



WANDERSON MATHEUS LOPES MACHADO

**EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO CRÔNICA COM
BICARBONATO SOBRE MARCADORES DE DANO E
DESEMPENHO MUSCULAR EM INDIVÍDUOS TREINADOS:
UM ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO, DUPLO CEGO,
CONTROLADO POR PLACEBO**

**LAVRAS-MG
2023**

WANDERSON MATHEUS LOPES MACHADO

**EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO CRÔNICA COM BICARBONATO SOBRE
MARCADORES DE DANO E DESEMPENHO MUSCULAR EM INDIVÍDUOS
TREINADOS: UM ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO, DUPLO-CEGO,
CONTROLADO POR PLACEBO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Nutrição e Saúde, área de
concentração em Nutrição e Saúde,
para obtenção do título de Mestre.

Prof (a). Dr (a). Osvaldo Costa Moreira
Orientador (a)

Prof (a). Dr (a). Cláudia Eliza Patrocínio de Oliveira
Coorientador (a)

**LAVRAS – MG
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Machado, Wanderson Matheus Lopes.

Efeitos da suplementação crônica com bicarbonato sobre marcadores de dano e desempenho muscular em indivíduos treinados: um ensaio clínico randomizado, duplo cego, controlado por placebo / Wanderson Matheus Lopes Machado. - 2023.

94 p.

Orientador(a): Osvaldo Costa Moreira.

Coorientador(a): Cláudia Eliza Patrocínio de Oliveira.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Bicarbonato de sódio. 2. Suplementos nutricionais. 3. Treinamento de resistência. I. Moreira, Osvaldo Costa. II. Oliveira, Cláudia Eliza Patrocínio de. III. Título.

WANDERSON MATHEUS LOPES MACHADO

**EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO CRÔNICA COM BICARBONATO SOBRE
MARCADORES DE DANO E DESEMPENHO MUSCULAR EM INDIVÍDUOS
TREINADOS: UM ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO, DUPLO-CEGO,
CONTROLADO POR PLACEBO**

**EFFECTS OF CHRONIC BICARBONATE SUPPLEMENTATION ON MARKERS
OF DAMAGE AND MUSCLE PERFORMANCE IN TRAINED INDIVIDUALS: A
DOUBLE-BLIND, PLACEBO-CONTROLLED, RANDOMIZED STUDY**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Nutrição e Saúde, área de
concentração em Nutrição e Saúde,
para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 26 de setembro de 2023
Dr. Wellington Segheto UFLA
Dr. Bruno Gonzaga Teodoro UFU

Prof (a). Dr (a). Osvaldo Costa Moreira
Orientador (a)

Prof (a). Dr (a). Cláudia Eliza Patrocínio de Oliveira
Coorientador (a)

**LAVRAS – MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por ter me fortalecido nos momentos de dificuldade e me guiado ao longo de todo o caminho. À Nossa Senhora Aparecida, pela intercessão ao longo dessa jornada.

Ao meu pai Itamar, meu maior exemplo. À minha mãe Wanda, minha fonte de motivação para vencer todos os obstáculos da vida. À minha irmã Mariana, por todo o carinho e implicações.

À minha namorada Raquel, meu grande amor, minha confidente, e minha parceira nos momentos bons e ruins, a pessoa que torna a minha vida mais feliz.

Ao meu orientador, professor Dr. Osvaldo Costa Moreira, por todos os ensinamentos, conhecimentos compartilhados, pela leveza durante todo o processo, e por ter sido um alicerce nos momentos de dificuldade. À minha coorientadora, professora Dra. Cláudia Eliza Patrocínio de Oliveira, por me acompanhar desde o fim da graduação, e por me inserir no mundo da pesquisa.

Aos membros da minha banca, professor Dr. Bruno Gonzaga Teodoro e professor Dr. Wellington Segheto pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições acerca deste trabalho.

Aos voluntários da pesquisa, pela disponibilidade e participação durante cada etapa.

Ao Laboratório de Análise da Morfofisiologia Humana (HUMAN), pelo suporte material, e aos membros que contribuíram para a pesquisa.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a todos os membros do Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Saúde (PPGNS).

*“A verdade é que transformamos as dificuldades
em força e seguimos em frente”
(Abel Ferreira)*

RESUMO

O fornecimento de energia através do sistema anaeróbico láctico é a principal via de ressíntese do ATP durante atividades de 60 segundos a 2 minutos, quando realizados de maneira intensa. Essa prática pode resultar em acidose e fadiga muscular acentuada. Portanto, uma estratégia suplementar que se mostre benéfica para atenuar esses efeitos pode ser de grande valia para atletas e praticantes de exercícios físicos. Com isso, o presente estudo teve como objetivo analisar os efeitos da suplementação com bicarbonato de sódio sobre marcadores de desempenho e dano muscular em indivíduos treinados. Foram selecionados para o estudo indivíduos com experiência prévia em treinamento de força, residentes da cidade de Viçosa-MG, que não apresentaram nenhum critério de exclusão que possa interferir nos resultados da pesquisa. O protocolo de suplementação seguiu o modelo duplo-cego, controlado por placebo, onde os sujeitos foram divididos de maneira aleatória em dois grupos (GEX e GPL), onde em um grupo receberam uma dosagem progressiva de bicarbonato de sódio durante o período de 10 dias, e no outro a mesma dosagem pelo mesmo período, só que contendo placebo. A suplementação foi fornecida através de cápsulas gastroresistentes, visando minimizar os possíveis desconfortos gástricos causados pela suplementação com bicarbonato. Como protocolo de fadiga, os sujeitos foram submetidos a um treinamento de força excêntrico, em 20 séries de 12 repetições na cadeira extensora. Como marcadores de desempenho e dano muscular foram realizados testes de 1RM, potência muscular, CVIM, CMJ, e ADM. Os testes foram realizados antes do primeiro protocolo de treinamento para análises iniciais, após o protocolo de fadiga para verificar o decréscimo no desempenho, e após o período de suplementação e da segunda realização do protocolo de fadiga, visando identificar se houve diminuição na queda de desempenho dos testes iniciais em relação ao teste final pós suplementação. Os resultados do presente estudo indicam vantagem para o grupo que suplementou com bicarbonato no desempenho do teste de 1RM, mas não para os demais indicadores de dano e desempenho. Como conclusão do estudo, foi identificado que a suplementação com bicarbonato de sódio em dosagem progressiva apresenta benefícios apenas na força máxima, em indivíduos treinados.

Palavras-chave: Bicarbonato de sódio. Suplementos nutricionais. Treinamento de resistência. Hipertrofia. Força muscular.

ABSTRACT

The energy supply through the lactic anaerobic system is the main ATP resynthesis way during activities of 60 seconds to 2 minutes, when performed intensely. This practice can result in acidosis and severe muscle fatigue. Therefore, a supplementary strategy that proves to be beneficial to mitigate these effects can be of great value to athletes and practitioners of physical exercises. Thus, the present study aimed to analyze the effects of sodium bicarbonate supplementation on performance markers and muscle damage in trained individuals. Individuals with previous experience in strength training, residents of the city of Viçosa-MG, who did not present any exclusion criteria that could interfere with the research results were selected for the study. The supplementation protocol followed the double-blind, placebo-controlled model, where the subjects were randomly divided into two groups (GEX and GPL), where one group received a progressive dosage of sodium bicarbonate during a period of 10 days, and in the other the same dosage for the same period but containing a placebo. Supplementation was provided through gastro-resistant capsules, aiming to minimize possible gastric discomfort caused by bicarbonate supplementation. As a fatigue protocol, the subjects were submitted to an eccentric strength training, in 20 series of 12 repetitions in the leg extension chair. As markers of performance and muscle damage, 1RM, muscle power, CVIM, CMJ, and ROM tests were performed. The tests will be performed before the first training protocol for initial analyses, after the fatigue protocol to verify the decrease in performance, and after the supplementation period and the second fatigue protocol, in order to identify if there was a decrease in the performance drop. of the initial tests in relation to the final post-supplementation test. The results of the present study indicate an advantage for the group that supplemented with bicarbonate in the performance of the 1RM test, but not for the other indicators of damage and performance. As a conclusion of the study, it was identified that the supplementation with sodium bicarbonate in progressive dosage presents benefits only in the maximum force, in trained individuals.

Keywords: Sodium Bicarbonate. Dietary Supplements. Resistance Training. Hypertrophy. Muscle Strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da manutenção do número de sarcômeros.....	18
Figura 2 - <i>Continuum</i> de danos nas fibras musculares após ações excêntricas.....	20
Figura 3 - Consulta ao <i>PubMed</i> com os termos (“ <i>Soudium Bicarbonate</i> ” OR “ NaHCO_3 ”).....	39
Figura 4 - Modificadores da resposta à suplementação com NaHCO_3	46
Figura 5 - Representação gráfica do desenho experimental proposto no presente estudo.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos participantes que concluíram todas as etapas do estudo, Viçosa-MG, 2022.....	56
Tabela 2 - Características gerais da amostra e comparação intergrupo dos valores de base em indivíduos adultos da cidade de Viçosa-MG, 2022.....	57
Tabela 3 - Comparações intragrupos e intergrupos dos efeitos da suplementação crônica de NaHCO ₃ sobre as variáveis funcionais e psicofisiológicas analisadas em adultos (n=9) na cidade de Viçosa-MG, 2022.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1.	Treinamento Resistido	16
2.2.	Treinamento Excêntrico.....	16
2.2.1.	Mecanismos de Ação do Treinamento Excêntrico.....	17
2.2.2.	Propriedades do Treinamento Excêntrico	18
2.2.3.	Efeitos Agudos e Subagudos do Treinamento Excêntrico	20
2.2.3.1.	Dano Muscular Induzido por Exercício (EIMD) Excêntrico.....	22
2.2.3.2.	Perda da Função Muscular como consequência do Treinamento Excêntrico 22	
2.2.3.3.	Inchaço Muscular (Edema).....	23
2.2.3.4.	Dor Muscular de Início Tardio (DOMS)	24
2.2.3.5.	Demais Efeitos Prejudiciais do Treinamento Excêntrico	25
2.2.4.	Efeitos do Treinamento Repetido (<i>Repeated Bout Effect</i>)	27
2.2.5.	Efeitos Crônicos do Treinamento Excêntrico	29
2.2.5.1.	Força / Desempenho.....	29
2.2.5.2.	Adaptações Neurais.....	30
2.2.5.3.	Desempenho Esportivo	31
2.2.5.4.	Idosos / Clínicos.....	31
2.2.5.5.	Lesões.....	32
2.2.5.6.	Hipertrofia.....	34
2.2.5.6.1.	Adaptações Arquitetônicas	35
2.2.5.6.2.	Hipertrofia Heterogênea.....	36
2.3.	Fadiga Muscular	37
2.4.	Suplementação	38

2.4.1.	Bicarbonato de Sódio (NaHCO ₃) – Mecanismos de Ação.....	39
2.4.2.	Ingestão	42
2.4.3.	Efeitos Ergogênicos.....	44
2.4.4.	Efeitos Ergolíticos	48
3	OBJETIVOS.....	50
3.1.	Objetivo Geral.....	50
3.2.	Objetivos Específicos	50
4	MÉTODOS	51
4.1.	Delineamento do Estudo	51
4.2.	Amostra.....	51
4.3.	Intervenção.....	52
4.4.	Suplementação	52
4.5.	Teste de Contração Voluntária Isométrica Máxima (CVIM)	53
4.6.	Teste de Força Máxima (1RM).....	53
4.7.	Potência.....	54
4.8.	Salto Contra Movimento.....	54
4.9.	Amplitude de Movimento	54
4.10.	Percepção de Esforço	55
4.11.	Escala de Dor Muscular	55
4.12.	Análise estatística.....	55
5	RESULTADOS.....	57
6	DISCUSSÃO	60
7	LIMITAÇÕES.....	70
8	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS.....	72
	ANEXO A	86
	ANEXO B	87

APÊNDICE A.....	88
APÊNDICE B.....	90
APÊNDICE C.....	92
APÊNDICE D.....	93
APÊNDICE E.....	94

1 INTRODUÇÃO

Durante a prática de exercícios físicos o corpo utiliza diversas fontes para obtenção de energia, sendo que a magnitude de fornecimento de cada uma dessas fontes está diretamente relacionada à intensidade e à duração da atividade (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2015). Logo no início do exercício, todas as vias são ativadas de forma simultânea, no entanto, as taxas de fornecimento de adenosina trifosfato (ATP) a partir de fontes anaeróbicas (fosfocreatina (PCr) e glicólise anaeróbica) são bem mais rápidas do que as provenientes de vias aeróbicas (HARGREAVES; SPRIET, 2020). Portanto, em atividades muito intensas e de curta duração (10 a 15 segundos), as reservas intramusculares de ATP e PCr são as principais responsáveis pelo fornecimento de energia, enquanto em atividades de intensidade moderada a alta, e maior duração (1 a 2 minutos), ocorre predominância do sistema glicolítico (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2015). No treinamento resistido (TR) a utilização de energia origina-se através de fontes anaeróbicas (quebra de fosfagênio e ativação da glicogenólise) (TESCH; COLLIANDER; KAISER, 1986).

No sistema glicolítico, uma molécula de glicose sofre decomposição, formando duas moléculas de piruvato, que dependendo do ambiente microcelular (demanda de energia, presença ou ausência de mitocôndrias e disponibilidade de oxigênio) terá destinos distintos (MELKINIAN; SCHURY, 2023). Sob condições anaeróbicas, o piruvato sofrerá ação da enzima lactato desidrogenase (LDH) que converterá o piruvato em lactato (MELKINIAN; SHURY, 2023). Além do lactato, à quebra de ATP, PCr e glicogênio na contração da musculatura esquelética durante o exercício, desencadeará em aumentos acentuados de Mg^{2+} , ADP, Pi e H^+ (ALLEN; LAMB; WESTERBLAD, 2008; HARGREAVES; SPRIET, 2020). Hoje em dia, não se acredita mais que o lactato desempenhe um efeito negativo na geração de força e energia, pelo contrário, atualmente é creditado ao lactato as funções de intermediário metabólico e de molécula sinalizadora (HARGREAVES; SPRIET, 2020). No entanto, o aumento dos íons H^+ parece afetar o pH do corpo através de um desequilíbrio ácido-base, impactando diretamente nos níveis de fadiga, prejudicando a contratilidade muscular, causando inibição de importantes enzimas glicolíticas e reduzindo a produção de ATP (CALVO et al., 2021; JUEL, 2001).

O Bicarbonato (HCO_3^-) faz parte de um sistema tampão que visa manter a homeostase do sistema ácido-base, que tem associação direta com as concentrações de pH no sangue. O HCO_3^- se liga a um íon de H^+ quando o pH do sangue está muito ácido, resultando em H_2CO_3 ,

que posteriormente se dissocia em água (H_2O) e dióxido de carbono (CO_2) alcalinizando o meio (HADZIC; ECKSTEIN; SCHUGARDT, 2019). Dentre os sistemas tampão presentes no organismo podemos citar: Proteína, Pi (fosfato inorgânico), hemoglobina e o HCO_3^- . Todavia, o HCO_3^- é a substância química com maior efeito, sendo responsável por aproximadamente 64% de todo tamponamento no organismo (CALVO et al., 2021).

A suplementação com bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) pode ser um recurso interessante nos exercícios de predominância do sistema anaeróbico. Em uma revisão sistemática com meta-análise, Calvo et al. (2021) concluíram que a ingestão de $NaHCO_3$ tem um efeito positivo em atividades predominantemente anaeróbicas, com manutenção ou melhoria de desempenho nos grupos que ingeriram $NaHCO_3$, enquanto os grupos que utilizaram o placebo tiveram um declínio no desempenho. Os mesmos autores também constataram que a ingestão de $NaHCO_3$ aumenta o pH do organismo, além de elevar as concentrações de HCO_3^- , excesso de base e lactato sanguíneo. Consequentemente esses efeitos acabam neutralizando o H^+ e modificando o sistema ácido-base do corpo, tornando-o mais alcalino (CALVO et al., 2021). Em contrapartida Hadzic, Ecksten e Schugardt (2019) constataram que, apesar de um número relativamente alto de pesquisas envolvendo o $NaHCO_3$, não é possível recomendar a utilização do mesmo como suplemento ergogênico, devido a inconsistência dos resultados dos artigos e dos efeitos ergolíticos apresentados pela sua suplementação.

Considerando apenas os exercícios resistidos, Grgic et al. (2020a) encontraram que a suplementação aguda com $NaHCO_3$ provoca efeitos ergogênicos agudos na resistência muscular, aumentando o número de repetições realizadas com uma determinada carga, o trabalho total isocinético e o tempo de manutenção da força isométrica em determinadas porcentagens do máximo, além de atenuar e retardar a fadiga durante o exercício. Entretanto, nenhum efeito ergogênico significativo foi encontrado quando se analisou a força máxima dos grupos que utilizaram o $NaHCO_3$, em relação aos grupos que utilizaram o placebo. Porém, quando comparado com um estado de repouso, a suplementação com $NaHCO_3$ associada a um estado de fadiga tem maior probabilidade de apresentar efeitos ergogênicos. Os autores afirmam que, seria interessante verificar se a suplementação crônica de $NaHCO_3$ também apresenta benefícios, principalmente para o treinamento resistido buscando melhora na hipertrofia e força, e em diferentes estados de fadiga (GRGIC et al., 2020a).

Outro ponto levantado por Hadzic, Ecksten e Schugardt (2019) é a deficiência nas pesquisas em atividades com duração inferior a 25 segundos e o baixo número de pesquisas envolvendo treinamento resistido de repetições máximas como agente causador da fadiga.

Embora os efeitos erogênicos do NaHCO_3 e seus mecanismos fisiológicos sejam bem estabelecidos, seus efeitos sobre o desempenho nos exercícios resistidos são menos esclarecidos, logo, seria interessante elucidar os mecanismos pelos quais o NaHCO_3 melhora a resistência muscular (GRGIC et al., 2020a).

O treinamento excêntrico é uma modalidade de treinamento que apresenta inúmeros benefícios e aplicações. Dentre elas podemos citar melhora da função muscular, melhora do desempenho atlético, melhor adaptação neural e melhora de parâmetros associados a saúde (HODY et al., 2019; MAROTO-IZQUIERDO et al., 2017; PEÑAILILLO et al., 2013). Contudo, apesar dos inúmeros benefícios, o treinamento excêntrico apresenta algumas características que devem ser levadas em consideração ao adotar a sua prática, como aumento do dano muscular, edema, perda da função muscular, aumento da dor muscular, aumento da fadiga, redução no transporte de lactato/ H^+ do sarcolema, redução na capacidade de tamponamento, redução do pH intracelular e desaceleração da taxa de recuperação da acidose (KRENTZ; FARTHING, 2010; NOSAKA; CLARKSON, 1996; PILEGAARD; ASP, 1998; YEUNG et al., 2002).

Portanto, tendo em vista o baixo número de pesquisas envolvendo o treinamento resistido, e os diferentes estados de fadiga decorrentes deste tipo de treinamento associados a suplementação com NaHCO_3 . E tendo em vista as características fisiológicas do treinamento excêntrico e sua grande aplicabilidade em diferentes contextos, acreditamos que se faz necessária a realização de um estudo analisando os efeitos do NaHCO_3 em diferentes marcadores após uma sessão de treinamento excêntrico. Nesse sentido, o presente estudo busca responder as seguintes questões: (1) A suplementação crônica progressiva com NaHCO_3 é capaz de atenuar os efeitos deletérios do treinamento excêntrico nos marcadores de dano e desempenho muscular de indivíduos treinados? (2) A suplementação crônica progressiva com NaHCO_3 é capaz de diminuir o impacto do treinamento excêntrico nos parâmetros psicofisiológicos em indivíduos treinados?

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Treinamento Resistido

O treinamento resistido (TR) é um tipo de treinamento amplamente praticado, e o número de adeptos desse tipo de exercício físico vem aumentando a cada ano (MACHADO et al., 2022), atendendo atletas de alto rendimento, que visam aperfeiçoar o desempenho esportivo, através da melhora da performance motora, altura de salto, velocidade de corrida, agilidade e melhora em tarefas específicas do esportes (ACSM, 2009), sujeitos que buscam melhorias na saúde e prevenção de doenças, como doença cardíaca coronária, obesidade, diabetes, osteoporose, benefícios cognitivos e psicológicos (FRAGALA et al., 2019; POLLOCK; VINCENT, 1996; WARBURTON; NICOL; BREDIN, 2006), e indivíduos que treinam de maneira recreacional, que buscam melhorias funcionais e morfológicas, como aumento da força máxima, resistência, potência, diminuição do percentual de gordura corporal, hipertrofia e melhora da qualidade de vida (ACSM, 2009). Sendo o TR, considerado uma modalidade de exercício físico eficiente para obter-se essas adaptações morfofisiológicas (ACSM, 2009; BACURAU; NAVARRO; UCHIDA, 2005; BALSAMO; SIMÃO; 2007; FLECK; KRAEMER, 2017).

O sucesso na busca por esses resultados é dependente de uma série de variáveis e mecanismos que devem ser utilizados e/ou estimulados, como os princípios do treinamento (especificidade, variabilidade e sobrecarga progressiva), periodização e/ou programação (linear crescente e decrescente, ondulatória e em blocos), características de treinamento (tensão mecânica, dano muscular e estresse metabólico), variáveis de treinamento (intensidade, volume, frequência, seleção de exercícios, ordem dos exercícios, intervalo de descanso, velocidade de execução e falha muscular) e ações musculares (concêntrica, excêntrica e isométrica) (ACSM, 2009; KRAEMER; RATAMES, 2004; MACHADO et al., 2022; SCHOENFELD, 2010; SCHOENFELD et al., 2021).

2.2. Treinamento Excêntrico

O ACSM (2009) indica que em um programa de TR algumas características devem estar presentes, como exercícios uni e multiarticulares, exercícios bilaterais e unilaterais, repetições dinâmicas com ações concêntricas e excêntricas, além de ações isométricas aplicadas de forma

mais secundária (estabilização muscular, força do CORE, força de preensão, pausas entre as ações concêntricas e excêntricas, e exercícios isométricos específicos).

Os tipos de ações musculares podem ser caracterizados por comprimento constante (isométrico), encurtamento (concêntricas) e alongamento (excêntricas) (HERZOG, 2014), e todos os tipos são componentes comuns do movimento diário (FRIDEN; LIEBER, 2001). Inclusive, as ações excêntricas estão presentes na maioria dos movimentos cotidianos, como mobilidade, estabilidade e força muscular (HESSEL; LINDSTEDT; NISHIKAWA, 2017).

Na maioria dos programas de treinamento, as ações concêntricas e excêntricas são realizadas consecutivamente, tendo em vista que para a maioria dos propósitos almejados com o treinamento, ambas as ações devem estar presentes (HIGBIE et al., 1996). No entanto, as ações excêntricas, caracterizadas pelo alongamento do complexo músculo-tendíneo, apresentam características e adaptações agudas, subagudas e crônicas únicas, quando comparado com outros tipos de ações musculares (HODY et al., 2019).

2.2.1. Mecanismos de Ação do Treinamento Excêntrico

As ações isométricas e concêntricas têm seus padrões moleculares bem descritos, sendo baseados na teoria das pontes cruzadas e na teoria dos filamentos deslizantes (HUXLEY; HANSON, 1954; RAYMENT et al., 1993). No entanto, o mecanismo pelo qual o treinamento excêntrico é capaz de exercer níveis maiores de força residual ainda não é bem consolidado. Tanto o mecanismo das pontes cruzadas, quanto a não uniformidade de comprimento do sarcômero ou meio-sarcômero não explicam os efeitos do treinamento excêntrico (HESSEL; LINDSTEDT; NISHIKAWA, 2017). Atualmente, a teoria mais aceita baseia-se no envolvimento da titina na ativação muscular e no aumento da resistência da titina no alongamento ativo (HERZOG, 2014).

A titina é uma proteína que se estende do disco Z até a linha M e é composta por mais de 25 mil aminoácidos, sendo considerada a maior proteína conhecida. A titina tem a função de estabilizar a posição dos filamentos contráteis e de fazer com que os músculos alongados retornem ao seu comprimento de origem, e é auxiliada pela nebulina que realiza o alinhamento dos filamentos de actina do sarcômero (SILVERTHORN, 2010). Na musculatura estriada esquelética, a titina tem a característica de mudar sua rigidez de acordo com a ativação muscular, agindo como uma mola molecular e armazenando a energia elástica, que posteriormente será utilizada, otimizando a eficiência das pontes cruzadas (LINDSTEDT;

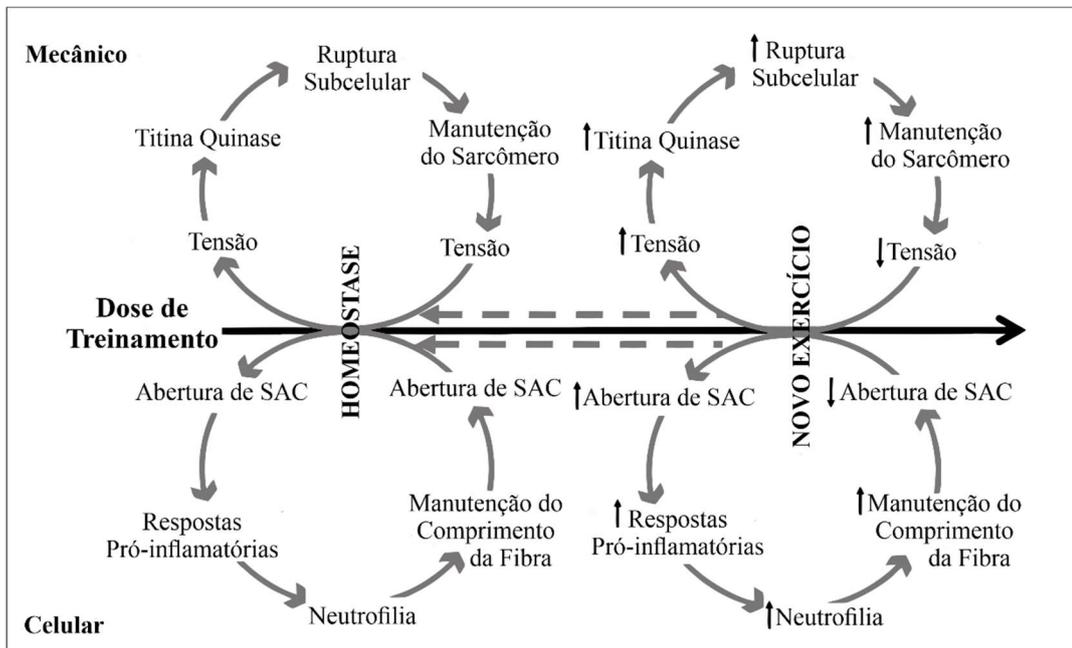
LASTAYO; REICH, 2001; ORTEGA et al., 2015). Com o passar do tempo, essa propriedade de mola muscular pode se tornar mais rígida, em resposta a um estímulo excêntrico crônico (LINDSTEDT; LASTAYO; REICH, 2001).

