocampus. *J Neurophysiol* 2012;107:1881-9.

Kan, B., Dundas, J.E., Nosaka, K., 2013. Effect of transcranial direct current stimulation of the motor cortex on prefrontal cortex activation during a measure. *Sports Med.* 43, 649–653.

Kessler SK, Turkeltaub PE, Benson JG, Hamilton RH. Differences in the experience of active and sham transcranial direct current stimulation. *Brain Stimul* 2012;5:155-62.

Lattari, E., Andrade, M.L., Filho, A.S., Moura, A.M., Neto, G.M., Silva, J.G., et al., 2016. Can transcranial direct current stimulation improve the resistance strength and decrease the rating perceived scale in recreational weight-training experience? *J. Strength Cond. Res.* 30, 3381–3387.

Lattari, E., de Oliveira, B.S., Oliveira, B.R.R., de Mello Pedreiro, R.C., Machado, S., Neto, G.A.M., 2018. Effects of transcranial direct current stimulation on time limit and ratings of perceived exertion in physically active women. *Neurosci. Lett.* 662, 12–16.

Lattari, E., Rosa-Filho, B.J., Fonseca-Junior, S.J., Murillo-Rodriguez, E., Rocha, N., Machado, S., Maranhão-Neto, G.A., 2020. Effects on volume load and ratings of perceived exertion in individuals' advanced weight training after transcranial direct current stimulation. *J. Strength Cond. Res.* 34, 89–96.

Liebetanz D, Nitsche MA, Tergau F, Paulus W. Pharmacological approach to the

mechanisms of transcranial DCstimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability. *Brain* 2002;125:2238-47.

Menotti, F., Berchicci, M., Di Russo, F., Damiani, A., Vitelli, S., Macaluso, A., 2014. The role of the prefrontal cortex in the development of muscle fatigue in Charcot-Marie-Tooth 1A patients. *Neuromuscul. Disord.* 24, 516–523.

Muthalib, M., Kan, B., Nosaka, K., Perrey, S., 2013. Effects of transcranial direct stimulation on elbow flexor maximal voluntary isometric strength and neuromuscular fatigue task: an fNIRS study. *Adv. Exp. Med. Biol.* 789, 73.

Nitsche MA, Fricke K, Henschke U, Schlitterlau A, Liebetanz D, Lang N, et al. Pharmacological modulation of cortical excitability shifts induced by transcranial direct current stimulation in humans. *J Physiol (London)* 2003a;553:293-301.

Nitsche MA, Paulus W. Transcranial direct current stimulation--update 2011. *Restor Neurol Neurosci.* 2011;29:463–92.

Nitsche, M., Schauenburg, A., Lang, N., Liebetanz, D., Exner, C., Paulus, W., et al., 2003. Facilitation of implicit motor learning by weak transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex in the human. *J. Cogn. Neurosci.* 15, 619–626.

Polanía R, Paulus W, Nitsche MA. Modulating cortico-striatal and thalamo-cortical functional connectivity with transcranial direct current stimulation. *Hum Brain Mapp* 2012;33:2499-508.

Pugh, J., Pugh, C., 2021. Neurostimulation, doping, and the spirit of sport. *Neuroethics.* 14 (Suppl 2), 141–158.

Rahman A, Reato D, Arlotti M, Gasca F, Datta A, Parra LC, et al. Cellular effects of acute direct current stimulation: somatic and synaptic terminal effects. *J Physiol (London)* 2013;591:2563-78.

Sales, M.M., De Sousa, C.V., Browne, R.A.V., Fontes, E.B., Olher, R.R.V., Ernesto, C., et al., 2016. Transcranial direct current stimulation improves muscle isokinetic performance of young trained individuals. *Med. Dello Sport* 69, 1–10.

Tanaka, M., Ishii, A., Watanabe, Y., 2013. Neural mechanism of facilitation system during physical fatigue. *PLoS ONE* 8 (11), e80731.

Vargas, V.Z., Baptista, A.F., Pereira, G.O.C., Pochini, A.C., Ejnisman, B., Santos, M.B., et al., 2018. Modulation of isometric quadriceps strength in soccer players with transcranial direct current stimulation: a crossover study. *J. Strength Cond. Res.* 32, 1336–1341.

Woods AJ, et al. A technical guide to tDCS, and related non-invasive brain stimulation tools. *Clin Neurophysiol.* 2016;127:1031–48.

ARTIGO 1

A NEUROMODULAÇÃO EXCITATÓRIA COM ADIÇÃO DE CAFEÍNA NÃO MELHOROU O RENDIMENTO EM WORKOUT DE CROSSFIT®

RESUMO

17 indivíduos de ambos os gêneros fisicamente ativos e classificados como treinados para exercícios de força participaram do estudo. O estudo foi desenvolvido num total de 4 visitas. Na primeira parte do estudo, todos os participantes serão submetidos a procedimento de bioimpedância caracterização da amostra, e uma familiarização com os movimentos de Clean & Jerk (C&J). Da segunda a quarta visitas, os sujeitos foram submetidos as seguintes condições: a) ingestão de 400mg de cafeína + tDCS anódica; b) ingestão de placebo + tDCS anódica; c) ingestão de placebo + Sham (controle), antes da execução da tarefa de levantamento de peso. Para todos as partes do deste estudo, foram realizados como procedimento experimental após a estimulação do tDCS, 30 movimentos de C&J com uma carga padronizada de 60kg para homens e 42kg para mulheres num tempo máximo de 8 min. Os resultados foram expressos em tempo de trabalho (min). Uma ANOVA de medidas repetidas foi desenvolvida entre as variáveis dependente. O tamanho do efeito (TE) também foi determinado, e para todas as análises serão adotando uma significância de $p = 0,05$. Uma ANOVA de medida repetidas (fator grupo) comparou o tempo limite de desempenho de C&J dos atletas e observou diferenças significativas considerando o grupo que ingeriu CAF + tDCS anódica em comparação aos grupos tDCS + PLA ($p = 0,011$) e também o grupo controle Sham ($p = 0,029$). Entretanto, não houve diferenças significativas entre os grupos de tDCS + placebo vs. controle ($p = 0,353$), sugerindo pouca ou nenhuma influência da aplicação de tDCS. Conclui-se que a tDCS não produziu efeitos significativos sobre o desempenho de C&J, não havendo adição de efeitos associados a estratégia de suplementação. Em contrapartida, a cafeína isoladamente exibiu significativa melhora sobre o rendimento físico.

Palavras-Chave: Eletroestimulação, Performance, VO2Máx, Crossfit

ARTICLE 1

EXCITATORY NEUROMODULATION WITH THE ADDITION OF CAFFEINE DID NOT IMPROVE PERFORMANCE IN CROSSFIT® WORKOUT.

ABSTRACT

17 physically active individuals of both genders and classified as trained for strength exercises participated in the study. The study was carried out over a total of 4 visits. In the first part of the study, all participants will undergo a bioimpedance procedure, sample characterization, and familiarization with the Clean & Jerk (C&J) movements. From the second to fourth visits, the subjects were subjected to the following conditions: a) ingestion of 400mg of caffeine + anodal tDCS; b) placebo intake + anodal tDCS; c) ingestion of placebo + Sham (control), before performing the weight lifting task. For all parts of this study, as an experimental procedure after tDCS stimulation, 30 C&J movements were performed with a standardized load of 60kg for men and 42kg for women in a maximum time of 8 min. The results were expressed in working time (min). A repeated measures ANOVA was developed between the dependent variables. The effect size (TE) was also determined, and for all analyzes a significance of $p = 0.05$ will be adopted. A repeated measures ANOVA (group factor) compared the athletes' C&J performance time limit and observed significant differences considering the group that ingested CAF + anodal tDCS compared to the tDCS + PLA groups ($p = 0.011$) and also the Sham control group. ($p = 0.029$). However, there were no significant differences between the tDCS + placebo vs. placebo groups. control ($p = 0.353$), suggesting little or no influence of tDCS application. It is concluded that tDCS did not produce significant effects on C&J performance, with no additional effects associated with the supplementation strategy. On the other hand, caffeine alone showed a significant improvement in physical performance.

Keywords: Electrostimulation, Performance, VO2Max, Crossfit

INTRODUÇÃO

A estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) é uma técnica indolor, não invasiva, de baixo custo e fácil aplicação, capaz de modular a atividade cortical através de uma corrente de baixa intensidade [7, 22, 23]. Este tipo de estimulação é realizada através de um aparelho portátil com capacidade de gerar estímulos elétricos constantes com amperagem em torno de 2mA, a partir de um potenciômetro e dois eletrodos (ânodo e o catodo) [22, 23]. A aplicação da tDCS é realizada diretamente no couro cabeludo, posicionando o ânodo na região cerebral que se deseja estimular e o catodo posicionado em local para fechar o circuito do fluxo de corrente.

O mecanismo de ação da tDCS já é em parte compreendido, atuando no aumento ou diminuição da excitabilidade da membrana, despolarizando-a através da função anódica [17, 18, 20-23, 26], e hiperpolarizando-a através da função catódica [21, 22]. Tanaka *et al.* [32] por exemplo, observaram que a estimulação anódica aplicada sobre o córtex motor, aumentaria a excitabilidade deste com a concomitante potencialização do desempenho físico a partir da redução da fadiga. No entanto, a instalação da fadiga e a tolerância ao esforço físico ainda é alvo de grandes discussões na comunidade científica. St. Clair Gibson *et al.* [31] discutem se as áreas relativas a fadiga realmente são afetadas superficialmente a ponto de modular respostas diferenciadas. O autor supõe ainda que se estas respostas ocorrem, tais relações seriam derivadas de áreas como o córtex cingulado anterior, o córtex insular, e o tálamo. Percebe-se então, que fatores corticais mediados via excitabilidade da membrana neuronal podem estar diretamente relacionados com a tolerância e o desempenho ao exercício, e como a percepção de fadiga se dispõe.

As evidências sobre a manifestação da força parecem extremamente promissoras quando estimulados com tDCS [3, 6]. Em um dos estudos publicados por nosso grupo [12] foi objetivado avaliar a eficácia da eletroestimulação transcraniana direta sobre o volume total de repetições e a percepção de esforço. 10 participantes então foram submetidos a exercício de flexão de cotovelo em barra com carga específica de 10RM após 20 minutos de estimulação tDCS a 2mA em 3 condições: anódica (excitatória), catódica (inibitória), placebo. Os resultados mostraram que as repetições concluídas após a condição anódica (excitatória) foram maiores que 10 RM, com menor percepção de esforço. Quando estimulados de forma inibitória, o número de repetições foi inferior as 10 RM, com maior esforço percebido. A condição

de estimulação placebo não alterou o número de repetições e nem a percepção de esforço. As metanálises mais atuais demonstram os efeitos positivos do tDCS sobre o desempenho da força, mas não sobre a resistência muscular (endurance). Machado *et al.* [17] apresentaram diferenças entre os estudos que investigam a força muscular e os estudos de avaliação do endurance muscular, quanto ao uso bem-sucedido da tDCS. Estudos que investigam a eficiência da tDCS na melhoria da força muscular demonstram efeitos positivos do a- tDCS (anódica) em 66,7% dos parâmetros testados. O mesmo efeito não parece ocorrer para o endurance muscular, fato não observado de igual forma para o endurance cardiorrespiratório. Apesar desse entendimento, pouco tem sido investigado sobre o endurance muscular e cardiorrespiratório, e o mesmo necessita de adequado posicionamento.

A literatura ainda tem investigado mecanismos aditivos ao tDCS com a finalidade de observar efeitos somatórios de diferentes suplementações sobre o desempenho físico (aeróbio e força) [2, 11, 25]. A cafeína é um dos recursos mais consumidos e investigados [4, 9, 19, 24, 30, 33]. O estudo produzido por Lattari *et al.* [15] demonstraram que a força muscular foi maior nas condições experimentais anódicas, e a adição de cafeína apresentou menor percepção de esforço em comparação a condição placebo. Dessa forma, a melhora na percepção subjetiva de esforço induzida pela cafeína associada ao tDCS anódica pode ser entendida como vantajosa em participantes com experiência em treinamento de força. Tal suplemento é considerado seguro, sem efeitos colaterais, e tem demonstrado positivos efeitos periféricos quando administrados isoladamente tanto para o exercício aeróbio quanto para o exercício de força, no entanto pouco se sabe sobre possíveis efeitos aditivos a estimulação de regiões centrais. Dessa forma, cabe investigação intensiva sobre os possíveis efeitos, tanto nas diferentes manifestações da força.

OBJETIVOS GERAIS

O objetivo do presente estudo então, será investigar os possíveis efeitos ergogênicos da estimulação via eletroestimulação transcraniana de corrente contínua (tDCS) isoladamente ou combinado com suplementação de recursos ergogênicos sobre o desempenho de resistência de força.

Objetivos Específicos

Analisar a existência de efeitos aditivos da suplementação de cafeína junto a

eletroestimulação tDCS sobre tarefa de levantamento de pesos e seu desempenho de força Clean & Jerk (C&J); Investigar os efeitos da estimulação tDCS anódica ou placebo (Sham) isoladamente sobre o tempo de desempenho do levantamento de pesos C&J;

Hipóteses

Nossa hipótese é de que o desempenho de C&J serão superiores nas condições de tDCS excitatório. Além disso, a ingestão de cafeína combinado com tDCS excitatório, produzirão respostas superiores a condição isolada sobre a força. Por fim, haverá significativa associação entre o desempenho físico e os níveis de massa muscular, nível de experiência e percentual de gordura. Hipotetizamos que a análise de regressão linear significativamente estimará o tempo de performance de C&J.

Justificativa

O uso da tDCS diante do contexto esportivo é um método inovador, visto que as atuais evidências demonstram plausibilidade sob a perspectiva da potencialização do desempenho físico, sem que haja a consideração de doping esportivo [10, 12-17, 27]. Além do mais, esta técnica de neuromodulação é não-invasiva, indolor, que se utiliza apenas de uma corrente elétrica de baixa intensidade para modificar os potenciais neuronais transmembrana, promovendo alterações nos níveis de excitabilidade cortical e modulando as taxas de disparo neuronais [20-23]. Portanto, sua análise deve ser fortemente considerada.

