



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS MINISTRO REIS VELLOSO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOMÉDICAS

KYVIA NAYSIS DE ARAUJO SANTOS

**ESTIMAR O INTERVALO DE TEMPO AUMENTA A FORÇA MUSCULAR E A
POTÊNCIA ABSOLUTA DA BANDA ALFA**

Parnaíba – PI

2018

KYVIA NAYSIS DE ARAUJO SANTOS

**ESTIMAR O INTERVALO DE TEMPO AUMENTA A FORÇA MUSCULAR E A
POTÊNCIA ABSOLUTA DA BANDA ALFA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biomédicas da Universidade Federal do Piauí, *Campus* Ministro Reis Velloso, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biomédicas.

Área de concentração: Desenvolvimento Humano e Funcionalidade

Orientador: Prof. Dr. Silmar Silva Teixeira

Parnaíba – PI

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Universidade Federal do Piauí

Biblioteca Setorial Prof. Cândido Athayde – Campus Parnaíba

Serviço de Processamento Técnico

S237e Santos, Kyvia Naysis de Araujo

Estimar o intervalo de tempo aumenta a força muscular e a potência absoluta da banda alfa [manuscrito] / Kyvia Naysis de Araujo Santos. – 2018.

47 f. il. color.

Impresso por computador (printout).

Dissertação (Mestrado em Ciências Biomédicas) – Universidade Federal do Piauí, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Silmar Silva Teixeira

KYVIA NAYSIS DE ARAUJO SANTOS

**ESTIMAR O INTERVALO DE TEMPO AUMENTA A FORÇA MUSCULAR E A
POTÊNCIA ABSOLUTA DA BANDA ALFA**

APROVADA EM ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Silmar Silva Teixeira
Universidade Federal do Piauí – *Campus* Ministro Reis Velloso
(Presidente)

Prof. Ariel Soares Teles
Instituto Federal do Maranhão – *Campus* Barreirinhas
(Membro)

Prof. Dr. Victor Hugo do Vale Bastos
Universidade Federal do Piauí – *Campus* Ministro Reis Velloso
(Membro)

Prof^a. Dra Janaína de Moraes Silva
Universidade Estadual do Piauí – *Campus* Teresina
(Membro)

AGRADECIMENTOS

A Deus, nosso Senhor, todo poderoso, que me deu a graça de concluir mais essa etapa. E que já tinha sonhado esse mestrado para mim muito antes que eu o tivesse como objetivo.

A minha família, minha mãe Carminha e meu irmão Kerles, por acreditar em mim e ser meu porto seguro e meu apoio em meio a tantas tempestades da vida, e por sempre abraçarem meus sonhos como se fossem seus. Minha querida avó, Rosário (In Memoriam), minha segunda mãe, que torceu e apoiou minha formação acadêmica e profissional durante toda sua vida. E a todos os familiares que auxiliaram na conclusão dessa etapa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Silmar Teixeira, pela paciência, dedicação e confiança para desenvolver essa pesquisa. E principalmente por seu exemplo de amor à pesquisa e à docência.

Aos meus filhos científicos, Eliezer e Lenilson, por auxiliarem e tornarem esse projeto possível. Aos meus colegas de laboratório, por todo conhecimento repassado, auxílios e cafés da tarde. Em especial: Elanny, Victor, Xavier, Iris, Adriano, Marcos.

Aos meus amigos, Alice, Higinalice, Flavia, Denise, Kleyson, Cryslane, Yanne, pelo apoio, torcida e pelos momentos de lazer que tornaram essa jornada mais leve.

Aos meus patrões, Dona Rosângela e Seu Rafael, pela oportunidade de emprego e de crescimento profissional, e por serem compreensíveis nos dias os quais eu tive que me ausentar para me dedicar ao mestrado e a pesquisa. Às minhas colegas de profissão, pelo companheirismo no trabalho e a todos os funcionários do Espaço Rosângela Albuquerque.

Aos meus voluntários, por disponibilizarem seu tempo para contribuir com essa pesquisa.

A minha banca, pelas considerações valiosas. Grata por sua participação.

RESUMO

Tarefas cognitivas têm sido utilizadas para o aumento da força muscular por intermédio de treinamento com imagética motora. Porém ainda é desconhecido se tarefas de percepção temporal podem realizar esse aumento e quais seriam as modificações neurobiológicas proporcionada pela realização dessas tarefas na força muscular. O objetivo desse estudo foi analisar as modificações corticais e da força muscular induzida em uma tarefa estimativa do tempo. Para essa proposição, realizou-se estudo *crossover* contrabalanceado com quarenta homens destros, submetidos às tarefas de Imagética Motora (IM) e Percepção do Tempo (PT). Tanto na condição IM quanto PT foram realizadas mensurações da força muscular antes e depois do tratamento, com os participantes realizando a preensão manual em um dinamômetro, simultaneamente à captação do sinal do eletroencefalógrafo. Nos resultados encontramos diferença nos valores de força muscular após a execução das tarefas cognitivas, com a PT aumentando a força muscular dos participantes, enquanto IM a reduzia ($p \leq 0,05$). Além disso, a tarefa de PT promoveu maior atividade da potência absoluta da banda alfa no córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo e no córtex pré-frontal ventrolateral direito do que a tarefa de IM ($p \leq 0,05$). Ao analisar se as modificações na corticais em ambas as condições poderiam estar associadas ao aumento da força muscular, foi observado que a atividade nos córtices pré-frontal dorsolateral esquerdo, motor primário esquerdo e direito nos participantes na condição PT promovem maior aumento da força muscular em relação a condição IM. Os achados demonstram que a PT modifica a atividade cortical de forma a melhorar o desempenho muscular, e desse modo, poderia ser utilizada como método cognitivo de fortalecimento muscular.

Palavras-chave: Força muscular, percepção do tempo, imagética motora, córtex pré-frontal e córtex motor.