Essa mudança na resistência é baseada na ligação da titina ao filamento de actina, na ligação do Ca^{2+} na titina, e em uma mudança na direção dos seguimentos mais rígidos de titina, em que, o aumento na rigidez da titina após a sua ativação resultaria em maiores níveis de força da mesma quando o músculo é alongado ativamente, tornando-se mais forte quando a sobreposição da actina-miosina e as forças das pontes cruzadas diminuem, o que justificaria a alta produção de força com baixo custo metabólico (HERZOG, 2014; HESSEL; LINDSTEDT; NISHIKAWA, 2017).

2.2.2. Propriedades do Treinamento Excêntrico

Durante a locomoção do dia-a-dia, as ações excêntricas agem dissipando a energia absorvida na forma de calor, funcionando como amortecedor e reduzindo a energia cinética por meio da frenagem, e inversamente, absorvendo a energia produzida como energia potencial de retração elástica e posteriormente, utilizando-a na produção de movimento, como se fosse uma “mola” (LINDSTEDT; LASTAYO; REICH, 2001). Ao se realizar o treinamento excêntrico, esses aspectos tendem a ser potencializados, gerando uma série de eventos mecânicos e celulares nas fibras musculares, em que o processo de recuperação irá gerar uma adaptação da fibra, ou em caso de um estímulo muito elevado, poderá desencadear efeitos adversos (Figura 1) (BUTTERFIELD, 2010).

Figura 1 - Representação esquemática da manutenção do número de sarcômeros



Legenda da figura: Representação esquemática da manutenção do número de sarcômeros quando o exercício excêntrico é realizado em uma dose em que a fibra está acostumada. Onde, se uma fibra for submetida a um treinamento excêntrico não habitual, uma série de eventos celulares e mecânicos, são decodificados em sinais que resultarão em adaptações (setas pontilhadas) para a homeostase celular. SAC, canais iônicos ativados por estiramento. Adaptada de Butterfield (2010).

Toda vez que a força que age sobre o músculo supera a força produzida pelo músculo, o músculo se alonga enquanto ocorre a produção de força (LINDSTEDT; LASTAYO; REICH, 2001). O músculo esquelético tem maior eficiência nesse tipo de trabalho (excêntrico), do que no convencional (concêntrico), sendo projetado para permanecer estável durante toda a sua faixa de trabalho (BUTTERFIELD, 2010). No entanto, a prescrição de treinamento muscular excêntrico requer experiência específica. Os praticantes devem respeitar os preceitos fundamentais e as considerações de segurança em relação às aplicações do treinamento muscular excêntrico, especialmente durante a fase inicial de implementação, e os profissionais devem estar cientes dos potenciais efeitos prejudiciais das ações excêntricas, bem como as formas de prevenir sua ocorrência (HODY et al., 2019).

O treinamento excêntrico apresenta propriedades neurais, mecânicas e fisiológicas únicas (HODY et al., 2019). De forma bem resumida, suas propriedades mais marcantes

incluem um menor custo energético para produção de força com uma mesma carga (ORTEGA et al., 2015), alta produção de força (KELLY et al., 2015), e redução da mesma nos dias subsequentes (HORTOBÁGYI et al., 1998; ŞENIŞIK et al., 2008) e ser metabolicamente menos exigente (PEÑAILILLO et al., 2013). O treinamento excêntrico também gera maior adaptação neural (PEÑAILILLO et al., 2013), maior dano muscular (HODY et al., 2019), maior dor muscular de início tardio (DOMS) (FRIDEN; LIEBER, 2001; ŞENIŞIK et al., 2008), maior ruptura miofibrilar (HORTOBÁGYI et al., 1998), maior sinalização anabólica (HODY et al., 2019), menor percepção de esforço (REEVES et al., 2009), menor demanda cardiorrespiratória, menores níveis de fadiga (HODY et al., 2019), redução na atividade EMG (HORTOBÁGYI et al., 1998), na atividade nervosa central, no recrutamento de unidades motoras (HODY et al., 2019), e na amplitude de movimento (ADM) (FRIDEN; LIEBER, 2001; ŞENIŞIK et al., 2008), desorganização da estrutura muscular (MATTA et al., 2019), mudança nas propriedades contrateis (BEATO et al., 2021), na composição da matriz extracelular (MACKEY et al., 2019), nos componentes do tecido conjuntivo e nos componentes da membrana (HYLDAHL; HUBAL, 2014), e, por fim, alterações nos parâmetros bioquímicos (creatina quinase e mioglobulina) (HORTOBÁGYI et al., 1998; ŞENIŞIK et al., 2008).

Todavia, devido a essas diversas características e as inúmeras aplicações práticas do treinamento excêntrico nos esportes, reabilitação e nas condições patológicas, é justificável a necessidade de elucidar os mecanismos subjacentes ao efeito agudo e crônico do treinamento excêntrico no músculo esquelético (HODY et al., 2019).

2.2.3. Efeitos Agudos e Subagudos do Treinamento Excêntrico

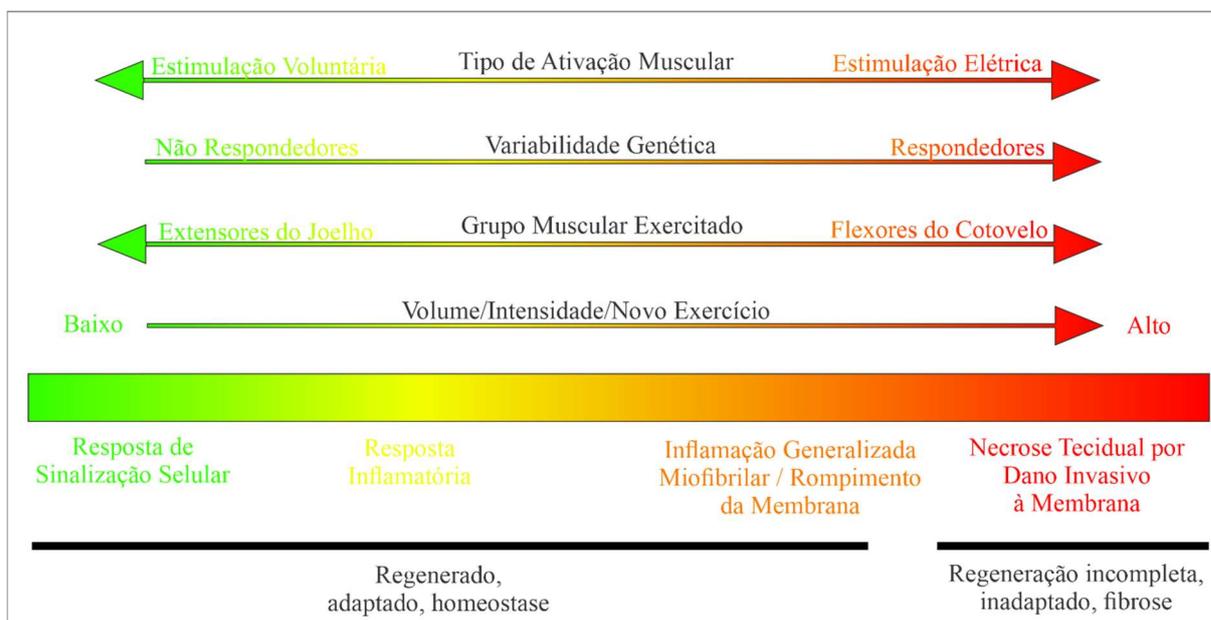
Os efeitos decorrentes da prática de exercícios físicos podem ser classificados em agudos ou agudos imediatos (que ocorrem nos períodos peri e pós-imediato ao exercício), subagudos ou agudos tardios (que ocorrem ao longo das primeiras 24, 48 ou 72 horas pós exercício), e crônicos (MONTEIRO; SOBRAL FILHO, 2004). Neste tópico abordaremos os efeitos agudos e subagudos relacionados ao treinamento excêntrico.

Apesar dos inúmeros efeitos positivos do treinamento excêntrico, o mesmo apresenta algumas adaptações diferentes das encontradas nos treinamentos convencionais, como o processo de dano/reparação tecidual e um aumento da fadiga prolongada, em que o treinamento excêntrico apresenta mudanças significativas nos indicadores de dano muscular e edema muscular, desencadeando uma perda prolongada da função muscular, perda de força mesmo

após 5 dias de destreinamento, e aumento da dor muscular severa (KRENTZ; FARTHING, 2010; NOSAKA; CLARKSON, 1996). Essas desvantagens, principalmente a recuperação mais lenta e o processo de dano muscular induzido pelo exercício, tem levado a opiniões divergentes no que tange a utilização do treinamento excêntrico na prática clínica (HODY et al., 2019).

A magnitude das respostas inflamatórias após o exercício excêntrico e seus danos secundários às proteínas miofibrilares, são dependentes de fatores como o grupo muscular exercitado, o modo de ativação muscular, variabilidade genética dos indivíduos e, principalmente, o estímulo caracterizado como novo, sendo assim, as respostas musculares após as ações excêntricas funcionam como um *continuum* (Figura 2) (HYLDAHL; HUBAL, 2014). Com isso, as consequências funcionais associadas ao dano muscular induzido pelo exercício (EIMD) podem atrapalhar o progresso dos programas de treinamento e reabilitação, além de desencorajar a continuidade da prática de treinamento físico (HODY et al., 2019).

Figura 2 – *Continuum* de danos nas fibras musculares após ações excêntricas.



Legenda da figura: Proposta de *continuum* de danos às fibras musculares após ações excêntricas. A resposta do indivíduo a uma sessão de treinamento excêntrico é dependente de fatores, como o tipo de ativação muscular, a variabilidade genética, o grupo muscular exercitado, o volume, a intensidade e o novo exercício. Onde, esses fatores podem levar a respostas inflamatórias mais graves ou a adaptações mais brandas. Adaptada de Hyldahl e Hubal (2014).

2.2.3.1. Dano Muscular Induzido por Exercício (EIMD) Excêntrico

O dano muscular induzido pelo exercício (EIMD) apresenta um grande efeito na capacidade de realização de exercícios subsequentes, e é caracterizado por um aumento da tensão passiva, aumento da concentração de enzimas e proteínas musculares no sangue, perda da função muscular (força muscular e amplitude de movimento), do desempenho (salto vertical), surgimento de dor muscular de início tardio (DOMS), alterações ultraestruturais na arquitetura muscular e inchaço muscular (edema) (HOWATSON; VAN SOMEREN, 2008; PEAKE; NOSAKA; SUZUKI, 2005; PEÑAILILLO et al., 2013).

Acredita-se que a sequência de eventos que leva ao EIMD relacionado ao treinamento excêntrico envolva a interrupção mecânica dos sarcômeros, seguida por um comprometimento do acoplamento excitação-contração, da sinalização de Ca^{2+} e, posteriormente, ativação das vias de degradação sensíveis ao Ca^{2+} (PEAKE; NOSAKA; SUZUKI, 2005).

Os riscos associado ao exercício excêntrico incluem EIMD (dano ultraestrutural, permeabilidade sarcolemal prejudicada, dano na matriz extracelular), DOMS (hiperalgesia mecânica, dor, sensibilidade, inchaço, rigidez), função muscular prejudicada (perda da capacidade de geração de força, diminuição da amplitude de movimento, função proprioceptiva prejudicada, modificação do padrão biomecânico, performance atlética diminuída), aumento do risco de lesões musculares, tendíneas e articulares, rabdomiólise por esforço, tubulopatia renal associada e respostas imunes e inflamatórias), que costumam aparecer entre 12 à 24 horas pós exercício e tem seu pico entre 24 e 72 horas pós exercício, tendendo a diminuir de forma progressiva, e com seu desaparecimento ocorrendo por volta de 5 a 7 dias pós exercício (HODY et al., 2019).

Alguns aspectos são considerados modificadores da resposta ao EIMD, como sexo, estado de treinamento, uso de estatina, genética, doença muscular pré-existente e uso de suplementos nutricionais (HYLDAHL; HUBAL, 2014).

2.2.3.2. Perda da Função Muscular como consequência do Treinamento Excêntrico

Os mecanismos moleculares que causam a perda de força após as ações excêntricas não foram completamente elucidados, no entanto existem algumas teorias que buscam elucidar

esses mecanismos, como: a tensão resultante das ações excêntricas atuando na não uniformidade dos meio sarcômeros e fazendo com que parte dos sarcômeros sejam esticados além da sobreposição de filamentos, o que resultaria em “sarcômeros estourados”; o super estiramento dos sarcômeros que resultariam na perda de força e na sobrecarga das estruturas da membrana e dos túbulos T, precipitando a abertura dos canais ativados por estiramento; a ruptura da membrana; a disfunção do acoplamento excitação-contração; e o subsequente influxo de Ca^{2+} extracelular, promovendo a degradação de proteínas contráteis e/ou proteínas de acoplamento excitação-contração via calpaínas ativadas por Ca^{2+} (HYLDAHL; HUBAL, 2014). Mudanças moleculares de algumas proteínas e genes (alfa-actina 3, gama-actina, repetição de anquirina 1, proteína 1ª de ligação a tacrolimo, proteína quinase B, células T citotóxicas e) também parecem estar envolvidos na perda de forças após EIMD (HYLDAHL; HUBAL, 2014).

Toda essa cascata de efeitos gera uma perda prolongada de força muscular e amplitude de movimento (ADM), com pico entre 24 e 48 horas pós exercício (FRIDEN; LIEBER, 2001). Além de modificação do padrão biomecânico (marcha, corrida, ações esportivas), diminuição da performance atlética e prejuízo da função proprioceptiva (HODY et al., 2019).

Passadas 48 horas após uma sessão de treinamento excêntrico o declínio na força muscular é cerca de 37%, enquanto na atividade eletromiográfica (EMG) a diminuição é em torno de 28% (HORTOBÁGYI et al., 1998). Nos flexores do cotovelo a perda de força é de, aproximadamente 50% pós exercício, que apesar de sofrer atenuação ao longo do tempo, ainda apresenta diminuições mesmo após 72 horas (37%) (MATTA et al., 2019). No ciclismo excêntrico também são encontradas perda na função muscular, principalmente na força (MVC) e no desempenho (salto vertical) (PEÑAILILLO et al., 2013).

Aparentemente, alguns fatores impactam diretamente na perda da função muscular, como nível de treinamento (indivíduos treinados apresentam menor perda de força e amplitude de movimento com o treinamento excêntrico) (NEWTON et al., 2008), grupamento muscular (flexores do cotovelo respondem com maior magnitude em relação a força e amplitude de movimento) (ŞENIŞIK et al., 2008) e tipo de treinamento (treinamento excêntrico máximo gera maior perda da função muscular que o submáximo) (NOSAKA; NEWTON, 2002).

2.2.3.3. Inchaço Muscular (Edema)

Outro efeito subagudo decorrente do treinamento excêntrico é o inchaço muscular (edema). Na musculatura dos flexores do cotovelo é possível identificar edema muscular significativo de 24 a 72 horas após o exercício excêntrico em ambas as regiões do braço (proximal e distal), no entanto, parece não haver uniformidade no edema muscular apresentado, atingindo valores mais elevados na região distal do músculo, 24 (37%), 48 (60%) e 72 (97%) horas após o exercício (MATTA et al., 2019). Aparentemente, o edema também é uma característica que depende de alguns fatores, como o nível de treinamento (homens com experiência prévia em treinamento resistido apresentam menores mudanças na circunferência do membro após o exercício excêntrico, quando comparados com indivíduos não treinados) (NEWTON et al., 2008), e o tipo de treinamento (treinamento máximo gera um maior inchaço muscular, comparado com o submáximo) (NOSAKA; NEWTON, 2002).

2.2.3.4. Dor Muscular de Início Tardio (DOMS)

O exercício excêntrico não habitual pode induzir a danos musculares, manifestados por diminuição na função muscular e surgimento de dor muscular de início tardio (DOMS) (HODY et al., 2019). No ciclismo excêntrico os efeitos são semelhantes, com exacerbada perda da função muscular (força MVC, salto vertical e DOMS perceptível) (PEÑAILILLO et al., 2013).

O mecanismo relacionado a DOMS pode ser explicado por uma série de eventos, iniciando-se no dano mecânico causado pelo exercício, que causará dano nas miofibrilas, liberando quimiocina na circulação, através das células intersticiais. Essas reações iniciarão uma resposta inflamatória, levando a síntese de prostaglandina E2 e leucotrienos, sendo as prostaglandinas causadoras diretas da dor, enquanto os leucotrienos agem atraindo os neutrófilos para os locais danificados e aumentando a permeabilidade vascular (CONNOLLY; SAYERS; MCHUGH; 2003; HYLDAHL; HUBAL, 2014). Outro aspecto que pode contribuir para a sensação de dor é o inchaço celular, que resulta do movimento do fluido do sangue para o espaço intersticial (CANDIA-LUJÁN; FERNÁNDEZ; MOREIRA, 2015). Toda essa cascata de efeitos está associada a DOMS, que macroscopicamente gera sensação de desconforto muscular, perda prolongada de força muscular, amplitude de movimento (ADM) reduzida e níveis elevados de creatina quinase (CK) (FRIDEN; LIEBER, 2001).

O pico da DOMS ocorre entre 24 e 48 horas após o exercício excêntrico, sem distinção entre região proximal e distal (MATTA et al., 2019), ocasionando na incapacidade de

manutenção da intensidade máxima de treinamento, comprometendo a qualidade dos programas e das sessões de treino (HODY et al., 2019).

2.2.3.5. Demais Efeitos Prejudiciais do Treinamento Excêntrico

Diversos outros efeitos podem ocorrer através do treinamento excêntrico, como dano estrutural, permeabilidade da membrana, rabdomiólise por esforço, dano na matriz extracelular, respostas inflamatórias, aumento do risco de lesões musculares, tendíneas e articulares, alterações nos parâmetros bioquímicos, alterações nas respostas fisiológicas, baixo custo metabólico e baixa percepção de esforço.

Na estrutura muscular as contrações excêntricas causam desorganização (MATTA et al., 2019) e dano ultraestrutural (rupturas do citoesqueleto, ruptura miofibrilar, desintegração do disco Z, desorganização da banda A, perda da desmina intracelular, perda da integridade celular, evidenciada por dano sarcolemal, hiper concentração de fibras lesadas e invasão de células inflamatórias) (FRIDEN; LIEBER, 2001). Na membrana muscular ocorre aumento da permeabilidade e surgimento de proteínas musculares na circulação, tendo como mecanismo mais aceito a ativação de canais de Na^+ e Ca^{2+} ativados por estiramento, além de, outros mecanismos, como a ativação de canais iônicos, que podem ser mais aceitos devido a sua permanência por vários dias após o treinamento (HYLDAHL; HUBAL, 2014). O treinamento excêntrico não habitual também pode resultar em um vazamento clinicamente significativo de proteínas musculares no sangue, além do que ocorre pela permeabilidade da membrana, caracterizando rabdomiólise por esforço (HYLDAHL; HUBAL, 2014).

Na matriz extracelular (MEC), as interações entre os múltiplos compartimentos da MEC e as miofibrilas, desempenham um papel fundamental nas respostas moleculares derivadas do estresse excêntrico (HYLDAHL; HUBAL, 2014), gerando mudança na composição da matriz extracelular (aumento da intensidade da coloração do colágeno tipo IV no endomísio muscular, e níveis alterados da metaloproteinase da matriz 9 (MMP-9) e do inibidor tecidual de metaloproteinase 1 (TIMP-1), pós exercício excêntrico. (MACKEY et al., 2019).

O treinamento excêntrico também desencadeia respostas inflamatórias e imunes, como o acúmulo precoce de leucócitos, principalmente neutrófilos, nos vasos sanguíneos do músculo lesado, bem como no perimísio, imediatamente após o exercício (HODY et al., 2019). Alguns fatores parecem mediar essas respostas inflamatórias, como sexo (mulheres apresentam maiores níveis de infiltração de leucócitos no músculo do que os homens), idade (o envelhecimento

parece estar associado a uma resposta inflamatória prejudicada ao exercício excêntrico), tipo de exercício (em exercícios excêntricos envolvendo grande massa, as contagens de leucócitos circulantes e as concentrações sistêmicas de citocinas parecem aumentar mais em relação a exercícios excêntricos isolados, além de retornarem aos níveis basais mais rapidamente), e a carga excêntrica anterior (PEAKE; NOSAKA; SUZUKI, 2005). Esses efeitos nas respostas inflamatórias também podem desencadear em progressão do dano muscular para lesão miotendínea causado pelo treinamento excêntrico, que parece ser dependente de uma série de respostas inflamatórias excessivamente agressivas, que ao longo do tempo, não permitem que a musculatura se adapte ao estresse e carga mecânica aplicadas (BUTTERFIELD, 2010).

O treinamento excêntrico também gera respostas nos marcadores bioquímicos (creatina quinase e mioglobulina). Com pico entre 24 e 48 horas pós exercício, na elevação de creatina quinase (CK) (FRIDEN; LIEBER, 2001), atingindo aumentos de 220% (HORTOBÁGYI et al., 1998). Mas que também é dependente de alguns fatores, como grupo muscular (os flexores do cotovelo respondem com maior magnitude ao treinamento excêntrico, em relação a marcadores bioquímicos) (ŞENIŞIK et al., 2008), e o nível de treinamento (homens com experiência prévia em treinamento resistido apresentam menores mudanças na CK, após o exercício excêntrico, quando comparados com indivíduos não treinados) (NEWTON et al., 2008).

O treinamento excêntrico também gera alterações fisiológicas e metabólicas, como efeitos na captação de glicose nas primeiras horas pós exercício (captação de glicose é estimulada a níveis iguais ou superiores as ações concêntricas e isométricas, e a captação máxima de glicose estimulada pela insulina é prejudicada em comparação com o repouso ou após ações isométricas e concêntricas) (ANDERSEN; NIELSEN; OVERGAARD, 2019), diminuição da sensibilidade à insulina, diminuição no conteúdo da proteína transportadora de glicose (GLUT4) na membrana plasmática, diminuição na degradação oxidativa e aumento na degradação não oxidativa de glicose (STOŽER; VODOPIVC; BOMBEK, 2020), menor produção de lactato e possivelmente diminuição no potencial glicogenolítico, redução na capacidade de transporte de lactato/ H^+ do sarcolema e na capacidade de tamponamento físico-químico (até dois dias após contrações excêntricas) (PILEGAARD; ASP, 1998), redução no pH intracelular de repouso ($\sim 0,17$ menor quando comparado com contrações isométricas), aumento significativo da acidose, e desaceleração na taxa de recuperação da acidose, provavelmente causada pela diminuição na atividade do trocador Na^+/H^+ (Na^+/H^+ exchanger (NHE)) (YEUNG et al., 2002).

O custo energético para produção de força, com uma mesma carga, é 50% maior em uma contração concêntrica quando comparada com uma contração isométrica, enquanto em uma contração excêntrica o custo se torna ainda mais reduzido, sendo aproximadamente 10% menor em relação a uma contração isométrica (ORTEGA et al., 2015). No treinamento de ciclismo excêntrico, também ocorre alteração nos parâmetros metabólicos, sendo uma menor frequência cardíaca (em torno de 19%), menor lactato sanguíneo (em torno de 65%), menor consumo de oxigênio (em torno de 50%), e menor percepção subjetiva de esforço (em torno de 22%) (PEÑAILILLO et al., 2013). Apesar da menor percepção subjetiva de esforço (PSE), quando comparamos a PSE em dois protocolos de treinamento excêntrico (carga submáxima e supramáxima), encontramos uma maior PSE relacionada aos protocolos supramáximos (KRENTZ; CHILIBECK; FARTHING, 2017).

2.2.4. Efeitos do Treinamento Repetido (*Repeated Bout Effect*)

Visando diminuir os efeitos do EIMD, uma série de intervenções terapêuticas e/ou profiláticas tem sido testadas. Entre elas podemos citar as estratégias nutricionais e farmacológicas (suplementação com antioxidantes ou β -hidroxi- β metilbutirato), terapias manuais e exercícios (alongamento e massagem), terapias elétricas e crioterapia. No entanto, a eficácia dessas intervenções é muitas vezes moderada e com resultados inconsistentes (HOWATSON; VAN SOMEREN, 2008). Por outro lado, uma estratégia que se mostra consistente e com evidências inequívocas, é o efeito protetor através de sessões anteriores de treinamento excêntrico, principalmente, quando feitas com uma progressão linear (HOWATSON; VAN SOMEREN, 2008), que sofre influência de fatores como intensidade, velocidade, volume, comprimento muscular, grupo muscular, sexo e idade (HYLDAHL; CHEN; NOSAKA, 2017). Em suma, até o momento, a realização de sessões repetidas de treinamento excêntrico submáximo com incremento progressivo de carga, parece ser a estratégia mais robusta para atenuar o EIMD e a DOMS (HODY et al., 2019; HYLDAHL; HUBAL, 2014).

