UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

**Efeitos do exercício aeróbio na aprendizagem implícita de indivíduos
pós- acidente vascular cerebral**

Giordano Marcio Gatinho Bonuzzi

São Paulo

2020

GIORDANO MARCIO GATINHO BONUZZI

**Efeitos do exercício aeróbio na aprendizagem implícita de indivíduos
pós- acidente vascular cerebral**

Versão Corrigida

(Versão original encontra-se na unidade que aloja o Programa de Pós-
Graduação)

Tese apresentada à Escola de Educação
Física e Esporte da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Doutor em
Ciências.

Área de concentração: Estudos
Biodinâmicos da Educação Física e Esporte

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Camila Torriani-
Pasin

São Paulo

2020

Serviço de Biblioteca
Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo

Bonuzzi, Giordano Marcio Gatinho
Efeitos do exercício aeróbio na aprendizagem implícita de
indivíduos pós-acidente vascular cerebral / Giordano Marcio
Gatinho Bonuzzi. – São Paulo : [s.n.], 2020.
145p.

Tese (Doutorado) --Escola de Educação Física e Esporte da
Universidade de São Paulo.
Orientadora Profa. Dra. Camila Torriani-Pasin

1. Exercício aeróbio 2. AVC (Aprendizagem) I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: BONUZZI, Giordano Marcio Gatinho

Título: Efeitos do exercício aeróbio na aprendizagem implícita de indivíduos pós- acidente vascular cerebral

Tese apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em Ciências

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

À vó Bastiana, pelo amor e serenidade de seus conselhos.

À Marcio Bonuzzi e Edileuza Gatinho pelo amor incondicional.

Agradecimentos

Deixo aqui registrado meus eternos agradecimentos a Marcio Bonuzzi e Edileuza Gatinho. Obrigado por me ensinarem o que é amor, e a práxis existente entre o sentir e o agir! Toda a minha gratidão ao suporte que sempre vocês me ofertaram! Sonho em um dia ser um pai como vocês são!

Meus agradecimentos ao apoio e ao companheirismo de Thaís Marques, pois tive muita sorte de tê-la no momento mais crítico deste processo de doutoramento. Obrigado pela leveza no afeto e pelo amor.

Agradeço também a Marcos Soares, Tatiana Beline e Gisele Palma pela amizade e companheirismo destes anos de interação. Creio que grande parte do aprendizado que tive advém da interação formada entre nós, e das nossas conversas pós-reunião no CEPE-USP. Obrigado pelos cafés com torta de limão, pela parceria e amizade! Vocês são demais!

Agradeço os membros do Gepeneuro e Lacom, que nestes últimos 11 anos da minha participação no laboratório, sempre me ofertaram apoio e interesse na ajuda. Tenho muito orgulho de ter feito parte de um grupo de professores e alunos de tamanha excelência!

Obrigado a todos os professores do LACOM: Go Tani, Flávio Bastos, Luciano Basso, Umberto Corrêa, Jorge Oliveira e Andrea Freudenheim. Muito obrigado pelas inúmeras oportunidades de aprendizado que tive mediada pelos senhores. Por aqui também, deixo registrado meu especial agradecimento ao professor Flávio Bastos pela ajuda com o desenvolvimento e programação da tarefa utilizada nesta tese. Muito obrigado Flávio pela humildade quanto pessoa e pelo respeito quanto professor!

Aos alunos do Gepeneuro: Marina, Natalia Mazini, Natalia Padula, Roberta, Murilo, Camilo, Beatriz, Kelvin, Diego, Isabela e Vitória. Obrigado por todo o apoio! Tenho muita alegria de fazer parte de um grupo com tanto potencial, tão produtivo e com tamanha leveza no interAGIR.

I want to extend my sincerest thanks and appreciation to Carolee Winstein for receiving me in a friendly way since my first contact. Thank you very much for the opportunity to know the USC and the Motor Behavior and Neurorehabilitation Laboratory, for your willingness to help and for your contributions to this work. It is an honor for me to have worked with you!

À minha orientadora Camila Torriani Pasin, muito obrigado por ao longo destes 10 anos (IC + mestrado + doutorado) ter me oportunizado tantas possibilidades de aprendizagem! Todo meu respeito há quem tanto influenciou minha formação! Obrigado por sempre me respeitar, me entender e me oportunizar autonomia suficiente!

“You probably do not know that God has a cousin who has never been very famous. So, the cousin asked God to help him achieve fame and glory in science. To please the cousin, God gave him an ability to get any information about physical systems in no time and to travel anywhere within a microsecond. First, the cousin decided to check whether there was life on other planets. No problems; he traveled to all the planets simultaneously and got an answer. Then he decided to find out what the foundation of matter was. Again, this was easy: He became extremely small, crawled inside the elementary particles, looked around, and got an answer. Then, he decided to learn how the human brain controls “and LEARN” movements. He acquired the information about all the neurons and their connections, sat at his desk and looked at the blueprint. If the story has it right, he is still sitting there and staring at the map of neuronal connections.”

Bernstein apud Latash (2008)

Resumo

BONUZZI, G.M.G. **Efeitos do exercício aeróbio na aprendizagem implícita de indivíduos pós-acidente vascular cerebral**. 2020. 125 f. Tese de Doutorado – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2020.

Introdução: Considerando que a aprendizagem implícita pode estar afetada em indivíduos pós-Acidente Vascular Cerebral (AVC); a hipótese do presente estudo foi que o exercício aeróbio poderia potencializar este processo, dado seus efeitos neuromodulatórios. **Objetivo:** Investigar os efeitos do exercício aeróbio de intensidade moderada sobre a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC e, verificar se estes efeitos são momento-dependentes. **Métodos:** Quarenta e cinco indivíduos pós-AVC foram alocados em três grupos: Grupo Exercício Antes (GEA) que realizou exercício aeróbio anteriormente à prática, Grupo Exercício Depois (GED) o qual realizou exercício aeróbio após a prática e Grupo Controle (GC) que realizou apenas a prática. Todos os grupos praticaram a Tarefa de Tempo de Reação Seriado (TTRS), com sequências repetidas e pseudorrandômicas, durante três dias consecutivos. Houve um teste de retenção após uma semana composto de sequências repetidas. O exercício aeróbio foi administrado em uma bicicleta estacionária, por 20 minutos, com intensidade de 50 a 70% da Frequência Cardíaca (FC) de reserva. **Resultados:** Ao longo da prática os grupos melhoraram seu desempenho sem diferença significativa entre eles, apresentando menores tempo de resposta na sequência repetida quando comparadas as sequências pseudorrandômicas. No teste de retenção, identificou-se que o GED e o GC demonstraram respostas motoras mais rápidas para as sequências repetidas do que para as sequências pseudorrandômicas se comparados ao GEA. Estes resultados sugerem que o GED e o GEA demonstraram melhor retenção da aprendizagem específica à sequência repetida. O déficit no desempenho do GEA no teste de retenção foi relacionado com uma incapacidade em organizar os elementos individuais da sequência repetida em *chunks* (subsequências funcionais de movimento), o que foi possível identificar no GED e GC. Tal condição sugere que a realização de exercício aeróbio anteriormente à prática impactou negativamente os processos de consolidação envolvidos na aprendizagem implícita. **Conclusão:** O exercício aeróbio não melhorou a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC; ao invés disso, quando o exercício aeróbio ocorreu imediatamente antes da prática, a consolidação da memória implícita foi prejudicada.