ABSTRACT

Cognitive tasks have been used to increase muscle strength through motor imagery training. However, it is still unknown if temporal perception tasks may accomplish this increase and what would be the neurobiological changes provided by the accomplishment of these tasks in the muscular force. This study aimed to analyze the cortical modifications and the induced muscular force in a time estimation task. For this proposition, we performed a counterbalanced crossover study with forty right-handed men, submitted to the Motor Imagery (MI) and Time Perception (TP) tasks. In both MI and TP conditions, muscle strength measurements were performed before and after treatment, with the subjects performing the manual grip on a dynamometer, simultaneously with the electroencephalograph signal. In the results, we found a difference in the muscle strength values after performing the cognitive tasks, with TP increasing the muscular strength of the subjects, while MI reduced it ($p \leq 0.05$). In addition, TP task promoted greater alpha band absolute power activity in the left dorsolateral prefrontal cortex and right ventrolateral prefrontal cortex than the MI task ($p \leq 0.05$). When analyzing whether cortical changes in both conditions could be associated with increased muscle strength, it was observed the activity in the left dorsolateral prefrontal cortex, left and right primary motor cortex, in the TP condition subjects promoted muscle strength increase in relation to the MI condition. The findings demonstrate TP modifies the cortical activity to improve muscle performance and thus, could be used as a cognitive method of muscle strengthening.

Keywords: Muscular strength, time perception, motor imagery, prefrontal cortex and motor cortex.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Tarefa de estimativa de tempo.

Figura 2: Valores de força muscular antes e após a aplicação da tarefa cognitiva.

Figura 3: Interação entre áreas e condições.

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CMPd: Córtex Motor Primário Direito

CMPe: Córtex Motor Primário Esquerdo

CPFDLe: Córtex Pré-frontal Dorsolateral Esquerdo

CPFLLd: Córtex Pré-frontal Dorsolateral Direito

CPFVLd: Córtex Pré-frontal Ventrolateral Direito

CPFVLe: Córtex Pré-frontal Ventrolateral Esquerdo

EEG: Eletroencefalografia

EEGq: Eletroencefalografia quantitativa

IM: Imagética Motora

PT: Percepção do Tempo

SNC: Sistema Nervoso Central

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	10
1. Introdução	10
1.1 Justificativa	11
1.2 Objetivos	11
1.3 Hipóteses.....	12
CAPÍTULO II	13
2. Fundamentação Teórica	13
2.1 Força muscular e o córtex cerebral	13
2.2 Relação entre treinamento cognitivo e força muscular	15
2.3 A influência da Imagética motora na força muscular	18
2.4 Elementos cognitivos da percepção do tempo	22
CAPÍTULO III	25
3. Material e Método	25
3.1 Participantes	25
3.2 Procedimento Experimental	25
3.3 Gravação de EEG	27
3.4 Localizações espaciais dos eletrodos	28
3.5 Processamento dos dados	28
3.6 Análise estatística	29
CAPÍTULO IV	31
4. Resultados	31
4.1 Força Muscular	31
4.2 Variáveis Neurofisiológicas	31
4.3 Associação da força muscular e variável neurofisiológica	32
CAPÍTULO V	34
5. Discussão	34
CAPÍTULO IV	39
6. Conclusão	39
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	40
ANEXO I	44

1. Introdução

A força muscular é essencial para as atividades do dia-a-dia, sendo definida como a habilidade do músculo em produzir força por contração, além de ser parâmetro para diagnosticar distúrbios funcionais, realizar prognósticos, prescrever exercícios e observar a eficácia muscular (ADEDYOYIN *et al.*, 2009; GLYNN e FIDDLER, 2009). Dentre as diversas formas de análise da força muscular, o dinamômetro tem sido um dispositivo amplamente utilizado devido ser um método barato, de fácil execução, não invasivo e apresentar uma mensuração confiável e válida (ADEDYOYIN *et al.*, 2009).

Para melhorar o desempenho da força, atletas usam tarefas cognitivas em competições ou em treinamento, tais como: imaginar realizando o movimento desejado; auto incentivo com palavras motivacionais; estabilização de metas e preparatório com exercícios estimulantes. Essas tarefas proporcionam ativação física e mental, melhoram o foco de atenção, possibilitam a capacidade de conquista (auto eficácia), e, conseqüentemente, aumentam a força (TOD *et al.*, 2015). A tarefa cognitiva comumente usada para o fortalecimento muscular é a Imagética Motora (IM), também conhecida como treinamento mental, que consiste em criar uma representação imaginária de uma tarefa ou um ato motor para potencializar o aprendizado (GENTILI *et al.*, 2010).

Dentre as diversas tarefas cognitivas utilizadas para o aumento da força muscular, as de Percepção Temporal (PT) ainda não foram utilizadas. A PT é definida como o período que levamos para perceber a duração de um intervalo de tempo (FONTES *et al.*, 2016) e a identificação, processamento e interpretação realizada pelo Sistema Nervoso Central (SNC) relacionados ao meio que vivemos, ou seja, detecta o número de estímulos por intervalo de

tempo (HAGGARD *et al.*, 2002). Neste contexto, a utilização de tarefa cognitiva com PT poderá promover mudanças na força. Este fato está direcionado às bases neurofisiológicas da percepção temporal, haja vista que tarefas motoras cotidianas, como as de força muscular, têm influência da percepção do tempo para a tomada de decisão (MATELL e MECK, 2004). Outro fato seria que a PT e a força muscular possuem áreas de processamento em comum, como o cerebelo e o córtex pré-frontal (BUHUSI e MECK, 2009; DROIT-VOLET, 2013; ALAHMADI *et al.*, 2016; GONGORA *et al.*, 2016).