Os mecanismos por trás do efeito protetor conferido por uma sessão de treinamento excêntrico repetido ainda são em grande parte especulativos (HODY et al., 2019). O que parece é que esse efeito, conhecido como efeito da repetição do estímulo, que é ocasionado quando a musculatura esquelética se adapta ao EIMD ficando protegida dos efeitos deletérios em estímulos subsequentes, induz a adaptação neural (alteração no recrutamento de unidades

motoras), alterações nas propriedades mecânicas (remodelação do complexo musculotendíneo), remodelação estrutural da matriz extracelular (MEC) e sinalização bioquímica (resposta inflamatória) (CLARKSON; HUBAL, 2002; HYLDAHL; CHEN; NOSAKA, 2017). Ambos os mecanismos podem atuar de forma independente, como, a remodelação da MEC, que gera melhora da complacência do tendão, reduzindo a tensão muscular e o dano subsequente e a resposta inflamatória, que em uma segunda sessão de treinamento excêntrico parece ser influenciada pela adaptação neural da primeira sessão. No entanto, parece mais provável que os mecanismos atuem em conjunto para coordenar o RBE (*Repeated Bout Effect*), sendo as adaptações iniciais (24 horas a 14 dias) conduzidas por mecanismos neurais e inflamatórios, e as adaptações posteriores (14 dias a 42 dias) mais relacionadas a com remodelação da MEC (HYLDAHL; CHEN; NOSAKA, 2017).

O exercício excêntrico repetido, 3 e 6 dias após a primeira sessão, não afeta a recuperação da primeira sessão, onde não há indicação de dor recém-produzida após as sessões subsequentes, o que sugere que a primeira sessão de exercício excêntrico produz danos substanciais a musculatura esquelética, no entanto, as séries subsequentes não exacerbam esse dano e não afetam a recuperação (NOSAKA; CLARKSON, 1995). Em relação as variáveis de desempenho, 48 horas após uma segunda sessão de treinamento excêntrico não ocorrem alterações significativas na força, EMG, CK ou dor, mas ainda há indicação de ruptura miofibrilar (HORTOBÁGYI et al., 1998). A contagem de neutrófilos e a expressão de receptores de superfície celular de leucócitos também é atenuada, enquanto, grandes diferenças nas respostas das citocinas, não ocorre, o que pode indicar atenuação do grau de dano muscular (PEAKE; NOSAKA; SUZUKI, 2005). Por fim, o treinamento excêntrico unilateral dos extensores do joelho, parece conferir um RBE ao membro contralateral demonstrado por menores alterações nos marcadores indiretos (HODY et al., 2013).

Em outra modalidade de exercício excêntrico, também é possível notar os benefícios do RBE, onde em uma segunda sessão, após duas semanas, de ciclismo excêntrico, quase nenhum sintoma de dano muscular (força MVC, salto vertical e DOMS) foi encontrado, sendo possível notar uma diminuição na EMG proveniente de uma redução na ativação dos motoneurônios, além de uma diminuição do estresse metabólico (redução de 35% no lactato sanguíneo) e da frequência cardíaca (redução de 12 % em relação a primeira sessão) (PEÑAILILLO et al., 2013).

Esses resultados sugerem que a rápida recuperação da força após o exercício excêntrico é mediada, em partes, por adaptação neural, e ocorre independentemente da presença de ruptura

celular, estabelecendo um limite para geração excessiva de força e melhoria da distribuição da carga de trabalho entre as fibras musculares (HORTOBÁGYI et al., 1998; NOSAKA; CLARKSON, 1995; PEÑAILILLO et al., 2013).

2.2.5. Efeitos Crônicos do Treinamento Excêntrico

Embora nem sempre óbvias, as ações excêntricas são parte integrante da maioria dos movimentos realizados durante as atividades diárias e na prática esportiva, nesse último, sendo aplicado por muitos anos visando melhoria de desempenho (HODY et al., 2019).

As melhorias encontradas com o treinamento excêntrico incluem a melhora da função muscular (coordenação, potência, força concêntrica e excêntrica, hipertrofia, grande efeito da educação cruzada, mudança da relação comprimento-tensão do músculo, diminuição do risco de quedas, prevenção e redução da sarcopenia) (HODY et al., 2019; MAROTO-IZQUIERDO et al., 2017), melhora do desempenho atlético (altura do salto e velocidade de corrida) (MAROTO-IZQUIERDO et al., 2017), remodelação do tendão e baixa demanda metabólica, que desencadeiam em benefícios específicos em diferentes aplicações, como baixo débito cardíaco, baixo custo energético (HESSEL; LINDSTEDT; NISHIKAWA, 2017), maior adaptação neural (PEÑAILILLO et al., 2013), menor percepção de esforço (REEVES et al., 2009), e melhoria de parâmetros associados à saúde (aumento de massa magra, redução de massa gorda, aumento do gasto energético em repouso, da oxidação de gordura e da sensibilidade à insulina, e melhora do perfil lipídico) (HODY et al., 2019).

O treinamento excêntrico induz a múltiplas aplicações, como nos esportes competitivos, na reabilitação, nas doenças crônicas, na sarcopenia (HODY et al., 2019), na osteoporose, na tendinose, na manutenção da densidade muscular e óssea, na recuperação de lesões esportivas, na hipertrofia muscular, no aumento da mineralização óssea, na melhora da remodelação do tendão pós lesão, e para astronautas em viagens espaciais (HESSEL; LINDSTEDT; NISHIKAWA, 2017).

2.2.5.1. Força / Desempenho

O treinamento excêntrico com carga externa superior à intensidade relativa do treinamento concêntrico, é um potente estímulo para aperfeiçoamento da função mecânica, adaptações morfológicas e arquitetônicas das unidades miotendíneas, além de melhorias no

desempenho da força, potência e velocidade (DOUGLAS et al., 2017). Quando comparado com o treinamento tradicional (concêntrico), o excêntrico apresenta resultados mais expressivos nos ganhos de força, principalmente quando se compara os efeitos do treinamento excêntrico na força excêntrica e do treinamento concêntrico na força concêntrica, onde o treinamento excêntrico apresenta uma magnitude de incremento de força superior ao treinamento concêntrico, gerando maiores evoluções percentuais (HIGBIE et al., 1996; ROIG et al., 2009). Essa eficácia superior do treinamento excêntrico nos ganhos de força parece estar relacionada a capacidade de atingir maiores cargas durante as ações excêntricas (REEVES et al., 2009).

Quando se analisa as diferenças entre o supino concêntrico e excêntrico, encontramos que o excêntrico apresenta 1RM significativamente maior (124% do 1RM concêntrico), e número de repetições a 90% de 1RM específico também maior no excêntrico (KELLY et al., 2015). Essas características no treinamento excêntrico podem, de forma crônica, induzir a melhorias de desempenho do 1RM no supino em aproximadamente 6,5%, mesmo em um curto período (4 semanas) (MONTALVO et al., 2021). Nos flexores do joelho as melhorias na força podem apresentar adaptações um pouco divergentes, onde os dois tipos de treinamento realizados (concêntrico ou excêntrico), geram melhoria na força concêntrica e excêntrica, independente do treinamento realizado (TIMMINS et al., 2015).

Além da força, o treinamento excêntrico desencadeia melhorias nos testes de mobilidade, flexibilidade, equilíbrio, força e potência nos indivíduos saudáveis, e dado seu menor esforço percebido e baixo custo energético é uma modalidade com alta aplicabilidade em pacientes com baixa tolerância ao exercício, baixa capacidade ou que apresentam comorbidades (ANSARI et al., 2023; LINDSTEDT; LASTAYO; REICH, 2001). Quando analisamos o treinamento reforçado excentricamente, encontramos maiores ganhos em relação a força concêntrica e excêntrica, potência muscular e hipertrofia, bem como melhorias nas capacidades de velocidade e salto, quando incluídos uma fase excêntrica antes, como no salto contra movimento (MAROTO-IZQUIERDO et al., 2017). Já o ciclismo excêntrico é uma modalidade viável para melhora da força muscular, hipertrofia, capacidade funcional, potência aeróbica, e composição corporal (BARRETO et al., 2023).

2.2.5.2. Adaptações Neurais

As ações excêntricas apresentam propriedades únicas, o que permite uma magnitude de produção de força extremamente alta e um custo energético extremamente baixo. Em

consequência, a musculatura exposta ao treinamento excêntrico crônico, tende a responder com grandes aumentos de força e tamanho, além de mudanças nas propriedades elásticas do músculo, que se devem, provavelmente, a aspectos neurais e estruturais (LINDSTEDT; LASTAYO; REICH, 2001). Essa melhora do controle neuromuscular se dá através de alterações na morfologia muscular e na atividade neural periférica e central (recrutamento e disparo do neurônio motor alfa, ativação cerebral, excitabilidade corticospinal, atividade do sarcolema) (LEPLEY et al., 2017), e aumento da atividade reflexa monossináptica (HORTOBÁGYI et al., 1998), gerando uma significativa melhora da função muscular (HEDAYATPOUR; FALLA, 2015), aumentando a ativação da musculatura agonista e diminuindo a coativação da musculatura antagonista (KRENTZ; FARTHING, 2010). Além de melhorar a coordenação e otimizar o desenvolvimento de tensão em maiores graus de estiramento da musculatura (VOGT; HOPPELER, 2014).

Outro benefício proveniente da adaptação neural causada pelo treinamento excêntrico é a redução nos valores da EMG em relação ao basal, para o peitoral maior (MONTALVO et al., 2021). E quando o treinamento é repetido, nota-se uma redução ainda maior na ativação dos motoneurônios (PEÑAILILLO et al., 2013).

2.2.5.3. Desempenho Esportivo

Embora nem sempre óbvias, as ações excêntricas são parte integrante da maioria dos movimentos realizados durante as atividades diárias e prática esportiva (HODY et al., 2019). Essas ações excêntricas podem ser integradas em diferentes tipos de treinamento muscular, sendo bastante utilizados através de exercícios pliométricos que são frequentemente utilizados no treinamento esportivo, para melhoria da velocidade, capacidade de salto, força, coordenação (HODY et al., 2019), pico de potência (MONTALVO et al., 2021), mudança de direção (BEATO et al., 2021), corrida, e arremesso, além de otimizar o trabalho amortecedor dos músculos durante os movimentos de alongamento e desaceleração, como no esqui alpino (VOGT; HOPPELER, 2014).

2.2.5.4. Idosos / Clínicos

O exercício excêntrico pode se tornar uma atraente alternativa ao exercício tradicional, visando o encorajamento de pessoas sedentárias a aderirem a prática de atividades físicas.

Principalmente pela sua maior facilidade de execução em comparação com os tradicionais (por exemplo, caminhada em declive em comparação com caminhada plana) (ANSARI et al., 2023), seus benefícios na força e potência, e seu baixo custo energético (LINDSTEDT; LASTAYO; REICH, 2001).

Adultos mais velhos e/ou idosos podem realizar exercícios excêntricos com intensidades altas e baixas, apresentando baixo ou nenhum risco de lesões, enquanto os benefícios podem ser múltiplos, como, a melhora da execução de atividades da vida diária, prevenção da sarcopenia, prevenção da osteoporose, prevenção da tendinose, manutenção da densidade muscular, aumento da mineralização óssea, neutralização do declínio no funcionamento físico relacionado a idade, prolongamento da autossuficiência dos idosos, melhoramento da qualidade de vida, e prevenção de doenças crônicas (CVEČKA et al., 2023; HESSEL; LINDSTEDT; NISHIKAWA, 2017; HODY et al., 2019).

Em idosos e pacientes clínicos que sofrem de doença pulmonar obstrutiva ou insuficiência cardíaca, o treinamento excêntrico se torna atraente, tendo em vista sua característica de baixo custo energético, baixa percepção de esforço e baixo débito cardíaco, ao mesmo tempo que gera grandes adaptações na força e na prevenção da perda de massa muscular (sarcopenia) (HESSEL; LINDSTEDT; NISHIKAWA, 2017; LINDSTEDT; LASTAYO; REICH, 2001). O ciclismo excêntrico também é uma modalidade atraente para esses grupos, tendo em vista sua superioridade em relação ao ciclismo concêntrico, na força e na potência aeróbica em pacientes com doenças cardiopulmonares (BARRETO et al., 2023).

A demonstração de que o treinamento excêntrico pode ser empregado sem danos e dor, permite considerar a adoção desta modalidade de treinamento em condições clínicas (HODY et al., 2019). Quando comparado com modalidades tradicionais de exercícios, o exercício excêntrico não apresenta benefício para o controle da glicose, no entanto, gera aumentos significativos na força muscular geral (isométrica, concêntrica e excêntrica), e diminuição em alguns marcadores de saúde cardiovascular (pressão arterial sistólica e pressão arterial diastólica) (ANSARI et al., 2023), melhora do perfil lipídico (HODY et al., 2010). Além de, conferir benefícios aos pacientes pós-cirúrgicos e as populações com algumas doenças neuromusculares (HYLDAHL; HUBAL, 2014).

2.2.5.5. Lesões

O treinamento excêntrico é uma modalidade que apresenta múltiplas aplicações, como, na prevenção e reabilitação (HODY et al., 2019), sendo um modo seguro e eficaz de exercício para recuperação de pacientes que sofrem de fraqueza muscular após lesão (LEPLEY et al., 2023). As intervenções excêntricas são comprovadamente superiores às intervenções convencionais na recuperação das lesões esportivas, na reabilitação, no aumento da mineralização óssea, e na melhora da remodelação do tendão pós lesão (HESSEL; LINDSTEDT; NISHIKAWA, 2017), devido a sua característica de aumento da rigidez muscular que confere proteção contra lesões miotendíneas (LINDSTEDT; LASTAYO; REICH, 2001). Além de, se mostrar uma estratégia eficaz para pacientes com algum impedimento parcial em um dos membros, onde em um treinamento unilateral, a musculatura contralateral também recebe uma adaptação protetora, embora a magnitude seja inferior à do músculo ipsilateral (HYLDAHL; CHEN; NOSAKA, 2017). Contudo, um programa adequado e eficaz de treinamento excêntrico na prevenção de lesões pode ser composto por um período de 21 a 30 semanas, com uma frequência semanal de duas vezes (HU et al., 2023).

O treinamento de força tradicional é um valioso componente na prevenção de lesões por estiramento nos isquiotibiais. No entanto, as respostas agudas e as adaptações crônicas parecem ocorrer de maneira heterogênea de acordo com os diferentes exercícios (BOURNE et al., 2018).

Aparentemente, o condicionamento excêntrico dos flexores do joelho é o principal responsável pela redução dos riscos de lesão nos membros inferiores (28%), nos isquiotibiais (46%), nos joelhos (34%), além de quadris e tornozelos, quando a complacência é adequada (BOURNE et al., 2018; HU et al., 2023). Esses benefícios são mediados, provavelmente, pelo aumento no comprimento do fascículo, pela mudança do ângulo do pico de torque flexor do joelho e pela melhora da força excêntrica (BOURNE et al., 2018). Em jogadores de futebol masculino de elite, maiores níveis de força excêntrica e fascículos com comprimentos mais longos são associados a menores índices de lesão nos isquiotibiais (TIMMINS et al., 2016). No futebol amador, o treinamento excêntrico também diminui a incidência de lesões nos isquiotibiais, mas não afeta a gravidade das lesões (VAN DER HORST et al., 2015).

Na reabilitação de lesões, o treinamento excêntrico também se torna um importante componente na recuperação dos isquiotibiais (MACDONALD et al., 2019). Resumidamente, um programa de treinamento focado na prevenção e/ou recuperação de lesões por estiramento dos isquiotibiais deve levar em consideração a seleção de exercícios na ativação muscular, na arquitetura, na morfologia e na função dos músculos isquiotibiais (BOURNE et al., 2018).

Associado a terapia adjuvante o treinamento excêntrico se mostrou benéfico em relação a redução da dor e melhora da função muscular no tratamento da tendinopatia lateral do cotovelo (YOON et al., 2021). E de maneira isolada, se mostrou eficaz no tratamento da tendinopatia dolorosa em vários locais do corpo (tendão de Aquiles, tendão patelar, manguito rotador e cotovelo lateral) (MURTAUGH; IHM, 2013).

No fortalecimento e ganho de massa muscular do quadríceps em atletas submetidos à reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA) o treinamento excêntrico isocinético se mostrou superior ao treinamento excêntrico convencional (VIDMAR et al., 2020).

2.2.5.6. Hipertrofia

Dentro de um programa de treinamento físico visando hipertrofia é importante que ocorra a utilização de ações concêntricas e excêntricas. No entanto, quando se compara o treinamento excêntrico com o concêntrico, o treinamento excêntrico parece ser ligeiramente mais eficaz nos aumentos da espessura muscular (hipertrofia) e nas adaptações na área de secção transversal do músculo, mas esses resultados não apresentam significância estatística (HIGBIE et al., 1996; KRENTZ; FARTHING, 2010; ROIG et al., 2009; SCHOENFELD et al., 2017). Vale ressaltar também, que a maioria dos estudos avaliando esse tópico, comparou repetições totais e não trabalho total, o que indicaria que o maior trabalho associado ao treinamento excêntrico, que envolve a utilização de cargas maiores, poderia ser responsável por essa ligeira diferença na hipertrofia (SCHOENFELD et al., 2017). Portanto, quando o volume e a intensidade do treinamento são equalizados, tanto o treinamento excêntrico quanto o concêntrico, parecem ter melhorias de magnitude semelhantes, entretanto, é fato que um maior volume de treinamento com menor custo metabólico é facilmente aplicado no treinamento excêntrico, o que daria uma grande vantagem para esse tipo de treinamento, principalmente em populações intolerantes ao exercício (HYLDAHL; HUBAL, 2014).

Quando comparamos o treinamento excêntrico realizado com cargas supramáximas e o treinamento excêntrico com cargas submáximas, encontramos diferenças significativas em relação a hipertrofia, que é mais pronunciada nos protocolos com cargas supramáximas (KRENTZ; CHILIBECK; FARTHING, 2017).

De forma geral, o treinamento excêntrico aumenta a massa muscular, o comprimento do fascículo, a amplitude de trabalho, o número de sarcômeros e a área de secção transversa das fibras do tipo II, além de um potencial nas transições do tipo de fibra, enquanto, o padrão dessas

melhorias parece ocorrer mais longitudinalmente (adição de sarcômeros em série) (DOUGLAS et al., 2017; LEPLEY et al., 2017; VOGT; HOPPELER, 2014). Quando executado com movimentos rápidos, induz a aumentos nas fibras musculares do tipo II e diminuição das fibras musculares do tipo I (PADDON-JONES et al., 2001). E quando a execução é combinada, o treinamento concêntrico + excêntrico reforçado gera aumentos significativos na área de secção transversa das fibras do tipo IIX, na porcentagem de fibras do tipo IIA, expressando mRNA de miosina de cadeia pesada (MHC) IIX, no nível de mRNAs expressos em fibras glicolíticas rápidas e no lactato pós exercício, em comparação com o treinamento convencional (FRIEDMANN-BETTE et al., 2010).

2.2.5.6.1. Adaptações Arquitetônicas

Apesar da magnitude de hipertrofia semelhante entre as ações concêntricas e excêntricas, as características dessa hipertrofia divergem entre as ações. Onde, o treinamento excêntrico resulta em um aumento do comprimento do fascículo e uma redução no ângulo de penação, enquanto o treinamento concêntrico resulta em uma redução do comprimento do fascículo e um aumento do ângulo de penação do bíceps femoral (TIMMINS et al., 2015). Quando se analisa os extensores do joelho, também ocorrem adaptações divergentes entre as ações excêntricas e concêntricas. Onde, o treinamento excêntrico gera um aumento do comprimento do fascículo, sem alteração significativa do ângulo de penação, enquanto o treinamento concêntrico aumenta o ângulo de penação com pouca alteração no comprimento do fascículo (FRANCHI et al., 2014). Em outro estudo analisando os extensores do joelho de indivíduos mais velhos, o treinamento excêntrico gerou aumentos no comprimento do fascículo e na espessura muscular, no entanto, não gerou aumentos significativos no ângulo de penação, enquanto no treinamento concêntrico ocorreu aumento dos três, contudo, o aumento percentual no comprimento do fascículo foi significativamente maior para o treinamento excêntrico (REEVES et al., 2009). Esses resultados sugerem que o treinamento concêntrico e excêntrico desencadeiam respostas miogênicas diferentes, onde o treinamento concêntrico favorece a adição de sarcômeros em paralelo, mais relacionados com o ângulo de penação, enquanto o treinamento excêntrico induz a aumento fascicular, mais relacionado com a adição de sarcômeros em série (FRANCHI et al., 2014). Essa adaptação do treinamento excêntrico seria de grande valia, tendo em vista que a adição de sarcômeros em série poderia ser benéfica para a musculatura esquelética, pois aumenta a velocidade contrátil, a extensibilidade e permite que

haja uma maior produção de força em comprimentos musculares mais alongados, sem causar a mesma magnitude de dano musculares com um mesmo volume de exercício (BUTTERFIELD, 2010). Contudo, a adição de sarcômeros em série não foi apoiada no estudo de Pincheira et al. (2022), onde, ao contrário do que se esperava, o treinamento excêntrico não resultou em sarcomerogênese, o que se identificou foi que o exercício excêntrico (9 sessões) levou a um aumento no comprimento do fascículo e do sarcômero na região mais distal, que se deu, provavelmente, por adaptações no tecido conjuntivo, na titina e na matriz extracelular. A partir de estimativas foi revelado que não houve adição de sarcômeros em série em nenhuma região do músculo, o que não é consistente com estudos em modelo animal e com a teoria de que a sarcomerogênese sustenta as adaptações no comprimento dos fascículos (PINCHEIRA et al., 2022).

Essas adaptações do treinamento excêntrico em relação ao comprimento do fascículo são de grande valia na prevenção de lesões, tendo em vista que lesões por estiramento nos isquiotibiais ocorrem frequentemente com a musculatura em posição alongada (MARUŠIČ et al., 2020). E o treinamento excêntrico em posição alongada induz a essas adaptações na arquitetura muscular (aumento do comprimento do fascículo e diminuição do ângulo de penação), além de melhorias nos aspectos neuromusculares (aumentos no nível de ativação, na força concêntrica, excêntrica e isométrica) (MARUŠIČ et al., 2020).

Quando se analisa o destreio após o treinamento excêntrico ou concêntrico, o destreio após o treinamento excêntrico parece gerar uma redução significativa no comprimento do fascículo e um aumento do ângulo de penação, retornando aos níveis basais após 28 dias, enquanto o destreio após o treinamento concêntrico parece manter as adaptações arquitetônicas adquiridas durante o período de treinamento (TIMMINS et al., 2015).

2.2.5.6.2. Hipertrofia Heterogênea

Os flexores de cotovelo não se recuperam por completo, mesmo após 72 horas de uma sessão de treinamento excêntrico. É possível identificar edema muscular significativo de 24 a 72 horas após o exercício excêntrico em ambas as regiões do braço (proximal e distal), no entanto, parece não haver uniformidade no edema muscular apresentado, atingindo valores mais elevados na região distal do músculo, 24 (37%), 48 (60%) e 72 (97%) horas após o exercício (MATTA et al., 2019). Com isso, pode se teorizar que a hipertrofia relacionada ao treinamento excêntrico também se apresentaria de forma heterogênea. Logo, analisando-se a hipertrofia do

vasto lateral, foi identificada uma hipertrofia não homogênea, comparando o treinamento concêntrico com o excêntrico, havendo um aumento nas regiões média e distal com o treinamento excêntrico, onde na região distal esse aumento foi mais expressivo, enquanto com o treinamento concêntrico o aumento foi mais pronunciado na região medial, sendo até superior ao aumento encontrado com o treinamento excêntrico para essa região (FRANCHI et al., 2014). Em outro estudo, o treinamento excêntrico também resultou em adaptações (aumento do comprimento do fascículo) apenas na região distal do bíceps femoral (PINCHEIRA et al., 2022), o que corrobora com a teoria de que o treinamento excêntrico resulta em adaptações morfológicas heterogêneas.

2.3. Fadiga Muscular

A capacidade muscular para produção e manutenção da energia, gerando trabalho mecânico, está diretamente ligado ao desempenho esportivo (HEIBEL et al., 2018).

Os exercícios de alta intensidade requerem, quase sempre, esforços máximos ou submáximos, que resultam em mudanças no perfil metabólico intramuscular (LANCHA-JUNIOR, 2015). Durante o exercício de intensidade alta e com duração aproximada de 20 a 30 segundos, o substrato energético é derivado principalmente da glicólise anaeróbica, que permite uma rápida, embora limitada, transferência de energia. Sem uma grande participação do sistema oxidativo, que remove os íons de hidrogênio da célula (H^+), ocorre, de maneira progressiva, o aumento da acidez intracelular, resultando em fadiga e na incapacidade de manutenção da intensidade do exercício (MATSON; TRAN, 1993).

A fadiga muscular é uma experiência comum na vida diária, que pode ser descrita como um fenômeno multifatorial, desencadeado pelo comprometimento de diferentes processos fisiológicos que prejudicam a capacidade de geração de força das proteínas contráteis, que irão resultar em uma redução aguda na capacidade de realizar tarefas motoras, e pode ser mensurada através da redução na força e potência, na mudança da atividade eletromiográfica e na exaustão da função contrátil (ENOKA, 1995; ENOKA; DUCHATEAU, 2008; GONZÁLEZ-IZAL et al., 2012).