Palavras chave: Exercício aeróbio. memória implícita. memória procedimental. acidente vascular cerebral. aprendizagem motora. consolidação.

Abstract

BONUZZI, G,M,G. Effects of the aerobic exercise on the implicit learning of post-stroke individuals. 2020. 125 f. Ph.D. Thesis – School of Physical Education and Sport, University of São Paulo, São Paulo. 2020.

Introduction: Considering that stroke survivors may have deficits in implicit learning, we hypothesized that aerobic exercise could improve it, given its neuromodulatory effect. **Objective:** To investigate the effects of the moderate aerobic exercise on the implicit motor learning of stroke survivors, and, to verify whether these effects are timing-dependents. **Methods:** Forty-five stroke survivors were divided into three groups: Before Exercise Group – BEG (Exercise + Motor practice), After Exercise Group – AEG (Motor practice + Exercise) and Control Group - CG (Just motor practice). All groups practiced the Serial Reaction Time Task (with repeated and pseudorandom sequences) during three consecutive days, with a delayed retention test after one week. The aerobic exercise was provided in a stationary bike, for 20 minutes, in an intensity from 50 to 70% heart rate reserve. **Results:** At the end of the acquisition phase, all groups showed faster response time in repeated sequences if compared to pseudorandom sequences. In the retention test, the AEG and CG demonstrated faster motor responses in repeated sequences than pseudorandom sequences if compared to BEG. This finding suggests that the AEG and CG showed better retention in the specific learning related to the repeated sequence. This deficit in the BEG's performance in the retention test was related to an inability to organize elements of the repeated sequence into chunks (functional subsequences of movement), which was possible to observe in AEG and CG. This result suggests that to perform aerobic exercise immediately before motor practice impact negatively the consolidation of the implicit learning process. **Conclusion:** Aerobic exercise did not enhance implicit learning; instead, when the aerobic exercise occurred immediately before the motor practice, the implicit motor memory consolidation was impaired.

Keywords: Aerobic exercise. implicit memory. procedural memory. Stroke. motor learning. consolidation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características e resultados dos estudos que investigaram a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC.....	26
Tabela 2: Principais características e resultados dos estudos que investigaram o efeito do exercício aeróbico sobre a aprendizagem motora de indivíduos saudáveis.....	50
Tabela 3: Principais características e resultados dos estudos que investigaram o efeito do exercício aeróbico sobre o desempenho, aprendizagem e recuperação motora de indivíduos pós-AVC.....	69
Tabela 4: Caracterização dos participantes do estudo.....	86
Tabela 5: Número de participantes que obtiveram conhecimento declarativo espontaneamente da existência da sequência repetida no GC, GEA e GED.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Efeitos diretos e indiretos da neuromodulação promovida pelo exercício aeróbio os quais podem exercer influência sobre o processo de aprendizagem motora (adaptado de MANG et al., 2013)	32
Figura 2: Representação da TTRS e do posicionamento do participante em relação ao equipamento	7
Figura 3: Registro fotográfico de um participante do estudo desempenhando a TTRS	76
Figura 4: Imagem utilizada para a instrução da dinâmica da tarefa para o participante	77
Figura 5: Fluxograma dos participantes através das fases do estudo	79
Figura 6: Principais características das condições de prática e momento de realização de exercício aeróbio em função de cada grupo.....	81
Figura 7: Testes de conhecimento declarativo inspirados na avaliação proposta no estudo de Boyd e Winstein (2006)	82
Figura 8: Valor médio da porcentagem da FC de reserva atingida pelos indivíduos do GEA e do GED ao longo da realização das sessões de exercício aeróbio.....	88
Figura 9: A – Tempo de resposta absoluto a longo da prática com os participantes em um só grupo. B – Tempo de resposta diferencial a longo da prática com os grupos colapsados	90
Figura 10: A – Tempo de resposta diferencial do GEA, GC e GED ao longo da prática. B – Tempo de resposta diferencial do GEA, GC e GED no teste de retenção	92
Figura 11: Tempo de resposta absoluto por elementos do GC, GEA e GED ao longo do experimento	94

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1 – Parecer do comitê de ética	132
Apêndice 2 – Montreal Cognitive Assessment	135
Apêndice 3 - Escala de Fugl-Meyer	136
Apêndice 4 - Questionário internacional de atividade física.....	141
Apêndice 5 – Questionário de Depressão de Beck.....	143