1.1 Justificativa

Este estudo poderá trazer outra forma de treinamento cognitivo de aumento da força muscular, a qual poderá ser utilizada por profissionais da reabilitação, educadores físicos e a população em geral. Um método alternativo, de baixo custo, sem riscos e de fácil uso, possibilitando o ganho e a manutenção da força muscular em pacientes cujo o fortalecimento convencional não é recomendado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar as modificações corticais e da força muscular induzida por tarefas cognitivas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o desempenho da força muscular após a realização de tarefas de estimativa do tempo e imagética motora visual.
- Comparar as oscilações da potência absoluta da banda alfa no córtex pré-frontal ventrolateral, córtex pré-frontal dorsolateral e córtex motor.
- Relacionar as modificações da força muscular com a atividade cortical.

1.3 Hipóteses

- A interpretação da PT favorece o ganho de força muscular.
- A tarefa de estimativa do tempo apresenta maior ganho de força muscular do que a IM.
- As tarefas cognitivas promovem modificações na atividade cortical, que estão relacionadas com a natureza de cada tarefa.
- As modificações na força muscular têm associação com as modificações da atividade cortical.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Força muscular e o córtex cerebral

A força muscular é ativada pelos centros motores e para ação da energia-dependente da actina e miosina (CARROLL, RIEK e CARSON, 2001). No SNC ocorre a ativação da unidade motora, sincronização e taxa de disparo para os mecanismos intrínsecos do músculo (excitação da membrana muscular, liberação de cálcio, comprimento do sarcômero e a atividade da miosina adenosina trifosfatase) (TOD *et al.*, 2015).

Embora as contribuições neurais para ganhos de força muscular por treinos convencionais. Ocorrem adaptações neurais que promovem o aumento na atividade cerebral desencadeiam um comando central mais forte para o músculo (RANGANATHAN *et al.*, 2004), porém, para o ganho de força muscular, não é necessário o aumento da secção transversa muscular (hipertrofia), já que o tamanho do músculo não explica a quantidade de força que pode ser produzida, com correlação máxima de 55% entre a área de secção transversa e a produção de força máxima (BELLONI *et al.*, 2009). Neste caso, a força muscular aumenta antes da hipertrofia e da tensão elétrica evocada. Além disso, maiores ganhos de força ocorrem nos músculos relacionados às articulações envolvidas no treinamento (YUE e COLE, 1992).

O aumento da força muscular em iniciantes de programas de treinamento está associado a mudanças no sistema nervoso, que ocorrem após o início do treino e não em modificações musculares propriamente ditas. Este reflete maior ativação dos motoneurônios e, portanto, tem origem neural. Esse fato pode ser reforçado pelo conhecimento de que a realização de fortalecimento muscular em um membro também resulta em aumento da força dos músculos contralaterais (GABRIEL, KAMEN, FROST, 2006).

A força muscular também pode ser potencializada pela redução da ativação dos músculos antagonistas, conhecida como co-contração ou co-ativação (BELLONI *et al.*, 2009). A co-contração é uma ativação neuromuscular de dois ou mais músculos para estabilização articular (CANDOTTI, 2012), sendo um dos principais mecanismos de estabilização da posição do membro (ASSUMPCÃO *et al.*, 2011). Na diminuição da co-contração de músculos antagonistas, os agonistas têm a possibilidade de maior força de contração, já que a limitação gerada pela co-contração é reduzida. Esse mecanismo de co-contração dos antagonistas é essencial para que o SNC possibilite a execução de movimentos voluntários com excelência motora (BELLONI *et al.*, 2009).

A alteração na co-contração prejudica o controle motor (ASSUMPCÃO *et al.*, 2011). Por exemplo, crianças com comprometimento no desenvolvimento que levam a distúrbios de coordenação motora, apresentam redução da força e potência muscular, o que pode estar associado ao aumento na co-contração, relacionado a falta de experiência motora e problemas na programação de movimentos (MOFFAT, BOHMERT e HULME, 2010). Além disso, a magnitude da comunicação cérebro-músculo é proporcional à força muscular voluntária e à idade, ou seja, pessoas mais jovens ou mais treinadas teriam a comunicação mais forte. Isso parece estar conexo com um forte comando central, a fim de recrutar unidades motoras inativas ou enviar sinais com maior intensidade, resultando no fortalecimento muscular. Desse modo, quanto maior o comando do SNC para o músculo, maior o estado de ativação e da força muscular (RANGANATHAN *et al.*, 2004).

O recrutamento das unidades motoras ocorre de forma seletiva, na qual as unidades menores são recrutadas antes que as maiores, e as unidades que possuem baixo limiar excitatório (fibras musculares de contração lenta) são recrutadas antes das unidades de alto limiar (fibras musculares de contração rápida) (HENNEMAN, SOMJEN e CARPENTER, 1965). Nesse caso, a ativação das unidades motoras disparadas pelo SNC produz impulsos

elétricos com um limiar que alcança em média de 8 a 12 impulsos por segundo (frequência de disparos) (BELLONI *et al.*, 2009).

No desempenho de tarefas motoras é necessário interações e coordenação entre as áreas corticais, o neocórtex e o cerebelo (ALAHMADI *et al.*, 2016). O cerebelo, responsável pelo controle da força muscular, atua tanto no sequenciamento da contração muscular quanto no controle do tônus muscular, na velocidade, no equilíbrio corporal, no planejamento, na execução do ato motor (realizando ajustes quando necessário) e no aprendizado (MOFFAT, BOHMERT e HULME, 2010).

As regiões parietal e frontal trabalham juntas formando uma rede neural para associar a informação sensorial no ato motor, essenciais no planejamento de ações e no comportamento, inclusive na tomada de decisão durante tarefas visuomotoras (GONGORA *et al.*, 2016). O lobo frontal tem maior relação com o início do movimento voluntário, enquanto o lobo parietal na orientação e percepção espaciais (MOFFAT, BOHMERT e HULME, 2010).