A fadiga muscular e a intensidade da fadiga são processos dependentes de uma série de variáveis como carga, volume, frequência e tipo de treinamento realizado, ou seja, é um processo dependente da tarefa ou treinamento que será realizado (ENOKA; DUCHATEAU; 2008). Ao se realizar um exercício físico extenuante, a atividade muscular pode ser

comprometida em resposta a intensa atividade contrátil, com isso, o músculo perde temporariamente parte de sua capacidade de gerar força e potência devido ao processo de fadiga (ENOKA et al., 2011; GRGIC et al., 2021a).

Esses efeitos limitam a capacidade das células musculares para lidarem com a alta demanda de energia durante o exercício e resultam na queda da intensidade ou completa cessação do exercício (LANCHA-JUNIOR, 2015).

Distúrbios iônicos ocorrem durante a contração muscular, provavelmente contribuindo para o fenômeno complexo e multifatorial conhecido como fadiga muscular (SOSTARIC et al., 2006).

2.4. Suplementação

Vários fatores podem influenciar o desempenho atlético e otimizar as adaptações decorrentes do treinamento, incluindo o treinamento prudente e bem orientado, o descanso adequado, e uma dieta balanceada, rica em nutrientes e energia (KERKSICK et al., 2018). Segundo a lei 103-417 de 1994 nos Estados Unidos, uma alimentação saudável, onde a ingestão de certos nutrientes e/ou suplementos dietéticos poderiam prevenir doenças crônico-degenerativas, como câncer, doenças cardíacas e osteoporose, diminuindo gastos a longo prazo e necessidade de procedimentos médico-cirúrgicos de alto custo, promovendo a saúde e prolongando a expectativa de vida, deveriam ser estimulados.

Os suplementos são produtos comercialmente disponíveis, consumidos em adição a uma dieta habitual, e geralmente, são utilizados por atletas e indivíduos treinados recreativamente (KNAPIK et al., 2016). A utilização desses suplementos, visando a melhoria do desempenho, só deve ser realizada a partir de uma base de evidências indicando o uso como legal, seguro e eficaz, tendo sua adequação prática assegurada (MAUGHAN et al., 2018).

Os padrões de utilização dos suplementos podem diferir entre determinadas populações, entre os esportes praticados, sexo dos praticantes, as atividades físicas realizadas e os diferentes resultados almejados (KNAPIK et al., 2016). As diretrizes atuais recomendam que os atletas só considerem o uso de algum suplemento após uma análise baseada nas evidências disponíveis, verificando seu valor em relação aos resultados do treinamento ou desempenho competitivo em eventos específicos (BURKE et al., 2017). Sempre que possível, o atleta ou praticante recreacional deverá testar exaustivamente o suplemento em questão, principalmente em situações que simulem o ambiente de competição ou que apresentem contexto semelhante, para

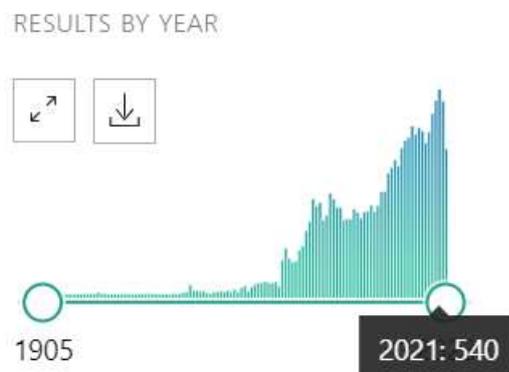
que com isso, os indivíduos cheguem à conclusão se o suplemento utilizado apresenta ganhos que superariam os possíveis riscos associados, pois quando seguros, os suplementos podem contribuir para o desempenho esportivo, saúde e minimização do risco de lesões (MAUGHAN et al., 2018).

Atualmente, alguns suplementos têm um nível de suporte adequado para sugerir que sua utilização apresente resultados positivos, entre eles estão: bebidas esportivas, carboidrato, proteína, aminoácidos, creatina, cafeína, nitrato/suco de beterraba, β -alanina e bicarbonato de sódio e, talvez, fosfato (BURKE, 2017; KERKSICK et al., 2018; MAUGHAN et al., 2018).

2.4.1. Bicarbonato de Sódio (NaHCO_3) – Mecanismos de Ação

Quando consultamos de forma breve o *PubMed* utilizando-se os seguintes termos: (“*sodium bicarbonate*” OR “*NaHCO₃*”) encontramos cerca de 13.021 resultados de 1905 a 2023, sendo o ano de 2021 o ano com maior número de artigos indexados (540) (Figura 3). Os estudos investigando os efeitos dos agentes tamponantes são datados desde a década de 1930 (DENNING et al., 1931). Contudo, esse tipo de estudo começou a ser mais reproduzido a partir das décadas de 1970 e 1980, após descobertas que apresentaram grandes melhorias através da suplementação com NaHCO_3 (JONES et al., 1977; WILKES; GLEDHILL; SMYTH, 1983). Desde então, muitos estudos têm sido realizados utilizando-se de agentes que modificam o pH, como citrato de sódio, cloreto de amônio, lactato de sódio, lactato de cálcio e bicarbonato de sódio, contudo, embora todos demonstrem um certo grau de melhora na prática de exercícios, o último é um dos que apresenta benefícios mais consistentes, com melhorias no desempenho em torno de 1,7%, o que pode se considerar uma melhora de desempenho moderada (CARR; HOPKIN; GORE, 2011; HEIBEL et al., 2018).

Figura 3 –Consulta ao *PubMed* com os termos (“*Sodium Bicarbonate*” OR “ NaHCO_3 ”).



Fonte: Do autor (2023)

Os mecanismos dos efeitos ergogênicos do NaHCO_3 ainda não são totalmente compreendidos, embora, um aumento na capacidade de tamponamento extracelular, desencadeando melhora no desempenho em exercícios de alta intensidade, seja amplamente aceita como mecanismo de ação (GRGIC et al., 2021a; MAUGHAN et al., 2018; MIDDLEBROOK et al., 2021). Isso pode estar associado a um aumento no pH, nas concentrações de HCO_3^- , excesso de base e lactato sanguíneo, que caracterizam alcalose metabólica (CALVO et al., 2021; GRGIC et al., 2021a). Esses aumentos, principalmente do pH extracelular, estimulam o cotransporte de H^+ e lactato para fora das células musculares, via transportadores de monocarboxilato MCT4 e MCT1, melhorando o equilíbrio ácido-base intramuscular, dado que o transporte de lactato é estequiometricamente acoplado com o H^+ , ou seja, o aumento do efluxo de lactato também aumenta o efluxo de H^+ durante o exercício, diminuindo o acúmulo de H^+ intramuscular, reduzindo a acidificação do interstício muscular e, possivelmente, aumentando a taxa glicolítica (GRGIC et al., 2021a; JUEL, 2001; SOSTARIC et al., 2006). Essa atenuação no acúmulo de H^+ permitiria que o processo contrátil e a ressíntese de trifosfato de adenosina (ATP) pela glicólise continuem em condições mais favoráveis, atrasando assim o início da fadiga muscular, impactando diretamente em diversas variáveis de desempenho, possibilitando uma maior sustentação dos exercícios (LANCHA-JUNIOR et al., 2015; MIDDLEBROOK et al., 2021). A melhora do pH intramuscular também pode resultar no aumento da produção de força, através de um possível efeito nas concentrações de Ca^{2+} durante a contração muscular (GRGIC et al., 2021a).

O aumento das concentrações do lactato sanguíneo, através da ingestão de NaHCO_3 , desencadeia uma série complexa de eventos que modelam as atividades das enzimas fosforilase, fosfofrutoquinase e piruvato desidrogenase. Em exercício moderado (60% do $\text{VO}_2\text{máx}$) o estado de alcalose gera uma maior utilização do glicogênio muscular, maior produção de piruvato decorrente de uma maior ação da enzima fosforilase mediada por aumentos nas concentrações de monofosfato de adenosina livre (AMP_f), difosfato de adenosina livre (ADP_f) e fosfato inorgânico livre (Pi_f). A atividade da piruvato desidrogenase (PDH) também sofre acréscimos, moderados pelo aumento nas concentrações de ADP_f , piruvato e Ca^{2+} em PDH quinase, e o aumento na concentração de H^+ na PDH fosfatase, combinados com a diminuição da concentração de Acetil-CoA. O resultado dessas ações é um aumento na oxidação do piruvato, e uma falta de aumento na produção de lactato em intensidade moderada. Em alta intensidade (75% do $\text{VO}_2\text{máx}$) o estado de alcalose aumenta a produção, acúmulo e efluxo do lactato. Esse aumento na produção e no acúmulo intramuscular são resultado da ausência da regulação da glicogenólise e da glicose, que normalmente ocorrem com a diminuição do pH. Ao invés disso, o aumento nas concentrações de ADP_f , AMP_f e Pi_f competem e/ou anulam o efeito do pH, resultando na manutenção da glicogenólise e, portanto, na produção de piruvato. No entanto, a taxa glicogenolítica excede a taxa máxima de PDH, o que resulta em aumento da produção de lactato (HOLLIDGE-HORVAT et al., 2000).

O estado de alcalose induzido pela ingestão de NaHCO_3 também modifica as respostas dos diferentes íons durante o exercício, e provavelmente seus efeitos combinados também contribuem para melhora do desempenho muscular. Entre essas respostas ocorre a diminuição da concentração arterial e venosa de potássio (K^+), o aumento do efluxo de K^+ muscular em condições de fadiga, uma maior captação muscular de K^+ na recuperação, indicando aumento da atividade enzimática da bomba de sódio-potássio dependente de ATP ($\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATPase}$), além de um possível aumento na atividade do cotransportador $\text{Na}^+-\text{K}^+-2\text{Cl}^-$ (NKCC). Resumidamente, essas alterações sugerem que o estado de alcalose aumenta a perda muscular de potássio durante o exercício, apesar do aumento da $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATPase}$. Em alcalose também pode ocorrer uma maior liberação de sódio (Na^+) e um aumento do influxo de cloreto (Cl^-) no músculo. Isso, junto com uma menor concentração de potássio e um aumento da $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATPase}$, podem contribuir para a melhora do desempenho muscular, através de um efeito estabilizador na membrana, preservando a excitabilidade da membrana em estado de alcalose. Contudo, os benefícios do estado de alcalose no desempenho muscular podem ser consequência dos efeitos integrados do K^+ , Na^+ , Cl^- e lactato (SOSTARIC et al., 2006).

2.4.2. Ingestão

A ingestão de NaHCO_3 aumenta a capacidade de tamponamento da célula, aumentando a taxa de remoção H^+ durante o exercício de alta intensidade, contribuindo para a manutenção do pH intramuscular (LANCHA-JUNIOR et al., 2015).

Em protocolos agudos é indicada uma dosagem de 0,3 g/kg de peso corporal, ingerido entre 60 e 180 minutos antes do exercício ou competição que será realizado, embora protocolos acima dos 0,2g/kg de peso corporal também possam apresentar resultados significativos, ao mesmo tempo que diminuem a incidência de desconforto gastrointestinal (GRGIC et al., 2021a; HEIBEL et al., 2018). Grgic et al. (2021a) citam também que em dosagens superiores os efeitos ergolíticos podem se manifestar com maior intensidade e não à incidência de efeitos ergogênicos superiores a dosagem de 0,3 g/kg. Portanto, a dosagem e horário de ingestão, visando maximizar os efeitos ergogênicos, devem ocorrer em um momento em que, o pico de concentração de bicarbonato e a inexistência ou existência mínima de efeitos colaterais coincidam com a realização do exercício e/ou competição realizada (HEIBEL et al., 2018).

No treinamento resistido, visando melhorias na resistência muscular, parece que uma dosagem de 0,3 g/kg de NaHCO_3 , fornecida em dose única ou fracionada (90, 60 e 30 minutos pré exercício) seria a mais efetiva. Contudo, nenhuma tendência linear significativa em relação aos efeitos do tempo de ingestão e das concentrações de HCO_3^- no sangue foram encontradas, tanto para força quanto para resistência muscular (GRGIC et al., 2020a).

Protocolos de suplementação crônica de NaHCO_3 também se mostram eficazes na melhora dos exercícios. A duração média desses protocolos varia entre 3 à 7 dias antes do teste de esforço ou competição, sendo a dosagem mais eficaz para produzir efeitos ergogênicos de 0,4 ou 0,5 g/kg de peso corporal, divididos ao longo do dia. Uma vantagem do uso crônico é a atenuação do risco de efeitos colaterais, comumente relatados em protocolos agudos de suplementação, além de melhorar as adaptações ao treinamento, como potência e tempo até a fadiga (GRGIC et al., 2021a; HADZIC; ECKSTEIN; SCHUGARDT, 2019).

Quando se compara o modelo de suplementação aguda, com o modelo de suplementação crônica, podemos ver através de uma recente meta-análise, que aplicou critérios de inclusão padronizados e selecionou apenas estudos de qualidade alta, que a ingestão crônica de NaHCO_3 aumenta a potência média e a potência pico, em contrapartida, a ingestão aguda não apresenta efeito ou apresenta efeitos inconsistentes em detrimento, provavelmente, da padronização da

ingestão (90, 120 ou 180 minutos pré exercício) ao invés de uma individualização relacionada ao pico de concentração de HCO_3^- do sujeito (LOPES-SILVA; REALE; FRANCHINI, 2019). Contudo, uma limitação indicada pelos autores nesta pesquisa é o pequeno número de estudos que entraram na meta-análise (9), sendo 6 estudos de suplementação aguda e 3 de suplementação crônica, além da grande heterogeneidade dos participantes nos estudos com suplementação aguda.

Em outros estudos com suplementação crônica podemos encontrar que o NaHCO_3 ingerido em um protocolo de vários dias (5 dias) gera aumentos no tempo até a exaustão no *Critical Power* acompanhado por aumentos nas concentrações de excesso de base, pH e HCO_3^- em todos os dias testados (MUELLER et al., 2013). Já em outro estudo, com remadores altamente treinados, 4 semanas de suplementação com NaHCO_3 ingerida antes de cada sessão de HIT, não forneceu nenhuma melhoria adicional em relação ao grupo que ingeriu placebo, apesar da influência da alcalose no pH (pré e pós) e HCO_3^- (DRILLER et al., 2013).

Outra forma de suplementação crônica é a ingestão em doses progressivas onde, nos esportes de combate houve supressão no declínio da potência induzida por fadiga no teste de *Wingate* e melhora do teste específico do *Wrestling*, contudo, essas respostas foram dependentes do sexo, onde somente os homens apresentaram resultados positivos (DURKALEC-MICHALSKI et al., 2020b). Em outro estudo do mesmo grupo, também com praticantes (homens e mulheres) de *Wrestling*, a suplementação crônica em doses progressivas não apresentou nenhum efeito positivo na média e/ou pico de potência no teste de *Wingate*, nem no desempenho no teste de arremesso, havendo apenas uma diminuição no tempo de pico de potência (DURKALEC-MICHALSKI et al., 2018b). Quando se analisa a suplementação crônica progressiva em jogadores de hóquei, a ingestão crônica de NaHCO_3 melhora a capacidade anaeróbica (*Wingate*) somente antes do teste específico de Hóquei, mas não no teste de *Wingate* pós teste específico, enquanto que, tanto a suplementação crônica progressiva quanto a suplementação aguda melhoraram o desempenho no teste específico de Hóquei, embora, apenas a suplementação aguda tenha gerado um efeito no excesso de base, pH e HCO_3^- (DURKALEC-MICHALSKI et al., 2020a). Por fim, ao se avaliar os efeitos do NaHCO_3 de forma crônica progressiva no desempenho no Crossfit, foi observado que a suplementação melhorou o desempenho, a frequência cardíaca, o limiar ventilatório, e não apresentou incidência de efeitos colaterais gastrointestinais (DURKALEC-MICHALSKI et al., 2018a).

Já em estudos que analisaram ambas as formas de suplementação, podemos encontrar que tanto a ingestão aguda quanto a ingestão crônica de NaHCO_3 não demonstraram efeitos

ergogênicos no desempenho de nadadores masculinos altamente treinados, embora o modelo crônico tenha aumentado as concentrações de excesso de base, pH e HCO_3^- (JOYCE et al., 2012). Em outro estudo, com ciclistas bem treinados, tanto a ingestão aguda quanto a ingestão crônica apresentaram benefícios positivos do NaHCO_3 em relação ao placebo na potência média em um teste de ciclismo de 4 minutos, contudo, os grupos que utilizaram NaHCO_3 não apresentaram diferença entre si em relação ao desempenho, embora, o grupo que realizou a ingestão aguda, tenha apresentado maiores valores de pH sanguíneo e pico de lactato (DRILLER et al., 2012). Em um estudo cruzado, tanto a ingestão aguda, quanto crônica apresentaram resultados superiores ao controle, contudo, os autores em suas conclusões encorajam o uso da suplementação crônica, tendo em vista que a suplementação crônica melhorou significativamente o trabalho mesmo dois dias após o término da ingestão de NaHCO_3 (MCNAUGHTON; THOMPSON, 2001). Por fim, em um estudo recente, analisando o desempenho no exercício de alta intensidade com suplementação de NaHCO_3 ingerida em cápsulas com revestimento entérico, houve melhora no desempenho anaeróbico para a ingestão crônica, mas não para a ingestão aguda. Já em relação aos efeitos colaterais, ambas as formas de ingestão produziram menores efeitos gastrointestinais e sem diferença em relação ao placebo, especialmente a suplementação crônica que não apresentou nenhum efeito colateral (ZHOU et al., 2022).

Em relação a forma de administração do NaHCO_3 , existem algumas limitações, como o sabor (quando ingerido em pó) e a quantidade (quando ingerido em cápsulas) para atingir as dosagens ergogênicas (GRGIC et al., 2021a). Pensando nisso Durkalec-Michalski et al. (2018a; 2018b; 2020a; 2020b) conduziram uma série de estudos, onde foi possível encontrar efeitos ergogênicos em dosagens progressivas, em períodos de 10 dias, iniciando-se com 37,5 mg e finalizando com 150 mg por kg de peso corporal, o que minimizaria o desconforto de ingerir diversas cápsulas por dia, além de minimizar os custos com a suplementação.

2.4.3. Efeitos Ergogênicos

Embora o corpo de evidências ainda seja pequeno, e por vezes, os estudos apresentem resultados contraditórios, é plausível considerar que durante o treinamento de alta intensidade a suplementação com NaHCO_3 apresente benefícios (ROGRIGUES et al., 2023). Espera-se que com a suplementação de NaHCO_3 , quando testada por pesquisadores experientes, com um

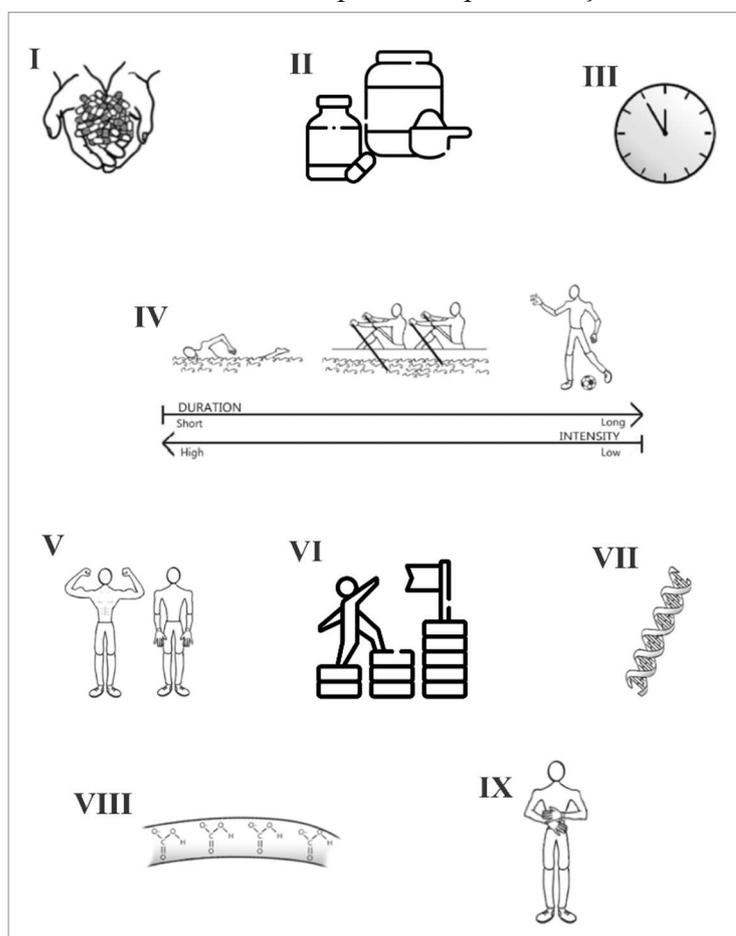
tamanho amostral adequado, seja possível encontrar benefícios no desempenho variando entre 0,5 e 2,9% (CARR; HOPKIN; GORE, 2011).

Com base em revisões sistemáticas e meta-análises que sustentam uma melhora do desempenho em diversas modalidades esportivas e exercícios através da suplementação com NaHCO_3 , como em esportes de combate (boxe, judô, karatê, taekwondo e luta livre), no treinamento resistido, em ciclismo, corrida, natação e remo de alta intensidade, tanto em homens quanto em mulheres (CALVO et al., 2021; GRGIC et al., 2020a; GRGIC et al., 2021a; GRGIC et al., 2021b; GRGIC; MIKULIC, 2022; HADZIC; ECKSTEIN; SCHUGARDT, 2019; LINO et al., 2021; MIRANDA et al., 2022). Quando se analisa o desempenho em testes físicos a ingestão de NaHCO_3 pode provocar aumentos no desempenho desses testes através da ingestão aguda e crônica (RODRIGUES et al., 2023), dado seu efeito tamponante, através da atenuação e retardo da fadiga durante o exercício (GRGIC et al., 2020a). Onde, pode-se inferir que o NaHCO_3 aumente agudamente a potência anaeróbia, capacidade anaeróbia, o desempenho em testes de Endurance com duração de ~45 segundos a 8 minutos, a resistência muscular, o desempenho no remo de 2.000 metros, e na corrida intermitente de alta intensidade. Além de feitos moderados na média e pico de potência no teste de Wingate e melhora no desempenho do teste Yo-Yo. O NaHCO_3 também apresenta efeito, de menor magnitude, na resistência muscular e no desempenho no teste de remo de 2.000 metros (GRGIC et al., 2021b). Por fim, a ingestão de NaHCO_3 gera diminuições na percepção de esforço, e aumenta o tempo de treinamento para alcançar a fadiga (RODRIGUES et al., 2023).

Considerando apenas os exercícios resistidos, Grgic et al. (2020a) citam que a suplementação aguda com NaHCO_3 provoca efeitos ergogênicos na resistência muscular, aumentando o número de repetições realizadas com uma determinada carga, o trabalho total isocinético e o tempo de manutenção da força isométrica em determinadas porcentagens do máximo, além de atenuar e retardar a fadiga durante o exercício. Já, quando se analisa a força muscular diretamente, os autores não encontraram nenhum benefício adicional da suplementação. Contudo, apesar de não aumentar a força diretamente, a suplementação com NaHCO_3 parece levar a maiores capacidades de resistência, o que pode potencializar os níveis de treinamento e com isso levar a maiores adaptações decorrentes do treinamento de força (GRGIC et al., 2021a). Outro ponto que vale salientar, é que a suplementação com NaHCO_3 poderia apresentar efeitos ergogênicos sobre a força muscular em um estado de fadiga, quando comparado com um estado de repouso, tendo em vista que haveriam diferentes graus de fadiga e acumulação de íons H^+ (GRGIC et al., 2020a).

Apesar dos inúmeros benefícios decorrentes da utilização de NaHCO_3 no desporto, nos testes físicos e em diferentes modalidades de treinamento, alguns fatores podem modificar ou até mitigar seus efeitos ergogênicos, sendo a sua eficácia dependente de uma série de fatores, dentre eles podemos citar: a dosagem utilizada (associação positiva entre a dose, a concentração de HCO_3^- e o desempenho), a forma de ingestão (ligeira diferença na farmacocinética quando comparada a ingestão em cápsulas e em pó, onde na ingestão em pó ocorre um rápido surgimento e um rápido declínio nas concentrações de HCO_3^- circulante, enquanto em cápsulas, o aumento nas concentrações de HCO_3^- circulante parece ser mais sustentado), o horário de ingestão (sendo a ingestão crônica, dividida ao longo do dia, por 3 a 7 dias, levemente superior a ingestão aguda), a tarefa e/ou exercício realizado (dependentes do tipo de exercício [os testes de capacidade de exercício, como esforço máximo ou até a exaustão, mostraram melhorias maiores do que os testes de desempenho, como contra relógio], duração do exercício [é o fator modificador mais influente, com benefícios esperados em exercícios acima dos 30 segundos] e presença de exercício anterior [efeitos maiores nos resultados foram mostrados quando os protocolos de testes e/ou exercícios foram realizados após exercício anterior, dado que o NaHCO_3 melhora a cinética de recuperação ácido-base pós exercício de alta intensidade, e também melhora a ressíntese de fosfocreatina, além de também acelerar a recuperação nos dias pós treino ou pós competição, entre treinos de alta intensidade ou esportes que não permitem a restauração completa do equilíbrio ácido-base) nível de treinamento (atletas treinados podem esperar ganhos menores em comparação com indivíduos não treinados, tendo em vista que esses atletas já apresentam melhorias na capacidade glicolítica e na capacidade de tamponamento muscular, com maiores níveis de carnosina), motivação (nível de motivação e possivelmente, um efeito placebo), composição das fibras musculares e conseqüentemente a atividade dos MCTs (quantidade maior de transportadores de monocarboxilato), mudanças na concentração de bicarbonato circulante (mesmo alterações abaixo de 4 mmol/L contribuem para ganhos de desempenho, no entanto, o ideal é que ocorram aumentos de 4 a 6 mmol/L, sendo que, essas alterações são mais relevantes do que a realização do exercício no momento em que as concentrações de HCO_3^- circulante atingem o pico, tendo em vista que a disponibilidade de HCO_3^- pode não ser totalmente utilizada, onde, mesmo após o exercício, o pH e o HCO_3^- circulante estão elevados em relação ao placebo), e os efeitos colaterais associados ao NaHCO_3 (a incidência de efeitos colaterais tende a diminuir o desempenho dos indivíduos) (Figura 4) (HEIBEL et al., 2018; MATSON; TRAN, 1993; OLIVEIRA et al., 2022).