LISTA DE ABREVIATURAS

AVC – Acidente Vascular Cerebral

AVD'S – Atividades da Vida Diária

BDNF – Fator Neurotrófico Derivado do Cérebro

FC – Frequência Cardíaca

FUGL-MEYER – Escala de Fugl-Meyer

GC – Grupo Controle

GEA – Grupo Exercício Antes

GED – Grupo Exercício Depois

HIIT – Treinamento Intervalado de Alta Intensidade

IPAC – Questionário Internacional de Atividade Física

MMII – Membros inferiores

MMSS – Membros superiores

MoCA – Montreal Cognitive Assessment

SNC – Sistema Nervoso Central

TTRS – Tarefa de Tempo de Reação Seriado

VO2máx – Volume de Oxigênio Máximo

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
2 – REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 – ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL (AVC)	4
2.1.1 – CONCEITO	4
2.1.2 – QUADRO CLÍNICO	4
2.2 – MEMÓRIA: UMA ANÁLISE FENOMENOLÓGICA	5
2.2.1- Memória Explícita	6
2.2.2- Memória Implícita.....	7
2.2.2.1- Memória Procedimental	7
2.2.2.2- Aprendizagem Implícita e Aprendizagem Explícita de Habilidades Motoras	11
2.2.2.3.1- Avaliando a aprendizagem implícita de habilidades motoras	14
2.3- APRENDIZAGEM IMPLÍCITA DE INDIVÍDUOS PÓS-AVC	15
2.4 – EXERCÍCIO AERÓBIO E A FORMAÇÃO DE MEMÓRIAS.....	30
2.4.1 – Efeitos do exercício aeróbico na aprendizagem motora de indivíduos neurologicamente saudáveis	36
2.4.2 – Efeitos do exercício aeróbico no desempenho e aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC	64
3 - MÉTODO.....	74
3.1 - LOCAL	74
3.2 - AMOSTRA	74
3.3 - TAREFA	75
3.4 - DELINEAMENTO	78
3.5 – VARIÁVEIS DEPENDENTES	82
3.6 - TRATAMENTO DOS DADOS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	83
4 – RESULTADOS	86
4.1 – CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	86
4.2 – INTENSIDADE DO EXERCÍCIO AERÓBIO	87
4.3 – APRENDIZAGEM ESPECÍFICA E NÃO ESPECÍFICA.....	88
4.4 – APRENDIZAGEM IMPLÍCITA	89
4.5 – EFEITOS DO EXERCÍCIO AERÓBIO SOBRE OS MECANISMOS DE CODIFICAÇÃO DA APRENDIZAGEM IMPLÍCITA DE INDIVÍDUOS PÓS- AVC.....	91
4.6 – EFEITOS DO EXERCÍCIO AERÓBIO SOBRE OS MECANISMOS DE CONSOLIDAÇÃO DA APRENDIZAGEM IMPLÍCITA DE INDIVIDUOS PÓS-AVC	91
4.7 – AVALIAÇÃO DO CONHECIMENTO EXPLÍCITO	95
5 – DISCUSSÃO	96

5.1 – INDIVÍDUOS PÓS-AVC POSSUEM CAPACIDADE PARA APRENDER HABILIDADES MOTORAS IMPLICITAMENTE?.....	96
5.2 – O EXERCÍCIO AERÓBIO (ESPECIALMENTE ANTES DA PRÁTICA) MELHORA O MECANISMO DE CODIFICAÇÃO ENVOLVIDO NA APRENDIZAGEM IMPLÍCITA DE INDIVÍDUOS PÓS- AVC?	98
5.3 – O EXERCÍCIO AERÓBIO (ESPECIALMENTE APÓS A PRÁTICA) MELHORA O MECANISMO DE CONSOLIDAÇÃO ENVOLVIDO NA APRENDIZAGEM IMPLÍCITA DE INDIVÍDUOS PÓS- AVC? .	100
5.4 – LIMITAÇÕES DO ESTUDO	102
5.4.1 – Sobre os participantes	102
5.4.2 – Sobre o exercício aeróbio	103
5.4.3 – Sobre o delineamento experimental	104
5.5 – FUTUROS DESDOBRAMENTOS	105
6 – CONCLUSÃO.....	107
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
Anexo 1	127
Apêndice 1	132
Apêndice 2	135
Apêndice 3	136
Apêndice 4	141
Apêndice 5	143

1 - INTRODUÇÃO

Memórias explícitas referem-se a evocação de informações de fatos e eventos de maneira consciente, sendo possível declará-las verbalmente (CAMINA; GÜELL, 2017). Já memórias implícitas expressam-se por meio do desempenho ao invés da recordação (SQUIRE; DEDE, 2015). Este tipo de memória revela-se quando a experiência prévia facilita o desempenho em uma determinada tarefa, além disso, memórias implícitas não requerem a condição intencional ou consciente para sua evocação (SCHACTER, 1987).

A aquisição de memórias implícitas raramente está comprometida em sua totalidade após lesões cerebrais, como o Acidente Vascular Cerebral (AVC) (KRAKAUER, 2015; POLDRACK, 2005; POLDRACK; PACKARD, 2003). Isto se deve ao fato de que este tipo de memória advém de uma intrincada interconexão expandida entre áreas corticais sensório-motoras, núcleos da base e cerebelo (LUFT; BUITRAGO, 2005; SQUIRE; DEDE, 2015), o que permite que após lesões cerebrais haja a compensação da estrutura lesada por estruturas remanescentes, as quais mantêm nestes indivíduos a capacidade de aprender habilidades motoras de maneira implícita.

Contudo, identifica-se que indivíduos pós-AVC apresentam desempenho inferior em habilidades motoras adquiridas de maneira implícita se comparados a indivíduos neurologicamente saudáveis da mesma idade (BONUZZI et al., 2016; BOYD; WINSTEIN, 2004b, 2006; POHL et al., 2006). Este desempenho inferior é identificado mesmo quando se solicita ao indivíduo pós-AVC desempenhar a tarefa com o membro ipsilateral à lesão, o que diminui a influência dos déficits motores sobre o desempenho (BOYD et al., 2007, 2009; BOYD; WINSTEIN, 2001, 2004b, 2003, 2006; POHL et al., 2006).

Logo, se supõem que estas peculiaridades na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC podem ser derivadas de déficits na formação deste tipo de memória. Nesse sentido, desenvolver estratégias que favoreçam o processo de criação de memórias após um AVC torna-se relevante, a fim de potencializar a capacidade de aprendizagem implícita desses indivíduos (KAL et al., 2016b).

O exercício aeróbico tem sido apontado como uma estratégia neuromodulatória que favorece a consolidação de memórias motoras (MANG et al., 2013; MCMORRIS et al., 2008) e facilita o processo de aprendizagem motora em indivíduos saudáveis. Como hipóteses explicativas para os efeitos dos exercícios aeróbicos na formação de memórias motoras têm-se que este tipo de exercício aumenta o fluxo sanguíneo e a angiogênese em áreas corticais (TAUBERT; VILLRINGER; LEHMANN, 2015). Além disso,

promove o aumento do volume cerebral (KLEIM; COOPER; VANDENBERG, 2002; SMITH et al., 2010), proporciona o estímulo à produção e liberação de fatores neurotróficos derivados do cérebro (BDNF), desencadeando processos pró-neuroplasticidade (COTMAN, 2002; KNAEPEN et al., 2010; MARLATT; LUCASSEN; VAN PRAAG, 2010; RASMUSSEN et al., 2009) e aumenta a secreção de neurotransmissores relacionados à vigília, atenção e ao processamento de informações (MCMORRIS et al., 2008).

Os resultados preliminares em indivíduos neurologicamente saudáveis apontam que o exercício aeróbio acrescido a sessões de prática de habilidades motoras possibilita a melhora: 1) do desempenho durante a fase de aquisição (KASHIHARA; NAKAHARA, 2005; SNOW et al., 2016; STATTON et al., 2015), 2) da função cognitiva e do processamento de informações (MCDONNELL; SMITH; MACKINTOSH, 2011), 3) da interferência retroativa negativa e da inibição *online* de respostas motoras (JOYCE et al., 2009; RHEE et al., 2016) e 4) da retenção do desempenho aperfeiçoado (MANG et al., 2014; ROIG et al., 2012; SKRIVER et al., 2014).