Além disso, sabemos também que o desempenho de força ou aeróbio podem ser afetados por distintos mecanismos, inclusive derivados de vias interoceptivas [31]. Nesse sentido, é cabível especular que além da estimulação de áreas motoras, o tDCS pode influenciar a modulação da percepção do esforço físico, bem como, as estratégias de aplicação de ritmo de prova (contrarelógio), e as respostas derivadas [34]. Portanto, a tDCS passa a ser um importante recurso, visto que alguns estudos demonstraram resultados favoráveis a modulação do esforço e a percepção de fadiga [31, 34].

Concomitante aos dois aspectos supracitados, ainda não sabemos se existe um limite cabível para os efeitos de potencialização do exercício, ou se a utilização de forma somatória entre tDCS e recursos ergogênicos ingeridos, tal como a cafeína,

que possui a sua ação central [15, 17]. Justifica-se então a investigação destes parâmetros no âmbito da legalidade do esporte de alto rendimento, e também, para a melhora do rendimento em indivíduos que almejam a evolução das capacidades físicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo utilizará como referência os pressupostos descritos pelo ICMJE [5] e respeitou todos os itens propostos nas diretrizes "CONSORT" [29]. Todos os procedimentos serão realizados de acordo com a declaração de Helsinki.

Sujeitos

17 indivíduos de ambos os gêneros fisicamente ativos e classificados como treinados para exercícios de força e aeróbios (> 5 anos), não-fumantes foram convidados a participar do estudo a partir de anúncios feitos em box de treinamento especializado durante o período do primeiro semestre de 2023, e responderam ao questionário de estratificação de risco para doença arterial coronariana (DAC), conforme proposto pelo Colégio Americano de Medicina do Esporte [1]. Foram excluídos os indivíduos que fizessem uso de substâncias psicoativas, ou ergogênica prévia, ou que possuísssem lesões osteomioarticulares predeterminadas. Todos os participantes foram informados sobre os procedimentos, e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). Utilizando o pacote estatístico G-Power (Free Version 3.0.5), para o tamanho da amostra foi considerado um poder estatístico de 80%, resultando em 20 participantes. Este protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE 25686219.9.0000.5512; protocolo 3.790.808 / 2019).

Design do Estudo

O estudo foi desenvolvido num total de 4 visitas. Na primeira parte do estudo, após a assinatura do termo de consentimento na primeira visita, todos os participantes foram submetidos a um procedimento de bioimpedância para caracterização da amostra. Ainda na primeira visita, uma familiarização com os movimentos de C&J foi realizado.

Da segunda a quarta visita (total de três visitas), os sujeitos foram submetidos aos procedimentos experimentais. Tais visitas foram compostas das seguintes condições: a) ingestão de 400mg de cafeína [8] + tDCS anódica; b) ingestão de

400mg de placebo + tDCS anódica; c) condição controle ingestão de placebo + tDCS sham. Todas as combinações foram produzidas aleatoriamente por sorteio. A cafeína ou placebo foram administrados de forma duplo cego (por um segundo avaliador) 20 min antes do início da tDCS. O procedimento de tDCS foi realizado durante 20 min igualmente para todas as condições (totalizando 40 min até a execução experimental). A tarefa principal do levantamento de pesos terá um tempo máximo de 8 min de trabalho para realização de 30 movimentos de C&J com uma carga padronizada de 60kg para homens e 42kg para mulheres conforme estabelecido para o WOD GRACE, bastante conhecido pela comunidade de praticantes da modalidade CF. Os resultados foram expressos em unidade de tempo de trabalho para finalização das 30 repetições. A frequência cardíaca e percepção de esforço foram registradas.

PROCEDIMENTOS

Caracterização da Amostra

A massa corporal total e a composição corporal foram medidos por meio de uma balança de Bioimpedância multipolar InBody® (modelo 230, Biospace, Korea). Para a realização da Bioimpedância alguns critérios de preparo para o teste foram tomados, tais como: Manter-se em jejum pelo menos nas 4 horas que antecedem o teste, não realizar atividades físicas extenuantes nas 24 horas anteriores ao teste; urinar pelo menos 30 minutos antes do teste; não ingerir bebidas alcoólicas nas 48 horas anteriores ao teste; não utilizar medicamentos diuréticos nos 7 dias que antecedem o teste, permanecer, pelo menos, 5 a 10 minutos deitado em decúbito dorsal, em total repouso antes da execução do teste.

Os sujeitos foram orientados a subir na balança de análise sem os calçados onde seguraram as manoplas para fechamento do circuito onde passará a carga elétrica de baixa amperagem que fará a leitura dos seguintes itens: a) percentual de gordura corporal; b) percentual de massa magra; c) metabolismo de repouso; d) quantidade de água corporal. Todos os sujeitos serão orientados a abster-se de grandes quantidades de líquido nas duas horas precedentes ao procedimento.

Aplicação do tDCS

Os sujeitos permaneceram sentados confortavelmente em uma cadeira localizada dentro da box de CF. Foi ajustada uma corrente elétrica de 2 mA para aplicação usando um par de pastilhas embebidas em solução salina (NaCl 140 mmol dissolvido em água Milli-Q), compreendendo os dois eletrodos (35 cm²). Os eletrodos

(ânodo/excitatório e cátodo/inibitório) foram conectados a um dispositivo de estimulação contínua de corrente com três baterias (9 V). As baterias foram reguladas por um multímetro digital (EZA EZ 984, China) com um erro padrão de $\pm 1,5$. Para estimulação anódica (a- tDCS), o eletrodo anódico foi colocado no córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo (DLPFC), localizado na área do eletrodo F3, de acordo com o sistema internacional 10-20 EEG.

Para a condição placebo (Sham- tDCS), os eletrodos foram colocados na mesma posição da estimulação do anódica, no entanto, o estimulador foi reduzido ao mínimo até ser desligado após 60 segundos, o que é relatado como estímulo ineficaz. De acordo com estudos anteriores, com essa forma de placebo de estimulação, os pacientes geralmente relatam sensações de formigamento ou prurido pela estimulação elétrica inicial, mas não recebem nenhum estímulo. Esse procedimento permite que os sujeitos fiquem cegos para o tipo de estímulo que receberá durante o teste e garantam um efeito de controle. A figura 2 apresenta o equipamento de tDCS, bem como, os eletrodos que serão utilizados.

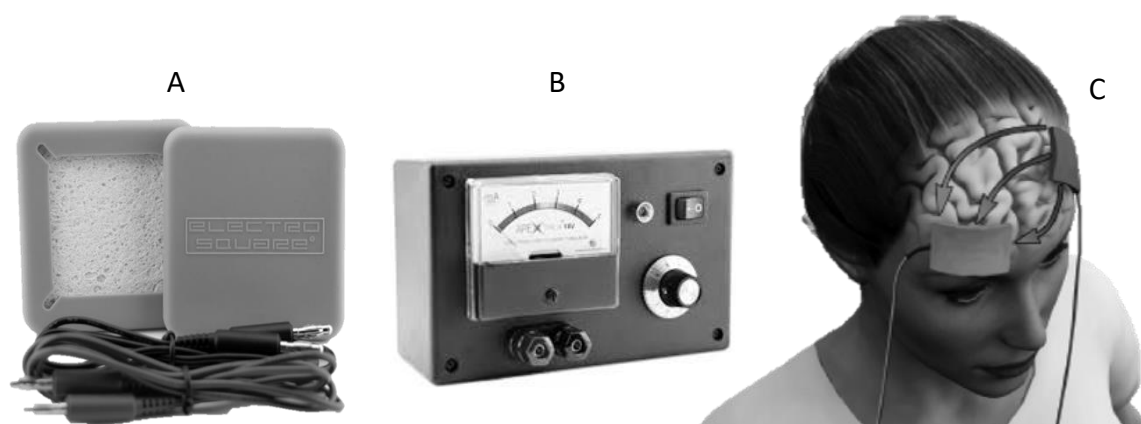


Figura 2. Apresentação do equipamento e forma de posicionamento padrão para estimulação.

- a) Eletrodos 3 x 3 anódicos e catódicos; b) equipamento de tDCS com controle de amperagem;
- c) posicionamento dos eletrodos para passagem da corrente de um eletrodo a outro.

Recursos Ergogênicos

Todos os recursos ergogênicos que foram utilizados neste estudo são de uso comum e público, não necessitando de receitas, ou possuem princípios ativos que promovam efeitos colaterais nos indivíduos. Todos os recursos foram administrados

seguindo as diretrizes de suplementações em consonância com o posicionamento da sociedade internacional de nutrição esportiva, não havendo superdosagem de nenhum dos suplementos.

Cafeína. Foi administrado um total de 400mg de cafeína ou substância placebo por via oral (comprimidos) sempre 20 min antes do procedimento de tDCS (total de 40 min para absorção gástrica). Todas as combinações foram designadas aleatoriamente para todos os indivíduos. A cafeína ou placebo selecionados por um segundo avaliador, e administrado pelo avaliador principal de modo a permanecer duplo cego.

Protocolo de Exercício

O Protocolo se iniciou a partir de uma sequência de exercícios de mobilidade articular envolvendo as articulações do quadril, tornozelo, coluna torácica, ombro, e punho, seguido de poucas repetições do movimento C&J em progressão de carga, a fim de preparar o indivíduo. Todo o processo de preparação foi realizado durante um período de 10 min com custo energético mínimo. Posteriormente, foi realizado o protocolo, WOD GRACE, de movimentos de levantamento de C&J, executando um total de 30 repetições no menor tempo possível. Os demonstrativos dos movimentos encontram-se na Figura 3. A carga de trabalho, já conhecida, é fixada em 60kg para homens e 42kg para mulheres. O tempo limite de execução do protocolo foi fixado em oito minutos. O tempo total (T_{Total}) de protocolo foi registrado, assim como, a frequência cardíaca ao longo do tempo de exercício, bem como, a percepção subjetiva de esforço.



Figura 3. Padrão de movimento de levantamento Clean & Jerk

Instrumentos Subjetivos de Medida.

Escala de Percepção Subjetiva de Esforço (PSE). Foi utilizado a escala linear de PSE

adaptada (0 a 10) conforme produzida e descrita por Borg, onde “0” se refere a percepção de esforço ‘extremamente leve’, chegando até a “fadiga total” 10 (ANEXO 3).

Análise Estatística

Uma análise descritiva dos dados foi previamente realizada e apresentado por média $\pm$ desvio padrão (DP). Após a testagem dos pressupostos de normalidade e heterocedasticidade, uma ANOVA de medidas repetidas foi desenvolvida entre as variáveis dependente. A magnitude das diferenças (tamanho do efeito - TE) também foram determinadas e qualificada segundo índice “d” de Cohen, assim como a variação percentual ($\Delta\%$). Por fim, uma análise gráfica por inspeção visual de participantes respondedores e não respondedores, diante dos procedimentos experimentais, foi realizada. Todas as análises serão realizadas no software SPSS 20.0 for Windows® (Chicago, USA) sendo adotado uma significância estatística de $p = 0,05$.

RESULTADOS

Primeiramente, após análise dos pressupostos estatísticos iniciais, a normalidade de todos os dados foi constatada, segundo Shapiro-Wilk ($p = 0,408$; $p = 0,239$; $p = 0,176$, respectivamente para grupos tDCS + CAF, tDCS + PLA, Sham + PLA).

A análise de caracterização dos atletas foi descrita na Tabela 1. Todos os participantes exibiam amplo tempo de atividade, portanto, altamente familiarizados com o método de treinamento.

Tabela 1. Caracterização da amostra

Idade (anos)	Exp (meses)	Massa (kg)	Altura (cm)	IMC kg/cm	% Gor (%)	M.M. (kg)	Água (L)
31,3	47,6	77,3	1,73	25,9	17,8	36,1	46,2
5,4	30,4	12,3	0,1	2,9	8,4	5,7	7,0

Legenda: Exp = Tempo de experiência; IMC = índice de massa corporal; % Gor = gordura percentual; M.M. = Conteúdo de massa muscular; Água = índice de hidratação

Uma ANOVA de medida repetidas (fator grupo) comparou o tempo limite de desempenho de C&J dos atletas e observou diferenças significativas considerando o grupo que ingeriu CAF + tDCS anódica em comparação aos grupos tDCS + PLA ($p = 0,011$) e também o grupo controle Sham ($p = 0,029$). A Tabela 2 apresenta os resultados experimentais. Entretanto, não houve diferenças significativas entre os grupos de tDCS + placebo vs. controle ($p = 0,353$), sugerindo pouca ou nenhuma influência da aplicação de tDCS.

Tabela 2. Desfechos de tempo limite de desempenho de C&J

	tDCS + CAF (G1)	tDCS + PLA (G2)	SHAM + PLA (G3)	
Média (min)	3,56*¥	3,83	3,95	
DP	0,9	1,1	1,3	Valor p
Índice d (G1xG2)	-0,24	-	-	$p = 0,011$
Índice d (G1xG3)	-	-0,32	-	$p = 0,029$
Índice d (G2xG3)	-	-	-0,09	$p = 0,353$

Legenda: DP = desvio padrão; índice d = índice de Cohen; * = diferença significativa entre G1 e G2; ¥ = diferença significativa entre G1 e G3.

Por fim, a Figura 4 apresenta o padrão de comportamento dos respondedores e não respondedores da técnica de tDCS e CAF, comparado ao Controle.