Figura 4 - Modificadores da resposta à suplementação com NaHCO_3 .



Fonte: Adaptada de Heibel et al. (2018).

O pH em condições de normalidade varia de 7,3 a 7,4, e sofre aumento pós ingestão de NaHCO_3 com variações de 0,03 a 0,15, enquanto as concentrações de bicarbonato circulante variam de 19,9 a 27,7 mmol/L e após a ingestão de NaHCO_3 sofre aumentos variando de 1,0 a 7,3 mmol/L, onde, esses aumentos apresentam uma moderada relação dose-dependência. Embora os valores médios suportem esta aproximada relação dose-dependência, essa relação moderada entre a dosagem e o estado de alcalose pode ser explicada pelas diferentes respostas individuais, onde com uma mesma dosagem (300 mg/kg) o pH sofre variações de 0,03 a 0,09 e média de 0,07, enquanto as concentrações de bicarbonato variam de 2,6 a 7,3 mmol/L e média de 5,3 mmol/L. Da mesma forma, em uma dosagem de 200 mg/kg o pH sofre aumentos variando de 0,04 a 0,10 e média de 0,6, enquanto o bicarbonato varia de 3,2 a 5,9 mmol/L e média de 4,4 mmol/L (MATSON; TRAN, 1993).

Para que ocorra efeito ergogênico com a ingestão de NaHCO_3 Heibel et al. (2018) indicam que a suplementação deve ocorrer em um momento em que a realização do exercício coincida com aumentos no bicarbonato sanguíneo, variando entre 5 e 6 mmol/ a partir do basal. Contudo Dias et al. (2015), identificaram que a suplementação com NaHCO_3 promoveu alterações consistentes nas concentrações de bicarbonato sanguíneo, excesso de base e pH, embora essas alterações tenham se traduzido em melhoria em apenas um dos ensaios, onde individualmente as respostas foram discrepantes, sendo que, apenas um indivíduo apresentou melhora nas quatro sessões, enquanto outros nove apresentaram melhora em apenas uma sessão e outros cinco não apresentaram variação em nenhuma tentativa, o que indica que apesar da variação consistente nas respostas sanguíneas, não necessariamente o desempenho terá o mesmo resultado. Os autores justificam esses achados alegando que, embora o aumento médio nas concentrações de bicarbonato da amostra tenha alcançado 6 mmol/L, nem todos os indivíduos podem ter alcançado esse valor, além disso, a inconsistência nos resultados poderia ter relação também com o nível de treinamento dos participantes, pois todos eram recreativamente treinados. No entanto, quando o NaHCO_3 é ingerido em cápsulas, parece que uma dosagem de 0,3 g/kg de peso corporal, pode gerar uma janela duradoura (~3 horas, a partir de ~60 minutos após a ingestão) de um potencial efeito ergogênico considerando o limiar de 5-6 mmol/L, desafiando a teoria de que uma ingestão individualizada seja necessária (OLIVEIRA et al., 2020).

Com base nos dados citados anteriormente um grupo de pesquisadores (HEIBEL et al., 2018) sugere ser de grande valia determinar a repetibilidade do indivíduo após a ingestão de NaHCO_3 em indivíduos treinados. No entanto, o NaHCO_3 parece ser mais eficaz em indivíduos treinados recreativamente, ao invés de atletas (PEART; SIEGLER; VINCE, 2012).

Quando se analisa a melhoria da força e resistência Grgic et al. (2020a), ao realizarem meta-regressão, não encontraram tendências significativas nos aumentos agudos de bicarbonato com melhorias no desempenho. Contudo, uma alternativa para quando o tempo individual para atingir o pico sanguíneo de HCO_3^- não puder ser determinado, é a utilização da suplementação crônica, que parece ser uma opção mais eficaz nesse sentido (LOPES-SILVA; REALE; FRANCHINI, 2019).

2.4.4. Efeitos Ergolíticos

O NaHCO_3 é uma substância básica que se torna instável em um ambiente ácido e ao entrar em contato com prótons, forma ácido carbônico, que posteriormente se separa formando dióxido de carbono e água (BREITKREUTZ et al., 2007).

A ingestão de NaHCO_3 por via oral pode apresentar alguns efeitos colaterais indesejados. Quando liberado no estômago, o contato com o suco gástrico transformaria imediatamente o NaHCO_3 em dióxido de carbono, fazendo com que não se alcance o efeito desejado e que o CO_2 produzido gere dor abdominal e flatulência. O NaHCO_3 , quando não liberado rapidamente de sua forma sólida para o fluido intestinal, também pode causar flatulência e diarreia (BREITKREUTZ et al., 2007). Outros efeitos colaterais que a ingestão de NaHCO_3 pode causar são inchaço e vômitos. A incidência e a gravidade desses efeitos podem variar entre os indivíduos, mas geralmente é baixo, embora, a manifestação desses efeitos possa impactar negativamente no desempenho das atividades (GRGIC et al., 2021a). Sendo que, a incidência de efeitos colaterais gastrointestinais após a ingestão de NaHCO_3 poderia mitigar os efeitos benéficos do suplemento (CARR; HOPKIN; GORE, 2011), sendo que, ao se reanalisar dados, removendo os indivíduos que apresentam desconforto gastrointestinal, a tendência é de que os resultados se tornem significativos, indicando que a minimização desses efeitos é de fundamental importância para o efeito positivo do NaHCO_3 (HEIBEL et al., 2018).

Grgic et al. (2021a), fazem uma série de recomendações para minimizar os efeitos colaterais da suplementação com NaHCO_3 , sendo elas: (i) ingestão de doses menores de suplementação; (ii) ingerir a suplementação cerca de 180 minutos antes do exercício ou de acordo com a resposta individual do sujeito; (iii) junto de uma refeição rica em carboidratos; e (iv) em cápsulas com revestimento entérico.

3 OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Avaliar o efeito da suplementação crônica com bicarbonato de sódio sobre marcadores de dano e desempenho muscular em indivíduos treinados.

3.2. Objetivos Específicos

Verificar o efeito da suplementação crônica com bicarbonato de sódio sobre diferentes indicadores funcionais do músculo esquelético (Força Máxima, Contração Voluntária Isométrica Máxima e Potência Muscular).

Verificar os efeitos da suplementação crônica com bicarbonato de sódio sobre o desempenho no salto contra movimento.

Verificar os efeitos da suplementação crônica com bicarbonato de sódio sobre a amplitude de movimento de extensão de joelho.

Analisar os efeitos psicofisiológicos da suplementação crônica com bicarbonato de sódio através de questionários de percepção subjetiva de esforço e escala de dor.

4 MÉTODOS

4.1. Delineamento do Estudo

Foi realizado um ensaio clínico controlado, duplo cego, randomizado, em que os sujeitos que atenderam todos os critérios de inclusão e não apresentaram nenhum critério de exclusão foram alocados de maneira oculta através do site www.sealedenvelope.com em um dos dois grupos: Grupo Experimental (GEX), que recebeu a suplementação com bicarbonato de sódio (NaHCO_3); ou Grupo Placebo (GPL), que recebeu um placebo (Farinha de Trigo).

4.2. Amostra

A amostra do estudo foi composta por 9 estudantes com idade entre 18 e 40 anos, residentes na cidade de Viçosa-MG.

Para inclusão no estudo foram adotados os seguintes critérios: ser do sexo masculino, praticarem treinamento resistido por pelo menos seis meses, não ter histórico de lesão osteomioarticular que impeça ou prejudique a prática dos exercícios, não ter feito uso de qualquer suplemento alimentar que possa interferir nos resultados da pesquisa, não utilizar e/ou não ter utilizado qualquer tipo de esteróide anabolizante que possa interferir nos resultados da pesquisa pelo período mínimo de seis meses anteriores ao início da pesquisa

Como critérios de exclusão foram adotados os seguintes critérios: responder afirmativamente a uma das questões do questionário de prontidão para atividade física.

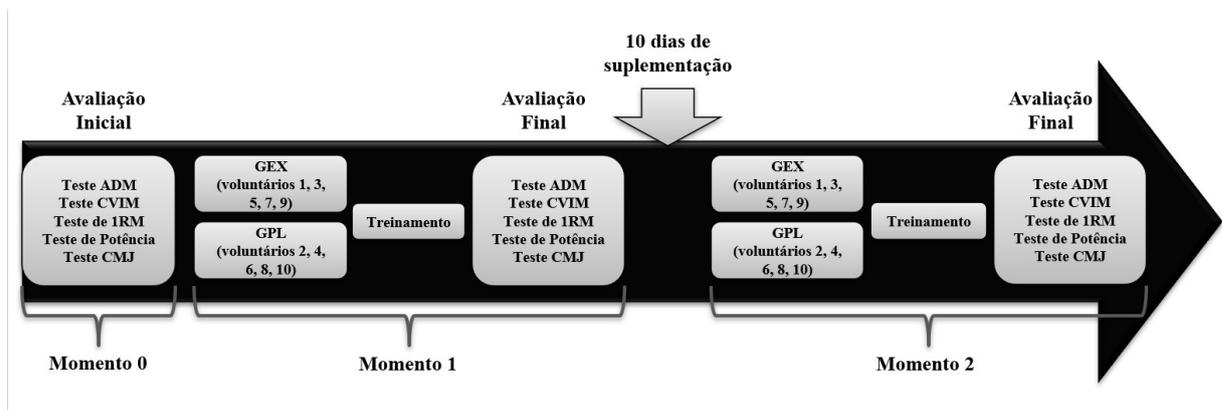
Os voluntários que atenderam a todos os critérios de inclusão e não apresentaram nenhum critério de exclusão foram aceitos no estudo após a aplicação do questionário de prontidão para atividade física (em anexo) e do termo de consentimento livre e esclarecido antes da participação no estudo.

Considerando o teste MANOVA para medidas repetidas, cálculo a priori, um tamanho de efeito "D" de 0,79 para a força muscular (KIM, 2020), um α de 5% e um poder de 95%. O cálculo do tamanho da amostra realizado pelo programa G-Power® da Universidade de Dusseldorf, indicou um tamanho total de amostra de 18 indivíduos, para um lambda de 14,97, um F crítico de 4,49, um V de Pillai de 0,45 e um poder de 0,95.

4.3. Intervenção

O desenho experimental do estudo foi composto por 3 momentos (momento 0, momento 1 e momento 2) (figura 5). No momento 0, foram realizados os testes iniciais a fim de mensurar os níveis basais de força, desempenho muscular e parâmetros psicofisiológicos. No momento 1, os voluntários foram alocados de forma aleatória em um dos dois grupos (GEX e GPL) e realizaram um protocolo de treinamento resistido excêntrico, com 20 séries de 12 repetições no exercício cadeira extensora (BH Fitness Nevada Pro-T ®). 48 horas após a realização do protocolo descrito, os voluntários repetiram os mesmos testes realizados no momento 0. Durante 10 dias os voluntários suplementaram com NaHCO₃ ou placebo, segundo o grupo que estavam alocados, e após esse período de suplementação, executaram o momento 2, em que foi realizado novamente o mesmo protocolo de treinamento resistido excêntrico executado no momento 1 e, 48 horas após o protocolo, foram realizados todos os mesmos testes do momento 0, a fim de mensurar a magnitude de efeito da suplementação nos marcadores de dano e desempenho muscular.

Figura 5 - Representação gráfica do desenho experimental proposto no presente estudo.



Fonte: Do autor (2023).

4.4. Suplementação

A suplementação nutricional seguiu o modelo duplo-cego, utilizando-se bicarbonato de sódio (NaHCO₃) e placebo (farinha de trigo) distribuídos em cápsulas gastroresistentes. A ingestão da suplementação ocorreu de forma progressiva durante um período de 10 dias

seguindo o protocolo proposto por Durkalec-Michalski et al. (2018a). As substâncias foram ingeridas em três doses fracionadas durante o dia, de forma progressiva, sendo 37,5 mg/kg de peso corporal, nos dias 1 e 2, 75 mg/kg de peso corporal, nos dias 3 e 4, 112,5 mg/kg de peso corporal, e nos dias 5, 6 e 7, e 150 mg/kg de peso corporal nos dias 8, 9 e 10.

4.5. Teste de Contração Voluntária Isométrica Máxima (CVIM)

Para avaliação da CVIM dos membros inferiores, foi utilizada uma célula de carga ou célula extensiométrica (MK®, modelo CSL / ZL-1T, MK Control, Brasil) com frequência de amostragem de 1000 Hz. A célula de carga foi colocada em um aparelho de extensão BH fitness® Nevada Pro-t, para avaliação do exercício de extensão de joelhos. Antes da realização do teste, o aparelho foi ajustado de forma que os joelhos dos sujeitos estivessem em um ângulo de flexão de 90°, medido com um goniômetro (Carci®, São Paulo, Brasil). Ao comando do avaliador, o sujeito realizou uma tensão isométrica máxima do quadríceps femoral por 5 segundos. Durante a execução, foi dado estímulo verbal para induzir maior tensão, bem como para garantir que os níveis máximos de força fossem atingidos ao longo do teste. Foram realizadas duas tentativas, separadas por um intervalo de 2 minutos, sendo registrado o maior valor obtido em ambas as tentativas (MOREIRA et al., 2021).

4.6. Teste de Força Máxima (1RM)

Para realização do teste de 1RM, foi utilizado o exercício de extensão do joelho, em uma máquina extensora BH Fitness Nevada Pro-T®. A posição inicial do avaliado foi a posição sentada com a cabeça e as costas apoiadas no encosto do aparelho, as mãos segurando o apoio lateral e os joelhos em flexão de 90° (MOREIRA et al., 2021). Para realizar este teste, solicitou-se ao voluntário que estendesse o joelho até formar um ângulo de aproximadamente 180° (posição final) e retornasse à posição inicial. Antes da determinação da 1RM, foi realizado um aquecimento prévio específico, consistindo em quatro repetições com carga de 30% de sua CVIM. Ao final do aquecimento, o voluntário foi avaliado quanto à sua percepção de esforço, por meio de uma escala OMNI-RES de 0 a 10 (GEARHART et al., 2011; ROBERTSON et al., 2003). A carga foi aumentada a critério do avaliador, de acordo com a facilidade de execução e a percepção de esforço do avaliado e o voluntário foi solicitado a executar duas repetições com o novo peso. O peso foi aumentado até que o avaliado conseguisse realizar apenas uma

repetição. Foram realizadas no máximo cinco tentativas para a determinação da 1RM, com intervalo de descanso de 2 minutos entre cada tentativa (MOREIRA et al., 2021).

4.7. Potência

A avaliação da potência muscular de membros inferiores foi realizada através da mesma máquina de extensão de joelho utilizada nas sessões de exercício, partindo da mesma posição inicial (90° de flexão do joelho) e alcançando a mesma posição final (180° de extensão do joelho) do teste de 1RM. Foi utilizada uma carga para a avaliação da potência, obtida a partir do valor percentual de 1RM (60% de 1RM), em que o avaliado foi solicitado a realizar o movimento de extensão dos joelhos (fase concêntrica do movimento) na maior velocidade possível. O retorno dos joelhos à posição inicial foi realizado de maneira controlada, com uma micro pausa de 1 a 2 segundos, para evitar que o efeito da força elástica acumulada interferisse na execução seguinte. A carga deste teste foi randomizada em cada sujeito para controlar um possível viés relacionado ao efeito de aprendizagem ou pela ação cumulativa da fadiga. Foram realizadas três repetições com 2 minutos de intervalo de descanso.

Foi utilizado um transdutor de posição linear ou Encoder Chronojump Boscosystem, Barcelona/Espanha, com uma frequência de amostragem de 1000 Hertz, e o Software Chronojump, versão 1.6.2, (Chronojump Boscosystem, Barcelona/Espanha), para determinar os valores de potência. Através deste instrumento foi possível obter informações sobre potência média (PM) e potência de pico (PP) (MOREIRA et al., 2021).

4.8. Salto Contra Movimento

Para avaliar o desempenho muscular foi realizado o teste de salto contra movimento (CMJ) utilizando-se o tapete de contato. O salto contra movimento foi realizado a partir de uma posição ereta, com o joelho a uma angulação de 180°. O avaliado realizou um agachamento até atingir a angulação de 90° com os joelhos, imediatamente após o agachamento o avaliado realizou o salto aterrissando com ambos os pés de forma simultânea. (ENOKSEN; TONNESSEN; SHALFAWI, 2013).

4.9. Amplitude de Movimento

A amplitude de movimento (ADM) foi mensurada através de um goniômetro. Os sujeitos ficaram em decúbito dorsal, com quadril e joelhos fletidos. O eixo do goniômetro foi colocado sobre a linha articular da articulação do joelho. O braço fixo do goniômetro foi colocado paralelamente à superfície lateral do fêmur dirigindo-se para o trocanter maior. Já o braço móvel do goniômetro foi colocado paralelo à face lateral da fíbula dirigindo-se para o maléolo lateral. Para mensuração da ADM foram utilizados os valores iniciais e finais do movimento (MARQUES, 1997).

4.10. Percepção de Esforço

A percepção subjetiva de esforço (PSE) foi avaliada através da escala OMNI-RES (ANEXO A) (ROBERTSON et al., 2003). A escala é composta por 10 pontos, que vão desde 0 (extremamente fácil) até 10 (extremamente difícil). Antes de iniciarem o programa os sujeitos foram apresentados a escala e receberam orientações de como a escala funciona.

4.11. Escala de Dor Muscular

Para mensurar o nível de dor muscular foi aplicada a *Visual Analogue Scale (VAS)* (ANEXO B) (SCOTT; HUSKISSON, 1976), que é uma escala válida, confiável e adequada para avaliação do nível de dor (KARCIOGLU et al., 2018). E que não apresenta influência de fatores externos nas respostas dos indivíduos (THON et al., 2018). A VAS é uma escala contínua, composta de uma linha horizontal (HVAS) de 10 cm de comprimento, ancorada por 2 descritores verbais: “sem dor” (pontuação 0) e “dor tão forte quanto poderia ser” (pontuação 100). A pontuação foi determinada utilizando-se uma régua, medindo a distância na escala entre a marca “sem dor” e a marca do sujeito, proporcionando uma pontuação de 0-100 (JENSEN; KAROLY; BRAVER, 1986).

4.12. Análise estatística

Como forma de tratamento estatístico, todos os dados foram submetidos à análise descritiva. Em seguida, foi realizado o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados. O teste Box M foi utilizado para determinar a homocedasticidade das variáveis. As comparações intergrupos para os valores iniciais foram realizadas usando o teste T de Student

para amostras independentes. As comparações intragrupo e intergrupos foram realizadas por meio da análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas mistas, com dois fatores: tempo e grupo. O fator tempo foi utilizado para comparar os valores obtidos nos momentos 0, 1 e 2 em cada grupo; e o fator grupo foi usado para comparar as variáveis mensuradas entre o GEX e o GPL. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$. Todos os tratamentos estatísticos foram realizados por meio do pacote estatístico - *Statistical Package for the Social Science* (SPSS), versão 22.0.

5 RESULTADOS

A descrição dos participantes está representada abaixo. No começo do estudo 20 sujeitos se disponibilizaram para participar da coleta, no entanto apenas 16 sujeitos iniciaram, de fato, o estudo. Ao longo do estudo 7 voluntários não conseguiram dar continuidade nas visitas para realização do treinamento e dos testes, por motivos de saúde (5 voluntários) e falta de disponibilidade de horários (2 voluntários). Portanto, a amostra final foi composta por 9 sujeitos (tabela 1).

Tabela 1 – Descrição dos participantes que concluíram todas as etapas do estudo, Viçosa-MG, 2022.

	GPL (5)	GEX (4)
	Média ± DP	Média ± DP
Idade (anos)	22,4 ± 4,6	26,5 ± 5,5
Estatura (m)	1,76 ± 0,06	1,73 ± 0,06
Massa Corporal (kg)	74,3 ± 12,3	78,5 ± 12,5
IMC (kg/m ²)	23,88 ± 2,43	25,97 ± 3,88

Os valores de base para as variáveis funcionais e psicofisiológicas analisadas nos dois grupos não apresentaram diferenças estatisticamente significantes, como apresentado na tabela 2.

Tabela 2 - Características gerais da amostra e comparação intergrupo dos valores de base em indivíduos adultos da cidade de Viçosa-MG, 2022.

	GPL (5)	GEX (4)	Estatística
	Média ± DP	Média ± DP	(p)
ADM (rad)	130,20±10,28	131,25±10,72	0,905
CVIM (Kg)	33,74± 16,86	25,10±3,91	0,190
RM (Kg)	51,00±7,42	48,75±8,54	0,730
PM (watts)	542,06±102,29	564,78±95,87	0,730
PP (watts)	979,00±193,30	1052,55±278,06	0,905
CMJ_H (cm)	29,26±8,33	29,32±9,50	0,730
CMJ_PM (watts)	417,20±61,48	461,00±59,84	0,556
PSE (ua)	5,20±2,86	5,75±3,77	0,905
VAS (mm)	0,00±0,00	0,00±0,00	1,000

GPL: grupo placebo; GEX: grupo experimental; ADM: amplitude de movimento; CVIM: contração voluntária isométrica máxima; RM: força máxima dinâmica; PM: potência muscular média; PP: potência muscular pico; CMJ_H: altura no salto contra movimento; CMJ_PM: potência média no salto contra movimento; PSE: percepção subjetiva de esforço; VAS: escala de análise visual de dor.

A comparação intragrupo e intergrupos do efeito da suplementação de bicarbonato de sódio sobre as variáveis funcionais e psicofisiológicas encontra-se exposta na tabela 3. Foi observada diferença intragrupo para as variáveis RM, PM, PP e VAS. No entanto, a única variável que apresentou diferença na comparação intergrupos foi a RM, com comportamento divergente entre os grupos do M0 para o M1. No entanto, os valores para a mesma variável no M2 foram semelhantes.

Tabela 3 - Comparações intragrupos e intergrupos dos efeitos da suplementação crônica de NaHCO₃ sobre as variáveis funcionais e psicofisiológicas analisadas em adultos (n=9) na cidade de Viçosa-MG, 2022.

	GPL (5)			GEX (4)			Fator tempo			Fator grupo		
	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0xM1xM2			GPLxGEX		
	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP	F	p	η ²	F	p	η ²
ADM (rad)	130,20±10,28	126,40±5,90	126,00±8,46	131,25±10,72	125,00±15,30	121,75±5,19	1,72	0,258	0,36	0,12	0,175	0,04
CVIM (Kg)	33,74± 16,86	36,08±18,95	44,20±18,55	25,10±3,91	33,38±5,37	32,28±10,52	1,45	0,306	0,33	6,54	0,83	0,69
RM (Kg)	51,00±7,42	50,00±14,14	57,00±16,43	48,75±8,54	40,00±7,07	57,50±2,89	11,75	0,008	0,80	12,52	0,038	0,81
PM (watts)	542,06±102,29	569,56±152,65	554,32±113,83	564,78±95,87	613,38±86,33	562,78±83,23	9,39	0,014	0,76	0,08	0,793	0,03
PP (watts)	979,00±193,30	1143,10±362,98	1061,22±301,22	1052,55±278,06	1294,28±224,98	1147,27±168,11	7,46	0,024	0,71	0,02	0,906	0,01
CMJ_H (cm)	29,26±8,33	27,20±3,52	27,96±6,29	29,32±9,50	30,95±6,45	32,53±6,52	0,17	0,848	0,05	0,23	0,665	0,07
CMJ_PM (watts)	417,20±61,48	415,00±35,09	414,60±32,39	461,00±59,84	460,50±50,08	477,25±48,17	0,18	0,837	0,06	2,04	0,248	0,41
PSE (ua)	5,20±2,86	5,80±1,92	6,20±1,30	5,75±3,77	5,50±2,65	4,25±3,30	0,42	0,674	0,12	0,01	0,921	0,00
VAS (mm)	0,00±0,00	32,60±37,44	3,80±5,22	0,00±0,00	58,50±33,92	10,50±7,33	6,66	0,030	0,69	2,57	0,207	0,46

GPL: grupo placebo; GEX: grupo experimental; M0: avaliação pré-intervenção; M1: avaliação após a primeira sessão de treinamento excêntrico; M2: avaliação após a segunda sessão de treinamento excêntrico; ADM: amplitude de movimento; CVIM: contração voluntária isométrica máxima; RM: força máxima dinâmica; PM: potência muscular média; PP: potência muscular pico; CMJ_H: altura no salto contra movimento; CMJ_PM: potência média no salto contra movimento; PSE: percepção subjetiva de esforço; VAS: escala de análise visual de dor.

6 DISCUSSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da suplementação crônica com NaHCO_3 sobre marcadores de dano e desempenho muscular em indivíduos treinados. Como principal achado teve-se que a suplementação crônica com NaHCO_3 apresentou efeito ergogênico na 1RM, mas não no desempenho da ADM, no CMJ, nos aspectos psicofisiológicos (PSE e VAS) e nos demais indicadores funcionais do músculo esquelético (CVIM e Potência Muscular).