De maneira complementar, especula-se que estes efeitos são momento-dependentes (ROIG et al., 2016). Ou seja, há alguns achados que identificaram que quando o exercício aeróbio é realizado imediatamente antes da realização da prática, há melhora do processamento de informações e do desempenho durante a prática, o que permite a melhor condição do processo de codificação da memória motora (PERINI et al., 2016; SNOW et al., 2016; STATTON et al., 2015). Por outro lado, estes achados preliminares têm apontado que quando o exercício é realizado imediatamente após a prática da tarefa, há a tendência de beneficiamento dos processos de consolidação da memória motora, o que permite a melhor retenção do desempenho aperfeiçoado (FERRER-URIS et al., 2017; FERRER-URIS; BUSQUETS; ANGULO-BARROSO, 2018; LUNDBYE-JENSEN et al., 2017; MANG et al., 2014, 2016b; ROIG et al., 2012; SKRIVER et al., 2014; THOMAS et al., 2016b, 2017; TOMPOROWSKI; PENDLETON, 2018).

Contudo, os achados dos experimentos em sujeitos neurologicamente saudáveis não podem ser transferidos para indivíduos pós-AVC e, os estudos que investigaram os efeitos dos exercícios aeróbios no desempenho e aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC ainda são escassos (LINDER et al., 2019; NEPVEU et al., 2017; PLOUGHMAN et al., 2008; QUANEY et al., 2009; VALKENBORGH et al., 2019).

Os achados preliminares apontam que o exercício aeróbio promoveu melhora na excitabilidade cortical, melhor aperfeiçoamento do desempenho e melhor persistência no teste de retenção. Contudo, até o presente momento não houve a investigação do efeito do exercício aeróbio na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC, especificamente. Além disso, ainda permanece em aberto se o momento de realização do exercício aeróbio em relação à prática produz algum efeito no desempenho e aprendizagem implícita nesta população.

Portanto, o objetivo da presente tese foi investigar os efeitos do exercício aeróbio no desempenho e na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC. Pretendeu-se, adicionalmente, investigar os efeitos de diferentes momentos em que o exercício aeróbio é realizado (imediatamente antes ou imediatamente após à prática) sobre os processos de codificação e consolidação da aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL (AVC)

2.1.1 – Conceito

O AVC é compreendido como uma síndrome clínica caracterizada por sinais de distúrbio focal ou global da função cerebral, os quais permanecem mais de 24 horas ou levam a morte (WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2018). Esta síndrome pode derivar-se de uma hemorragia espontânea na substância cerebral ou do fornecimento inadequado de sangue a determinada região do cérebro derivada de trombose ou embolia associada a doenças dos vasos sanguíneos, coração ou do sangue (WARLOW et al., 2007).

2.1.2 – Quadro Clínico

De maneira geral, indivíduos pós-AVC apresentam hemiparesia contralateral à lesão (WARLOW et al., 2007), aumento do tônus muscular e espasticidade (WISSEL; MANACK; BRAININ, 2013), fraqueza derivada da diminuição da magnitude do *output* motor, do menor recrutamento de unidades motoras do tipo IIB, da desarmonia do recrutamento de sinergias musculares e de co-contrações (GARLAND; GRAY; KNORR, 2009) e déficits na coordenação interarticular (CIRSTEA et al., 2003; RODRIGUES et al., 2017). Além disso, indivíduos pós-AVC ainda apresentam problemas na sensação tátil, estereognosia e propriocepção (CONNELL; LINCOLN; RADFORD, 2008) e retardamento temporal na percepção de estímulos sensoriais (KLUGER et al., 2009).

Os déficits sensório-motores influenciam de maneira negativa o desempenho de Atividades da Vida de Diária (AVD's) e, conseqüentemente, a independência funcional desses pacientes. Desse modo, déficits sensoriais e motores interferem na capacidade funcional destes sujeitos (SCALHA et al., 2011; WAGNER et al., 2006).

Todavia, os acometimentos sensório-motores não são os únicos aspectos a comprometerem a capacidade funcional do indivíduo pós-AVC. Sabe-se que estes indivíduos possuem comprometimento cognitivo (CUMMING; MARSHALL; LAZAR, 2013; SCHAAPSMEERDERS et al., 2013), tais como, déficits na função executiva e memória operacional (AL-QAZAZ et al., 2014; NYS et al., 2007; ZINN et al., 2007), os quais também afetam o desempenho e aprendizagem de habilidades motoras.

Como exemplo da influência dos déficits cognitivos sobre o desempenho e aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC identifica-se que estes sujeitos apresentam desempenho inferior em tarefas que apresentam alta complexidade (BONUZZI et al., 2016; PALMA, 2016) e em condições de dupla tarefa (BROWN; SLEIK; WINDER, 2002; CANNING; ADA; PAUL, 2006; CHEN; LEYS; ESQUENAZI, 2013; KAL et al., 2016a; PLUMMER-D'AMATO et al., 2008). Ainda, indivíduos pós-AVC utilizam de estratégias conscientes de monitoramento da ação, o que gera maior utilização de recursos atencionais e sobrecarga na memória operacional (KAL et al., 2016a; ORRELL; MASTERS; EVES, 2009).

Essa incapacidade em desempenhar e aprender habilidades motoras com maior quantidade de processamento simultâneo de informações (como ocorre em tarefas complexas e/ou dupla tarefa) advém de sobrecarga na memória operacional que indivíduos pós-AVC podem apresentar. Estas limitações, em conjunto, interferem no processamento de informações, sendo este um aspecto limitador do desempenho motor nesta população (BOYD et al., 2009).

Considerando estas limitações na memória operacional uma das formas de contribuir para o desempenho de habilidades motoras de indivíduos pós-AVC é fazer com que haja a aprendizagem implícita (KAL et al., 2016b). Isto porque, aparentemente, restrições na memória operacional não afetam o processo de aquisição de memória implícitas (JANACSEK; NEMETH, 2013). Assim, utilizando-se de processos implícitos para a aprendizagem de habilidades motoras seria possível a liberação de recursos atencionais à memória operacional, evitando a sobrecarga do processamento de informações, e facilitando o desempenho de habilidades motoras. Portanto, favorecer a aprendizagem implícita nos pacientes pós-AVC pode evitar sobrecarga no mecanismo cognitivo. Pois, sugere-se que indivíduos pós-AVC ao aprenderem habilidades motoras implicitamente não sejam impactados por seu déficit na memória operacional e no processamento de informações.

Assim, durante a aprendizagem implícita os indivíduos pós-AVC podem evitar os efeitos negativos da sobrecarga informacional em sua memória operacional. Por outro lado, quando estes indivíduos se envolvem em processos explícitos de aquisição de habilidades motoras, pode-se ter sobrecarga na memória operacional, o que afeta negativamente o desempenho/ aprendizagem motor (a).