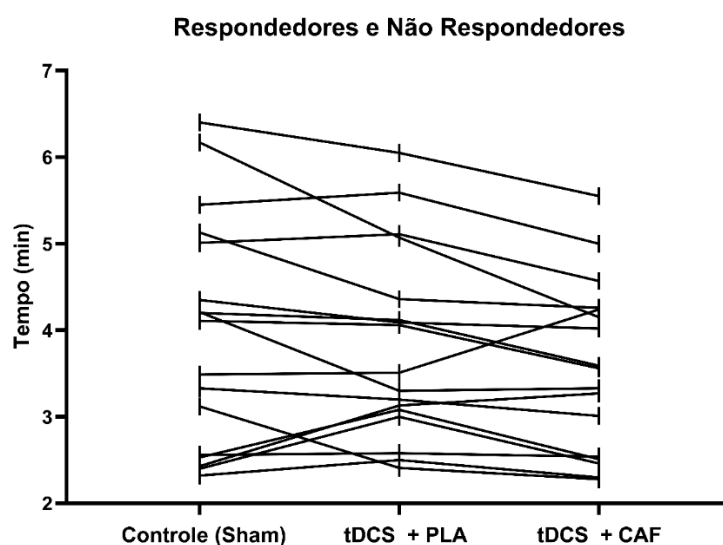


Figura 4. Inspeção visual de participantes respondedores e não respondedores ao procedimento experimental.

A tabela 3 apresenta as variações percentuais ($\Delta\%$) individual dos participantes comparado ao grupo controle (Sham + PLA).

Tabela 3. Variação percentual individual de desempenho comparado ao controle

N	Sham (PLA)	tDCS (CAF)	Δ (%)	Sham (PLA)	tDCS (PLA)	Δ (%)
1	5,13	4,26	-17%	5,13	4,36	-15%
2	4,35	4,02	-8%	4,35	4,09	-6%
3	6,17	4,15	-33%	6,17	5,07	-18%
4	3,49	4,24	21%	3,49	3,51	1%
5	2,40	2,46	3%	2,40	3,00	25%
6	2,56	2,54	-1%	2,56	2,58	1%
7	5,01	4,57	-9%	5,01	5,11	2%
8	3,12	2,28	-27%	3,12	2,41	-23%
9	2,53	2,51	-1%	2,53	3,08	22%
10	4,11	3,56	-13%	4,11	4,06	-1%
11	4,21	3,33	-21%	4,21	3,30	-22%
12	6,40	5,55	-13%	6,40	6,05	-5%
13	4,20	3,59	-15%	4,20	4,12	-2%
14	2,43	3,27	35%	2,43	3,13	29%
15	2,32	2,30	-1%	2,32	2,50	8%
16	3,33	3,01	-10%	3,33	3,20	-4%
17	5,45	5,00	-8%	5,45	5,59	3%

Legenda: Δ = variação percentual; CAF = grupo cafeína; PLA = grupo placebo

DISCUSSÃO

O presente estudo objetivou analisar os efeitos da eletroestimulação com ou sem a adição de Cafeína no desempenho de C&J (Benchmark GRACE da CF). Nosso estudo foi pioneiro em apresentar a proposta de uso de tDCS como mecanismo de melhora da performance esportiva em atletas competitivos de CF. Seus supostos efeitos centrais estariam associados a melhora da percepção de esforço, bem como, sobre diretamente o desempenho motor e a produção de força. Entretanto, nossa hipótese inicial foi refutada, uma vez que a tDCS não apresentou significativos efeitos sobre o rendimento físico. Adicionalmente, investigamos se a cafeína, suplemento comumente utilizado, com seu positivo efeito já consagrado na literatura, poderia gerar efeitos adicionais aos mecanismos centrais já destacado. Novamente nossa hipótese de adição de efeitos sobre o desempenho de C&J foi refutada. Neste caso, houve efeitos significativos da cafeína sobre o rendimento de força, entretanto, sem adicionais resultados quando aliados a tDCS.

Sabemos que o CF, atualmente, é uma modalidade que vem ganhando

adeptos no mundo, inclusive com a promoção eventos de grande porte internacionais. Nesse sentido, há uma crescente busca por parte de atletas e treinadores pela melhora da performance na modalidade de forma multimodal, visando ganhos a partir de premiações e patrocínios. Dentro do mundo do esporte, se faz necessário então testar diferentes protocolo de treinos, procedimentos ergogênicos lícitos e suplementação nutricional para melhora da performance, de forma segura e econômica. Apesar desse entendimento, o CF carece de cientificidade em alguns pontos específicos, tais como, os relacionados aos modelos de programação. Entretanto, a base de sustentação encontra-se constantemente crescente. Por exemplo, Mangine et al. (2018) analisou os resultados, autodeclarados, de centenas de indivíduos, onde relataram os tempos gastos em WOD Benchmark em um site público, com objetivo de estabelecer valores normativos de referência para praticantes de CF e suas classificações. O mesmo foi conduzido por Meier, Rabel e Schmidt (2021) que definiram os workouts Grace, Fran e Helen. Quando observamos nosso estudo, os tempos realizados com padrão de carga oficial encontra-se em linha com o referencial posicionado por Meier, Rabel e Schmidt (2021), que apresentaram médias de $3,8 \pm 1,6$ min vs. $3,9 \pm 1,3$ min, quando sem influência de tDCS ou CAF.

Em um outro contexto, os valores médios de trabalho foram significativamente reduzidos através da influência da CAF ($3,5 \pm 0,9$ min), sugerindo plausibilidade no tipo de trabalho de curta duração. A literatura sustenta a ideia de que a cafeína exibe potencial recurso ergogênico capaz de melhorar o desempenho físico, e tal mecanismo estaria relacionado ao aumento da atividade simpática, e o nível de excitação do sistema nervoso central (SNC), ou pela minimização dos efeitos da fadiga. Em nosso estudo, tínhamos a premissa inicial de que a CAF seria algo semelhante a um controle positivo, uma vez que as respostas já são fortemente evidenciadas na literatura. Entretanto, no tocante ao CF, o uso da CAF pode ser questionado. Por exemplo, o estudo de Fogaça et al. (2019) analisaram os efeitos da suplementação de cafeína sobre o desempenho de potência, marcadores de dano muscular e percepção subjetiva de esforço em homens treinados de CF (randomizado, duplo-cego e controlado por placebo). Os resultados demonstram que CAF resultou em maior concentração de glicose após o treino em comparação com PLA ($+3,2$ mmol/L, IC 95%: 2,1 a 4,3 vs. $+1,5$, IC 95%: -0,1 a 3,0 mmol/L, $P=0,01$), sem diferenças entre os tratamentos no desempenho do treino, creatina kinase, DOMS, PSE, potência muscular e força.

Adicionalmente, nosso estudo não identificou respostas favoráveis da tDCS isoladamente sobre o desempenho no “WOD GRACE”, apesar da magnitude do efeito apresentada e da menor média comparado a procedimento controle (Sham + PLA). Quatro explicações podem ser tecidas em relação aos desfechos: a) o tamanho amostral foi inferior ao necessário para alcançar o power estatístico ante as comparações da ANOVA, o que se configuraria uma limitação; b) a natureza do protocolo técnico, por se tratar de um protocolo de movimentos que majoram outras valências e/ou a consolidação de um movimento aprimorado por parte dos atletas, não cabendo influencia direta de tDCS; c) o tempo total curto de desempenho, na qual é concebido que tDCS diante de demandas anaeróbias amplas pode realmente não produzir respostas sobre o rendimento físico; e d) a PSE tendendo ao relato subjetivo máximo durante quase todo o período de execução do protocolo. Neste último em especial, esperava-se que a estimulação da área do córtex pré-frontal dorso lateral (F3) induzisse reduzidas PSE e, por conseguinte, uma melhora na modulação do trabalho realizado, o que claramente não foi viável.

Então, diante da dificuldade de comparações com trabalhos específicos, a analogia com outras modalidades dar-se-á necessário. Teymoori et al. (2023), corroborando com nossos achados, não encontraram resultado significativo tDCS em testes repetidos de potência máxima realizado com jovens homens saudáveis e ativos. O estudo apontou efeito positivo para resposta afetiva e função cognitiva mas não para desempenho nesse teste de curta duração. Em contrapartida, em modalidade distinta, Angius et al. (2019) encontraram resultados positivos para desempenho em ciclismo de resistência após aplicação tDCS anódica em jovens saudáveis. Aqueles que receberam tDCSa obtiveram melhores tempo e menor FC quando comparados aos indivíduos que receberam apenas tDCS Sham. Configura-se então, um indicativo de que o tempo de trabalho e a natureza envolvida podem influenciar significativamente o potencial de resposta a partir de tDCS.

Limitações

As limitações inerentes a esta pesquisa englobam o tamanho amostral, sendo necessário um número maior de indivíduos para aumentar a probabilidade de serem observadas relações e tendências por meio dos testes estatísticos. Além disto, o CF é caracterizado por possuir uma variação muito grande de treinos e “WODs” e neste estudo, foi realizado o teste físico em apenas um Benchmark GRACE, portanto torna-

se interessante avaliar os efeitos da suplementação em outros Benchmark de características diferentes.

Por outro lado, a realização de pesquisas como esta possuem sua importância no cenário científico e prático, pois devido ao baixo número de estudos que avaliem os suplementos ergogênicos e estratégias alimentares na prática do CF, muitas das estratégias utilizadas por atletas e profissionais são empíricas e com base em experiência própria.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a tDCS não produziu efeitos significativos sobre o desempenho de C&J, não havendo adição de efeitos associados a estratégia de suplementação. Em contrapartida, a cafeína isoladamente exibiu significativa melhora sobre o rendimento físico.

REFERÊNCIAS

1. ACSM. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Lippincott Williams & Wilkins, 2013.
2. Angius L, Hopker J, and Mauger AR. The Ergogenic Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Exercise Performance. *Front Physiol* 8: 90, 2017
3. Angius L, Pascual-Leone A, and Santarnecchi E. Brain stimulation and physical performance. *Prog Brain Res* 240: 317-339, 2018
4. Brunye TT, Mahoney CR, Lieberman HR, Giles GE, and Taylor HA. Acute caffeine consumption enhances the executive control of visual attention in habitual consumers. *Brain Cogn* 74: 186-192, 2010
5. Drazen JM, Van der Weyden MB, Sahni P, Rosenberg J, Marusic A, Laine C, Kotzin S, Horton R, Hebert PC, Haug C, Godlee F, Frizelle FA, de Leeuw PW, and DeAngelis CD. Uniform format for disclosure of competing interests in ICMJE journals. *JAMA* 303: 75-76, 2010
6. Edwards DJ, Cortes M, Wortman-Jutt S, Putrino D, Bikson M, Thickbroom G, and Pascual-Leone A. Transcranial Direct Current Stimulation and Sports Performance. *Front Hum Neurosci* 11: 243, 2017
7. Gandiga PC, Hummel FC, and Cohen LG. Transcranial DC stimulation (tDCS): a tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation. *Clin Neurophysiol* 117: 845-850, 2006

8. Goldstein ER, Ziegenfuss T, Kalman D, Kreider R, Campbell B, Wilborn C, Taylor L, Willoughby D, Stout J, Graves BS, Wildman R, Ivy JL, Spano M, Smith AE, and Antonio J. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. *J Int Soc Sports Nutr* 7: 5, 2010
9. Hogervorst E, Riedel WJ, Kovacs E, Brouns F, and Jolles J. Caffeine improves cognitive performance after strenuous physical exercise. *Int J Sports Med* 20: 354-361, 1999
10. Holgado D, Vadillo MA, and Sanabria D. "Brain-Doping," Is It a Real Threat? *Front Physiol* 10: 483, 2019
11. Huang L, Deng Y, Zheng X, and Liu Y. Transcranial Direct Current Stimulation With Halo Sport Enhances Repeated Sprint Cycling and Cognitive Performance. *Front Physiol* 10: 118, 2019
12. Lattari E, Andrade ML, Filho AS, Moura AM, Neto GM, Silva JG, Rocha NB, Yuan TF, Arias-Carrion O, and Machado S. Can Transcranial Direct Current Stimulation Improve the Resistance Strength and Decrease the Rating Perceived Scale in Recreational Weight-Training Experience? *J Strength Cond Res* 30: 3381-3387, 2016
13. Lattari E, Campos C, Lamego MK, Passos de Souza SL, Neto GM, Rocha NB, Jose de Oliveira A, Carpenter S, and Machado S. Can transcranial direct current stimulation improve muscle power in individuals with advanced resistance training experience? *J Strength Cond Res*, 2017
14. Lattari E, de Oliveira BS, Oliveira BRR, de Mello Pedreiro RC, Machado S, and Neto GAM. Effects of transcranial direct current stimulation on time limit and ratings of perceived exertion in physically active women. *Neurosci Lett* 662: 12-16, 2018
15. Lattari E, Vieira LAF, Oliveira BRR, Unal G, Bikson M, de Mello Pedreiro RC, Marques Neto SR, Machado S, and Maranhao-Neto GA. Effects of Transcranial Direct Current Stimulation With Caffeine Intake on Muscular Strength and Perceived Exertion. *J Strength Cond Res* 33: 1237-1243, 2019
16. Machado D, Unal G, Andrade SM, Moreira A, Altimari LR, Brunoni AR, Perrey S, Mauger AR, Bikson M, and Okano AH. Effect of transcranial direct current stimulation on exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Brain Stimul* 12: 593-605, 2019
17. Machado S, Jansen P, Almeida V, and Veldema J. Is tDCS an Adjunct