A ADM foi uma variável que não apresentou diferença significativa, tanto para o fator tempo, quanto para o fator grupo. Esse fato pode evidenciar que a suplementação com NaHCO_3 seria ineficiente para minimizar a perda na ADM, decorrente da fadiga muscular. Entretanto, não encontramos na literatura nenhum outro estudo que tenha analisado o efeito da suplementação de NaHCO_3 sobre a ADM, fato que constitui-se em uma limitação para a discussão desses resultados. O que sabemos, é que o treinamento excêntrico, por si só, gera reduções significativas na ADM do joelho de mais de 10%, com pico aproximado de redução podendo ocorrer no terceiro dia pós treinamento (ŞENIŞIK et al., 2021), ou no segundo dia pós treinamento, e permanecendo menor que a linha de base de 24 a 96 horas pós exercício para os extensores de joelho e flexores do cotovelo (JAMURTAS et al., 2005). E em determinados protocolos (3 séries de 15 movimentos para os extensores do joelho), o treinamento excêntrico pode não apresentar diminuição significativamente diferente da linha de base (SAKA et al., 2009). Por fim, uma segunda sessão de treinamento excêntrico pode gerar atenuação dos valores de decréscimo de desempenho para a ADM (CLARKSON; DEDRICK, 1988). Em nosso estudo, a ADM apresentou reduções de ~3% e ~5% 48 horas pós treinamento no M1 do GPL e GEX, respectivamente. E de ~4% e ~8% 48 horas pós treinamento no M2 do GPL e GEX, respectivamente. Ambas as reduções não apresentaram significância estatística, o que pode inferir que não houve RBE e nem efeito do NaHCO_3 . No entanto, não é possível apresentar certeza nessas afirmativas, tendo em vista que não foi testada a queda de desempenho em diferentes dias após o exercício.

Quando consultamos a literatura atual, encontramos alguns estudos que analisaram os efeitos da suplementação com NaHCO_3 na força isométrica. No estudo de Farney et al. (2020), os autores investigaram os efeitos da suplementação com NaHCO_3 , aspartato e ambas combinadas, na contração muscular após exercícios de alta intensidade, não encontrando diferença significativa entre os grupos para a CVIM pico. Na mesma linha, Casarin et al. (2019)

ao investigarem o efeito da ingestão de NaHCO_3 no desempenho de indivíduos saudáveis submetidos a um protocolo de fadiga isométrica realizada no dinamômetro isocinético, não encontraram diferença estatisticamente significativa entre as condições placebo e suplementados na CVIM pico e na taxa de desenvolvimento de força (TDF). Da mesma forma, o estudo de Siegler et al. (2018) teve como objetivos: confirmar o efeito agudo da suplementação com NaHCO_3 na fadiga, em exercício de extensão de joelho; e investigar se a suplementação crônica de NaHCO_3 em um programa de treinamento resistido de 10 semanas melhoraria a resposta adaptativa do sistema neuromuscular. Como resultados os autores encontraram uma queda na TDF durante teste de CVIM, sem diferenças entre as condições (suplementado e placebo). Por outro lado, na revisão sistemática com meta-análise de Grgic et al. (2020a), os autores encontraram efeito positivo para a suplementação com NaHCO_3 no tempo de manutenção da força isométrica em determinados percentuais do máximo.

Ao que parece, nosso estudo foi o único, até o presente momento, a empregar um protocolo de exercício excêntrico como indutor de fadiga para avaliar o efeito da suplementação de NaHCO_3 , o que causaria diferentes adaptações das encontradas nos treinamentos convencionais, como aumento da fadiga prolongada (KRENTZ; FARTHING, 2010; NOSAKA; CLARKSON, 1996). Quando pesquisamos sobre a CVIM após o treinamento excêntrico na literatura, vemos uma queda no desempenho, com pico pós exercício, e recuperação total 4 dias pós exercício, em uma primeira sessão de ciclismo excêntrico, e após uma segunda sessão, o pico continua no momento pós exercício, mas os valores retornam a linha de base 24 horas pós exercício, podendo haver um leve aumento de desempenho dos dias subsequentes (PEÑAILILLO et al., 2013). Quando o treinamento excêntrico é realizado no dinamômetro isocinético (3 série de 15 repetições nos extensores de joelho e flexores do cotovelo), os valores de queda no desempenho da força isométrica máxima podem atingir o pico em diferentes momentos, variando de nenhuma diferença significativa no pico de torque para os extensores de joelho em relação a linha de base (SAKA et al., 2009), maiores valores de decréscimo de desempenho no terceiro dia após o treinamento (6 séries de 10 repetições para os extensores e flexores do joelho, e flexores do cotovelo) (ŞENİŞİK et al., 2021), 24 horas pós exercício (6 séries de 12 repetições para os extensores de joelho e flexores de cotovelo), com a queda no desempenho perdurando de maneira significativa até 48 horas pós exercício para os extensores de joelho, e até 96 horas para os flexores do cotovelo (JAMURTAS et al., 2005), ou no momento pós exercício em um protocolo para os flexores do cotovelo (5 séries de 10 repetições) (HUBAL; RUBINSTEIN; CLARKSON, 2007), e em um protocolo para os

extensores e flexores do joelho (10 séries de 10 repetições em cada perna para cada movimento) (HUANG et al., 2020). Por fim, após um protocolo de corpo inteiro (5 séries de 10 repetições de baixa intensidade no primeiro dia, e 5 séries de 10 repetições de alta intensidade no segundo dia para o grupo experimental, e apenas o último protocolo no grupo controle), as respostas variaram de acordo com o grupamento muscular testado, onde o pico no decréscimo de desempenho variou entre o momento pós exercício e 24 horas pós exercício, e para os extensores de joelho, o pico no decréscimo foi no momento pós exercício (HUANG et al., 2019). Em outro protocolo (levantar-se e sentar-se em uma cadeira) o pico no decréscimo de desempenho ocorre no terceiro dia após o treinamento, no entanto, após uma segunda sessão de treinamento excêntrico, o pico no decréscimo de desempenho pode ocorrer no momento pós treino, ao invés de 3 dias após o treinamento (HUBAL et al., 2008).

Após uma segunda sessão de treinamento excêntrico, as alterações na CVIM são menores do que após uma primeira sessão, caracterizando um RBE. Com pico ocorrendo logo após o treinamento excêntrico (CHEN et al., 2019). Vale salientar, que esse RBE pode se tornar mais expressivo conforme os dias vão passando, sendo mais expressivo no quinto dia, que no terceiro dia, e que no momento após treino, respectivamente (HUBAL et al., 2008). Outro ponto que pode se salientar, é que a perda de desempenho pode variar de nenhuma perda a 62%, sendo uma média de 49% em indivíduos altamente respondedores, de 23% em indivíduos moderadamente respondedores, e de nenhuma perda em indivíduos não respondedores (HUBAL; RUBINSTEIN; CLARKSON, 2007). Outra característica dos respondedores e não respondedores, é que os respondedores mais elevados têm predominância de mulheres, enquanto os respondedores mais baixos têm predominância de homens (HUBAL; RUBINSTEIN; CLARKSON, 2007).

Quando analisamos o desempenho nos testes de CVIM em nosso estudo, não encontramos nenhum efeito estatisticamente significativo, tanto para o fator tempo quanto para o fator grupo, o que pode evidenciar que a suplementação com NaHCO_3 seria ineficiente para potencializar os efeitos na força isométrica. Contudo, quando analisamos os dados encontrados em nosso estudo é possível identificar uma melhora do M1 para o M2, sem significância estatística, apenas no GPL. Outro ponto que chama atenção, é que houve uma pequena melhora do M0 para o M2 em ambos os grupos. Poderíamos atribuir essa melhora, ao período de recuperação adotado, onde, após uma segunda sessão de treinamento excêntrico os valores do teste de CVIM já atingem a linha de base, 48 horas após o exercício (PEÑAILILLO et al., 2013). E a um viés relacionado ao efeito da aprendizagem (BROWN; WEIR, 2001), onde, em

medidas realizadas em dias separados, podem ocorrer variações nos valores encontrados, devido a efeitos combinados da aprendizagem e desenvolvimento de força (KROLL, 1962).

Nossos resultados mostraram que para a 1RM houve um efeito estatisticamente significativo tanto para o fator tempo (M0, M1 e M2), quanto para o fator grupo (GPL e GEX). No fator tempo ambos os grupos tiveram uma queda nos níveis de força do M0 para o M1, e um aumento na força do M1 para o M2, o que pode ter caracterizado um RBE, uma vez que, uma sessão de treinamento excêntrico pode fornecer um efeito protetor em relação aos marcadores de dano causados por uma segunda sessão (MCHUGH et al., 1999). Um efeito da aprendizagem também pode ter ocorrido, tendo em vista que, a simples prática do teste de 1RM pode produzir ganhos de força equivalentes a programas de alto volume com foco em hipertrofia muscular (MATTOCKS et al., 2017). Já no fator grupo (GPL e GEX), os resultados favoreceram o grupo GEX, o que indicaria um possível efeito ergogênico da suplementação com NaHCO_3 na atenuação da fadiga, permitindo a manutenção de maiores valores de 1RM.

Outros estudos fizeram testes de ações isotônicas, como o número de repetições máximas executadas com uma resistência fixa encontrando efeitos positivos no número de repetições executadas (CARR et al., 2013; VAROVIC et al., 2023), sem diferença significativa entre os grupos experimentais e placebo (LIMA et al., 2020; MATERKO, SANTOS e NOVAES, 2008; TOLEDO, VIEIRA; DIAS, 2020) e com diferença significativa em apenas um dos exercícios realizados (DUNCAN, WELDON e PRICE, 2014; FONTANELLA et al., 2019). No entanto, embora esses dados estejam correlacionados com a 1RM, não é possível extrapolá-los ao ponto de realizar uma comparação direta com os resultados encontrados em nosso estudo, tendo em vista que as medidas utilizadas nesses estudos não são medidas da força muscular em si (BROWN; WEIR, 2001). Sendo mais relacionadas com a capacidade de resistência muscular.

Um único estudo avaliou a 1RM utilizando-se da suplementação com NaHCO_3 (SIEGLER et al., 2018). Os autores realizaram dois procedimentos, um utilizando-se de suplementação aguda e outro utilizando-se de suplementação crônica, sendo ambas condições com a dosagem de 0,3 g/kg de peso corporal. No procedimento crônico, os autores encontraram um benefício do fator tempo no desempenho de 1RM, o que corrobora com os resultados encontrados em nosso estudo. No entanto, quando se analisa o fator grupo, os autores não encontraram benefícios da suplementação no desempenho, diferindo de nossos achados. Outro ponto que difere de nosso estudo, é que realizamos apenas duas sessões de avaliações, o que reforçaria que os efeitos na 1RM decorreram de um maior impacto da atenuação na fadiga

causada pelo NaHCO_3 , enquanto no estudo de Siegler et al. (2018), os resultados no 1RM estão mais relacionados com o fator tempo de treinamento (10 semanas), o que pode ter mascarado os possíveis efeitos do NaHCO_3 no fator grupo, ou evidenciado que a longo prazo as melhorias na força associadas a suplementação com NaHCO_3 se tornam pouco expressivas.

Em um estudo de revisão sistemática com meta-análise, Grgic et al. (2020a) encontraram que a suplementação com NaHCO_3 desencadeou efeitos ergogênicos significativos apenas na resistência muscular de pequenos e grandes grupos, enquanto para a força (mensurada através de diferentes testes), nenhum efeito ergogênico foi encontrado. Os autores acreditam que esses achados não são surpreendentes, tendo em vista que, os testes de força muscular consistem em esforço máximo, com duração muito curta. Contudo, embora os testes de 1RM sejam de curta duração, a acidose acumulada através dos exercícios prévios afeta a atividade muscular, desencadeando efeitos diretos na potência, velocidade e força das pontes cruzadas, além da supressão da sensibilidade ao Ca^{2+} , o que induz a uma fadiga muscular (FITTS, 2016). Assim, a atenuação da fadiga gerada pelo treinamento por meio da ingestão de NaHCO_3 , poderia impactar positivamente na atividade muscular e consequentemente na produção de força.

Ao realizarem análises de subgrupo, Grgic et al. (2020a) constataram que, parece ser mais provável que a suplementação com NaHCO_3 tenha efeito sobre o estado de fadiga, devido ao acúmulo de íons H^+ , embora tenham encontrado apenas um estudo indicando atenuação no declínio da força muscular, enquanto outros três não indicaram benefício da suplementação. Os autores teorizaram que, os efeitos do NaHCO_3 na força seriam dependentes da quantidade de fadiga induzida durante o exercício, o que poderia justificar nossos achados, tendo em vista que utilizamos um protocolo de treinamento excêntrico composto por 20 séries de 12 repetições, em que o treinamento excêntrico por si só, já apresenta mudanças significativas nos indicadores de dano e edema muscular, ocasionando uma maior perda de força e prolongada disfunção muscular, mesmo dias após o treinamento (KRENTZ; FARTHING, 2010; NOSAKA; CLARKSON, 1996).

A PM e a PP, tiveram um comportamento semelhante entre os grupos, em que do M0 para o M1 houve um aumento na potência, e do M1 para o M2, houve uma diminuição na potência. Apesar da diferença significativa para o fator tempo, tanto na PM quanto na PP, o fator grupo não apresentou diferença estatística para ambas.

Poucos estudos examinaram os efeitos do NaHCO_3 na potência muscular e o nosso estudo foi o único que se utilizou de um protocolo excêntrico para indução de fadiga. Varovic

et al (2023), analisaram se a suplementação aguda de NaHCO_3 impactaria de maneira positiva no número de repetições, potência e velocidade nos exercícios de Supino e de Rosca Bíceps, para isso forneceram 0,3 g/kg de NaHCO_3 em cápsulas de gelatina (tamanho 00) divididos em 3 doses (180, 120 e 60 minutos pré-exercício) para os voluntários que realizaram 3 séries de cada exercício a 70% de 1RM até a falha muscular. Como resultados o grupo encontrou um efeito benéfico do NaHCO_3 na terceira série de supino, possibilitando a realização de mais repetições, e conseqüentemente no número total de repetições. Além de um efeito positivo para a PP na segunda série, e para a PM e velocidade média na terceira série do exercício de supino. No exercício de rosca bíceps o grupo não encontrou diferença entre as condições suplementação e placebo. Em contrapartida, no nosso estudo não encontramos nenhum benefício da suplementação com NaHCO_3 na PP e PM, o que pode ser justificado pela realização dos testes 48 horas após o protocolo de fadiga, condição que pode ter mitigado o efeito da fadiga na capacidade de realização do teste. Tendo em vista que, a maior queda na potência decorrente do treinamento excêntrico pode ocorrer no momento pós exercício e retornar a linha de base variando entre 48 e mais de 168 horas após o exercício (FERNANDEZ-GONZALO et al., 2011; LESLIE et al., 2017).

Em relação ao fator tempo, apesar de estatisticamente significativo, a variação da PM e PP seguiu um padrão inesperado, tendo aumentado do M0 para o M1 e diminuído do M1 para o M2. Pode se supor que os indivíduos testados possam ter se recuperado totalmente após as 48 horas ou sofrido um viés relacionado a aprendizagem.

Ao analisarmos o desempenho no CMJ, não encontramos diferença significativa, tanto para o fator tempo, quanto para o fator grupo. No entanto, é possível notar um tamanho de efeito moderado em favor do GEX ($\eta^2=41$), que demonstrou um melhor desempenho no M2, mesmo tendo uma queda quase que irrisória do M0 para o M1, enquanto o grupo GPL apresentou uma leve queda na potência de salto do M0 para o M1 e do M1 para o M2, respectivamente.

Dentre os artigos presentes na literatura que utilizaram suplementação com NaHCO_3 associada a algum método de treinamento resistido, não encontramos nenhum que tenha utilizado o CMJ como teste de desempenho, o que impossibilita uma comparação mais direta com os nossos achados. O único artigo que se utilizou de um teste de CMJ para avaliar o desempenho associado a suplementação com NaHCO_3 , foi o estudo de Thomas et al. (2022), onde os autores encontraram que a suplementação com NaHCO_3 atenuou o declínio da potência muscular pós sprints de carga constante em ciclistas de classe mundial, evidenciados pela melhora do desempenho no CMJ. Esse achado sugere uma influência positiva da alcalose pré-

exercício. Contudo, é impossível fazer uma comparação entre nossos resultados, tendo em vista que as características das modalidades são diferentes (sprints e treinamento resistido), e os dias escolhidos para avaliação da performance pós treinamento também foram diferentes. Onde, no estudo de Thomas et al. (2022), os testes foram realizados no mesmo dia do treinamento, a fim de se utilizar como métrica o dia com maiores níveis de fadiga decorrentes do exercício. Enquanto em nosso estudo, a avaliação do desempenho foi realizada 48 horas após a realização do exercício. Tendo em vista que, as diminuições na função muscular (no teste CMJ) pós treinamento excêntrico, perduram por 2 a 3 dias, e tem seu pico no segundo dia pós exercício (PEÑAILILLO et al., 2013).

É esperado que ocorra uma atenuação na queda de desempenho após uma segunda sessão de treinamento excêntrico, devido ao RBE. Onde, após uma segunda sessão de ciclismo excêntrico, o desempenho no CMJ já está completamente recuperado ou podendo ser levemente superior a linha de base, 48 horas pós exercício (PEÑAILILLO et al., 2013). No entanto, em nosso estudo, não identificamos qualquer valor que possa ser atribuído ao RBE no GPL, sendo apenas encontrado melhoria no M2 do GEX. Dada a homogeneidade dos grupos, o que pode se supor é que esse tamanho de efeito moderado na performance do GEX no M2, pode ser atribuído ao efeito do NaHCO_3 e não ao RBE.

Ao analisarmos os indicadores psicofisiológicos, por meio da PSE e da VAS, o presente estudo mostra que para a PSE não houve diferença significativa, tanto para o fator grupo, quanto para o fator tempo. Já para a VAS houve uma tendência de alteração, com efeito moderado, tanto na comparação intragrupo, que aumentou do M0 para o M1, e diminuiu do M1 para o M2 em ambos os grupos, quanto para a comparação entre grupos, que mostra um efeito benéfico mais pronunciado no GEX. No entanto, esses valores não apresentam uma diferença estatística significativa.

No que diz respeito ao treinamento excêntrico e a PSE, é esperado que essa variável não sofra RBE entre uma primeira e uma segunda sessão (PEÑAILILLO et al., 2013). Portanto, era esperado que não ocorresse alteração no fator tempo para essa variável. Em relação ao fator grupo, alguns estudos encontraram resultados semelhantes e outros encontraram resultados divergentes aos nossos. Motta e Souza (2018), analisaram a PSE de 3 indivíduos treinados, após protocolo de treinamento não especificado, e encontraram uma tendência de diminuição na PSE, com a suplementação de NaHCO_3 . Em consonância com nossos resultados, Gomes, Ribeiro e Binoti (2022) ao analisarem a PSE, não encontraram diferença significativa intergrupos entre as condições placebo e suplemento (com 0,3 g/kg de NaHCO_3 mais 1,2 g/kg

de maltodextrina diluídos em 500 ml de água, de forma fracionada), após um teste (grace) do crossfit. Igualmente, Fontanella et al. (2019) que ao analisarem a PSE através da escala OMNI-RES, não encontraram diferença significativa entre os grupos (suplementado com NaHCO_3 e placebo), após 5 séries de Bench Press (BP), Machine Chest Fly (MCF) e Tríceps Press (TP). Duncan, Weldon e Price (2014) também não encontraram diferença significativa entre as condições NaHCO_3 e placebo para PSE, em 8 indivíduos com experiência prévia em treinamento resistido (10 semanas), submetidos a um treinamento composto por 3 séries de supino, seguido de 3 séries de agachamento. Na mesma linha, Toledo, Vieira e Dias (2020) também não encontraram diferença estatística significativa para o grupo que suplementou com NaHCO_3 , porém encontraram um efeito positivo ao longo do tempo para a PSE no grupo que suplementou com NaHCO_3 . Battazza et al. (2022), ao analisarem os efeitos da suplementação com NaHCO_3 sobre a performance do exercício isocinético de alto volume, nos indicadores bioquímicos e psicofisiológicos (PSE e VAS), não encontraram diferenças significativas entre os grupos na PSE. Em contrapartida, Casarin et al. (2019), ao analisarem os indicadores psicofisiológicos associados a um protocolo de fadiga de contração isométrica em condições placebo e suplementando com NaHCO_3 , encontraram que o grupo que suplementou com 300 mg/kg de NaHCO_3 obteve menores índices PSE e menor carga interna ao final do protocolo isométrico de indução a fadiga, fato que poderia reforçar uma possível utilização do NaHCO_3 como um potencial recurso ergogênico para retardo da fadiga.

No que tange ao treinamento excêntrico e a dor muscular de início tardio, é esperado que ocorra altos índices com pico de dor 48 horas pós exercício no ciclismo excêntrico (PEÑAILILLO et al., 2013). No treinamento excêntrico realizado no dinamômetro isocinético, a dor muscular de início tardio desenvolve-se após o primeiro dia, com pico variando entre 48 e 72 horas pós exercício, permanecendo por 96 horas pós exercício, e retornando aos valores basais 168 horas pós exercício (HUANG et al., 2020; JAMURTAS et al., 2005; SAKA et al., 2009; ŞENIŞIK et al., 2021). Em uma máquina adaptada para os flexores do cotovelo (24 ações musculares), o pico de dor surge no primeiro dia pós exercício em sujeitos jovens (CLARKSON; DEDRICK, 1988). Em protocolos de corpo inteiro realizados em máquinas convencionais, com os voluntários realizando a fase excêntrica e os avaliadores a fase concêntrica, o pico de dor muscular varia entre 24 e 48 horas após o exercício, dependendo da musculatura testada, com extensores de joelho apresentando pico de dor 24 horas após o exercício (CHEN et al., 2019; HUANG et al., 2019). Em relação ao RBE, as alterações na dor muscular de início tardio após uma segunda sessão de treinamento excêntrico de corpo inteiro,

são menores do que após uma primeira sessão (CHEN et al., 2019). No ciclismo excêntrico, uma segunda sessão de treinamento também atenua a dor muscular de início tardio, caracterizando um grande RBE (PEÑAILILLO et al., 2013). Portanto, era de se esperar que em nosso estudo ocorresse atenuação do M1 para o M2, em ambos os grupos, relacionados ao RBE.

Em relação ao fator grupo, apesar da atenuação ter sido semelhante em ambos os grupos, o GEX apresentou uma redução mais expressiva na dor muscular de início tardio, com tendência de efeito moderada. Contrapondo nossos achados, Battazza et al. (2022) ao analisarem os efeitos da suplementação com NaHCO_3 sobre a performance do exercício isocinético de alto volume, não encontraram diferenças significativas entre os grupos no que tange a dor muscular. Em contrapartida, Casarin et al. (2019), ao analisarem os indicadores psicofisiológicos associados a um protocolo de fadiga de contração isométrica em condições placebo e suplementando com NaHCO_3 , encontraram que o grupo que suplementou com 300 mg/kg de NaHCO_3 apresentou menores índices de dor muscular ao final do protocolo isométrico de indução a fadiga, fato que poderia reforçar uma possível utilização do NaHCO_3 como um potencial recurso ergogênico para atenuação da dor muscular.

Embora não tenha sido aplicado nenhum questionário para analisar os possíveis efeitos gastrointestinais (GI), nenhum dos voluntários, ao terminarem os 10 dias de suplementação queixaram-se de desconforto GI decorrentes da suplementação, o que pode sugerir que o uso de cápsulas gastrorresistentes e a divisão da suplementação em três doses diárias seria o suficiente para inibir os efeitos colaterais do NaHCO_3 . Em outro estudo, com mesmo protocolo de suplementação, Durkalec-Miachalski (2018a) observaram que a ingestão crônica de NaHCO_3 em doses progressivas não provocaram quaisquer efeitos colaterais GI, enquanto concomitantemente melhorou o desempenho no CrossFit.

No estudo de Varovic et al. (2023), alguns voluntários apresentaram efeitos colaterais, embora tenham sido leves, o que sugere que a suplementação fornecida em cápsulas de gelatina seria menos eficiente do que a fornecida em cápsulas gastrorresistentes. Outros fatores que podem ter gerado esta discrepância nos achados é que em nosso trabalho as doses foram divididas ao longo dia (manhã, tarde e noite), enquanto no estudo de Varovic et al. (2023), a suplementação foi ingerida em três doses pré-treino (180, 120 e 60 minutos), além do fato de que as dosagens foram diferentes, sendo uma dosagem progressiva em nosso estudo (máximo de 150mg/kg no último dia) e uma dosagem aguda (300mg/kg) no estudo de Varovic et al. (2023). Os autores sugerem que, embora os efeitos colaterais após a ingestão de NaHCO_3

tenham sido leves em seu estudo, seria interessante que pesquisas futuras buscassem por estratégias que minimizem os efeitos colaterais associados ao NaHCO_3 .

Da mesma forma, Duncan, Weldon e Price (2014), relataram que 3 indivíduos apresentaram efeitos colaterais gastrointestinais, após a ingestão de 0,3 g/kg de NaHCO_3 junto de 5 ml/kg de água adoçada artificialmente. Em outro estudo, Battazza et al. (2022) constataram que os voluntários apresentaram 4 dos 9 sintomas GI listados em questionário, contudo, apenas eructação e flatulência foram relatadas de forma repetida. Os autores salientam também que os efeitos colaterais encontrados não causaram queda no desempenho dos voluntários. Já no estudo de Gomes, Ribeiro e Binoti (2022), a suplementação fracionada associada a uma dosagem de 1,2 g/kg de maltodextrina, mitigaram qualquer efeito colateral gastrointestinal causado pelo NaHCO_3 . Corroborando com o estudo anterior, Motta e Souza (2018) não encontraram efeitos colaterais gastrointestinais em um protocolo de suplementação de NaHCO_3 associado com maltodextrina, divididos em sachês. Por fim, no estudo de Toledo, Vieira e Dias (2020), os autores encontraram tamanho de efeito moderado para desconforto gastrointestinal para o grupo que suplementou com NaHCO_3 quando comparado ao placebo, no entanto esse tamanho de efeito não foi significativamente estatístico. A suplementação foi na dose de 0,3 g/kg de NaHCO_3 dividida em 3 doses, com intervalos de 10 minutos. O suplemento foi fornecido em 300 ml de água com suco de limão.