2.2 – MEMÓRIA: UMA ANÁLISE FENOMENOLÓGICA

A memória é um construto que em uma perspectiva morfofuncional é disposta no sistema por meio de módulos. Deste modo, a estratificação e definição operacional dos módulos relativos ao conteúdo da informação armazenada serão abordados nos capítulos que se seguem.

2.2.1- Memória Explícita

Entendem-se como memórias explícitas, ou também denominadas de memórias declarativas, aquelas relativas a fatos e eventos, que são evocadas de maneira consciente; sendo possível, por conta de seu caráter informacional, declará-las verbalmente (CAMINA; GÜELL, 2017). O mecanismo de aquisição de memórias declarativas prevê a possibilidade da consolidação da informação na memória de longo prazo em apenas uma única exposição ao estímulo (BADDELEY, 2003).

A memória explícita é subdividida em memória episódica e memória semântica (TULVING, 1985): a memória episódica refere-se às experiências pessoais específicas de um lugar e tempo (TULVING, 1985). Logo, a memória episódica envolve a capacidade de aprender, armazenar e evocar informações sobre uma única experiência pessoal que ocorreu durante algum período da vida em específico. Estas memórias, geralmente, incluem informação sobre tempo e espaço de um evento, bem como detalhe específico do evento em si (DICKERSON; EICHENBAUM, 2010).

A memória semântica é relacionada a retenção de informação sobre fatos; mais especificamente, sobre o conhecimento do mundo externo, conhecimento de objetos, conhecimento de linguagem e atribuição conceitual (TULVING, 1985, 2002). A realização de atividades de raciocínio, planejamento para o futuro ou lembranças do passado dependem de conceitos armazenados na memória semântica, o que atribui a este tipo de memória capacidade conceitual e significativa (MAHON; CARAMAZZA, 2008).

Cabe ressaltar que a memória semântica e a memória episódica apresentam interconexões diretas com a memória operacional (BADDELEY, 2010). Estes processos são mediados por recursos atencionais conscientes, os quais apresentam capacidade limitada de processamento de informações (HELENE; XAVIER, 2003).

Desta forma, por conta da capacidade limitada de processamento de informações que a memória operacional possui, pode haver sobrecarga neste mecanismo quando há grande recorrência consciente a memória semântica ou episódica (REPOVŠ; BADDELEY, 2006). Assim, atividades que recorram à grandes quantidades de

informação advindas da memórias semânticas e/ou episódicas tendem a ser prejudicadas; sendo este fenômeno ocorrente durante a aprendizagem de habilidades motoras (LEE; SWINNEN; SERRIEN, 1994; SCHMIDT; LEE, 2014).

Em suma, quando durante a realização de habilidades motoras evocam-se as memórias semânticas e episódicas com grandes quantidades de informação, nota-se queda do desempenho. Essa condição é atribuída à sobrecarga informacional na memória operacional.

2.2.2- Memória Implícita

As memórias implícitas apresentam possibilidade de evocação sem intermédio da condição intencional ou consciente. Logo, neste tipo de memória a exposição/ experiência prévia a um determinado estímulo/ situação induz a resposta aperfeiçoada posterior de maneira não consciente (SCHACTER, 1987). Desta forma, as memórias implícitas expressam-se por meio do comportamento, ao invés da recordação (SQUIRE; DEDE, 2015).

A criação de memórias implícitas se dá por meio da prática ou da frequente exposição ao estímulo, necessitando de um processo gradual de aquisição. Deste modo, a aquisição da memória implícita depende de mudanças cumulativas as quais se dão a cada vez que o sistema é ativado (COHEN, 1984; SQUIRE, 1992).

O termo memória implícita ou não-declarativa foi introduzido a fim de englobar um modelo guarda-chuva que se refere a múltiplas formas de memória que não são declarativas (SQUIRE; DEDE, 2015). Deste modo, maior ênfase foi dada a análise da memória procedimental, relativa à aquisição de habilidades motoras, dada a íntima relação com o objeto de estudo desta tese. No próximo subcapítulo serão analisadas a sua caracterização fenomenológica, as formas de analisá-la experimentalmente e seus mecanismos neurofuncionais.

2.2.2.1- Memória Procedimental

A memória procedimental é a parte da memória implícita que participa da recordação motora e a execução de atos motores que são necessários durante a realização de uma determinada tarefa (CAMINA; GÜELL, 2017). Com isso, trata-se de uma memória que é governada por regras ou procedimentos, os quais podem ser adquiridas sem a participação consciente das condições aprendidas (COHEN; SQUIRE, 1980).

Logo, este tipo de memória está mais atrelada ao “saber como” do que ao “saber que” (SQUIRE, 2004).

Pela relação existente da memória procedimental e a realização de habilidades motoras, alguns autores também a denominam de memória motora. Segundo Krakauer e Shadmehr (2006, p.58) “a memória motora difere-se da memória declarativa, pois, é demonstrada através de *savings*¹ do desempenho ao longo das tentativas, ao invés da evocação de um único elemento”. Isto é, com a prática de uma determinada habilidade motora o desempenho aperfeiçoa-se, e quando a aprendizagem desta habilidade motora ocorre, este aperfeiçoamento torna-se consistente a ponto de não regredir em períodos de restrição de prática ou de se adaptar frente a modificações no contexto (SCHMIDT; LEE, 2011).

Este processo de aquisição de memórias procedimentais é denominado pela literatura como aprendizagem motora (KANTAK; WINSTEIN, 2012). Cabe ressaltar que este processo apresenta alguns aspectos característicos, que para Schmidt e Lee (2011) são: 1 – trata-se de um processo de aquisição da capacidade de produção de habilidades motoras, envolvendo os processos subjacentes à esta aquisição, 2 – resulta da prática e/ ou da experiência, 3 – não pode ser inferida diretamente, cabendo a análise de todas as mudanças comportamentais ao longo do processo para a devida aferição, 4 – reflete as mudanças relativamente permanentes, as quais diferem do desempenho porque este último é influenciado por variáveis de desempenho, como motivação, cansaço e stress.

Para inferência adequada sobre o processo de aprendizagem motora faz-se necessária a análise de todo o processo e não somente do desempenho (EDWARDS, 2011; SCHMIDT; LEE, 2011). Magill (2000) indica que o processo de aprendizagem motora é composto por quatro características do desempenho, as quais devem ser levadas em consideração nas inferências sobre aprendizagem motora: 1- o aperfeiçoamento do desempenho ao longo da prática, 2 – a consistência do desempenho aperfeiçoado ao longo da prática, sendo menos suscetível a erros, 3 – a adaptabilidade do desempenho aperfeiçoado frente a mudanças ambientais, 4 - retenção do

¹ Saving – Refere-se à “taxa de reaprendizagem de uma determinada habilidade motora em comparação a taxa necessária para a aprendizagem original.” (KRAKAUER; SHADMEHR, 2006 p.58), em outras palavras trata-se da melhora do desempenho em função da prática. Com isto, identifica-se que alguém com experiência em uma habilidade motora consegue atingir mais rapidamente um critério de desempenho, mesmo sendo restringido da prática por um tempo, isto se deve ao armazenamento dos *Savings* (CHRISTINA, 1997; FISCHMAN; CHRISTINA; VERCRUYSEN, 1981).

desempenho aperfeiçoado, podendo ser identificada a manutenção da capacidade adquirida mesmo após períodos de restrição de prática (MAGILL, 2000).