A realização de tarefas motoras tem como base a teoria da existência de um programa motor generalizado, comandado pelo sistema nervoso e responsável por enviar instruções ao corpo para a execução (TOD *et al.*, 2015). No caso de uma tarefa de força muscular, ocorre a resposta motora padrão, com o sistema motor planejando e adaptando-se para executar o movimento desejado. Em atividades como levantar objetos, movimentos oculares e preensão manual, o sistema motor programar-se-á para modular e ajustar a força e a coordenação para a realização do ato motor correto (TOD *et al.*, 2015; FERCHO e BAUGH, 2016).

2.2 Relação entre treinamento cognitivo e força muscular

O treinamento cognitivo aumenta a performance para a aquisição de habilidades motoras por estimular eventos neurais que controlam parâmetros musculares, como modificar os comandos que o SNC envia para o músculo, habilitando o cérebro a gerar sinais mais fortes

para o músculo, além de melhorar a coordenação motora (RANGANATHAN *et al.*, 2004). Nesse tipo de treino, o ganho de força muscular é obtido por meio do aumento da frequência de ativação da unidade motora, na qual pode ocorrer maior recrutamento e/ou aumento da taxa de disparo neural nas unidades motoras em músculos agonistas. Por outro lado, nos músculos antagonistas, há diminuição no recrutamento e/ou na taxa de disparo (BRODY *et al.*, 2000).

O treinamento cognitivo aumenta a movimentação voluntária e reduz a percepção de esforço e o desenvolvimento de fadiga, além de acelerar a recuperação após fadiga. A realização de uma tarefa cognitiva melhora o desempenho físico, o que está associado ao aprimoramento dos processos atentos (ALEKSANDROV *et al.*, 2013). Essa afirmativa tem como base a teoria de controle da atenção, na qual, as estratégias cognitivas ajudam a organizar os recursos de atenção, melhorando a concentração e evitando distrações, o que torna o ato motor mais eficaz (TOD *et al.*, 2015).

O treinamento cognitivo influencia regiões motoras superiores por meio das tentativas de potencializar a ativação muscular, podendo essas regiões gerarem sinais mais fortes para o córtex motor primário com disparo mais fortes para os músculos alvos, o que resulta no aumento da força muscular. As possíveis áreas corticais relacionadas com o treinamento cognitivo são as secundárias, de associação, motoras suplementares e área pré-frontal (RANGANATHAN *et al.*, 2004).

O treinamento cognitivo também modifica o desempenho muscular em indivíduos destreinados, mesmo não havendo ativação muscular repetida, o que pode ser associado a ocorrência de alterações na programação motora central (BRODY *et al.*, 2000). Para o ganho de força por meio do treinamento cognitivo, ocorre plasticidade cortical e cerebelar, que é o principal responsável pelo ato motor e pelo controle da força (GUILLOT *et al.*, 2007; MOFFAT, BOHMERT e HULME, 2010). Em geral, a melhora no desempenho físico pelo treinamento cognitivo é atribuída à interferência do treinamento nos eventos neurais que

controlam os parâmetros musculares, como a amplitude articular e o tempo de realização motora (RANGANATHAN *et al.*, 2004). Isso se deve, ao aprendizado motor, modificar a atividade neural em várias regiões do cérebro de acordo com o nível de habilidade motora alcançado (PASCUAL-LEONE, GRAFMAN e HALLETT, 1994; KARNI *et al.*, 1995).

De acordo com a hipótese da via de ativação, a execução da tarefa ideal é associada com um estado interno específico, como nível de ativação, foco de atenção e de confiança. Essa hipótese justifica que a facilitação de tarefas cognitivas no desempenho físico, por este ajustar o estado interno para a tarefa desejada. Estas podem ajudar aos indivíduos a “se prepararem” para os próximos exercícios ou movimentos via funções neurofisiológicas, biomecânicas e psicológicas. No caso de atletas com lesão, a tarefa cognitiva auxilia na reabilitação por reduzir o tempo de recuperação (SCHMIDT e LEE, 2005; MELLALIEU e SHEARER, 2012).

Dependendo do tipo de tarefa cognitiva utilizada, pode haver o aumento na força, na potência ou na resistência muscular. Por exemplo: em atletas que requerem a geração de força muscular máxima em um curto período, a potência pode ser mais importante; diferente de pessoas que necessitam de recuperação funcional, na qual a resistência muscular é mais valorizada (TOD *et al.*, 2015). Nota-se maior uso das atividades cognitivas em iniciantes do que em indivíduos treinados, que realizam suas atividades mais automaticamente (TOD e MCGUIGAN, 2006). SHELTON e MAHONEY (1978), investigaram o impacto do treinamento cognitivo no desempenho de levantadores de peso. Os atletas foram avaliados quanto a força muscular e após instruídos a se esforçar para obter um melhor desempenho na próxima avaliação (grupo controle) ou a usar o seu tipo de treinamento cognitivo preferido (grupo experimental). Os resultados indicaram que os indivíduos do grupo experimental obtiveram maiores resultados de força muscular quando comparados com o grupo controle. Com isso, os pesquisadores concluíram que o treinamento cognitivo é capaz de gerar fortalecimento muscular. Além disso, quando TOD *et al.* (2005) avaliaram se tarefas de

treinamento cognitivo proporcionam o aumento da produção de força muscular durante o exercício de supino em participantes com experiência em treinamento de força muscular. Eles encontraram que o treinamento cognitivo é mais eficaz para o ganho de força muscular durante o exercício supino, quando comparado com os outros tipos de intervenção.