7 LIMITAÇÕES

Ao se tirar inferências práticas do presente trabalho, se faz necessária conhecer as limitações encontradas. A principal limitação do presente estudo foi o número amostral que concluiu os testes (9 voluntários). Esse número foi inferior ao proposto pela análise estatística (18 voluntários), o que pode ter influenciado a análise estatística. No entanto, esse foi o primeiro estudo a analisar os efeitos da suplementação com NaHCO_3 nos marcadores de dano e desempenho muscular após um protocolo de treinamento excêntrico.

Outra limitação foi não avaliar o equilíbrio ácido-base, a concentração de bicarbonato, nem a concentração de lactato apresentada pelos indivíduos, o que seria de grande valia, pois a alcalose sanguínea é caracterizada por aumentos na concentração de bicarbonato no sangue e pH (HEIBEL et al., 2018; LANCHÁ-JUNIOR et al., 2015). Com esses dados, seria possível afirmar com maior fidedignidade que os resultados apresentados se devem a ingestão de NaHCO_3 , e não a fatores externos. No entanto, o modelo de suplementação testado já foi implementado em outro estudo, e com presença de efeito ergogênico relacionado ao NaHCO_3 (DURKALEC-MICHALSKI et al., 2018a).

Outra limitação do presente estudo foi a não reprodutibilidade dos testes iniciais, no entanto, a confiabilidade do teste de força (1RM) tende a ser excelente, independentemente da experiência em treinamento resistido, número de sessões de familiarização, seleção de exercícios, parte do corpo avaliada, sexo ou idade dos participantes (GRGIC et al., 2020b).

Por fim, os marcadores de dano e desempenho são afetados por um período de dias após o treinamento, portanto, seria de grande valia reproduzir os testes ao longo dos dias posteriores ao exercício. No entanto, apesar da curva de queda de desempenho se estender por vários dias, no presente estudo foi utilizado como referência o dia com incidência de queda mais expressiva.

8 CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados encontrados no presente estudo podemos concluir que a suplementação crônica com NaHCO_3 em dosagem progressiva apresentou efeito ergogênico significativamente estatístico no 1RM. No entanto, a suplementação crônica com NaHCO_3 em dosagem progressiva não apresentou efeito positivo nas demais manifestações da força (CVIM e potência), nas variáveis de desempenho (CMJ_H e CMJ_PM), na ADM e nos parâmetros psicofisiológicos (PSE e VAS) em sujeitos treinados submetidos a um protocolo de treinamento excêntrico de extensão de joelho unilateral.

REFERÊNCIAS

- AHTIAINEN, J. P. et al. Panoramic ultrasonography is a valid method to measure changes in skeletal muscle cross-sectional area. **European journal of applied physiology**, v. 108, n. 2, p. 273-279, 2010.
- ALLEN, D. G.; LAMB, G. D.; WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. **Physiological reviews**, v. 88, n. 1, p. 287-332, 2008.
- AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 41, n. 3, p. 687, 2009.
- ANDERSEN, O. E.; NIELSEN, O. B.; OVERGAARD, K. Early effects of eccentric contractions on muscle glucose uptake. **Journal of Applied Physiology**, v. 126, n. 2, p. 376-385, 2019.
- ANSARI, M. et al. The Health and Functional Benefits of Eccentric versus Concentric Exercise Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 22, n. 2, p. 288, 2023.
- BACURAU, R. F.; NAVARRO, F.; UCHIDA, M. C. Hipertrofia, hiperplasia: fisiologia, nutrição e treinamento do crescimento muscular. **Phorte**, 2005.
- BALSAMO, S.; SIMÃO, R. Treinamento de força para osteoporose, fibromialgia, diabetes tipo 2, artrite reumatóide e envelhecimento. In: **Treinamento de força para Osteoporose, Fibromialgia, Diabetes Tipo 2, Artrite Reumatóide e Envelhecimento**. 2007. p. 176-176.
- BARRETO, R. V. et al. Chronic Adaptations to Eccentric Cycling Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 4, p. 2861, 2023.
- BATISTA, L. H. et al. Avaliação da amplitude articular do joelho: correlação entre as medidas realizadas com o goniômetro universal e no dinamômetro isocinético. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 10, p. 193-198, 2006.
- BATTAZZA, R. A. et al. Effect of Sodium Bicarbonate Supplementation on Muscle Performance and Muscle Damage: A Double Blind, Randomized Crossover Study. **Journal of Dietary Supplements**, p. 1-17, 2022.
- BEATO, M. et al. Acute effect of eccentric overload exercises on change of direction performance and lower-limb muscle contractile function. **Journal of strength and conditioning research**, v. 35, n. 12, p. 3327-3333, 2021.
- BOURNE, M. N. et al. An evidence-based framework for strengthening exercises to prevent hamstring injury. **Sports Medicine**, v. 48, p. 251-267, 2018.

BREITKREUTZ, J. et al. Enteric-coated solid dosage forms containing sodium bicarbonate as a drug substance: an exception from the rule?. **Journal of pharmacy and pharmacology**, v. 59, n. 1, p. 59-65, 2007.

BROWN, L. E.; WEIR, J. P. ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. **Journal of Exercise Physiology Online**, v. 4, n. 3, 2001.

BROWNSTEIN, C. G. et al. Etiology and recovery of neuromuscular fatigue following competitive soccer match-play. **Frontiers in physiology**, v. 8, p. 831, 2017.

BURKE, L. M. Practical issues in evidence-based use of performance supplements: supplement interactions, repeated use and individual responses. **Sports Medicine**, v. 47, p. 79-100, 2017.

BUTTERFIELD, T. A. Eccentric exercise in vivo: strain-induced muscle damage and adaptation in a stable system. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 38, n. 2, p. 51-60, 2010.

CALVO, J. L. et al. Effect of sodium bicarbonate contribution on energy metabolism during exercise: a systematic review and meta-analysis. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 18, n. 1, p. 1-17, 2021.

CANDIA-LUJÁN, R.; FERNÁNDEZ, J. A.; MOREIRA, O. ¿ Son efectivos los suplementos antioxidantes en la disminución del dolor muscular tardío?: una revisión sistemática. **Nutrición Hospitalaria**, v. 31, n. 1, p. 32-45, 2015.

CARR, B. M. et al. Sodium bicarbonate supplementation improves hypertrophy-type resistance exercise performance. **European journal of applied physiology**, v. 113, p. 743-752, 2013.

CARR, A. J.; HOPKINS, W. G.; GORE, C. J. Effects of acute alkalosis and acidosis on performance: a meta-analysis. **Sports medicine**, v. 41, p. 801-814, 2011.

CASARIN, C. A. S. et al. Sodium bicarbonate supplementation improves performance in isometric fatigue protocol. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 25, p. 40-44, 2019.

CHEN, T. C. et al. Damage and the repeated bout effect of arm, leg, and trunk muscles induced by eccentric resistance exercises. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 29, n. 5, p. 725-735, 2019.

CLARKSON, P. M.; HUBAL, M. J. Exercise-induced muscle damage in humans. **American journal of physical medicine & rehabilitation**, v. 81, n. 11, p. S52-S69, 2002.

CLARKSON, P. M.; DEDRICK, M. E. Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in old and young subjects. **Journal of gerontology**, v. 43, n. 4, p. M91-M96, 1988.

CONNOLLY, D. AJ; SAYERS, S. E.; MCHUGH, M. P. Treatment and prevention of delayed onset muscle soreness. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 17, n. 1, p. 197-208, 2003.

CVEČKA, J. et al. Benefits of Eccentric Training with Emphasis on Demands of Daily Living Activities and Feasibility in Older Adults: A Literature Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 4, p. 3172, 2023.

DENNIG, H. et al. Effect of acidosis and alkalosis upon capacity for work. **The Journal of clinical investigation**, v. 9, n. 4, p. 601-613, 1931.

DOMINGOS, P. R. et al. Comparison of Different Methods for Identification of Electromyography Threshold in Resistance Exercise. **International Archives of Medicine**, v. 9, 2016.

DIAS, G. et al. (In) consistencies in responses to sodium bicarbonate supplementation: a randomised, repeated measures, counterbalanced and double-blind study. **PloS one**, v. 10, n. 11, p. e0143086, 2015.

DOUGLAS, J. et al. Chronic adaptations to eccentric training: a systematic review. **Sports Medicine**, v. 47, n. 5, p. 917-941, 2017.

DRILLER, M. W. et al. The effects of serial and acute NaHCO₃ loading in well-trained cyclists. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 26, n. 10, p. 2791-2797, 2012.

DRILLER, M. W. et al. The effects of chronic sodium bicarbonate ingestion and interval training in highly trained rowers. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 23, n. 1, p. 40-47, 2013.

DUNCAN, M. J.; WELDON, A.; PRICE, M. J. The effect of sodium bicarbonate ingestion on back squat and bench press exercise to failure. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 28, n. 5, p. 1358-1366, 2014.

DURKALEC-MICHALSKI, K. et al. The effect of chronic progressive-dose sodium bicarbonate ingestion on CrossFit-like performance: A double-blind, randomized cross-over trial. **PloS one**, v. 13, n. 5, p. e0197480, 2018a.

DURKALEC-MICHALSKI, K. et al. The effect of a new sodium bicarbonate loading regimen on anaerobic capacity and wrestling performance. **Nutrients**, v. 10, n. 6, p. 697, 2018b.

DURKALEC-MICHALSKI, K. et al. The influence of progressive-chronic and acute sodium bicarbonate supplementation on anaerobic power and specific performance in team sports: a randomized, double-blind, placebo-controlled crossover study. **Nutrition & metabolism**, v. 17, p. 1-15, 2020a.

DURKALEC-MICHALSKI, K. et al. The gender dependent influence of sodium bicarbonate supplementation on anaerobic power and specific performance in female and male wrestlers. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2020b.

ENOKA, R. M.; DUCHATEAU, J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. **The Journal of physiology**, v. 586, n. 1, p. 11-23, 2008.

- ENOKA, R. M. Mechanisms of muscle fatigue: central factors and task dependency. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 5, n. 3, p. 141-149, 1995.
- ENOKA, R. M. et al. Unraveling the neurophysiology of muscle fatigue. **Journal of electromyography and kinesiology**, v. 21, n. 2, p. 208-219, 2011.
- ENOKSEN, E.; TØNNESEN, E.; SHALFAWI, S. Validity and reliability of the Newtest Powertimer 300-series® testing system. **Journal of sports sciences**, v. 27, n. 1, p. 77-84, 2009.
- FARNEY, T. M. et al. The effect of aspartate and sodium bicarbonate supplementation on muscle contractile properties among trained men. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 34, n. 3, p. 763-770, 2020.
- FITTS, R. The role of acidosis in fatigue: pro perspective. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 2016.
- FITZPATRICK, J. F. et al. The reliability of potential fatigue-monitoring measures in elite youth soccer players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35, n. 12, p. 3448-3452, 2021.
- FLECK, S. J.; KRAEMER, W. J. Fundamentos do treinamento de força muscular. **Artmed Editora**, 2017.
- FONTANELLA, L. R. et al. Sodium bicarbonate supplementation in resistance exercise performance, perceived exertion and blood lactate concentration. **Motriz: Revista de Educação Física**, v. 26, 2020.
- FRAGALA, M. S. et al. Resistance Training for Older Adults: Position Statement From the National Strength and Conditioning Association. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 33, n. 8, 2019.
- FRANCHI, M. V. et al. Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. **Acta physiologica**, v. 210, n. 3, p. 642-654, 2014.
- FRIDEN, J.; LIEBER, R. L. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 171, n. 3, p. 321-326, 2001.
- FRIEDMANN-BETTE, B. et al. Effects of strength training with eccentric overload on muscle adaptation in male athletes. **European journal of applied physiology**, v. 108, p. 821-836, 2010.
- GATHERCOLE, R. et al. Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. **International journal of sports physiology and performance**, v. 10, n. 1, p. 84-92, 2015.
- GEARHART JR, R. F. et al. Safety of using the adult OMNI Resistance Exercise Scale to determine 1-RM in older men and women. **Perceptual and motor skills**, v. 113, n. 2, p. 671-676, 2011.

GOMES, G. C.; RIBEIRO, P. V.; BINOTI, M. L. Efeito da suplementação aguda de bicarbonato de sódio na performance, percepção subjetiva de esforço e desconfortos gastrointestinais em homens praticantes de CrossFit®. **RBNE-Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, v. 16, n. 101, p. 439-449, 2022.

GONZÁLEZ-IZAL, M. et al. Electromyographic models to assess muscle fatigue. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 22, n. 4, p. 501-512, 2012.

GRGIC, J. et al. Effects of sodium bicarbonate supplementation on muscular strength and endurance: a systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 50, n. 7, p. 1361-1375, 2020a.

GRGIC, J. et al. Test–retest reliability of the one-repetition maximum (1RM) strength assessment: a systematic review. **Sports Medicine-Open**, v. 6, n. 1, p. 1-16, 2020b.

GRGIC, J. et al. International Society of Sports Nutrition position stand: sodium bicarbonate and exercise performance. **J Int Soc Sports Nutr.** Sep 9;18(1):61, 2021a.

GRGIC, J. et al. Effects of sodium bicarbonate supplementation on exercise performance: an umbrella review. **Journal of the international society of sports nutrition**, v. 18, n. 1, p. 71, 2021b.

GRGIC, J.; MIKULIC, P. Ergogenic Effects of sodium bicarbonate supplementation on middle-, but not short-distance swimming tests: a meta-analysis. **Journal of Dietary Supplements**, v. 19, n. 6, p. 791-802, 2022.

HADZIC, M.; ECKSTEIN, M. L.; SCHUGARDT, M. The impact of sodium bicarbonate on performance in response to exercise duration in athletes: a systematic review. **Journal of sports science & medicine**, v. 18, n. 2, p. 271, 2019.

HARGREAVES, M.; SPRIET, L. L. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. **Nature metabolism**, v. 2, n. 9, p. 817-828, 2020.

HEDAYATPOUR, N.; FALLA, D. Physiological and neural adaptations to eccentric exercise: mechanisms and considerations for training. **BioMed research international**, v. 2015, 2015.

HEIBEL, A. B. et al. Time to optimize supplementation: modifying factors influencing the individual responses to extracellular buffering agents. **Frontiers in nutrition**, v. 5, p. 35, 2018.

HERZOG, W. Mechanisms of enhanced force production in lengthening (eccentric) muscle contractions. **Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 11, p. 1407-1417, 2014.

HESSEL, A. L.; LINDSTEDT, S. L.; NISHIKAWA, K. C. Physiological mechanisms of eccentric contraction and its applications: a role for the giant titin protein. **Frontiers in physiology**, v. 8, p. 70, 2017.

HIGBIE, E. J. et al. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. **Journal of applied physiology**, 1996.

HILMERSSON, M.; EDVARDSSON, I.; TORNBERG, Å. B. Power of counter movement jumps with external load—coherence of three assessment methods. **BMC research notes**, v. 8, n. 1, p. 1-7, 2015.

HODY, S. et al. The susceptibility of the knee extensors to eccentric exercise-induced muscle damage is not affected by leg dominance but by exercise order. **Clinical physiology and functional imaging**, v. 33, n. 5, p. 373-380, 2013.

HODY, S. et al. Eccentric muscle contractions: risks and benefits. **Frontiers in physiology**, p. 536, 2019.

HOLLIDGE-HORVAT, M. G. et al. Effect of induced metabolic alkalosis on human skeletal muscle metabolism during exercise. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, v. 278, n. 2, p. E316-E329, 2000.

HORTOBÁGYI, T. et al. Normal forces and myofibrillar disruption after repeated eccentric exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 84, n. 2, p. 492-498, 1998.

HOWATSON, G.; VAN SOMEREN, K. A. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. **Sports medicine**, v. 38, p. 483-503, 2008.

HU, C. et al. Effects of Different Hamstring Eccentric Exercise Programs on Preventing Lower Extremity Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 3, p. 2057, 2023.

HUANG, M. et al. Damage protective effects conferred by low-intensity eccentric contractions on arm, leg and trunk muscles. **European journal of applied physiology**, v. 119, p. 1055-1064, 2019.

HUANG, T. et al. Acute responses of bone specific and related markers to maximal eccentric exercise of the knee extensors and flexors in young men. **Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions**, v. 20, n. 2, p. 206, 2020.

HUBAL, M. J.; RUBINSTEIN, S. R.; CLARKSON, P. M. Mechanisms of variability in strength loss after muscle-lengthening actions. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 39, n. 3, p. 461-468, 2007.

HUBAL, M. J. et al. Inflammatory gene changes associated with the repeated-bout effect. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 294, n. 5, p. R1628-R1637, 2008.

HUXLEY, H.; HANSON, J. Changes in the cross-striations of muscle during contraction and stretch and their structural interpretation. **Nature**, v. 173, n. 4412, p. 973-976, 1954.

HYLDAHL, R. D.; HUBAL, M. J. Lengthening our perspective: morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. **Muscle & nerve**, v. 49, n. 2, p. 155-170, 2014.

HYLDAHL, R. D.; CHEN, T. C.; NOSAKA, K. Mechanisms and mediators of the skeletal muscle repeated bout effect. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 45, n. 1, p. 24-33, 2017.

- IN-DONG, K. I. M. The Effect of Sodium Bicarbonate Intake on Maximum Muscle Strength during High-Intensity Exercise of a Sprinter. **Iranian Journal of Public Health**, v. 49, n. 11, p. 2087, 2020.
- JAMURTAS, A. Z. et al. Comparison between leg and arm eccentric exercises of the same relative intensity on indices of muscle damage. **European journal of applied physiology**, v. 95, p. 179-185, 2005.
- JENSEN, M. P.; KAROLY, P.; BRAVER, S. The measurement of clinical pain intensity: a comparison of six methods. **Pain**, v. 27, n. 1, p. 117-126, 1986.
- JONES, N. L. et al. Effect of pH on cardiorespiratory and metabolic responses to exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 43, n. 6, p. 959-964, 1977.
- JOYCE, S. et al. Acute and chronic loading of sodium bicarbonate in highly trained swimmers. **European journal of applied physiology**, v. 112, p. 461-469, 2012.
- JUEL, C. Current aspects of lactate exchange: lactate/H⁺ transport in human skeletal muscle. **European journal of applied physiology**, v. 86, n. 1, p. 12-16, 2001.
- KALYTCZAK, M. M. et al. The Effect of Sodium Bicarbonate Supplementation on Electromyographic Muscle Activity in Healthy, Physically Active Individuals: A Systematic Review. **Journal of Dietary Supplements**, v. 18, n. 3, p. 334-350, 2021.
- KARCIOGLU, O. et al. A systematic review of the pain scales in adults: which to use?. **The American journal of emergency medicine**, v. 36, n. 4, p. 707-714, 2018.
- KELLY, S. B. et al. Comparison of concentric and eccentric bench press repetitions to failure. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 29, n. 4, p. 1027-1032, 2015.
- KERKSICK, C. M. et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. **Journal of the international society of sports nutrition**, v. 15, n. 1, p. 38, 2018.
- KNAPIK, J. J. et al. Prevalence of dietary supplement use by athletes: systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 46, p. 103-123, 2016.
- KRAEMER, W. J.; RATAMESS, N. A. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. **Medicine & science in sports & exercise**, v. 36, n. 4, p. 674-688, 2004.
- KRENTZ, J. R.; CHILIBECK, P. D.; FARTHING, J. P. The effects of supramaximal versus submaximal intensity eccentric training when performed until volitional fatigue. **European journal of applied physiology**, v. 117, n. 10, p. 2099-2108, 2017.
- KRENTZ, J. R.; FARTHING, J. P. Neural and morphological changes in response to a 20-day intense eccentric training protocol. **European journal of applied physiology**, v. 110, n. 2, p. 333-340, 2010.

KROLL, W. Reliability of a selected measure of human strength. **Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation**, v. 33, n. 3, p. 410-417, 1962.

LANCHA JUNIOR, A. H. et al. Nutritional strategies to modulate intracellular and extracellular buffering capacity during high-intensity exercise. **Sports Medicine**, v. 45, p. 71-81, 2015.

LEPLEY, L. K. et al. Eccentric exercise to enhance neuromuscular control. **Sports health**, v. 9, n. 4, p. 333-340, 2017.

LEPLEY, L. K. et al. Eccentric Exercise as a Potent Prescription for Muscle Weakness After Joint Injury. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 51, n. 3, p. 109-116, 2023.

LESLIE, A. W. et al. Flexibility training and the repeated-bout effect: priming interventions prior to eccentric training of the knee flexors. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 42, n. 10, p. 1044-1053, 2017.

LIMA, F. G. et al. Acute effect of sodium bicarbonate supplementation by resistant training practices. **Biosci. j.(Online)**, p. 1429-1437, 2020.

LINDSTEDT, S. L.; LASTAYO, P. C.; REICH, T. E. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. **Physiology**, v. 16, n. 6, p. 256-261, 2001.

LINO, R. S. et al. Effect of sodium bicarbonate supplementation on two different performance indicators in sports: a systematic review with meta-analysis. **Physical Activity and Nutrition**, v. 25, n. 1, p. 7, 2021.

LOPES, T. R.; PEREIRA, H. M.; SILVA, B. M. Perceived Exertion: Revisiting the History and Updating the Neurophysiology and the Practical Applications. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 21, p. 14439, 2022.

LOPES-SILVA, J. P.; REALE, R.; FRANCHINI, E. Acute and chronic effect of sodium bicarbonate ingestion on Wingate test performance: a systematic review and meta-analysis. **Journal of sports sciences**, v. 37, n. 7, p. 762-771, 2019.

MACDONALD, B. et al. Hamstring rehabilitation in elite track and field athletes: applying the British Athletics Muscle Injury Classification in clinical practice. **British journal of sports medicine**, v. 53, n. 23, p. 1464-1473, 2019.

MACHADO, W. et al. Resistance training variables on muscle hypertrophy: a systematic review. **Motricidade**, v. 18, n. 2, 2022.

MACKEY, A. L. et al. Skeletal muscle collagen content in humans after high-force eccentric contractions. **Journal of applied physiology**, v. 97, n. 1, p. 197-203, 2004.

MAROTO-IZQUIERDO, S. et al. Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. **Journal of science and medicine in sport**, v. 20, n. 10, p. 943-951, 2017.

MARQUES, A. P. Manual de goniometria. **Editora Manole**, 1997.

MARUŠIČ, J. et al. Effects of eccentric training at long-muscle length on architectural and functional characteristics of the hamstrings. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 30, n. 11, p. 2130-2142, 2020.

MATERKO, W.; SANTOS, E. L.; NOVAES, J. S. Effect of bicarbonate supplementation on muscular strength. **Journal of Exercise Physiology Online**, v. 11, n. 6, 2008.

MATSON, L. G.; TRAN, Z. V. Effects of sodium bicarbonate ingestion on anaerobic performance: a meta-analytic review. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 3, n. 1, p. 2-28, 1993.

MATTA, T. T. et al. Non-uniformity of elbow flexors damage induced by an eccentric protocol in untrained men. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 18, n. 2, p. 223, 2019.

MATTOCKS, K. T. et al. Practicing the Test Produces Strength Equivalent to Higher Volume Training. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 49, n. 9, p. 1945-1954, 2017.

MAUGHAN, R. J. et al. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. **International journal of sport nutrition and exercise metabolism**, v. 28, n. 2, p. 104-125, 2018.

MCARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício**. Wolters Kluwer Health, 2015.

MCHUGH, M. P. et al. Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect. **Sports medicine**, v. 27, p. 157-170, 1999.

MCNAUGHTON, L.; THOMPSON, D. Acute versus chronic sodium bicarbonate ingestion and anaerobic work and power output. **Journal of sports medicine and physical fitness**, v. 41, n. 4, p. 456, 2001.

MELDRUM, D. et al. Maximum voluntary isometric contraction: investigation of reliability and learning effect. **Amyotrophic Lateral Sclerosis and Other Motor Neuron Disorders**, v. 4, n. 1, p. 36-44, 2003.

MELKONIAN, E. A.; SCHURY, M. P. Biochemistry, anaerobic glycolysis. Treasure Island (FL): **StatPearls**, 2023.

MICLOS-BALICA, M. et al. Reliability of body composition assessment using A-mode ultrasound in a heterogeneous sample. **European journal of clinical nutrition**, v. 75, n. 3, p. 438-445, 2021.

MIDDLEBROOK, I. et al. Capsule Size Alters the Timing of Metabolic Alkalosis Following Sodium Bicarbonate Supplementation. **Frontiers in Nutrition**, v. 8, p. 27, 2021.

MIRANDA, W. et al. Can Sodium Bicarbonate Supplementation Improve Combat Sports Performance? A Systematic Review and Meta-analysis. **Current Nutrition Reports**, v. 11, n. 2, p. 273-282, 2022.

MONTALVO, S. et al. Effects of augmented eccentric load bench press training on one repetition maximum performance and electromyographic activity in trained powerlifters. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 35, n. 6, p. 1512-1519, 2021.

MONTEIRO, M. F.; SOBRAL FILHO, D. C. Exercício físico e o controle da pressão arterial. **Revista brasileira de medicina do esporte**, v. 10, p. 513-516, 2004.

MOREIRA, O. C. et al. Acute effect of stretching prior to resistance training on morphological, functional and activation indicators of skeletal muscle in young men. **Sport Sciences for Health**, p. 1-10, 2021.

MORIGGI R. JUNIOR, M. et al. Effect of the flexibility training performed immediately before resistance training on muscle hypertrophy, maximum strength and flexibility. **European journal of applied physiology**, v. 117, p. 767-774, 2017.