Estas características do desempenho ao longo do processo de aprendizagem motora (aperfeiçoamento, consistência, adaptabilidade e persistência) são correspondentes ao processo de formação de memórias. Sendo o processo de formação de memória composto por codificação, consolidação e evocação (ROBERTSON, 2009; ROBERTSON; COHEN, 2006).

Corroborando com esta perspectiva Kantak e Winstein (2012, p.222) propõem que:

Os processos de codificação provavelmente são dominantes durante a fase de aquisição (ou prática) quando o aprendiz pratica a habilidade motora. Ao longo do intervalo de retenção, os processos de consolidação são engajados para estabilizar a memória motora adquirida. Durante o teste de retenção, o aprendiz evoca a memória motora necessária para reproduzir a habilidade motora.

Assim, no caso de memórias procedimentais, a codificação ocorre em grande parte durante a prática, ou seja, durante a fase de aquisição (KANTAK; WINSTEIN, 2012). Com isso, em função dos processos de codificação é possível notar o aperfeiçoamento e a consistência do desempenho durante a prática, que formam na maioria dos casos, as curvas de desempenho.

Nessa fase, as circuitarias neurais responsáveis por todos os processos de aprendizado do movimento estão sendo organizadas. Assim, durante a codificação identificam-se alterações transitórias na atividade eletrofisiológica de grupos de neurônios envolvidos com o processo, o que determina facilidades transitórias na transmissão de informação dentre estes neurônios (HELENE; XAVIER, 2007).

Após a prática, ocorrem os processos de consolidação, os quais possibilitam que a memória que inicialmente era frágil e suscetível a esquecimento, possa ser uma memória robusta e estável (ROBERTSON; COHEN, 2006). Assim, durante a consolidação identificam-se mudanças quantitativas (melhora do desempenho) e qualitativas (maior estabilização, o que a torna menos suscetível a interferência) na memória (ROBERTSON, 2009).

Acredita-se que os processos de consolidação da memória podem ocorrer *online* (durante os períodos de vigília, que são temporalmente próximos à prática), ou *off-line* (durante o sono) (FOSTER; WILSON, 2006; KRAKAUER; SHADMEHR, 2006; TONONI; CIRELLI, 2003). Assim, os processos de consolidação são aqueles responsáveis pela persistência do processo de aprendizagem motora. Considera-se,

então, que os mesmos suportam a consolidação das mudanças relativamente permanentes da capacidade de executar ações habilidosas, característica esta fundamental da aprendizagem motora (KANTAK; WINSTEIN, 2012).

Em um nível de análise neurofisiológico, acredita-se que esta condição corresponda a alterações estruturais permanentes na conectividade neuronal, as quais levam a formação de circuitos neurais cuja atividade representaria a retenção das informações no sistema nervoso por prolongados períodos de tempo (HELENE; XAVIER, 2007).

Por fim, a evocação ocorre em função da atividade da circuitaria neural desenvolvida durante os processos de codificação e consolidação (ROBERTSON, 2009; ROBERTSON; COHEN, 2006). No caso de memórias procedimentais, a evocação se dá a partir da realização de uma habilidade motora aprendida, em que os ganhos de desempenho adquiridos com a prática demonstram persistência mesmo após períodos de restrição de prática (KRAKAUER; SHADMEHR, 2006).

Além da persistência do desempenho, há, também, a constatação de que quando uma habilidade motora é aprendida, há menor envolvimento cognitivo para seu desempenho devido à automatização da representação correspondente a habilidade motora (FITTS; POSNER, 1967; LADEWIG, 2000; POLDRACK, 2005). Isto é, durante o processo de aprendizagem motora, o aprendiz gradativamente apresenta uma diminuição das exigências cognitivas e atencionais para o desempenho da tarefa (FITTS; POSNER, 1967). Isto permite com que indivíduos com proficiência em determinada habilidade motora sejam capazes de interagir melhor com o meio ambiente, devido à liberação de recursos cognitivos para outros aspectos (LADEWIG, 2000). Além disso, eles não são prejudicados em condição de dupla-tarefa (SCHAEFER; LANG, 2012), haja vista que a demanda cognitiva da tarefa primária é reduzida em virtude da sua automatização, o que libera recursos cognitivos para a realização da tarefa secundária (LADEWIG, 2000; POLDRACK, 2005).

Assim, além dos aspectos de aperfeiçoamento, consistência, adaptabilidade e persistência que caracterizam o processo de aprendizagem motora (MAGILL, 2000), constata-se que a automatização (diminuição do controle consciente) da habilidade ao longo do processo é uma importante característica. A partir dessa característica, possibilita-se que um menor controle consciente da habilidade motora em estágios avançados de aprendizagem possa ocorrer (FITTS; POSNER, 1967; LADEWIG, 2000). Em outras palavras, ao longo da aquisição de habilidades motoras identifica-se aumento

das condições implícitas de aprendizagem (KLEYNEN et al., 2014; MASTERS, 1992), uma vez que com o passar da prática há menor exigência de recursos atencionais para monitoramento da ação.

2.2.2.2- Aprendizagem Implícita e Aprendizagem Explícita de Habilidades Motoras

As habilidades motoras são caracterizadas como memórias procedimentais e, na maioria das taxonomias, são consideradas como subcategorias das memórias implícitas (SQUIRE, 1992, 2004; SQUIRE; DEDE, 2015). Há, no entanto, autores que interpretam a aprendizagem de habilidades motoras como um processo que mescla condições explícitas e implícitas de aprendizagem (SUN; SLUSARZ; TERRY, 2005; WILLINGHAM, 1998). Assim, a aprendizagem de habilidades motoras pode ser decorrente de processos que são mediados por interação entre mecanismos explícitos e implícitos, de maneira paralela (sem influencia mútua), ou em interação (influenciando um ao outro) (SUN; SLUSARZ; TERRY, 2005; WILLINGHAM, 1998). Havendo, portanto, oposição frente à visão dicotômica de aprendizagem exclusivamente explícita ou exclusivamente implícita. Esta proposta aparenta ser mais coerente em relação ao processo de aquisição de habilidades motoras, uma vez que este processo envolve ambos mecanismos, implícito e explícito, de maneira complementar e, eventualmente, simultânea.