- Ergogenic Resource for Improving Muscular Strength and Endurance Performance? A Systematic Review. *Front Psychol* 10: 1127, 2019
18. Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, Rawson ES, Walsh NP, Garthe I, Geyer H, Meeusen R, van Loon L, Shirreffs SM, Spriet LL, Stuart M, Vernec A, Currell K, Ali VM, Budgett RGM, Ljungqvist A, Mountjoy M, Pitsiladis Y, Soligard T, Erdener U, and Engebretsen L. IOC Consensus Statement: Dietary Supplements and the High-Performance Athlete. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 28: 104-125, 2018
 19. Nehlig A, Daval JL, and Debry G. Caffeine and the central nervous system: mechanisms of action, biochemical, metabolic and psychostimulant effects. *Brain Res Brain Res Rev* 17: 139-170, 1992
 20. Nitsche MA, Fricke K, Henschke U, Schlitterlau A, Liebetanz D, Lang N, Henning S, Tergau F, and Paulus W. Pharmacological modulation of cortical excitability shifts induced by transcranial direct current stimulation in humans. *J Physiol* 553: 293-301, 2003
 21. Nitsche MA, Liebetanz D, Antal A, Lang N, Tergau F, and Paulus W. Modulation of cortical excitability by weak direct current stimulation--technical, safety and functional aspects. *Suppl Clin Neurophysiol* 56: 255-276, 2003
 22. Nitsche MA, Liebetanz D, Lang N, Antal A, Tergau F, and Paulus W. Safety criteria for transcranial direct current stimulation (tDCS) in humans. *Clin Neurophysiol* 114: 2220-2222; author reply 2222-2223, 2003
 23. Nitsche MA, Nitsche MS, Klein CC, Tergau F, Rothwell JC, and Paulus W. Level of action of cathodal DC polarisation induced inhibition of the human motor cortex. *Clin Neurophysiol* 114: 600-604, 2003
 24. Nurminen ML, Niittynen L, Korpela R, and Vapaatalo H. Coffee, caffeine and blood pressure: a critical review. *Eur J Clin Nutr* 53: 831-839, 1999
 25. Okano AH, Fontes EB, Montenegro RA, Farinatti Pde T, Cyrino ES, Li LM, Bikson M, and Noakes TD. Brain stimulation modulates the autonomic nervous system, rating of perceived exertion and performance during maximal exercise. *Br J Sports Med* 49: 1213-1218, 2015
 26. Okano AH, Montenegro RA, Farinatti P, Li LM, Brunoni AR, and Fontes EB. Brain stimulation for health and exercise performance improvement. *Rev Bras Educ Fís Esporte* 27: 315-332, 2013
 27. Reardon S. 'Brain doping' may improve athletes' performance. *Nature* 531: 283-

284, 2016

28. Rodriguez NR, DiMarco NM, and Langley S. Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance. *J Am Diet Assoc* 109: 509-527, 2009
29. Schulz KF, Altman DG, and Moher D. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ* 340: c332, 2010
30. Smith PJ, Blumenthal JA, Hoffman BM, Cooper H, Strauman TA, Welsh-Bohmer K, Browndyke JN, and Sherwood A. Aerobic exercise and neurocognitive performance: a meta-analytic review of randomized controlled trials. *Psychosom Med* 72: 239-252, 2010
31. St Clair Gibson A, Baden DA, Lambert MI, Lambert EV, Harley YX, Hampson D, Russell VA, and Noakes TD. The conscious perception of the sensation of fatigue. *Sports Med* 33: 167-176, 2003
32. Tanaka S, Hanakawa T, Honda M, and Watanabe K. Enhancement of pinch force in the lower leg by anodal transcranial direct current stimulation. *Exp Brain Res* 196: 459-465, 2009
33. Temple JL, Bernard C, Lipshultz SE, Czachor JD, Westphal JA, and Mestre MA. The Safety of Ingested Caffeine: A Comprehensive Review. *Front Psychiatry* 8: 80, 2017
34. Valenzuela PL, Amo C, Sanchez-Martinez G, Torrontegi E, Vazquez-Carrion J, Montalvo Z, Lucia A, and de la Villa P. Enhancement of Mood but not Performance in Elite Athletes With Transcranial Direct-Current Stimulation. *Int J Sports Physiol Perform* 14: 310-316, 2019

ARTIGO 2

O “PERSONAL RECORD” ESTIMA O DESEMPENHO DE RESISTÊNCIA DE FORÇA EM UM WORKOUT DE CLEAN & JERK: UMA ANÁLISE DO BENCHMARK GRACE DA CROSSFIT®

RESUMO

Nosso objetivo foi analisar se o desempenho de resistência de força de Clean & Jerk (C&J) no Benchmark GRACE pode ser predito a partir do PR (personal Record), variáveis morfológicas e a experiência na modalidade. 30 participantes treinados para exercícios de resistência de força participaram do estudo. O estudo ocorreu em 3 visitas. Todos os participantes foram submetidos a procedimento de bioimpedância e uma familiarização com a regulação do esforço em GRACE. Na segunda visita, os sujeitos foram submetidos ao desempenho de PR de C&J. Para os participantes de Elite (< 3 min de desempenho), o PR de C&J foi definido a partir do último registro recente (< 1 mês) coletado por seu treinador. Os resultados foram expressos em tempo de trabalho (segundos). A análise de regressão linear simples apresentou significativa associação entre os registros de PR de C&J e a performance de tempo do mesmo movimento ($p = 0,001$). A relação demonstrou uma associação significativa entre a variável predita e preditora ($r = 0,690$; $R^2 = 0,482$), sugerindo que o PR explicaria 48% da performance de C&J. a Correlação de Pearson não indicou relevância significativa entre o melhor tempo de performance GRACE e a quantidade de massa magra ($r = -0,314$; $p = 0,220$), percentual de gordura ($r = 0,274$; $p = 0,228$) e nível de experiência ($r = -0,0414$; $p = 0,098$). Conclui-se que o PR no C&J apresentou significativa capacidade preditiva do desempenho de resistência de força. Entretanto, não para as variáveis morfológicas e experiência.

Palavras-Chave: Performance, VO2Máx, Crossfit

ARTICLE 2

THE “PERSONAL RECORD” ESTIMATES STRENGTH ENDURANCE PERFORMANCE IN A CLEAN & JERK WORKOUT: AN ANALYSIS OF THE CROSSFIT® BENCHMARK GRACE

ABSTRACT

Our objective was to analyze whether Clean & Jerk (C&J) strength endurance performance in the GRACE Benchmark can be predicted based on PR (personal record), morphological variables and experience in the modality. 30 participants trained in strength resistance exercises participated in the study. The study occurred in 3 visits. All participants underwent a bioimpedance procedure and familiarization with effort regulation in GRACE. On the second visit, subjects underwent C&J PR performance. For Elite participants (< 3 min performance), the C&J PR was defined based on the last recent record (< 1 month) collected by their coach. The results were expressed in working time (seconds). The simple linear regression analysis showed a significant association between C&J PR records and the time performance of the same movement ($p = 0.001$). The relationship demonstrated a significant association between the predicted and predictor variable ($r = 0.690$; $R^2 = 0.482$), suggesting that PR would explain 48% of C&J performance. Pearson Correlation did not indicate significant relevance between the best GRACE performance time and the amount of lean mass ($r = -0.314$; $p = 0.220$), fat percentage ($r = 0.274$; $p = 0.228$) and level of experience ($r = -0.414$; $p = 0.098$). It is concluded that the PR in C&J showed significant predictive capacity with strength endurance performance. However, not for morphological variables and experience.

Keywords: Performance, VO2Max, Crossfit

INTRODUÇÃO

O Crossfit® (CF®) é um modelo de treino em alta intensidade e concorrente, em que, em grande parte das configurações da programação, há exercícios de força e cardiorrespiratórios, sendo realizados sequencialmente (Claudino et al., 2018; Dominski, Serafim, Siqueira, & Andrade, 2021). Além disso, a metodologia em questão, exhibe diferentes modelos de *workouts* pré-configurados, geralmente padronizados no mundo em: exercícios, repetições e carga total de trabalho. Esses são denominados benchmarks e fornecem grande possibilidade comparativa entre si, independente da origem. Por se tratar de uma modalidade relativamente nova, ainda não possuem suas normativas e parâmetros bem estabelecidos. No entanto, a literatura já é capaz de direcionar com um pouco mais de propriedade sobre as variáveis determinantes para o sucesso do rendimento físico (Leitao et al., 2021; Meier, Schlie, & Schmidt, 2023).

Nesse sentido, sabemos que no que se refere ao treinamento físico, fatores diversos se relacionam, explicam e podem determinar as variações do rendimento e o sucesso esportivo. Especificamente para o CF®, considerando a amplitude de modalidades esportivas agregadas (*endurance*, *weightlifting* e a ginástica), as análises preditivas do rendimento parecem tomar um rumo mais complexo do que quando observamos apenas uma das modalidades. Por isso, Tibana et al. (Tibana, de Sousa, Cunha, & Prestes, 2018) buscaram investigar a relação entre o sucesso de desempenho em um determinado Workout of the Day (WOD) e dados antropométricos, fisiológicos e tempo de experiência de praticantes da modalidade. O estudo encontrou correlações significativas entre a gordura percentual e o menor tempo na realização do WOD proposto (Open 15.5), mas não para a massa corporal total e massa magra estimada ($r = -0,27$; $p = 0,33$ e $r = -0,22$; $p = 0,42$, respectivamente). Os autores também observaram correlação positiva entre $VO_2Máx$ ($r = -0,79$; $p = 0,001$) a carga máxima levantada no movimento de *snatch* ($r = -0,72$; $p = 0,002$), *clean* ($r = -0,86$; $p = 0,001$), agachamento ($r = -0,65$; $p = 0,008$) e agachamento pela frente ($r = -0,79$; $p = 0,002$) e o somatório das cargas absolutas ($r = -0,78$; $p = 0,001$) com o rendimento do WOD 15.5. Outros estudos (Bellar, Hatchett, Judge, Breau, & Marcus, 2015; Meier, Rabel, & Schmidt, 2021), estão alinhados com os achados de Tibana et al. (Tibana et al., 2018), principalmente destacando o somatório das forças de seus *personal records* (PR) nos seus principais movimentos

de base como medida de sucesso para predizer o rendimento físico.

Valores de referência para um desempenho de sucesso já haviam sido definidos por Meier, Rabel e Schmidt (Meier et al., 2023) nos WODs benchmark Grace (233.3 ± 101.2 seg), Fran (310.4 ± 134.3 seg) e Helen (611.2 ± 127.1 seg). Ademais, a regressão linear apresentou um forte valor preditivo do PR de força do *back squat* no desempenho do *snatch* e do *clean and jerk* (C&J) ($R^2 = 0,756$ e $R^2 = 0,842$; $p < 0,001$, respectivamente). Então, apesar do entendimento preliminar de que um movimento isolado de menor complexidade pode significativamente predizer o rendimento nos padrões de levantamento de peso olímpico, poucos estudos investigaram diretamente a influência do PR de C&J e demais variáveis morfológicas sobre o sucesso em WODs benchmarks puramente de resistência de força, permanecendo ainda uma incógnita. Dessa forma, objetivamos estabelecer a capacidade preditiva do Personal Record (PR), variáveis antropométricas e a experiência sobre o desempenho de resistência de força de C&J. Hipotetizamos que o PR de C&J, assim como, as variáveis antropométricas, demonstrarão significativa capacidade preditiva do desempenho do WOD GRACE.

MATERIAIS E MÉTODOS

O tamanho da amostra foi calculado para fornecer um nível de associação mínimo de $r = 0,70$, estratificado como forte, considerando um α de 5% ($\alpha = 0,05$) e um β de 20% ($\beta = 0,20$) (Browner, Newman, & Hulley, 2007). Para tanto, 30 indivíduos, forneceu um poder estatístico de 89% (Power = 0,89), sendo 10 do sexo feminino e 20 do sexo masculino, todos fisicamente ativos e classificados como treinados de forma competitiva para exercícios de CF® (> 5 anos) e não-fumantes. Foram excluídos os indivíduos que fizessem uso de substâncias psicoativas, ou ergogênica prévia, ou que possuísssem lesões osteomioarticulares que pudessem limitar as análises. Todos os participantes foram informados sobre os procedimentos, e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). Este protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE 25686219.9.0000.5512; protocolo 3.790.808/2019).

Desenho do Estudo

O estudo foi desenvolvido num total de 3 visitas. Após a assinatura do TCLE na primeira visita, para a caracterização da amostra, todos os participantes foram submetidos a um procedimento de bioimpedância multipolar, conforme procedimentos previamente descritos (Ellis et al., 1999), além de uma familiarização com a regulação do esforço diante dos movimentos de *C&J*. Na segunda visita, após 72h, os participantes realizaram o teste máximo de PR para o movimento de *C&J*. Na última visita, os sujeitos foram submetidos ao procedimento experimental com o protocolo WOD GRACE de movimentos de levantamento de *C&J*, executando um total de 30 repetições no menor tempo possível. Os demonstrativos dos movimentos encontram-se na Figura 1. O tempo limite de execução do protocolo foi fixado em oito minutos. O tempo total (T_{Total}) de protocolo foi registrado, assim como, a percepção de esforço.



Figura 1. Padrão de movimento de levantamento *C&J*.

Procedimentos

Caracterização da Amostra

A massa corporal total e a composição corporal foram mensuradas por meio de uma balança de Bioimpedância multipolar InBody® (modelo 230, Biospace, Korea). A realização da Bioimpedância foi realizada conforme o seguinte protocolo (Ellis et al., 1999): manter-se em jejum pelo menos nas 4 horas que antecedem o teste, não realizar atividades físicas extenuantes nas 24 horas anteriores ao teste; urinar pelo menos 30 minutos antes do teste; não ingerir bebidas

alcoólicas nas 48 horas anteriores ao teste; não utilizar medicamentos diuréticos nos sete dias que antecedem o teste, permanecer, pelo menos, cinco a 10 minutos deitado em decúbito dorsal, em total repouso antes da execução do teste.

Os sujeitos foram orientados a posicionar-se sobre a balança de análise sem os calçados e deveriam empunhar as manoplas para fechamento do circuito onde passará a carga elétrica de baixa amperagem, para estimar as seguintes variáveis: a) gordura corporal (%); b) massa magra (kg); c) quantidade de água corporal (L).

Protocolo Experimental de C&J

O Protocolo se iniciou a partir de uma sequência de exercícios de mobilidade articular envolvendo as articulações do quadril, tornozelo, coluna torácica, ombro, e punho, seguido de poucas repetições do movimento C&J com progressão de carga, a fim de preparar o indivíduo para a tarefa principal. Todo o processo de preparação foi realizado durante um período de 10 minutos, a fim de assegurar que o momento de preparação não afetasse as variáveis de desfecho. Posteriormente, foi realizado o WOD GRACE de C&J, executando um total de 30 repetições no menor tempo possível com carga de trabalho fixada em 60kg para homens e 42kg para mulheres. O tempo limite de execução do protocolo foi fixado em oito minutos (ou 480 seg). O T_{Total} de protocolo foi processado em segundo, assim como, bem como, a percepção de esforço.