MELLALIEU e SHEARER (2012) estudaram se o uso do treinamento cognitivo pode melhorar o condicionamento e a força muscular. Eles abordaram os principais tipos de treinamento cognitivo e discutiram os mecanismos que acarretam os ganhos de força muscular e condicionamento (estabilização de metas, IM, automotivação e preparatório excitatório). Como efeitos de estabilização de metas observaram aumento de força muscular a curto e longo prazo, melhora da potência e da resistência muscular. Na IM, os autores concluem que ocorre o ganho de força e aumento da flexibilidade e da resistência muscular, além de acelerar o processo de reabilitação em caso de lesões, reduzindo a dor e a ansiedade relacionada com o medo de uma nova lesão. Além disso, apresentam que a tarefa de automotivação se relaciona com o aumento do desempenho físico e a melhora da atenção, da execução de habilidades e do aprendizado motor, proporcionando movimentos mais adequados. Esta tarefa também eleva o gasto de energia e sentimentos de confiança, que estão envolvidos em tarefas de força muscular e de resistência. Em complemento, o preparatório excitatório que ativa o corpo para a tarefa a ser executada e também no controle das emoções (ansiedade, estresse), a fim de que não interfiram negativamente no desempenho. Os autores concluíram que a prática rotineira do treinamento cognitivo proporciona o aumento da força muscular.

2.3 A influência da Imagética motora na força muscular

A IM é a realização mental de um movimento específico sem que haja execução propriamente dita, porém, ela é dependente dos mesmos mecanismos da ação motora (GUILLOT *et al.*, 2007). A IM é uma técnica aceita e comumente usada para potencializar o desempenho

esportivo de atletas e treinadores e pode ser útil para o treinamento em casos de lesões. Neste contexto, a IM propicia, por intermédio de um processo mental, experiências multissensoriais na ausência de percepção real (MELLALIEU e SHEARER, 2012).

Há dois tipos de IM: a visual e a cinestésica. A IM visual consiste na pessoa reproduzir mentalmente o ato motor, imaginado a execução do movimento, enquanto que na IM cinestésica a pessoa imagina o corpo em movimento, tentando sentir todos os aspectos da tarefa motora, como contrações musculares e o posicionamento articular e corporal (STECKLOW, INFANTOSI e CAGY, 2007). No passado, a IM era usada na Yoga para obter desempenho na prática. Em 1800, a IM foi usada com a finalidade de manutenção e cura do doente por meio da visualização regular de uma saúde perfeita, e foi considerada um mecanismo essencial para a recuperação físico-funcional (HINSHAW, 1991). CARPENTER (1894), propôs o princípio ideomotor, o qual afirma que os padrões neuromusculares de baixo nível durante a IM podem equivaler a ação voluntária. Isso foi proposto em 1916, por WASHBURN ao testar o princípio ideomotor, propondo que imagens mentais seriam capazes de modificar o comportamento motor e coordenar pequenos movimentos musculares durante a formação da imagem. Nesse caso, há origem neural no aumento de força muscular e o fortalecimento muscular não necessita de atividade física e muitos menos de adaptações morfológicas, como a hipertrofia muscular (FOLLAND e WILLIAMS, 2007). Os efeitos da IM na força voluntária fornecem evidências do fortalecimento neural antes da hipertrofia muscular, pela maior intensidade de condução e um maior recrutamento das unidades motoras inativas (BRODY *et al.*, 2000; GUILLOT *et al.*, 2007).

A teoria psiconeuromuscular apresenta que durante a IM há ativação da musculatura responsável pela execução do movimento ativo, sendo observada por meio da eletromiografia. Além disso, os órgãos neurotendíneos podem ser estimulados, por sua alta sensibilidade à contração de uma única unidade motora, resultando em um *feedback* neuromuscular

(GUILLOT *et al.*, 2007). Essa teoria centra-se sobre a possível existência de uma “memória muscular”, a qual afirma que durante a formação da imagem mental, há o aprendizado muscular para desempenhar a função retratada na mente (HINSHAW, 1991).

Na tarefa de IM, há ativação do lobo parietal inferior, do córtex pré-motor ventral e da parte caudal do giro frontal inferior. A IM pode promover a execução do ato motor por meio da estimulação de um modelo motor interno. Este modelo motor interno é criado por meio de um mecanismo espelho, ocorrendo pela observação de um ato motor no qual o cérebro capta informações sensoriais e transforma em dados motores (SALE e FRANCESCHINI, 2012). Com isso, o modelo motor interno proporciona a adaptação de áreas corticais relacionados à função motora (córtex motor ou regiões parietais) ou a criação de novas habilidades para adequar às exigências ambientais. A ativação do modelo motor interno propicia uma representação sensório-motora neural complexa, que demanda a participação de diferentes áreas do cérebro, sendo muito usada em pessoas que necessitam de reaprendizagem da função motora (TEIXEIRA *et al.*, 2014).

Um estudo comparou o fortalecimento voluntário e a IM na musculatura da região +hipotenar. Os autores verificaram resultados parecidos no fortalecimento muscular e concluíram que a IM é tão eficaz quanto ao fortalecimento convencional, por possuírem mecanismos similares de ganho de força muscular. Na IM, quando usada para fortalecimento, há “contrações musculares imaginárias”, as quais podem alterar o torque máximo de uma articulação por meio de alteração centrais e produzir maior ativação dos motoneurônios ou modificar os níveis de ativação da musculatura sinérgica e antagonistas envolvidas em uma articulação. Também pode haver mudanças na coordenação muscular, em casos que IM envolve vários movimentos em uma articulação multidirecional (YUE e COLE, 1992).

Outro estudo analisou a eficácia da IM no fortalecimento muscular, os pesquisadores compararam o treinamento físico e o mental no fortalecimento dos flexores de quadril em

atletas. Os participantes foram divididos em dois grupos: um grupo realizou o treinamento físico usando uma máquina flexora de quadril, e o outro grupo (IM) realizou o mesmo protocolo, só que mentalmente. Este trabalho concluiu que ambos os treinamentos proporcionam aumento da força muscular e que não houve diferenças significativas nos valores de ganho de força muscular quanto ao tipo de treinamento. Os autores atribuem a eficácia da IM pela influência central no fortalecimento muscular, e não periférica, justificando o ganho de força sem que haja movimento (SHACKELL e STANDING, 2007).