Sabe-se que, com a prática estendida, o aprendiz automatiza o movimento, demandando menos processos cognitivos e atencionais para o desempenho motor (FITTS; POSNER, 1967; KLEYNEN et al., 2014; MASTERS, 1992; WILLINGHAM, 1998). Ou seja, há o consenso que o último processo da aprendizagem de qualquer habilidade motora é a aprendizagem implícita da mesma (SUN; SLUSARZ; TERRY, 2005).

Fitts e Posner (1967), ao descreverem seu clássico modelo das fases de aprendizagem motora, relatam também as condições de aprendizagem explícita de uma habilidade motora. Assim, os autores descrevem que o processo temporal de aquisição de habilidades motoras passa por 3 fases: 1 – Fase cognitiva: nesta fase, o indivíduo apresenta sobrecarga cognitiva e atencional devido ao processamento de informações sobre os componentes da habilidade motora e as formas de atender a meta da tarefa. É uma fase caracterizada por erros e reajustes dos programas motores. 2 – Fase associativa: a partir de associações entre os parâmetros motores que obtiveram feedback

positivo e os parâmetros motores que obtiveram feedback negativo, o aprendiz começa a refinar os aspectos espaço-temporais de seu movimento; fazendo com que haja incremento de desempenho e apresentação de um comportamento habilidoso. 3 – Fase autônoma: com o passar da prática, o indivíduo automatiza o comportamento habilidoso, o que permite que o direcionamento da atenção seja seletivo e que haja liberação de recursos cognitivos para o melhor processamento das informações do ambiente, ou até mesmo para um processamento paralelo em condições de dupla-tarefa (FITTS; POSNER, 1967).

Ao analisar as fases propostas por Fitts e Posner (1967) percebe-se no início da prática há um grande componente de aprendizagem explícita atrelado ao entendimento das circunstâncias de desempenho da habilidade motora e das formas de atingir a meta da tarefa. Com o passar da prática, identifica-se a mudança desta condição explícita para uma condição implícita, com menor envolvimento da consciência para o desempenho da habilidade motora. Logo, esta forma de aprendizagem tem sido denominada como aprendizagem explícita (KAL et al., 2016b).

Como definição operacional, entende-se como aprendizagem explícita aquela que ocorre por meio do conhecimento verbal sobre os parâmetros de movimento ou do desempenho (fatos ou regras), tendo grande ênfase durante as fases cognitivas do processo de aprendizagem e sendo dependente do envolvimento da memória operacional (KLEYNEN et al., 2014).

Assim, a aprendizagem explícita é marcada por fases iniciais em que o controle da ação é baseado em conhecimento declarativo, sendo transformado gradualmente em conhecimento procedimental ao longo da prática (SUN; SLUSARZ; TERRY, 2005). Deste modo, em estágios mais avançados do processo de aprendizagem motora, embora o conhecimento declarativo não seja mais essencial para o controle do movimento, o mesmo ainda permanece acessível (KAL et al., 2016b).

Há ainda outra forma de aprendizagem de habilidades motoras denominada de aprendizagem implícita, a qual é entendida como um processo de aprendizagem sem (ou com o mínimo de) conhecimento verbal sobre o desempenho do movimento (fatos e regras) (KLEYNEN et al., 2014). Logo, as habilidades motoras aprendidas implicitamente são evocadas da memória implícita inconscientemente (KLEYNEN et al., 2014).

Desta forma, no processo de aprendizagem implícita apenas há o refinamento do conhecimento procedimental ao longo de toda a aprendizagem da habilidade motora

(KAL et al., 2016b). A prática repete sistematicamente a atividade neural correspondente a habilidade motora, favorecendo a automatização de todos os sistemas neurais envolvidos no desempenho da tarefa (CAMINA; GÜELL, 2017; POLDRACK, 2005; SQUIRE, 1992). A aprendizagem implícita reflete a aprendizagem do “fazer”, ou seja, a potencialização do sistema neural usado para desempenhar tarefas percepto-motoras; sendo esta condição experiência-dependente (WILLINGHAM, 1998).

Tem sido postulado que para a aprendizagem de habilidades motoras em indivíduos neurologicamente saudáveis e em algumas populações com lesão neurológica, como indivíduos pós-AVC, as condições de aprendizagem implícita são benéficas em relação àquelas que dispõem de conhecimento declarativo (aprendizagem explícita) (KLEYNEN et al., 2014, 2015; MASTERS, 1992; MASTERS; POOLTON, 2012; SUN; SLUSARZ; TERRY, 2005). Isto porque com a utilização de estratégias que privilegiam a aprendizagem implícita evita-se a sobrecarga informacional sobre a memória operacional, melhorando as condições de desempenho e aprendizagem (MASTERS; POOLTON, 2012).

Desse modo, reduzir a quantidade de conhecimento declarativo pode impactar positivamente a aprendizagem motora (SCHMIDT; LEE, 2011; TANI et al., 2004, 2010; WULF, 2007). Exemplos disso são os estudos em que as melhores condições de aprendizagem motora ocorrem quando há: redução da frequência de feedback fornecido (SCHMIDT, 1991; WULF; SCHMIDT; DEUBEL, 1993), na utilização de foco de atenção externo (WULF, 2007; WULF et al., 2002), na superioridade das dicas de atenção em comparação a instrução declarativa (WIESE-BJORNSTAL; WEISS, 1992), na superioridade de estratégias cognitivas como a auto fala (CUTTON; LANDIN, 2007) ou na superioridade da instrução visual em relação a declarativa (MCCULLAGH; WEISS; ROSS, 1989; RINK, 1994; STE-MARIE et al., 2012). Em conjunto, esses estudos sugerem que privilegiar a aprendizagem implícita pode induzir certa melhoria na aquisição da habilidade motora (KLEYNEN et al., 2015).

A utilização e investigação destes fatores para a promoção de condições implícitas de aprendizagem motora é recente se comparada a outros fatores clássicos da área, como estrutura de prática e feedback. Contudo, a análise destes fatores parece ser promissora, com base na fundamentação teórica sobre os mecanismos e processos subjacente à aprendizagem implícita (CAMINA; GÜELL, 2017; SQUIRE, 1992; SQUIRE; DEDE, 2015; SUN; SLUSARZ; TERRY, 2005), bem como a metodologia fundamentada para a análise destes processos (NISSEN; BULLEMER, 1987).

2.2.2.3.1- Avaliando a aprendizagem implícita de habilidades motoras

Grande parte das análises que buscaram investigar a aprendizagem implícita em diferentes populações baseou-se no estudo de Nissen e Bullemer (1987), em que se utilizou a Tarefa de Tempo de Reação Seriado (TTRS).