Determinação do PR

Para determinação dos valores de PR, foram utilizadas duas estratégias distintas: a) valor de PR autorreferido; b) valor de PR mensurado. Os valores de PR autorreferidos foram coletados verbalmente apenas dos atletas mais experientes e de maior performance, que haviam determinado seu valor recentemente (< 1 mês). Estes realizaram apenas 2 sessões experimentais. Os demais atletas, utilizaram-se de 1 sessão anterior ao procedimento experimental para determinar seu valor de PR. Para tal coleta, de forma padronizada, após progressão de carga, todos os indivíduos tiveram um total de 7 min para realizar 3 tentativas de obter-se 1 rep de C&J máxima.

Análise Estatística

A normalidade e homogeneidade dos dados foram testadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Em função dos dados terem apresentado

distribuição Gaussiana, a média $\pm$ desvio padrão foram adotados como medida de posição e dispersão, respectivamente. O tamanho da amostra foi calculado para fornecer um nível de associação mínimo de $r = 0,70$, estratificado como forte, considerando um α de 5% ($\alpha = 0,05$) e um β de 20% ($\beta = 0,20$) (Browner et al., 2007). O coeficiente de correlação (R^2) foi adotado para verificar a capacidade preditiva do PR sobre o T_{Total} de desempenho e as variáveis morfológicas. Ademais, uma Análise de variância (ANOVA) foi aplicada para verificar se o ajuste do modelo da regressão como preditor do PR foi significativo. Para verificar a independência de resíduos, que é a diferença entre o valor previsto e o observado, foi aplicado o teste de Durbin-Watson ($DW = 2(1 - \rho)$). O nível de significância adotado será de 5% ($p < 0,05$). Todas as análises foram realizadas por meio do software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) 23.0 e G*Power 3.1.9.7.

RESULTADOS

A tabela 1 apresenta os dados de caracterização da amostra. Os dados estão expressos em média e ($\pm$) desvio padrão. A tabela 2 apresenta os dados de desempenho de PR e C&J.

Tabela 1. Caracterização da amostra.

Mulheres								
	Idade (anos)	Exp (meses)	Massa (kg)	Altura (cm)	IMC kg/cm	% Gor (%)	M.M (kg)	Tempo (min)
Média	31,2	52,8	69,8	1,67	26,8	25,8	30,1	3,79
DP	7,5	27,6	8,3	0,1	4,3	10,0	2,2	0,5
Homens								
	Idade (anos)	Exp (meses)	Massa (kg)	Altura (cm)	IMC kg/cm	% Gor (%)	M.M (kg)	Tempo (min)
Média	31,2	47,5	78,8	1,76	25,5	14,5	38,6	3,28
DP	4,3	32,0	11,2	0,1	2,3	5,0	4,8	1,1

Legenda: Exp = tempo de experiência; IMC = índice de massa corporal; GC= gordura corporal; M.M. = massa magra;

Tabela 2. Valores médios de PR e o tempo de exercício para 30 reps de C&J.

	PR	C&J
	(kg)	(seg)
Média	82,6	230,9
DP	21,6	77,0

Legenda: DP = desvio padrão; C&J = Clean and Jerk

A análise de regressão linear simples (Figura 2) apresentou significativa associação entre os PR de C&J e a Performance em min ($p < 0,001$). A relação demonstrou uma associação significativa entre a variável predita e preditora ($R^2 = 0,484$; $r = -0,696$), sugerindo que o PR explicaria 48% do desempenho de C&J (WOD GRACE). Adicionalmente, a análise de regressão apresentou padrão de distribuição de resíduos independentes, conforme verificado pelo teste de Durbin-Watson ($DW=1,097$). A ANOVA apresentou que o ajuste do modelo da regressão com preditor PR foi significativa ($[F (1,28) = 26,271, p = 0,000]$). O gráfico de distribuição dos resíduos padronizados pelos resíduos do valor predito, apresentaram padrão homocedástico de distribuição. Por fim, a equação de predição a partir da reta pode ser descrita por: tempo de GRACE (seg) = $436,105 - 2,484 \cdot PR$ (Kg).

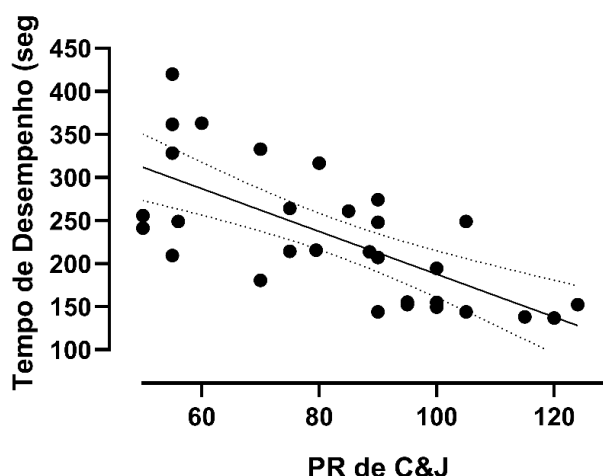


Figura 2. Regressão linear simples, equação de predição produzida e coeficiente de determinação (R^2).

No que se refere aos indicadores antropométricos e o nível de experiência, não foram encontradas associações significantes com o melhor tempo de performance no WOD GRACE [massa magra ($r = -0,314$; $p = 0,220$); GC ($r = 0,274$; $p = 0,228$) e nível de experiência ($r = -0,0414$; $p = 0,098$).

DISCUSSÃO

O presente trabalho objetivou investigar a capacidade preditiva do PR sobre o desempenho de resistência de força de C&J. Dado os resultados, nossa hipótese foi, em razoável medida, aceita, demonstrando significativa capacidade do PR em prever o desempenho na tarefa aqui proposta. Sugerindo, portanto, a relevância da força máxima absoluta sobre o desempenho de resistência de força.

Esses resultados nos possibilitam estimar o tempo de desempenho com razoável precisão ($R^2=0,48$; 48%), muito embora reconhecemos que o sucesso para melhor desempenhar esse WOD, pode sofrer influência de outras qualidades físicas, que não necessariamente se relacionam de modo direto com o nível de força, a exemplo da capacidade e potência aeróbia e o VO_2 na carga de Limiar)(Feito, Giardina, Butcher, & Mangine, 2019). O que em parte pode ser confirmado pelos achados de Butcher et al.(Butcher, Neyedly, Horvey, & Benko, 2015), que observaram em 14 atletas regionais que o desempenho do Benchmark GRACE não poderia ser adequadamente predito pelas tradicionais variáveis relacionadas ao *endurance*, VO_2 Máx ($r = 0,34$ $p = 0,23$) ou a potência anaeróbia no teste de Wingate ($r = 0,09$ $p = 0,75$), embora o limiar de lactato ter apresentado significativa associação ($r = -0.61$; $p = 0,02$).

Vale ressaltar que, semelhantemente ao nosso estudo, a força do corpo todo, medido a partir do PR nos movimentos de Press, Squat e Deadlift adequadamente predizem o rendimento de C&J ($R^2 = 0,77$; $p = 0,0001$). Vale ressaltar que apesar do importante resultado da força do corpo como mecanismo preditor, nosso estudo difere no modelo de predição de Butcher et al.(Butcher et al., 2015), pois confere mais especificidade ao modelo preditivo, a partir do movimento de C&J.

Está claro na literatura que existem significativas heterogeneidades dos padrões identificáveis como preditores e preditos dentro da modalidade do CF®. Os estudos principalmente se utilizaram dos dados resultantes dos diferentes “Open” da CF® (16 a 20) (Meier et al., 2023), bem como, os benchmarks padronizados pelo programa da empresa. Nesse sentido, a revisão sistemática mais recente sobre o assunto, corrobora dessa perspectiva, apresentando um estado da arte conflitante sobre o assunto. Meier, Schlie e Schmidt (Meier et al., 2023) após a qualificação e inclusão de 21 evidências, observaram que a composição corporal, força e experiência em competições se relacionam fortemente com o desempenho do CF®

em diferentes WODs. Apesar de não investigarmos diferentes WODs, nosso estudo encontra-se parcialmente em linha com os achados descritos na revisão sistemática em questão, compreendendo que a força pode ser um significativo preditor do desempenho de C&J. Por outro lado, de forma conflitante, não observamos significativa relação da massa corporal, percentual de gordura ou da experiência, divergindo de nossa hipótese inicial.

Da mesma forma, Dexheimer et al. (Dexheimer et al., 2019), demonstraram que a força total diante da soma da força absoluta de 1RM em *back squat*, *strict shoulder-press* e *deadlift* apresentaram uma relação negativa significativa com o tempo total no WOD GRACE. Propondo, portanto, que quanto maior a carga levantada, menor o tempo para a realização da tarefa. A análise de regressão *stepwise* ainda revelou que a força corporal total explicou 62,5% da variância do rendimento físico ($F(1, 15) = 24,95$, $p < 0,001$). Para além disso, o nível de força individual dos três movimentos envolvidos para execução de C&J também foi significativamente relacionado (Back squat $r = -0,568$; $p = 0,017$; shoulder-press $r = -0,707$; $p < 0,001$; deadlift $r = -0,788$; $p = 0,001$). Adicionalmente, o tempo de execução de 30 repetições do C&J neste estudo foi ligeiramente melhor quando comparado ao nosso estudo ($155,7 \pm 42,0$ seg vs. $230,9 \pm 77,0$ seg), sugerindo que as amostras apresentam níveis de desempenho distintos entre si. O que, por sua vez, pode explicar, ainda que apenas parcialmente, a diferença no coeficiente de determinação apresentado entre os estudos.

O modelo de pesquisa transversal do presente estudo pode ser caracterizado como uma limitação. Os estudos transversais têm como principal característica a obtenção de medidas em um único momento. Portanto, não há período de acompanhamento dos indivíduos, o que não permite conhecer o que aconteceria com as variáveis investigadas após um período de treinamento. Para além disso, a equação aqui apresentada não sofreu validação cruzada, portanto, recomendamos que os dados sejam interpretados com alguma precaução. Assim, sugere-se que estudos futuros investiguem o efeito de um programa de treinamento de CF® sobre o valor preditivo do PR no desempenho na tarefa aqui proposta, bem como submeter a equação aqui desenvolvida a um processo de validação cruzada.

Como aplicação prática, os resultados do presente estudo permitem pesquisadores, treinadores, atletas e entusiastas, estimarem o desempenho na tarefa de C&J de atletas da modalidade em questão, favorecendo o planejamento técnico-competitivo. Assim, esse conhecimento produzido é único e pode ter importante

relevância para o CF®.

CONCLUSÃO

Conclui-se que os valores de força máxima de PR nos levantamentos de C&J apresentaram significativas associação e capacidade preditiva com os tempos de desempenho de resistência de força. Entretanto, não para as variáveis morfológicas e experiência.

APLICAÇÕES PRÁTICAS

Os achados a este estudo permitem que treinadores e praticantes possam prever e sistematizar seus planejamentos de treinamento dentro da modalidade do Crossfit® a partir de seus recordes pessoais. Além disso, o simples modelo matemático apresentado neste estudo, pode ainda facilitar o controle de carga, bem como, categorizar os atletas com base em seus rankings.

REFERÊNCIAS

- Bellar, D., Hatchett, A., Judge, L. W., Breau, M. E., & Marcus, L. (2015). The relationship of aerobic capacity, anaerobic peak power and experience to performance in CrossFit exercise. *Biol Sport*, 32(4), 315-320. doi:10.5604/20831862.1174771
- Browner, W. S., Newman, T. B., & Hulley, S. B. (2007). *Estimating sample size and power: Applications and examples* (P. Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, USA Ed. Vol. 6).
- Butcher, S. J., Neyedly, T. J., Horvey, K. J., & Benko, C. R. (2015). Do physiological measures predict selected CrossFit((R)) benchmark performance? *Open Access J Sports Med*, 6, 241-247. doi:10.2147/OAJSM.S88265
- Claudino, J. G., Gabbett, T. J., Bourgeois, F., Souza, H. S., Miranda, R. C., Mezencio, B., . . . Serrao, J. C. (2018). CrossFit Overview: Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med Open*, 4(1), 11. doi:10.1186/s40798-018-0124-5
- Dexheimer, J. D., Schroeder, E. T., Sawyer, B. J., Pettitt, R. W., Aguinaldo, A. L., & Torrence, W. A. (2019). Physiological Performance Measures as Indicators of CrossFit((R)) Performance. *Sports (Basel)*, 7(4). doi:10.3390/sports7040093

- Dominski, F. H., Serafim, T. T., Siqueira, T. C., & Andrade, A. (2021). Psychological variables of CrossFit participants: a systematic review. *Sport Sci Health*, 17(1), 21-41. doi:10.1007/s11332-020-00685-9
- Ellis, K. J., Bell, S. J., Chertow, G. M., Chumlea, W. C., Knox, T. A., Kotler, D. P., . . . Schoeller, D. A. (1999). Bioelectrical impedance methods in clinical research: a follow-up to the NIH Technology Assessment Conference. *Nutrition*, 15(11-12), 874-880. doi:10.1016/s0899-9007(99)00147-1
- Feito, Y., Giardina, M. J., Butcher, S., & Mangine, G. T. (2019). Repeated anaerobic tests predict performance among a group of advanced CrossFit-trained athletes. *Appl Physiol Nutr Metab*, 44(7), 727-735. doi:10.1139/apnm-2018-0509
- Leitao, L., Dias, M., Campos, Y., Vieira, J. G., Sant'Ana, L., Telles, L. G., . . . Vianna, J. (2021). Physical and Physiological Predictors of FRAN CrossFit((R)) WOD Athlete's Performance. *Int J Environ Res Public Health*, 18(8). doi:10.3390/ijerph18084070
- Meier, N., Rabel, S., & Schmidt, A. (2021). Determination of a CrossFit((R)) Benchmark Performance Profile. *Sports (Basel)*, 9(6). doi:10.3390/sports9060080
- Meier, N., Schlie, J., & Schmidt, A. (2023). CrossFit((R)): 'Unknowable' or Predictable?-A Systematic Review on Predictors of CrossFit((R)) Performance. *Sports (Basel)*, 11(6). doi:10.3390/sports11060112
- Tibana, R. A., de Sousa, N. M. F., Cunha, G. V., & Prestes, J. (2018). Correlação das variáveis antropométricas e fisiológicas com o desempenho no Crossfit®. *Revista Brasileira De Prescrição E Fisiologia Do Exercício*, 11.