Ranganathan *et al.* (2004) verificaram os efeitos da IM na força muscular nos flexores de cotovelo e no abductor do dedo mínimo e na potência dos sinais corticais, no qual os participantes imaginaram a realização dos movimentos em contração máxima. Eles concluíram que a IM aumenta a força voluntária dos músculos distais e proximais das extremidades superiores, com concomitantemente elevação do potencial cortical advindo do eletroencefalograma. Esses achados foram associados pelos pesquisadores com aperfeiçoamento mental induzido pelo treinamento no comando central ao músculo. Ou seja, o treinamento com as repetitivas tentativas mentais de ativação muscular máxima permitiu que o cérebro gerasse sinais mais fortes para o músculo.

Pascual-Leone *et al.* (1995) compararam o treinamento físico e a imagética motora de uma habilidade motora fina (tocar piano) em participantes não habilidosos e observaram por mapeamento cerebral as áreas corticais relacionadas à atividade. A IM foi efetiva na melhora do desempenho na atividade realizada, contudo essa melhora foi inferior quando comparada ao treinamento físico. Além disso, os autores verificaram resultados similares em ambos os treinamentos no padrão de adaptação do córtex motor primário, mostrando que a IM é capaz de acarretar alterações corticais ao proporcionar modulação na saída dos impulsos para os músculos com aumento da força muscular. Nesse caso, há um aumento da eficácia das sinapses em circuitos neurais existentes ou o desmascaramento de conexões neurais existentes, porém

desconhecidas. Mas aparentemente, essa modulação ocorre nos estágios iniciais da aprendizagem de habilidades motoras.

2.4 Elementos cognitivos da percepção do tempo

A percepção do tempo é uma característica cognitiva natural, não é considerada um sentido e também não possui um córtex sensorial específico para essa função. Os acontecimentos que percebemos possuem uma durabilidade, e muitos tecidos neuronais possuem propriedades intrínsecas temporais que podem ser responsáveis por interpretar e controlar esta duração (MORILLON, KELL e GIRAUD, 2009).

Sem a temporização de estímulos, outras funções cognitivas, especialmente ações motoras e consciência visual, seriam drasticamente prejudicadas. De tal modo, a percepção de intervalos de tempo tem sido proposta como essencial para processos básicos de aprendizagem e estratégias de sobrevivência (MATELL e MECK, 2004; LIVESEY, WALL e SMITH, 2007).

Mecanismos neurais como plasticidade sináptica, adaptação neural e dinâmica das redes neurais modulam a atividade cortical em função do tempo (BUHUSI, PERERA e MECK, 2005; BUONOMANO e LAJE, 2010). Nesse caso, neurônios são ativados ao receber estímulos e os respondem de forma cronometrada, oscilando em diferentes frequências e fases. Essa diferenciação do sincronismo temporal em processos neuronais mostra-se fundamental nos vários modelos de interpretação dos intervalos de tempo e indica que o momento após um estímulo pode ser codificado por atividade em um subconjunto diferente de neurônios (BUONOMANO *et al.*, 2002).

A interpretação da duração dos intervalos de tempo tem como base principalmente a Teoria da Expectativa Escalar, também conhecida como Teoria da Cronometragem Escalar, a qual afirma que o sistema de processamento temporal é dividido em três fases: cronometragem, memória e de decisão. A fase de cronometragem é composta por um *pacemaker*, que emite

pulsos com o surgimento de um estímulo, um interruptor, que é controlado pela atenção e que gerencia a passagem dos impulsos, e um acumulador, que os recebe e os armazenam quando o interruptor se fecha (ALLMAN e MECK, 2012). Com isso, o conteúdo do acumulador é armazenado na memória de trabalho para a comparação com o conteúdo da memória de referência, que contém uma representação da memória de longo prazo e do número aproximado de pulsos acumulados em experiências anteriores, o que é chamado de processo de memória, e, a partir disso, será estimada a duração do tempo da respectiva atividade (MORILLON, KELL e GIRAUD, 2009). Por exemplo, diariamente avaliamos sequências variadas de intervalo de tempo por meio de estímulos sonoros que recebemos, como fala, música, sons do ambiente e com isso somos obrigados a armazenar vários intervalos de tempo na memória (TEKI e GRIFFITHS, 2016).

Para Ivry e Spencer (2004), existem três modelos de representação do tempo. O modelo de tempo especializado, o qual afirma que uma única região neural é capaz de representar a informação temporal e que este sistema é recrutado quando se faz necessário o processamento temporal. O modelo de sincronismo de rede distribuída, no qual a representação da informação temporal resulta das interações dentro de um conjunto de estruturas neurais e o modelo de temporização local que sugere um sistema de cronometragem empenhado, com a informação temporal computada dentro das estruturas neurais necessárias para uma tarefa em particular.

O processamento de eventos de curta duração é automático, o que demonstra o envolvimento dos processos associados à produção de movimentos especializados, enquanto os eventos de longa duração, parecem exigir mais atenção, sendo considerado mais “cognitivo” por depender de sistemas neurais associados à atenção e memória de trabalho. No caso de eventos de longos períodos, a pessoa não só armazena a informação temporal na memória de trabalho, mas também continua concentrando a atenção quanto a passagem do tempo até o fim do estímulo a ser cronometrado (IVRY e SPENCER, 2004; DROIT-VOLET, 2013).

Estudos de neuroimagem têm mostrado que o corpo estriado e o cerebelo são áreas centrais para a codificação da memória temporal (DROIT-VOLET, 2013; TEKI e GRIFFITHS, 2016), mas devido à complexidade do julgamento dos intervalos de tempo, outras áreas também estão envolvidas. Evidências neurobiológicas sugerem que as grandes escalas de tempo (milissegundos, segundos, minutos, e o ciclo circadiano) também são processados em diferentes partes do cérebro, como córtex pré-frontal, áreas motoras suplementares e núcleo supraquiasmático. A ativação dessas áreas dependerá da natureza da tarefa (motora ou perceptiva) e na duração (BUHUSI e MECK, 2009; DROIT-VOLET, 2013). O córtex cerebelar fornece uma representação precisa da relação temporal entre eventos sucessivos (IVRY e SPENCER, 2004).