MOTTA, E. S.; DE SOUZA, E. B. Suplementação de bicarbonato de sódio em praticantes de musculação. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, v. 12, n. 74, p. 812-818, 2018.

MUELLER, S. M. et al. Multiday acute sodium bicarbonate intake improves endurance capacity and reduces acidosis in men. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 10, n. 1, p. 16, 2013.

MURTAUGH, B.; IHM, J. M. Eccentric training for the treatment of tendinopathies. **Current sports medicine reports**, v. 12, n. 3, p. 175-182, 2013.

NELSON, R. T.; BANDY, W. D. Eccentric training and static stretching improve hamstring flexibility of high school males. **Journal of athletic training**, v. 39, n. 3, p. 254, 2004.

NEWTON, M. J. et al. Comparison of responses to strenuous eccentric exercise of the elbow flexors between resistance-trained and untrained men. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 22, n. 2, p. 597-607, 2008.

NOSAKA, K.; CLARKSON, P. M. Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 27, n. 9, p. 1263-1269, 1995.

NOSAKA, K.; CLARKSON, P. M. Changes in indicators of inflammation after eccentric exercise of the elbow flexors. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 28, n. 8, p. 953-961, 1996.

NOSAKA, K.; NEWTON, M. Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and submaximal eccentric loading. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 16, n. 2, p. 202-208, 2002.

OLIVEIRA, L. et al. Is individualization of sodium bicarbonate ingestion based on time to peak necessary?. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 52, n. 8, 2020.

OLIVEIRA, L. et al. Extracellular buffering supplements to improve exercise capacity and performance: A comprehensive systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, p. 1-22, 2022.

ORTEGA, J. O. et al. Muscle force, work and cost: a novel technique to revisit the Fenn effect. **The Journal of Experimental Biology**, v. 218, n. 13, p. 2075-2082, 2015.

PADDON-JONES, D. et al. Adaptation to chronic eccentric exercise in humans: the influence of contraction velocity. **European journal of applied physiology**, v. 85, p. 466-471, 2001.

PEAKE, J.; NOSAKA, K. K.; SUZUKI, K. Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. 2005.

PEART, D. J.; SIEGLER, J. C.; VINCE, R. V. Practical recommendations for coaches and athletes: a meta-analysis of sodium bicarbonate use for athletic performance. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 26, n. 7, p. 1975-1983, 2012.

PEÑAILILLO, L. et al. Metabolic and muscle damage profiles of concentric versus repeated eccentric cycling. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 45, n. 9, p. 1773-1781, 2013.

PILEGAARD, H.; ASP, S. Effect of prior eccentric contractions on lactate/H⁺ transport in rat skeletal muscle. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, v. 274, n. 3, p. E554-E559, 1998.

PINCHEIRA, P. A. et al. Biceps femoris long head sarcomere and fascicle length adaptations after 3 weeks of eccentric exercise training. **Journal of sport and health science**, v. 11, n. 1, p. 43-49, 2022.

POLLOCK, M. L.; VINCENT, K. R. **Resistance training for health**. President's Council on Physical Fitness and Sports, 1996.

RAYMENT, I. et al. Structure of the actin-myosin complex and its implications for muscle contraction. **Science**, v. 261, n. 5117, p. 58-65, 1993.

REEVES, N. D.; MAGANARIS, C. N.; NARICI, M. V. Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. **European journal of applied physiology**, v. 91, n. 1, p. 116-118, 2004.

REEVES, N. D. et al. Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans. **Experimental physiology**, v. 94, n. 7, p. 825-833, 2009.

REYNOLDS, J. M.; GORDON, T. J.; ROBERGS, R. A. Prediction of one repetition maximum strength from multiple repetition maximum testing and anthropometry. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 20, n. 3, p. 584-592, 2006.

ROBERTSON, R. J. et al. Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 35, n. 2, p. 333-341, 2003.

ROBERTSON, R. J. et al. Effect of blood pH on peripheral and central signals of perceived exertion. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 18, n. 1, p. 114-122, 1986.

RODRIGUES, A. C. et al. Efeitos agudos e crônicos da suplementação de NaHCO₃ durante o exercício: uma revisão crítica. **RBNE-Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, v. 17, n. 103, p. 235-242, 2023.

ROIG, M. et al. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. **British journal of sports medicine**, v. 43, n. 8, p. 556-568, 2009.

SAKA, T. et al. Difference in the magnitude of muscle damage between elbow flexors and knee extensors eccentric exercises. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 8, n. 1, p. 107, 2009.

SCHOENFELD, B. J. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 24, n. 10, p. 2857-2872, 2010.

SCHOENFELD, B. J. et al. Hypertrophic effects of concentric vs. eccentric muscle actions: a systematic review and meta-analysis. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 31, n. 9, p. 2599-2608, 2017.

SCHOENFELD, B. J. et al. Resistance training recommendations to maximize muscle hypertrophy in an athletic population: Position stand of the IUSCA. **International Journal of Strength and Conditioning**, v. 1, n. 1, 2021.

SCOTT, J.; HUSKISSON, E. C. Graphic representation of pain. **pain**, v. 2, n. 2, p. 175-184, 1976.

ŞENIŞİK, S. Ç. et al. Effects of Muscle Architecture on Eccentric Exercise Induced Muscle Damage Responses. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 20, n. 4, p. 655, 2021.

SIEGLER, J. C. et al. The effect of pH on fatigue during submaximal isometric contractions of the human calf muscle. **European journal of applied physiology**, v. 115, p. 565-577, 2015.

SIEGLER, J. C. et al. Acute attenuation of fatigue after sodium bicarbonate supplementation does not manifest into greater training adaptations after 10-weeks of resistance training exercise. **PLoS One**, v. 13, n. 5, p. e0196677, 2018.

SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia humana: uma abordagem integrada**. Artmed editora, 2010.

SOSTARIC, S. M. et al. Alkalosis increases muscle K⁺ release, but lowers plasma [K⁺] and delays fatigue during dynamic forearm exercise. **The Journal of physiology**, v. 570, n. 1, p. 185-205, 2006.

STOŽER, A.; VODOPIVC, P.; BOMBEEK, L. K. Pathophysiology of exercise-induced muscle damage and its structural, functional, metabolic, and clinical consequences. **Physiological Research**, v. 69, n. 4, p. 565, 2020.

TESCH, P. A.; COLLIANDER, E. B.; KAISER, P. Muscle metabolism during intense, heavy-resistance exercise. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 55, p. 362-366, 1986.

THOMAS, K. et al. Etiology and recovery of neuromuscular fatigue following simulated soccer match-play. **Med Sci Sports Exerc**, v. 49, n. 5, p. 955-64, 2017.

THOMAS, C. et al. Positive effects of pre-exercise metabolic alkalosis on perceived exertion and post-exercise squat jump performance in world-class cyclists. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, 2022.

THONG, I. SK et al. The validity of pain intensity measures: what do the NRS, VAS, VRS, and FPS-R measure?. **Scandinavian journal of pain**, v. 18, n. 1, p. 99-107, 2018.

TIMMINS, R. G. et al. Architectural changes of the biceps femoris long head after concentric or eccentric training. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 48, n. 3, p. 499-508, 2015.

TIMMINS, R. G. et al. Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study. **British journal of sports medicine**, v. 50, n. 24, p. 1524-1535, 2016.

TOLEDO, L. P.; VIEIRA, J. G.; DIAS, M. R. Acute effect of sodium bicarbonate supplementation on the performance during CrossFit® training. **Motriz: Revista de Educação Física**, v. 26, 2020.

TOTOSY DE ZEPETNEK, J. O. et al. Test-retest Reliability and Validity of Body Composition Methods in Adults. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, 2021.

VAN DER HORST, N. et al. The preventive effect of the nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: a randomized controlled trial. **The American journal of sports medicine**, v. 43, n. 6, p. 1316-1323, 2015.

VAROVIC, D. et al. Ergogenic Effects of Sodium Bicarbonate on Resistance Exercise: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, p. 10.1519, 2022.

VIDMAR, M. F. et al. Isokinetic eccentric training is more effective than constant load eccentric training for quadriceps rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. **Brazilian journal of physical therapy**, v. 24, n. 5, p. 424-432, 2020.

VOGT, M.; HOPPELER, H. H. Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. **Journal of applied Physiology**, 2014.

WARBURTON, D. E. R.; NICOL, C. W.; BREDIN, S. S. D. Prescribing exercise as preventive therapy. **Cmaj**, v. 174, n. 7, p. 961-974, 2006).

WILKES, D.; GLEDHILL, N.; SMYTH, R. Effect of acute induced metabolic alkalosis on 800-m racing time. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 15, n. 4, p. 277-280, 1983.

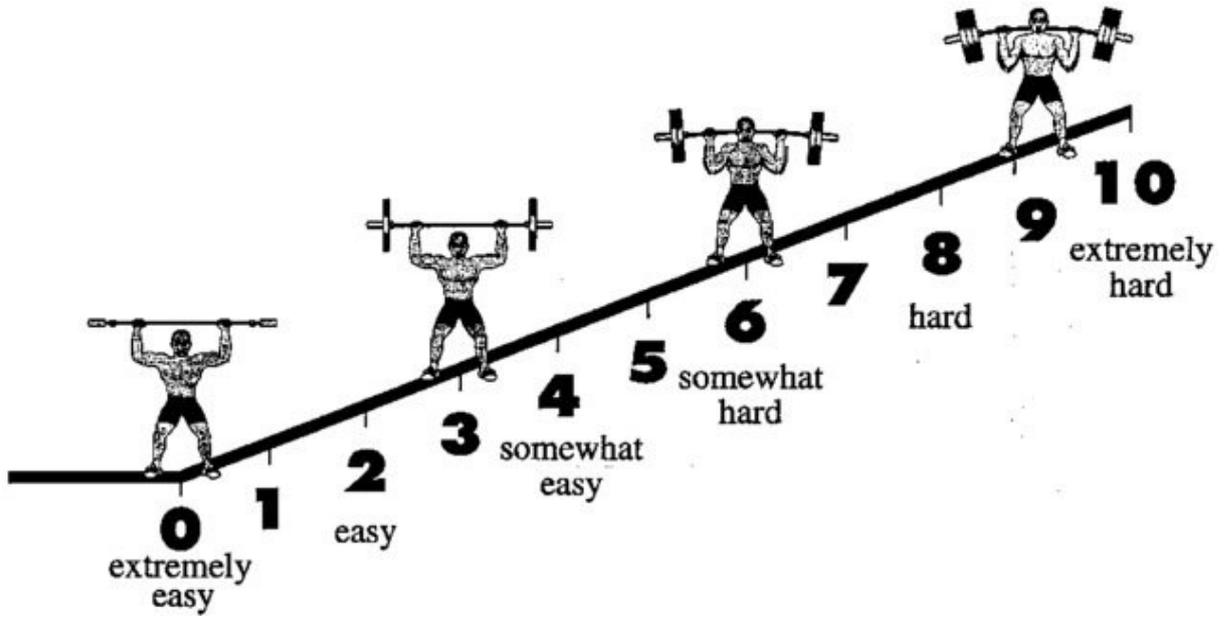
YEUNG, E. W. et al. Effect of eccentric contraction-induced injury on force and intracellular pH in rat skeletal muscles. **Journal of Applied Physiology**, v. 92, n. 1, p. 93-99, 2002.

YOON, S. Y. et al. The beneficial effects of eccentric exercise in the management of lateral elbow tendinopathy: A systematic review and meta-analysis. **Journal of clinical medicine**, v. 10, n. 17, p. 3968, 2021.

ZHOU, N. et al. Effects of serial and acute enteric-coated sodium bicarbonate supplementation on anaerobic performance, physiological profile, and metabolomics in healthy young men. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 931671, 2022.

ANEXO A

Escala de Percepção de Esforço OMNI-RES



Retirado de Robertson et al., (2003)

ANEXO B

Visual Analogue Scale (VAS) for pain¹

Name: _____ Date: _____

Place a mark on the line below to indicate your current level of pain².

0 10

No pain Pain as bad as it could possibly be

Please ensure you print this document to scale so that the VAS line is 10cm long.

1 State Insurance Regulatory Authority: Guidelines for the management of acute whiplash-associated disorders – for health professionals. Sydney: third edition, 2014, P.43.
2 Scott, J. and E. Huskisson, Graphic representation of pain. Pain, 1976, 2(2): p. 175-184.

Retirado de Scott e Huskisson (1976)

APÊNDICE A

Questionário de Prontidão para Atividade Física (PAR-Q)

Este questionário tem o objetivo de identificar a necessidade de avaliação por um médico antes do início da atividade física. Caso você responda “SIM” a uma ou mais perguntas, converse com seu médico ANTES de aumentar seu nível atual de atividade física. Mencione este questionário e as perguntas às quais você respondeu “SIM”.

Por favor, assinale “SIM” ou “NÃO” às seguintes perguntas:

1. Algum médico já disse que você possui algum problema de coração e que só deveria realizar atividade física supervisionado por profissionais de saúde?
() Sim () Não
2. Você sente dores no peito quando pratica atividade física?
() Sim () Não
3. No último mês, você sentiu dores no peito quando praticou atividade física?
() Sim () Não
4. Você apresenta desequilíbrio devido à tontura e/ ou perda de consciência?
() Sim () Não
5. Você possui algum problema ósseo ou articular que poderia ser piorado pela atividade física?
() Sim () Não
6. Você toma atualmente algum medicamento para pressão arterial e/ou problema decoração?
() Sim () Não
7. Sabe de alguma outra razão pela qual você não deve praticar atividade física?
() Sim () Não

Nome completo _____ Idade: _____

Data _____ Assinatura: _____

Se você respondeu “SIM” a uma ou mais perguntas, leia e assine o “Termo de Responsabilidade para Prática de Atividade Física”

Termo de Responsabilidade para Prática de Atividade Física

Estou ciente de que é recomendável conversar com um médico antes de aumentar meu nível atual de atividade física, por ter respondido “SIM” a uma ou mais perguntas do “Questionário de Prontidão para Atividade Física” (PAR-Q). Assumo plena responsabilidade por qualquer atividade física praticada sem o atendimento a essa recomendação.

Nome Completo _____

Data _____ Assinatura: _____

APÊNDICE B

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

Prezado(a) Senhor(a), você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa de forma totalmente voluntária da Universidade Federal de Lavras. Antes de concordar, é importante que você compreenda as informações e instruções contidas neste documento. Será garantida, durante todas as fases da pesquisa: sigilo; privacidade; e acesso aos resultados.

I - Título do trabalho experimental: Efeitos da suplementação crônica com bicarbonato sobre marcadores de dano e desempenho muscular em indivíduos treinados: Um ensaio clínico randomizado, duplo-cego, controlado por placebo.

II - OBJETIVOS

O estudo tem como objetivo analisar a efetividade da suplementação crônica com bicarbonato de sódio em marcadores de dano e desempenho.

III – JUSTIFICATIVA

A utilização de bicarbonato de sódio pode ter um efeito positivo no treinamento resistido, atenuando os efeitos deletérios causados pela fadiga.

IV - PROCEDIMENTOS DO EXPERIMENTO

AMOSTRA

Durante a realização da pesquisa será aplicado um questionário de prontidão para a atividade física, após serão realizados testes de diferentes manifestações da força, eletromiografia de superfície, salto contra-movimento e amplitude de movimento.

V - RISCOS ESPERADOS

A utilização da suplementação de bicarbonato pode provocar desconfortos gastrointestinais.

VI – BENEFÍCIOS

A pesquisa poderá impactar na implementação ou popularização do bicarbonato como recurso ergogênico no treinamento resistido. Além de minimizar os efeitos da fadiga nos voluntários da pesquisa.

VII – CRITÉRIOS PARA SUSPENDER OU ENCERRAR A PESQUISA

A pesquisa pode ser suspensa caso apresente irregularidade nos procedimentos descritos acima.

VIII - CONSENTIMENTO PÓS-INFORMAÇÃO

Após convenientemente esclarecido pelo pesquisador e ter entendido o que me foi explicado, consinto em participar do presente Projeto de Pesquisa.

Viçosa, _____ de _____ de 2022.

Nome (legível)

RG

Assinatura

ATENÇÃO! Por sua participação, você: não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira; será ressarcido de despesas que eventualmente ocorrerem; será indenizado em caso de eventuais danos decorrentes da pesquisa; e terá o direito de desistir a qualquer momento, retirando o consentimento sem nenhuma penalidade e sem perder quaisquer benefícios. Em caso de dúvida quanto aos seus direitos, escreva para o Comitê de Ética em Pesquisa em seres humanos da UFLA. Endereço – Campus Universitário da UFLA, Pró-reitoria de pesquisa, COEP, caixa postal 3037. Telefone: 3829-5182.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma cópia será arquivada com o pesquisador responsável e a outra será fornecida a você.

No caso de qualquer emergência entrar em contato com os pesquisadores responsáveis: wanderson.machado@estudante.UFLA.br e osvaldo.moreira@ufv.br

APÊNDICE C

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
LAVRAS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: SUPLEMENTOS NUTRICIONAIS E AS RESPOSTAS A DISTINTOS PROGRAMAS DE ATIVIDADE FÍSICA

Pesquisador: Sandro Fernandes da Silva

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 20221419.7.0000.5148

Instituição Proponente: Universidade Federal de Lavras

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.863.378

Apresentação do Projeto:

A utilização de suplementos nutricionais sem a devida prescrição é uma realidade no dia a dia, essa utilização indiscriminada não está diretamente relacionada a melhora do rendimento físico. Assim estudar uma gama de suplementos nutricionais e verificar as distintas respostas no desempenho é uma forma de se esclarecer o funcionamento biopsicofisiológico desses suplementos e ainda apresentar a sociedade quais são seguros e confiáveis a população.

Objetivo da Pesquisa:

Analisar o efeito de diferentes suplementos nutricionais no rendimento físico de homens e mulheres em diferentes atividades físicas

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Bem delineados

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa relevante e exequível

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Declaração das academias foram anexadas.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há pendências éticas.

Endereço: Campus Universitário Cx Postal 3037

Bairro: PRP/COEP

CEP: 37.200-000

UF: MG

Município: LAVRAS

Telefone: (35)3629-5182

E-mail: coep@nintec.ufla.br

APÊNDICE D

REVIEW ARTICLE

<https://doi.org/10.6063/motricidade.27130>

Resistance training variables on muscle hypertrophy: a systematic review

Wanderson Matheus Lopes Machado¹ , Claudia Eliza Patrocínio de Oliveira^{1,2} ,
Francielle de Assis Arantes² , Dihogo Gama de Matos³ , Sérgio Maroto-Izquierdo^{4,5} ,
Oswaldo Costa Moreira^{1,6*} 

ABSTRACT

Resistance training (RT) is a widely practised type of training, and the number of adherents of this type of physical exercise is increasing each year. Among the most sought objectives of those who initiate RT is muscle hypertrophy, although success in this process depends on a well-designed protocol and good manipulation of training variables. The present study aims to analyse, through a systematic review, the impact of the RT variables (such as intensity, volume, recovery interval, execution speed, and concentric muscle failure) relevant to muscle hypertrophy and if there is an ideal range for each training variable. The research was carried out in the PubMed, Web of Science, Scopus and Scielo databases from 2000 to 2020, using the terms "resistance training" and "hypertrophy" and "intensity" or "volume" or "recovery interval" or "execution speed" or "muscular failure". Twenty-three articles were included in the review. The PEDro scale was used to analyse the quality of the selected articles. It was concluded that the variables intensity and volume must be carefully analysed in a training program. Despite not having a direct impact on hypertrophy, the other variables affect the intensity and volume and must be manipulated according to what is intended with the others.

KEYWORDS: muscle strength; hypertrophy; resistance training.

INTRODUCTION

Resistance training (RT) is one of the most popular physical exercise forms in sports performance and health-related environments. RT is generally used to refer to strength exercise training using some external load and equipment. Thus, by means of systematically demanding muscle activation in the involved musculature to overcome a certain external resistance, RT leads to increase muscle force-generating capacity, elicits a hypertrophic response or enhances muscular endurance (ACSM, 2009; Schoenfeld, Peterson, Ogborn, Contreras, & Sonmez, 2015; Moreira et al., 2019).

Initially, RT programs promote increased strength, initially dependent on neural adaptations. Subsequently, both neural and hypertrophic factors account for these strength

gains, with hypertrophic factors becoming predominant after the first 3-5 weeks of training (Moritani & DeVries, 1979). To trigger muscle hypertrophy, a longer period of training is needed to increase the contractile protein contained in all muscle fibres (Morton et al., 2018). Thus, muscle hypertrophy can be considered a result of the expansion of the contractile elements in series and the extracellular matrix of muscle fibre, caused by the addition of sarcomeres in series and myofibrils in parallel or by an increase of fluid content and non-contractile elements in the extracellular matrix (Schoenfeld, 2010).

The correct manipulation of some variables of the RT program can maximise hypertrophic gains and improve muscle fitness levels (ACSM, 2009). In this sense, to promote muscle hypertrophy, it is recommended to perform the RT at an

¹Graduate Program in Nutrition and Health, Universidade Federal de Lavras – Lavras (MG), Brazil.

²Department of Physical Education, Universidade Federal de Viçosa – Viçosa (MG), Brazil.

³Cardiovascular and Physiology of Exercise Laboratory, University of Manitoba – Manitoba, Canada.

⁴Department of Health Sciences, European University Miguel de Cervantes – Valladolid, Spain.

⁵Proporción A, Applied Sports Science Center – Valladolid, Spain.

⁶Institute of Biological Sciences and Health, Universidade Federal de Viçosa – Florestal (MG), Brazil.

*Corresponding author: Institute of Biological Sciences and Health, Universidade Federal de Viçosa, Campus Florestal, Rodovia LMG 818, km 6, Campus Universitário – CEP: 35690-000 – Florestal (MG), Brazil. E-mail: osvaldo.moreira@ufv.br

Conflict of interests: nothing to declare. Funding: none.

Received: 06/07/2021. Accepted: 11/13/2021.

APÊNDICE E

235

RBNE
Revista Brasileira de Nutrição Esportiva

**EFEITOS AGUDOS E CRÔNICOS DA SUPLEMENTAÇÃO DE NaHCO_3 DURANTE O EXERCÍCIO:
UMA REVISÃO CRÍTICA**

Alaor Cristian Rodrigues¹, Wanderson Matheus Lopes Machado²
Cláudia Eliza Patrocínio de Oliveira¹, Osvaldo Costa Moreira³

RESUMO

Um dos motivos para a geração de fadiga muscular em treinamento físico de alta intensidade está associado com a diminuição do pH e acúmulo de H^+ , favorecendo assim, o processo de acidose metabólica. Estudos apontam a possibilidade de utilizar como recurso ergogênico o Bicarbonato de sódio (NaHCO_3) com o objetivo de atenuar os efeitos da fadiga durante o treinamento. Com isso, o presente estudo teve por objetivo realizar uma revisão crítica da literatura, a fim de analisar os efeitos agudos e crônicos da suplementação de NaHCO_3 durante o exercício. A revisão em questão foi realizada através de pesquisas por meio eletrônico, em sites acadêmicos, como Google Acadêmico, Scielo, PubMed, RBNE, sem restrição de data. Foram analisados artigos científicos com ênfase em seres humanos e termos como: bicarbonato de sódio e exercícios, foram considerados os artigos em inglês e português, e os artigos que não se enquadravam as especificações foram descartados. Conclui-se que a ingestão de NaHCO_3 apresentou um estímulo no processo de tampão de bicarbonato pela alcalinização do meio intracelular, estimulando assim alterações no pH e no transporte de lactato/ H^+ do meio intracelular para o meio extracelular. Os efeitos da ingestão de NaHCO_3 de forma crônica e aguda apresentaram um aumento no desempenho em relação ao placebo, no entanto, foram encontrados estudos que não obtiveram alterações no desempenho ou valores significantes em relação ao placebo.

Palavras-chave: Bicarbonato de sódio, Endurance, Treinamento físico, NaHCO_3 , Exercício físico.

1 - Departamento de Educação Física, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brasil.

2 - Mestrando no Programa de Nutrição e Saúde, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil.

3 - Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Viçosa, Florestal-MG, Brasil.

ABSTRACT

Acute and chronic effects of NaHCO_3 supplementation during exercise: a critical review

One of the reasons for the generation of muscle fatigue in high-intensity physical training is associated with the decrease in pH and accumulation of H^+ , thus favoring the process of metabolic acidosis. Studies point to the possibility of using sodium bicarbonate (NaHCO_3) as an ergogenic process in order to attenuate the effects of fatigue during training. Thus, the present study aimed to carry out a critical review of the literature in order to analyze the acute and chronic effects of NaHCO_3 supplementation during exercise. The review in question was carried out through electronic research on academic websites, such as Google Scholar, Scielo, PubMed, RBNE, without date restriction. Scientific articles were analyzed with emphasis on human beings and terms such as: sodium bicarbonate; and exercises, articles in English and Portuguese were considered, articles that did not fit the specifications were discarded. It is concluded that NaHCO_3 ingestion stimulated the bicarbonate buffering process by the alkalization of the intracellular medium, thus stimulating changes in pH and in the transport of lactate/ H^+ from the intracellular to the extracellular medium. The effects of ingestion of NaHCO_3 chronically and acutely showed an increase in performance in relation to placebo, however, studies were found that did not obtain changes in performance or significant values in relation to placebo.

Key words: Sodium bicarbonate, Endurance, Physical training, NaHCO_3 , Physical exercise.

E-mail dos autores:
alaor.rodrigues@ufv.br
wanderson.machado@estudante.ufva.br
cpatrocinio@ufv.br
osvaldo.moreira@ufv.br

Revista Brasileira de Nutrição Esportiva

São Paulo, v. 17, n. 103, p.235-242, Março/Abril, 2023. ISSN 1981-9927 Versão Eletrônica
www.rbne.com.br