ARTIGO EXTRA

A OBTENÇÃO DIRETA DO $VO_{2MÁX}$ NÃO É INFLUENCIADA PELA CARACTERÍSTICA DOS PROTOCOLOS DE TESTE DE ESFORÇO MÁXIMO

RESUMO

Os valores de consumo máximo de oxigênio ($VO_{2MÁX}$) obtidos de forma indireta são influenciados pela característica ou configuração do protocolo de exercício. Entretanto, não está claro na literatura se tal prerrogativa é verdadeira quando o $VO_{2MÁX}$ é mensurado de forma direta. Objetivou-se comparar os valores do $VO_{2MÁX}$ e da frequência cardíaca máxima ($FC_{máx}$) obtidos através de um protocolo incremental progressivo máximo ($T_{Máx}$) e de um protocolo de carga contínua de tempo limite (T_{Lim}), baseado na potência do $VO_{2MÁX}$. 12 ciclistas recreacionais (Idade = $36,0 \pm 9,3$ anos; estatura = $173,2 \pm 5,9$ cm; massa corporal = $78,5 \pm 10,7$ Kg), treinados para provas amadoras de longa distância, participaram do estudo. Foi realizado um teste progressivo máximo ($T_{Máx}$) no cicloergômetro com incrementos de 22,5 W a cada minuto, com uma carga inicial de 157,5 W mantendo uma rotação padronizada de 90 RPM. O T_{lim} foi realizado na mesma rotação até a exaustão a partir da menor potência de ocorrência do $VO_{2MÁX}$ ($P_{VO_{2MÁX}}$). O teste *t* de *students* foi utilizado para a comparação das variáveis dependentes, sendo assumido um nível de significância de $p \leq 0,05$. Não houve diferença significativa nos valores de $VO_{2MÁX}$ e $FC_{máx}$ ($T_{Máx} = 45,02 \pm 7,21$ ml·kg⁻¹·min⁻¹ vs $T_{Lim} = 44,17 \pm 7,21$ ml·kg⁻¹·min⁻¹) e ($FC_{TMáx} = 182,9 \pm 9,2$ bpm vs $FC_{TLim} = 181,3 \pm 7,5$ bpm), respectivamente, quando comparados os dois testes. Concluiu-se que não houve diferença dos valores de $VO_{2MÁX}$ e $FC_{Máx}$ obtidos entre os diferentes protocolos de esforço máximo. O teste do T_{lim} na $P_{VO_{2MÁX}}$ pode ser utilizado como estratégia tempo eficiente para a obtenção das variáveis máximas em testes laboratoriais.

Palavras-chave: consumo máximo de oxigênio; frequência cardíaca; tempo limite, exercício aeróbio

EXTRA ARTICLE

THE DIRECT OBTAINING OF VO_{2MAX} IS NOT INFLUENCED BY THE CHARACTERISTIC OF THE MAXIMUM EFFORT TEST PROTOCOLS

ABSTRACT

The values of maximum oxygen consumption (VO_{2max}) obtained indirectly are influenced by the characteristic or exercise protocol configuration. However, it is unclear in the literature if this prerogative is true when VO_{2max} is measured directly. The objective was to compare the values of VO_{2max} and maximal heart rate (HR_{max}) obtained through a maximum incremental protocol (T_{max}) and a continuous time to exhaustion (T_{Lim}) protocol, based on the power of the VO_{2max} . Twelve males cyclists (Age = $36,0 \pm 9,3$ years; height = $173,2 \pm 5,9$ cm; mass = $78,5 \pm 10,7$ kg), trained for regional proves of long distance participated in the study. A T_{max} was performed on the cycle ergometer with increments of 22.5 W every minute, with an initial load of 157.5 W maintaining a standard rotation of 90 RPM. T_{Lim} was performed at the same rotation until exhaustion from the lowest occurrence power of VO_{2max} (P_{VO2max}). Student's t-test was used to compare the dependent variables ($p \leq 0.05$). There was no significant difference in the obtained values of VO_{2max} and HR_{max} ($T_{Max} = 45.02 \pm 7.21$ ml $\cdot$ kg⁻¹ $\cdot$ min⁻¹ vs. $T_{Lim} = 44.17 \pm 7.21$ ml $\cdot$ kg⁻¹ $\cdot$ min⁻¹) e ($HR_{Tmax} = 182.9 \pm 9.2$ bpm vs. $HR_{Tlim} = 181.3 \pm 7.5$ bpm), respectively, when compared both tests. It was concluded that there was no difference in the values of VO_{2Max} and HR_{Max} obtained between the different maximum effort protocols. The T_{Lim} test at P_{VO2Max} can be used as an efficient time strategy to obtain the maximum variables in laboratory tests.

Keyword: Maximum oxygen uptake; heart rate; time to exhaustion; aerobic exercise

INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas, a determinação do consumo máximo de oxigênio ($VO_{2Máx}$) foi alvo de inúmeros questionamentos conceituais e críticas, que puseram em questão se realmente pesquisadores e treinadores alcançavam o chamado “verdadeiro $VO_{2Máx}$ ” [1-3](#). O alcance do platô do $VO_{2Máx}$ no desenrolar do protocolo de esforço era requisito para identificação do alcance máximo dessa variável, entretanto, na realidade minimamente se manifestava diante dos testes máximos ^{4,5}. Além disso, a percepção de que este “valor de $VO_{2Máx}$ ” era mutável, em detrimento da modalidade em que se testava [6-9](#), deu uma nova perspectiva de entendimento acerca dessa medida.

O cenário pregresso sobre o tema nos mostraram que o padrão de resposta do $VO_{2Máx}$, ou o pico de VO_2 (utilizado intercambiavelmente) determinado diretamente por análise de trocas gasosas, também podem ser influenciados pela estrutura do protocolo empregado (protocolos incrementais vs. intervalados) [10-12](#), e pela programação interna de duração do estágio, magnitude de incremento, além da duração total do teste desenvolvido ^{13,14}. Em um dos estudos mais consagrados acerca do tema, Buchfuhrer *et al.* [13](#) em extensiva análise de protocolos com diferentes configurações internas, observaram valores reduzidos de $VO_{2Máx}$ em protocolos de testes progressivos máximos com duração inferior a 8 min, ou superiores a 17 min. Tais resultados foram categóricos em afirmar que o tempo ideal de finalização para protocolos incrementais máximos deveriam permanecer entre 8 e 12 minutos para que os valores de $VO_{2Máx}$ não fossem subestimados ^{14,15}.

Recentes evidências observando a relação hiperbólica entre potência fixa e tempo, sugeriram que o pico de VO_2 pudesse ser alcançado fidedignamente em protocolos de carga constante acima do domínio moderado do exercício, quando a eficiência fisiológica se torna comprometida. Neste momento, o desenvolvimento de uma chamada componente lenta faz com que o VO_2 dinamicamente avance em direção à exaustão, fato que decorre de recrutamentos adicionais de fibras tipo II, metabolismo glicolítico progressivamente solicitado, e da tentativa de equilibrar o meio mais ácido [16](#).

A magnitude com que a componente lenta do VO_2 se desenvolve é dependente da intensidade da carga de trabalho administrada, e parece potencialmente influenciar a determinação dessa medida. Protocolos de carga constante até a exaustão (T_{Lim}) no domínio extremo do exercício (além de 136% do $VO_{2Máx}$) tendem a exibir medidas

subestimadas de $VO_{2Máx}$ comparado ao tradicional protocolo progressivo máximo por conta de um processo de fadiga e concomitante exaustão instalados precocemente. Entretanto, quando essa análise é realizada no domínio severo do exercício, principalmente ao redor da velocidade, ou potência associada ao $VO_{2Máx}$ ($P_{VO_{2Máx}}$), Lepretre *et al.* [17](#) demonstraram igualdade na obtenção do $VO_{2Máx}$ comparando um teste convencional progressivo máximo ($62,9 \pm 6,3 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) a protocolos de T_{Lim} na $P_{VO_{2Máx}}$ ($64,0 \pm 7,0 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), e na $P_{\Delta 50}$ (carga intermediária entre a $P_{VO_{2Máx}}$ e o limiar de lactato; $61,4 \pm 6,3 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

Embora a capacidade física influencie diretamente o desempenho de T_{Lim} [18](#), parece que para se alcançar o $VO_{2Máx}$ diante do domínio severo do exercício (90-136% do $VO_{2Máx}$), o componente lento do VO_2 , isto é, o atraso na cinética do consumo de oxigênio que incorre em uma estabilização tardia do VO_2 , necessitaria de um tempo médio de ajuste fisiológico em torno de 2 min 30s [19-22](#), o que reflete uma relação tempo vs. eficiência para se obter a medida de $VO_{2Máx}$.

Diante desse cenário, parece-nos desnecessário a exposição de avaliados a testes de esforço prolongados, uma vez que se a literatura nos mostra que em um curto tempo em exercício no domínio severo pode-se obter a mesma resposta de $VO_{2Máx}$ (medida direta através de trocas gasosas) em cargas associadas a ocorrência do $VO_{2Máx}$ (100%). Além disso, sabemos que é possível extrair o $VO_{2Máx}$ em atletas a partir de um protocolo de T_{Lim} de duração média de 5 min ou menos [17](#), no entanto, não está claro se tal prerrogativa irá se estabelecer de igual forma em sujeitos com níveis recreacionais de treinamento.

O objetivo principal do presente estudo foi determinar e comparar o tempo necessário para a obtenção dos valores de $VO_{2Máx}$ e frequência cardíaca máxima ($FC_{Máx}$), avaliados por análise de trocas gasosas em um teste progressivo incremental máximo e em um protocolo contínuo de carga constante de T_{Lim} . Além disso, objetivou-se secundariamente determinar o nível de associação entre as variáveis, a magnitude das diferenças e a partir de inspeção gráfica, estabelecer o nível de concordância entre os diferentes testes. Hipotetizou-se que o tempo de ambos os testes seriam significativamente diferentes, porém, ambos os protocolos apresentariam alta correlação e resultados fidedignos de $VO_{2Máx}$ e $FC_{Máx}$.

MÉTODOS

O presente estudo utilizou como referência os pressupostos descritos pelo

“International Committee of Medical Journal Editors” e respeitou todos os itens propostos nas recomendações **“Consolidated Standards of Reporting Trials”**. Todos os Procedimentos foram realizados de acordo com a declaração de Helsinki e incluído no registro do clinical trial do U.S. National Institutes of Health (ClinicalTrials.gov; NCT02660450).

Amostra

Participaram do presente estudo 12 ciclistas recreacionais aparentemente saudáveis, do sexo masculino, classificados como risco baixo para doença arterial coronariana (ACSM, 2006). Todos os voluntários estavam treinando regularmente pelo menos 2 anos por 3 a 5 vezes por semana para provas de ciclismo de longa duração. Foram excluídos do estudo, indivíduos que se auto referiram tabagistas, obesos, hipertensos, portadores de algum tipo de lesão osteomioarticulares, ou que estivessem fazendo uso de alguma substância farmacológica que pudesse afetar as respostas cardiovasculares.

Todos os sujeitos foram orientados a não praticar exercícios extenuantes por pelo menos 24 horas antes dos testes. Também foram orientados a não se alimentar por pelo menos duas horas antes do início dos testes. Antes de participarem do estudo, foram informados sobre os procedimentos, tendo assinado um questionário de estratificação de risco para doença arterial coronariana [23](#) e o termo de consentimento livre e esclarecido, conforme a resolução 466/2012 do Conselho Nacional da Saúde para pesquisas com seres humanos. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética número (#1.221.766).

Caracterização Morfológica

A avaliação antropométrica consistiu das medidas de massa corporal, estatura e do percentual de gordura corporal. A estatura foi obtida através de um estadiômetro de parede (Sanny®, Brasil) e a massa corporal foi obtida através de uma balança digital (Welmy®, Brasil). O percentual de gordura corporal foi determinado através da técnica de espessura do tecido subcutâneo conforme a técnica sugerida pela ISAK (*International Society for the Advancement of Kinanthropometry*). Para isso as dobras cutâneas de peitoral, abdome e coxa foram medidas. A densidade corporal foi avaliada através da equação proposta por Jackson e Pollock [24](#) e o percentual de gordura corporal foi determinado através da equação de Siri [25](#). Todas as medidas

de dobras cutâneas foram obtidas através de um compasso científico (Sanny®, Brasil). A tabela 1 apresenta as características descritivas dos ciclistas.

Tabela 1 – Características descritivas dos ciclistas (12 voluntários).

	média ± desvio padrão
Idade (anos)	36,0 ± 9,3
Massa Corporal (kg)	78,5 ± 10,7
Estatuta (cm)	173,2 ± 5,9
Gordura Percentual (%)	13,0 ± 4,2
VO _{2Máx} (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	45,0 ± 7,2

Procedimentos Experimentais

O protocolo experimental foi composto por dois testes distintos para a determinação do VO_{2Máx} em cicloergômetro (MONARK® 828e, Suécia). O VO_{2Máx} foi determinado através da análise direta de trocas gasosas e registrada com o equipamento VO₂₀₀₀ (CPX-D *Medical Graphics TM*, Saint Paul, MN, USA), sendo calibrado de acordo com as especificações ao final de cada teste.