A capacidade do ser humano em estimar o tempo é vista como uma função estável que pode variar em certas doenças, situações toxicológicas ou distúrbios psiquiátricos. Entretanto, não há uma condição clínica específica que pode ser definida apenas como um transtorno da percepção de tempo. De tal forma, as distorções e perturbações na capacidade de temporização estão presentes, em diferentes graus, em muitas populações de pacientes, e pode ou não acompanhar diferenças em outros aspectos do processamento sensorial, bem como perfis de desenvolvimento, cognitivos e comportamentais (ALLMAN e MECK, 2012).

3. Material e Método

3.1 *Participantes*

Foram selecionados 40 indivíduos saudáveis do sexo masculino, com idade média de $22,5 \pm 2,9$ anos, randomizados e contrabalanceados em uma taxa de 1:1 para as duas condições (IM e PT), na seguinte sequência: 20 sujeitos com início na condição IM e término na condição de treinamento com PT e 20 sujeitos de com início na condição treinamento com PT e término na condição IM. Foram selecionados somente indivíduos destros com base no Inventário de Edimburgo (OLDFIELD, 1971). Além disso foi vetada a utilização de qualquer substância que atue inibindo ou estimulando a atividade cerebral (e.g., tabaco, café, bebidas alcoólicas, alimentos que possuam cafeína ou medicamentos) 14 horas antes ou durante o período do estudo. Todos os participantes foram avaliados para excluir àqueles com doenças neurológicas ou motoras que prejudicassem a realização da tarefa de força muscular e captação eletroencefalográfica. Em seguida, os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal do Piauí-UFPI com o número 1.775.709, de acordo com os padrões éticos inerentes à pesquisa envolvendo humanos pela Declaração de Helsinque.

3.2 *Procedimento Experimental*

Um estudo com desenho crossover e randomizado, que avalia o efeito e valor da força muscular mediante as condições (IM e treinamento com PT), bem como a captação eletroencefalográfica concomitante ao desempenho da força muscular nas duas condições. Com isso, foi possível avaliar a associação de tarefas de IM e PT com o desempenho nos padrões eletrofisiológicos da região cortical e com a quantificação da força muscular. Os participantes

receberam 2 dias de tratamento com wash-out de 7 dias. Durante cada coleta, houve a realização da tarefa de avaliação da força muscular antes e depois do tratamento, mensurada pelo movimento de preensão palmar por meio do dinamômetro da marca Takei®, o qual foi fixado à mesa usada no experimento e ligado ao eletroencefalógrafo. O participante foi posicionado conforme as recomendações da Sociedade Americana de Terapeutas das Mãos (American Society of Hand Therapists), a qual sugere que o indivíduo esteja sentado com a articulação gleno-umeral com abdução de 45°, cotovelo fletido à 90° e com o antebraço e punho em posição neutra (KUZALA e VARGO, 1992). Os participantes foram treinados antes da coleta quanto à forma correta de realizar a preensão no dinamômetro mediante a um estímulo visual que consistiu em um quadrado amarelo emitido por um software em intervalos de 2,5 segundos ao monitor 75cm à frente do participante. A tarefa de força consistiu de 5 blocos com 5 trilhas por bloco, totalizando 25 trilhas. Cada contração muscular foi mantida por 2 segundos, para coleta dos valores da força pelo examinador.

Como tratamento, foram realizadas duas tarefas cognitivas: IM e PT, ambas com duração de 20 minutos. A tarefa de IM consistiu em imaginar a realização do movimento de preensão palmar após o estímulo verbal, mantendo a preensão palmar pelo período de 2 segundos. Os participantes foram orientados quanto à forma correta de execução, por meio de explicações da pesquisadora. A tarefa consistiu em 4 blocos de 25 trilhas, sendo que em cada trilha realizou-se a IM da preensão palmar. Na tarefa, a cada bloco era realizado um breve repouso.

O treinamento da tarefa de estimativa do tempo foi realizado com um computador fixado sobre uma mesa a frente do participante com distância de 50 centímetros. A estimativa do tempo foi analisada por meio de um programa que registra o intervalo de tempo alvo apresentado (i.e., 1, 4, 7 ou 9 segundos) (SIEBNER et al., 2001; NEUPER e PFURTSCHELLER, 2001; HAMIDI, TONORI e POSTLE, 2008). A tarefa foi realizada em duas fases. Na primeira fase:

aparece no monitor a indicação do comando "enter" para iniciar, em seguida, o programa produz um círculo amarelo no centro do monitor que permanece aleatoriamente em 1, 4, 7 ou 9 segundos; na segunda fase: após a apresentação do intervalo de tempo alvo, o software apresenta no monitor a orientação para que o participante digite a duração do intervalo de tempo e posteriormente aperte a tecla "enter" para finalizar a tarefa (Figura 1). Posteriormente, realizaram novamente a avaliação da força muscular por meio do dinamômetro.

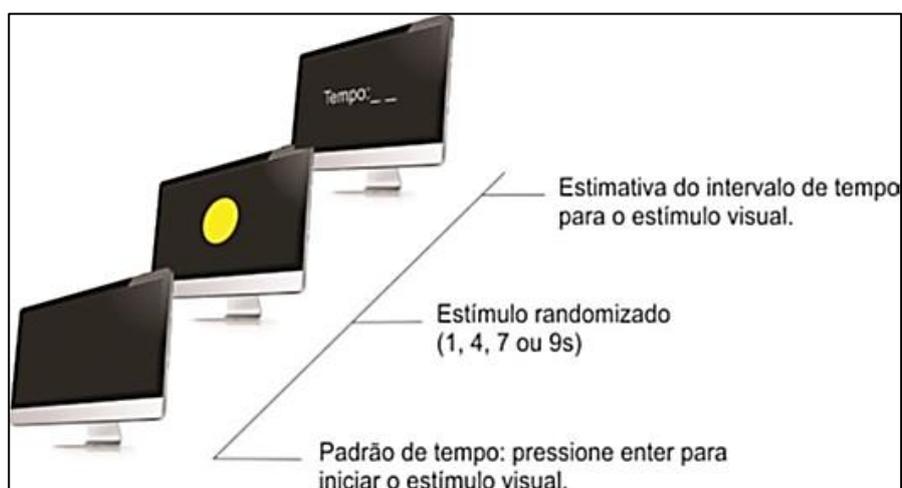


Figura 1: Tarefa de estimativa do tempo

3.3 Gravação de EEG

Todos os participantes foram acomodados em uma sala com isolamento acústico, aterramento elétrico e baixa luminosidade. Os participantes sentaram em uma cadeira com apoio de braço, a fim de minimizar artefato muscular durante a aquisição do sinal da EEG. O procedimento consistiu em duas gravações de EEG, um repouso inicial e durante o desempenho da força muscular.

O EEG contínuo de 20 canais foi gravado por amplificadores Braintech 3000 (EMSA-Instrumentos Médicos, Brasil). Os eletrodos de prata/cloreto de prata foram posicionados por uma tampa de eletrodo equidistante por meio de uma touca de nylon com prefixação do sistema internacional 10-20, incluindo os eletrodos de referência biauricular (SPES Medica Brasil). A

impedância dos eletrodos do EEG foi mantida abaixo de 5 K Ω . Os dados adquiridos tinham amplitude total de menos do que 100 μ V. O sinal do EEG foi amplificado com um ganho de 22.000 Hz, analogicamente filtrados entre 0,01 Hz (passa-alta) e 60 Hz (passa-baixa), com 240 Hz por meio do software Data Acquisition (Delphi 5.0), desenvolvido no Laboratório de Neuroinovação Tecnológica & Mapeamento Cerebral (NiTlab) na UFPI.

3.4 Localizações espaciais dos eletrodos

Foram selecionadas as derivações dos eletrodos da região frontal: F3, F4, F7 e F8 devido às relações com a função executiva, integração sensório-motora, planejamento e percepção dos estímulos, e eletrodos centrais: C3 e C4 devido sua relação com a execução do movimento (BROWN, 1985; MIONI et al., 2014).

A banda alfa foi selecionada por sua atividade ter relação com processos cognitivos, controle emocional, funções integrativas, processos sensoriais, resoluções de problemas, atenção, memória de trabalho, desempenho cognitivo geral e controle inibitório, além da associação com a velocidade de processamento de estímulos e com o nível de esforço mental (MELO et al., 2017).

3.5 Processamento dos dados

Uma inspeção visual e análise de componentes independentes (ACI) foram aplicadas para identificar e remover todos os artefatos remanescentes produzidos pela tarefa (JUNG et al., 2000). Os dados de eletrodos individuais que exibiram perda de contato com o escalpo ou alta impedância (>5K Ω) não foram considerados. Um estimador clássico foi aplicado para a densidade de potência espectral (DPE), estimada a partir da Transformada de Fourier (TF), que foi realizada pelo MATLAB (Matwords, Inc.). Parâmetros do EEGq foram reduzidos a diferentes períodos, de acordo com o intervalo de tempo. As análises das modificações corticais

foram realizadas para os procedimentos de avaliação da força muscular. Estes procedimentos foram realizados para a potência absoluta da banda alfa em F3, F4, F7, F8, C3 e C4, devido à relação com o córtex pré-frontal dorsolateral, córtex ventrolateral e córtex motor primário (NIEBER et al., 2001; NEUPER e PFURTSCHELLER, 2001; HAMIDI, TONONI e POSTLE, 2008).

3.6 Análise estatística

Foi realizada uma *two-way factorial* ANOVA de medidas repetidas para as condições IM e PT em relação aos seguintes eletrodos: F3, F4, F7, F8, C3 e C4; correspondentes respectivamente as áreas: córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo (CPFDL_e) e direito (CPFDL_d), córtex ventrolateral esquerdo (CPFVL_e) e direito (CPFVL_d), e córtex motor esquerdo (CMP_e) e direito (CMP_d). Dessa forma, a análise pode indicar as diferenças em relação a potência absoluta da banda alfa e as mudanças de força muscular entre as condições IM e treinamento com PT. As interações de dois fatores foram investigadas por meio de ANOVA univariadas e pelo teste *t* pareado de *Student*, quando necessário. Em adição, uma regressão múltipla foi utilizada para investigar a associação entre a variável de força muscular (variável dependente) e a potência absoluta da banda alfa do EGG nas áreas corticais nas duas condições (variáveis independentes).

O tamanho do efeito foi estimado como Eta parcial ao quadrado (η^2_p) na análise de medidas repetidas e com o *d* de Cohen para o teste *t* pareado de *Student*. A potência estatística e o intervalo de confiança de 95% (IC 95%) foram calculados para as variáveis dependentes. O poder estatístico foi interpretado como: baixa potência de 0.1 a 0.3; alta potência de 0.8 a 0.9. A magnitude do efeito foi interpretada utilizando as recomendações sugeridas por Cohen (1988): insignificante < 0.19; pequeno de 0.20 a 0.49; médio de 0.50 a 0.79; grande de 0.80 a 1.29. A probabilidade de 5% para o erro do tipo I foi adotada em todas as análises ($p \leq 0.05$),

com correção de alfa-Bonferroni para as análises da interação, ajustando o valor para $p \leq 0.025$. Todas as análises foram conduzidas utilizando o SPSS para Windows versão 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).