No primeiro teste, os sujeitos realizaram um protocolo incremental progressivo máximo (T_{Máx}). O protocolo foi iniciado com um aquecimento de 5 minutos, com carga de 135 W (1,5 Kg). Após um minuto de repouso no próprio cicloergômetro os sujeitos iniciaram o teste a partir de uma carga de 157,5 W (1,75 Kg) e rotação padronizada de 90 RPM. Nos 15 segundos (s) finais de cada estágio, foram mensuradas a frequência cardíaca (FC) (Polar® - modelo RS₈₀₀) e percepção subjetiva de esforço [26](#). Adotou-se como critério de interrupção dos testes a não permanência na rotação pré-estabelecida por pelo menos 10 s ou a exaustão voluntária.

Após um intervalo de 60 min, os sujeitos realizaram um segundo teste, T_{Lim}. Para isso, inicialmente foi determinada a potência (W) correspondente ao VO_{2Máx} (P_{VO2Máx}) e após um aquecimento de 5 minutos a uma carga de 135 W, os sujeitos pedalarão a carga correspondente a 100% da P_{VO2Máx}, com rotação padronizada de 90 RPM até a exaustão voluntária. Todos os indivíduos foram encorajados verbalmente para obterem o melhor desempenho possível durante todo o teste. Os procedimentos de mensuração da FC, da percepção subjetiva de esforço, assim

como os critérios de interrupção do exercício, foram os mesmos adotados para o $T_{Máx}$.

Análise Estatística

Uma análise descritiva dos dados foi previamente realizada, e apresentada por média $\pm$ desvio padrão (DP). Foram analisados os pressupostos de normalidade a partir do teste de Shapiro-Wilk e heterocedasticidade dos dados. As diferenças entre as variáveis dependentes: $VO_{2Máx}$, $FC_{Máx}$, e Tempo Máximo ($T_{Máx}$) em teste incremental, $VO_{2Máx}$, $FC_{Máx}$ e T_{Lim} em teste de carga constante, foram analisadas a partir de um teste t pareado, estabelecendo-se a magnitude das diferenças do tamanho do efeito (TE). Uma correlação de *Pearson* determinou o nível de associação entre as variáveis testadas. A estratégia gráfica de Bland-Altman foi utilizada para determinar a concordância entre os métodos. Todas as análises foram realizadas no *software SPSS 20.0 for Windows®* (Chicago, USA) sendo adotado uma significância estatística de $p \leq 0,05$ em todas as análises.

RESULTADOS

Os valores médios dos resultados das variáveis dependentes em ambos os testes de esforço $T_{Máx}$ e T_{Lim} são apresentados na Figura 1A. Conforme demonstrado, não foi observada diferença significativa entre os valores de $VO_{2Máx}$ obtidos no $T_{Máx}$ ($IC_{95\%} = 39,8$ a $50,17$ mL.kg⁻¹.min⁻¹) comparado aos valores obtidos no teste de T_{lim} ($IC_{95\%} = 38,3$ a $49,9$ mL.kg⁻¹.min⁻¹; $p = 0,39$). A magnitude das diferenças representadas pelo tamanho do efeito foi classificada como trivial ($d = 0,12$).

Em relação a $FC_{máx}$ no $T_{Máx}$ ($IC_{95\%} = 176$ a 189 bpm) e no T_{Lim} ($IC_{95\%} = 175$ a 186 bpm), também não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as duas condições ($p = 0,93$) (Figura 1B). Um significado clínico trivial também foi observado entre as medidas de $FC_{Máx}$ obtidas em ambos os testes ($d = 0,17$).

O tempo até a exaustão foi significativamente maior no teste $T_{Máx}$ ($IC_{95\%} = 7,3$ a $10,4$ min) comparado ao T_{Lim} ($IC_{95\%} = 3,2$ a $4,3$ min; $p = 0,0001$) (Figura 1C). Neste caso, a magnitude das diferenças deferiu um tamanho do efeito classificado como muito alto para essas variáveis ($d = 2,21$).

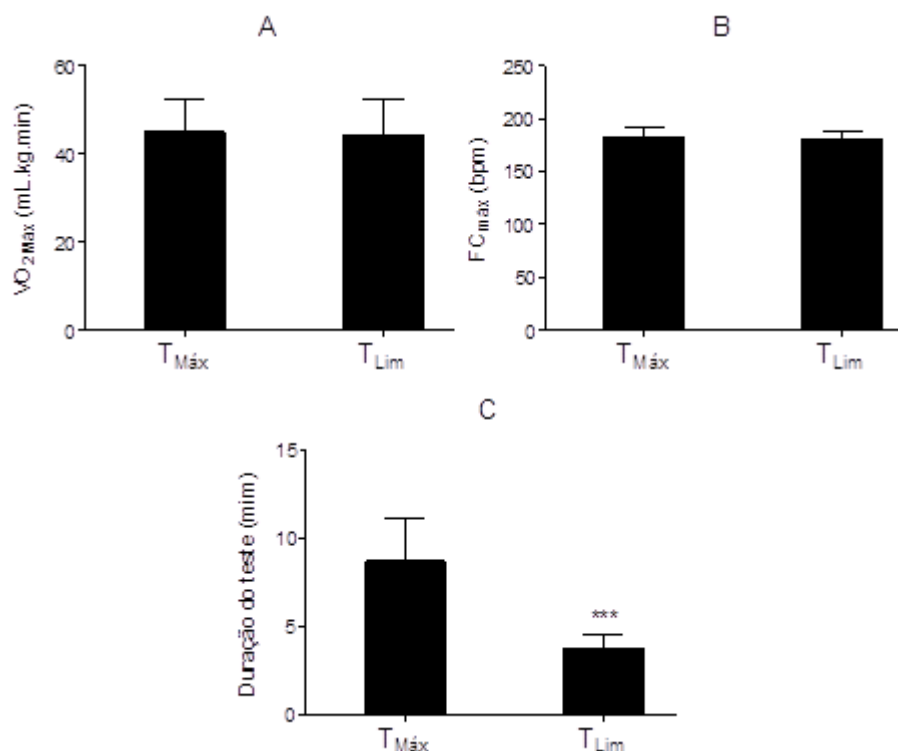


Figura 1. Comparativo entre a obtenção das variáveis máxima referentes aos testes realizados, bem como, a comparação entre as durações dos testes. Valores expressos em média e desvio padrão. *** representa diferença estatisticamente significativa para um valor $p < 0,0001$.

Tabela 2 – Desfechos principais de TMáx e de TLim.

T _{Máx}				T _{Lim}		
$\text{VO}_{2\text{Máx}}$ (mL.kg. ⁻¹ min ⁻¹)	$\text{FC}_{\text{Máx}}$ (bpm)	$\text{PVO}_{2\text{Máx}}$ (w)	T_{total} (min)	$\text{VO}_{2\text{Máx}}$ (mL.kg. ⁻¹ min ⁻¹)	$\text{FC}_{\text{Máx}}$ (bpm)	T_{Lim} (min)
45,0 ± 7,2	183 ± 9,2	274,5 ± 37,9	8,7 ± 2,4	44,2 ± 8,2	181 ± 7,5	3,38 ± 0,72

Legenda: T_{Máx}: teste de esforço incremental máximo; T_{Lim} (teste): teste de tempo limite; $\text{PVO}_{2\text{Máx}}$: potência associada a ocorrência do $\text{VO}_{2\text{Máx}}$; T_{Lim} (min): tempo de desempenho na $\text{PVO}_{2\text{Máx}}$.

Existiu uma alta associação entre o $\text{VO}_{2\text{Máx}}$ medido entre T_{Máx} e no teste do T_{Lim} ($r = 0,93$; $p < 0,001$). Por outro lado, a associação entre os valores de $\text{FC}_{\text{Máx}}$ obtidos no teste máximo e no teste de T_{Lim} apresentou uma associação moderada ($r = 0,64$; $p = 0,046$). A Figura 2 demonstra nos gráficos de Bland-Altman o nível de concordância entre os valores de $\text{VO}_{2\text{Máx}}$.

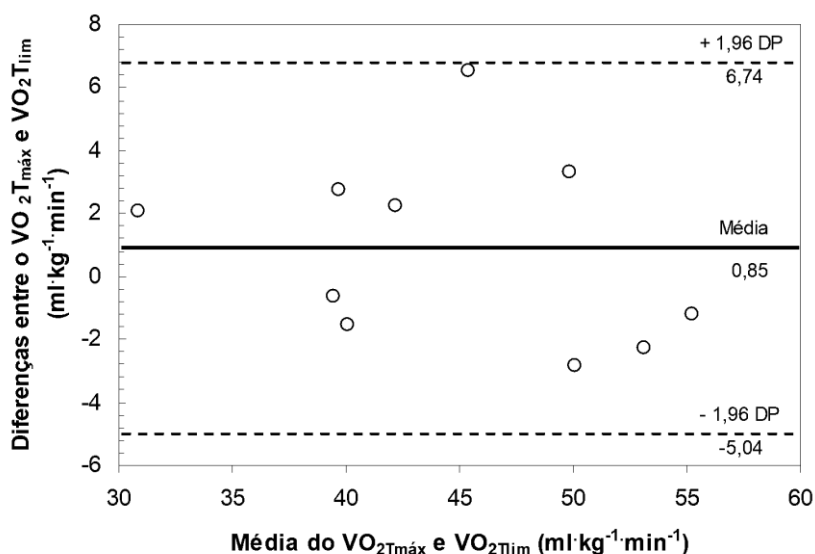


Figura 2. Nível de concordância entre os valores de $VO_{2Máx}$.

DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi comparar os valores de $VO_{2Máx}$ e $FC_{Máx}$ obtidos em um protocolo $T_{Máx}$ e em um teste contínuo de T_{Lim} . A hipótese principal da pesquisa foi aceita, uma vez que os principais achados deste estudo não apontam diferenças entre as variáveis dependentes em ambos os protocolos. Contudo, conforme já esperado, observou-se diferenças significativas no tempo total de exercício entre os protocolos. A magnitude das diferenças obtidas a partir da medida do tamanho do efeito foi classificada como trivial ($d = 0,12; 0,17$) para as medidas de $VO_{2Máx}$ e $FC_{Máx}$, o que sugere que os resultados não foram influenciados pelo tempo total, pela estrutura de protocolo (progressivo ou constante) e nem pela treinabilidade dos ciclistas. No presente estudo, valores semelhantes de $VO_{2Máx}$ foram encontrados nos dois protocolos, estabelecendo-se uma relação quase perfeita de associação ($r = 0,93$).

Esse estudo se diferencia dos demais estudos comparativos desta natureza ^{6-8,10-12}, pois compara estruturas de protocolos completamente distintas para obtenção das mesmas variáveis dependentes, desmistificando a noção de que apenas protocolos progressivamente continuados poderiam proporcionar uma ótima obtenção do $VO_{2Máx}$. Grande parte dos estudos que se utilizam de protocolos de carga constante tem por objetivo principal a determinação do desempenho aeróbio, como por exemplo, cargas na potência crítica, na potência do limiar de lactato, ou na própria

$P_{VO_{2Máx}}$ [27-31](#). Está estabelecido na literatura a possível existência de diferenças significativas na medida direta do $VO_{2Máx}$ decorrentes de protocolos com estruturação distintas.

Em um estudo clássico desenvolvido por Froelicher *et al.* [10](#), por exemplo, foram observados diferenças significativas quando comparados 3 tipos de protocolos com estruturações e tempos distintos (Taylor, Bruce, e Balke). Neste caso, o protocolo progressivo, porém descontinuado de Taylor apresentou valores superiores de $VO_{2Máx}$ ($47,4 \pm 5,6$ vs. $44,2 \pm 3,1$ vs. $42,8 \pm 4,8$ mL.kg⁻¹.min⁻¹ respectivamente) comparado aos protocolos máximos de Bruce e Balke. Já Buchfuhrer *et al.* [13](#), observaram uma redução entre 5 a 10% nos valores de $VO_{2Máx}$ em protocolos de testes máximos progressivos com tempo total inferior a oito minutos, com grandes incrementos de carga, e superior a 17 min, o que, nesse estudo, foi contrariamente extraído no teste de T_{Lim} em tempo demasiadamente inferior comparado ao $T_{Máx}$ ($\Delta = 157\%$).

Em um desenho semelhante ao presente estudo, Lepretre *et al.* [17](#) demonstraram igualdade na obtenção do $VO_{2Máx}$ comparado a um teste convencional progressivo máximo ($62,9 \pm 6,3$ mL.kg⁻¹.min⁻¹) e a protocolos de carga constante de T_{Lim} ($64,0 \pm 7,0$ mL.kg⁻¹.min⁻¹) na $P_{VO_{2Máx}}$ (100% do $VO_{2Máx}$), e na $P_{\Delta 50}$ (carga intermediária entre a $P_{VO_{2Máx}}$ e o limiar de lactato; $61,4 \pm 6,3$ mL.kg⁻¹.min⁻¹). Outros estudos apresentaram similaridades aos resultados observados por Lepretre *et al.* [17,22,32](#). Portanto, parece por algum motivo ainda não conhecido, protocolos de carga constante, quando executados por participantes com nível recreacional de treinamento, conseguem efetivamente extrair o chamado “verdadeiro $VO_{2Máx}$ ”, enquanto que protocolos progressivos máximos podem exibir limitações em função da magnitude dos incrementos, do tempo por estágio, além do tempo total [10,13,14](#).

Apesar desse estudo não tratar especialmente sobre o comparativo entre níveis de treinamento, essa paridade de resultados entre teste em carga constante vs. teste progressivo máximo parece ser apenas cabível para essa população específica, praticantes recreacionalmente treinados ($45,0 \pm 7,2$ mL.kg⁻¹.min⁻¹), ou ciclistas com níveis elevados de $VO_{2Máx}$. Caputo, Mello e Denadai [44](#) nos mostra que sujeitos destreinados, são também menos tolerantes a sustentação em cargas de trabalho no domínio severo do exercício e produzem elevado déficit de oxigênio acumulado (AOD) ($P_{VO_{2Máx}} = 200,0 \pm 36,2$ vs. $332,2 \pm 41,3$ W; $T_{Lim} = 311 \pm 105$ vs. 394 ± 66 s; AOD = $21,7 \pm 7,0$ vs. $8,7 \pm 2,4$, respectivamente para destreinados e

treinados), projetado provavelmente por percentuais inferiores de limiar de lactato ($61,6 \pm 5,9\%$ vs. $85,1 \pm 4,2\%$), sugerindo cautela na escolha da estratégia de T_{Lim} . Neste caso, a grande amplitude do componente lento observado comumente em testes de T_{Lim} poderia contribuir para a exaustão periférica mesmo antes de alcançar o “verdadeiro $VO_{2Máx}$ ” ^{33,34}. A lembrar, a magnitude da componente lenta do VO_2 é proporcional a intensidade estabelecida do exercício ²⁰.

A $FC_{Máx}$ assim como o $VO_{2Máx}$, foram obtidos semelhantemente em ambos os protocolos de esforço ($T_{Máx}$ vs. T_{Lim}). Isso já era de se esperar, uma vez que a $FC_{Máx}$ é uma variável colinear ao $VO_{2Máx}$, exibindo comportamento cinético semelhante. Tal variável foi secundariamente observada, e apresentou uma correlação significativa, porém moderada ($r = 0,64$; $p = 0,046$) entre os valores mensurados. Esse nível de associação inferior da $FC_{Máx}$ pode ser explicado por possíveis variações biológicas ou devido ao tempo de intervalo entre os testes (60 min), podendo ter havido algum tipo de interferência nos resultados.

No entanto, as pesquisas contidas na literatura parecem consistentes suportando a ideia de que a $FC_{Máx}$ pode ser obtida com precisão a partir de testes de carga constante (T_{Lim}) ⁴¹. Billat *et al.* (1998) comparam primariamente a componente lenta do VO_2 em diferentes modalidades (corrida e ciclismo) em 10 triatletas. Secundariamente, os autores obtiveram a $FC_{Máx}$ num teste de carga constante a 90% da $P_{VO_{2Máx}}$. Mesmo em intensidade submáxima não foram encontrados diferenças significativas entre as respostas de $FC_{Máx}$, sugerindo a possibilidade de obtenção dessa variável quando selecionados valores ao redor da $P_{VO_{2Máx}}$ ⁴¹.

Algumas limitações poderiam ser prospectadas acerca dos desfechos de nosso estudo. Primeiramente, foram observados em nossa amostra uma razoável heterogeneidade em relação ao $VO_{2Máx}$ dos avaliados, produzindo um coeficiente de variabilidade de 16,0%. Entretanto, as variações das medidas de desfecho de T_{Lim} se assemelham as descritas por Caputo, Mello e Denadai ⁴⁴. Além disso, o nível de treinamento dos ciclistas, apesar da ampla experiência com a modalidade (> 5 anos), resultou em menores T_{Lim} para mesma intensidade relativa quando comparado a outros estudos (T_{Lim} médio = $5,20 \pm 2,42$ min) ^{17,31,42,43}. Esse fenômeno pode ser explicado pela diferença metodológica de determinação da $P_{VO_{2Máx}}$ com base no pico de potência obtido em teste incremental, na qual segundo Hill e Rowell ⁴⁵, podem produzir diferentes respostas na performance.

CONCLUSÃO

Concluiu-se que não houve diferença dos valores de $VO_{2Máx}$ e $FC_{Máx}$ obtidos entre os diferentes protocolos de esforço máximo. O teste do T_{lim} a 100% da $P_{VO_{2Máx}}$ pode ser utilizado como estratégia tempo eficiente para a obtenção das variáveis máximas em testes laboratoriais. Sugere-se adicionalmente, a testagem do T_{Lim} a partir de carga predita por equações metabólicas para o estabelecimento de carga máxima para a realização de T_{Lim} .

REFERÊNCIAS

1. Smirmaul BP, Bertucci DR, Teixeira IP. Is the VO_{2max} that we measure really maximal? *Front Physiol* 2013;4:203.
2. Noakes TD, St Clair Gibson A. Logical limitations to the "catastrophe" models of fatigue during exercise in humans. *Br J Sports Med* 2004;38:648-9.
3. Noakes TD, St Clair Gibson A, Lambert EV. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. *Br J Sports Med* 2004;38:511-4.
4. Bergh U, Ekblom B, Astrand PO. Maximal oxygen uptake "classical" versus "contemporary" viewpoints. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:85-8.
5. Noakes TD. How did A V Hill understand the VO_{2max} and the "plateau phenomenon"? Still no clarity? *Br J Sports Med* 2008;42:574-80.
6. Hermansen L, Saltin B. Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol* 1969;26:31-7.
7. Saltin B. Oxygen uptake and cardiac output during maximal treadmill and bicycle exercise. *Mal Cardiovasc* 1969;10:393-9.
8. Ekblom B. To measure physical performance in many sports is often very easy and is also done with great precision. *Scand J Med Sci Sports* 2000;10:119-22.
9. Billat V, Faina M, Sardella F, et al. A comparison of time to exhaustion at VO_{2max} in elite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners. *Ergonomics* 1996;39:267-77.
10. Froelicher VF, Jr., Brammell H, Davis G, et al. A comparison of three maximal treadmill exercise protocols. *J Appl Physiol* 1974;36:720-5.
11. Froelicher VF, Jr., Brammell H, Davis G, et al. A comparison of the reproducibility and physiologic response to three maximal treadmill exercise protocols. *Chest* 1974;65:512-7.
12. Duncan GE, Howley ET, Johnson BN. Applicability of VO_{2max} criteria:

- discontinuous versus continuous protocols. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:273-8.
13. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, et al. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 1983;55:1558-64.
14. Yoon BK, Kravitz L, Robergs R. VO₂max, protocol duration, and the VO₂ plateau. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1186-92.
15. Midgley AW, Bentley DJ, Luttikholt H, McNaughton LR, Millet GP. Challenging a dogma of exercise physiology: does an incremental exercise test for valid VO₂ max determination really need to last between 8 and 12 minutes? *Sports Med* 2008;38:441-7.
16. Jones AM, Grassi B, Christensen PM, et al. Slow component of VO₂ kinetics: mechanistic bases and practical applications. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:2046-62.
17. Lepretre PM, Koralsztein JP, Billat VL. Effect of exercise intensity on relationship between VO₂max and cardiac output. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:1357-63.
18. Carita R, Greco C, Pessoa Filho D. Cinética do VO₂ durante o exercício realizado na potência crítica em ciclistas e indivíduos não-treinados no ciclismo. *Motriz* 2013;19:412-22.
19. Billat VL. VO₂ slow component and performance in endurance sports. *Br J Sports Med* 2000;34:83-5.
20. Billat VL, Morton RH, Blondel N, et al. Oxygen kinetics and modelling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol* 2000;82:178-87.
21. Morton RH, Billat V. Maximal endurance time at VO₂max. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1496-504.
22. Renoux JC, Petit B, Billat V, Koralsztein JP. Calculation of times to exhaustion at 100 and 120% maximal aerobic speed. *Ergonomics* 2000;43:160-6.
23. ACSM. Diretrizes do ACSM para os Testes de Esforço e sua Prescrição: Guanabara Koogan; 2009.
24. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr* 1978;40:497-504.
25. Siri W. Body Composition from fluid spaces and density: Analysis os methods. National Academy os Science, Whashington 1961:223-44.
26. Borg G. Escala de Borg para Dor e o Esforço Percebido: Manole; 1999.
27. Billat LV. Interval training for performance: a scientific and empirical practice.

Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: anaerobic interval training. *Sports Med* 2001;31:75-90.

28. Billat LV. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med* 2001;31:13-31.

29. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Med* 2013;43:927-54.

30. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med* 2013;43:313-38.

31. Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med* 2002;32:53-73.

32. Demarie S, Koralsztejn JP, Billat V. Time limit and time at VO₂max' during a continuous and an intermittent run. *J Sports Med Phys Fitness* 2000;40:96-102.

33. Coyle EF, Coggan AR, Hopper MK, Walters TJ. Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J Appl Physiol* (1985) 1988;64:2622-30.

34. Coyle EF, Feltner ME, Kautz SA, et al. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:93-107.

35. Nummela AT, Paavolainen LM, Sharwood KA, et al. Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. *Eur J Appl Physiol* 2006;97:1-8.

36. Paavolainen L, Nummela A, Rusko H. Muscle power factors and VO₂max as determinants of horizontal and uphill running performance. *Scand J Med Sci Sports* 2000;10:286-91.

37. Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:1801-7.

38. Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res* 2005;19:527-33.

39. Coyle EF. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc Sport Sci Rev* 1995;23:25-63.

40. Billat V, Binsse V, Petit B, Koralsztein JP. High level runners are able to maintain a VO₂ steady-state below VO₂max in an all-out run over their critical velocity. Arch Physiol Biochem 1998;106:38-45.
41. Billat VL, Richard R, Binsse VM, Koralsztein JP, Haouzi P. The V(O₂) slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. J Appl Physiol (1985) 1998;85:2118-24.
42. Laursen PB, Shing CM, Jenkins DG. Reproducibility of the cycling time to exhaustion at .VO₂peak in highly trained cyclists. Can J Appl Physiol 2003;28:605-15.
43. Laursen PB, Shing CM, Jenkins DG. Temporal aspects of the VO₂ response at the power output associated with VO₂peak in well trained cyclists--implications for interval training prescription. Res Q Exerc Sport 2004;75:423-8.
44. Caputo F, Mello MT, Denadai, BS. Oxygen uptake kinetics and time to exhaustion in cycling and running: a comparison between trained and untrained Subjects. Arch Physiol Biochem. 2003;111(5):461-6.
45. Hill DW and Rowell AL. Running velocity at VO₂max. Med Sci Sports Exerc. 1996; 28(1):114-9.

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Nome:	
Telefone:	
E-mail:	
CPF:	

O pesquisador responsável pela pesquisa, Dr. Alberto Souza de Sá Filho, convidam o voluntário acima identificado, voluntariamente a participar do estudo intitulado **“Neuromodulação e Exercício: Novas Perspectivas de Potencialização do Rendimento Físico”**, sendo parte do projeto desenvolvido no programa de pós-graduação Stricto Sensu do Centro Universitário de Anápolis.

Estou ciente que o estudo tem como objetivo observar as respostas dos efeitos da eletroestimulação isolada ou combinada com o uso de recursos ergogênicos, a fim de determinar os benefícios de possíveis efeitos potencializadores da capacidade física. Tal experimento pode levar a uma contribuição significativa para a tomada de decisão para o esporte e para a população em geral.

Espera-se como benefício a ampliação do conhecimento metodológico para orientação dos profissionais de Educação Física que trabalham na área de prescrição do treinamento.

Portanto, assinarei um termo de consentimento de livre e espontânea vontade, sendo submetido a 11 visitas com diferentes estratégias de eletroestimulação com ou sem o uso de recursos ergogênicos tal como cafeína, bicarbonato de sódio e β -alanina somados dentro das visitas em questão.

Estou ciente, que nos dias de teste não deverei realizar qualquer atividade física vigorosa antes da coleta dos dados, estando liberado em seguida para a minha prática rotineira de exercícios. Deverei evitar também a ingestão de alimentos sólidos em no mínimo duas horas antes da realização dos testes.

Compreendo ainda que:

1. Em estudos dessa natureza, pode ocorrer algum tipo de desconforto, mesmo que raro, como: dores musculares, cansaço, ou outras manifestações típicas da realização de esforços físicos. Caso aconteça algum desses problemas, um profissional médico avaliará minha condição de saúde, orientando-me sobre as condutas mais adequadas a serem seguidas.

Caso alguma anormalidade seja detectada antes ou durante os procedimentos deste experimento, minha participação será automaticamente vetada;

2. Tenho plena liberdade para afastar-me do estudo em questão, a qualquer momento que desejar, sem nenhuma obrigatoriedade de prestar quaisquer esclarecimentos e sem um único ônus à minha pessoa.

Voluntário

Testemunha

Anápolis, ____ de _____ de 2023

ANEXO 2 – Aprovação Ética

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITOS DA ELETROESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA DE CORRENTE CONTÍNUA (ETCC) ISOLADO E COMBINADO COM A INGESTÃO DE SUPLEMENTOS ERGOGÊNICOS SOBRE O DESEMPENHO DO EXERCÍCIO CONTRARESISTÊNCIA DE ALTA INTENSIDADE (HIRT) E O DESEMPENHO DE ENDURANCE: UM ESTUDO CONTROLADO E RANDOMIZADO

Pesquisador: Alberto Souza de Sá Filho

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 25686219.9.0000.5512

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE PAULISTA - UNIP CAMPUS FLAMBOYANT

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.790.808

Apresentação do Projeto:

O projeto intitulado "EFEITOS DA ELETROESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA DE CORRENTE CONTÍNUA (ETCC) ISOLADO E COMBINADO COM A INGESTÃO DE SUPLEMENTOS ERGOGÊNICOS SOBRE O DESEMPENHO DO EXERCÍCIO CONTRARESISTÊNCIA DE ALTA INTENSIDADE (HIRT) E O DESEMPENHO DE ENDURANCE: UM ESTUDO CONTROLADO E RANDOMIZADO" é pertinente e muito bem elaborado.

Objetivo da Pesquisa:

o objetivo do presente estudo será investigar os possíveis efeitos ergogênicos da estimulação via ETCC isoladamente ou combinado com suplementação de cafeína, -alanina ou bicarbonato sobre o desempenho da força máxima e explosiva, e na resistência aeróbica.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Os instrumentos de coletas de dados e procedimentos adotados no presente estudo são baseados em procedimentos rotineiros de treinamento

físico. Nenhuma das intervenções utilizadas promoverá risco superior aos inerentes de uma prática tradicional de atividade física com supervisão