A TTRS baseia-se em responder o mais rápido possível a quatro estímulos visuais (geralmente luzes) que nunca se acendem simultaneamente. O participante dispõe de 4 teclas organizadas de maneira correspondente aos estímulos visuais, e a tarefa consiste em pressionar a tecla correspondente ao estímulo aceso o mais rapidamente e precisamente possível. Quando a tecla correta é pressionada, outro estímulo visual é aceso em uma nova posição, tendo o participante que responder a outra tecla, e assim consecutivamente. Sem o conhecimento do participante, os estímulos aparecem em sequências repetidas e sequências randômicas. Cada sequência, de maneira geral, é composta por nove ou mais estímulos.

O paradigma por trás da TRSS é relacionado a identificação de que, com o passar da prática, os participantes diminuem seu tempo de resposta, independentemente da condição. Todavia, para as sequências randômicas, os participantes apresentam respostas consideravelmente mais lentas do que para as sequências repetidas. Este comportamento é notado mesmo quando ao término do experimento o participante não apresenta conhecimento declarativo da sequência repetida. Assim, sugere-se que a melhora do desempenho é derivada de uma melhor condição motora (responder mais rápido ao estímulo independentemente da situação) e do conhecimento procedimental (implícito) da sequência repetida (KRAKAUER et al., 2019). Uma vez que em ambas condições, randômica e repetida, há melhora de desempenho, porém verifica-se que nas sequências repetidas a melhora do desempenho é superior (ROBERTSON, 2007).

Um aspecto importante é a garantia de inferências exclusivas sobre o conhecimento procedimental. Isto é, o pesquisador tem que garantir que a melhor condição verificada nas sequências repetidas não seja em função da identificação consciente dos itens repetidos. Para isso, os autores realizam questionários de reconhecimento da sequência repetida durante e ao término do experimento, dependendo da questão do estudo (WILLINGHAM, 1999). Neste sentido, primeiramente pergunta-se ao participante se ele percebeu alguma sequência de apresentação do estímulo (avaliação do conhecimento declarativo). Caso o participante venha a responder sim, o experimentador avalia o reconhecimento dos componentes da

sequência e solicita ao participante que relate a sequência lembrada (sendo consideradas as partes da sequência correta). Outra possibilidade é apresentar três sequências ao participante, em que uma delas é a correta, e o mesmo deve dizer qual sequência mais parece com que ele praticou (i.e. BOYD et al., 2009; BOYD; WINSTEIN, 2006; RÖSSER et al., 2008).

Há, também, na literatura estudos que utilizaram da mesma perspectiva da TTRS em uma tarefa de rastreamento. Nestes estudos, ao longo das tentativas o estímulo a ser rastreado apresenta trajetos repetidos que são flanqueados por trajetos randômicos. A forma de interpretação dos achados continua a mesma utilizada na TTRS, comparando-se o desempenho em condições repetidas e randômicas. Exemplos deste tipo de tarefa podem ser encontrados em Boyd e Winstein (2004, 2006).

Todavia, a TTRS é a mais utilizada pela literatura para análises sobre a aquisição de conhecimento procedimental em condições implícitas, tanto em estudos de neuroimagem e neurofisiologia (ROBERTSON, 2007), quanto em estudos comportamentais, inclusive em pacientes neurológicos, como indivíduos com desenvolvimento atípico (ZWART et al., 2017), autismo (FOTI et al., 2015), esquizofrenia (REMILLARD, 2014), doença de Parkinson (FOTI et al., 2015), pacientes com amnésia (NISSEN; BULLEMER, 1987) e indivíduos pós-AVC (KAL et al., 2016b).

Assim sendo, escolhemos a TTRS para ser a tarefa a ser praticada em nosso experimento pelo fato da maior facilidade de comparação de nossos achados com os já existentes na literatura da aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC.

2.3- APRENDIZAGEM IMPLÍCITA DE INDIVÍDUOS PÓS-AVC

A capacidade de aprender habilidades motoras por condições implícitas dificilmente é perdida em sua totalidade após uma lesão encefálica focal. Isto se deve ao fato de que a memória procedimental dispõe-se no Sistema Nervoso Central (SNC) de maneira difusa, envolvendo conexões entre o córtex sensório-motor, núcleos da base e cerebelo (SQUIRE, 1992; WILLINGHAM; SALIDIS; GABRIELI, 2002). Contudo, algumas peculiaridades no desempenho e na aprendizagem implícita destes indivíduos revelam condições específicas, as quais estão relacionadas aparentemente ao tipo, local e gravidade da lesão cerebral (BOYD et al., 2007, 2009; BOYD; WINSTEIN, 2004b; POHL et al., 2006), a natureza da tarefa a ser apreendida (BOYD et al., 2007) e aos

fatores que estão sendo manipulados durante o processo de aquisição da habilidade motora (KAL et al., 2016b).

As investigações que suportam estas afirmativas iniciaram com o estudo de Vakil e colaboradores (2000), em que os autores estavam interessados em investigar o papel dos núcleos da base na aprendizagem de memórias implícitas. Para isto, avaliaram 16 pacientes pós-AVC crônicos, com lesão nos núcleos da base e destros anteriormente à lesão. Para a formação do grupo controle foram pareados 16 indivíduos saudáveis por idade. Foi utilizada a TTRS em condições parecidas com as propostas por Nissen e Bullemer (1987). Os autores também desenvolveram a TTRS não motora que apresentava demandas perceptuais maiores, nela os participantes deveriam apenas apertar uma tecla quando um dos quatro estímulos fosse aceso; aumentando a demanda de capacidade discriminatória perceptual. A TTRS motora e a TTRS não motora foram praticadas em dois dias, de maneira contrabalanceada para evitar efeito da ordem. Foi estabelecido um dia para prática e o teste de retenção foi realizado no dia seguinte. Os resultados indicaram que houve circunstâncias parecidas na TTRS motora e a TTRS não motora. Assim, identificou-se que ambos os grupos melhoraram seu desempenho ao longo da prática das sequências repetidas e foram impactados negativamente quando a sequência randômica foi inserida, sendo os participantes do grupo controle mais impactados que os do grupo experimental. Todos os participantes retiveram o desempenho quando testados. Contudo, ao longo de todo o experimento, o grupo controle obteve melhor desempenho do que o grupo experimental, independentemente das circunstâncias.

Com isso, identifica-se a partir deste estudo, que os indivíduos pós-AVC com lesão nos núcleos da base foram capazes de aprender a tarefa implicitamente, independentemente da demanda perceptual ou motora. No entanto, estes pacientes apresentaram desempenho inferior ao longo de todo o processo de aprendizagem quando comparados a indivíduos controle. Esta informação, todavia, deve ser interpretada com cautela, haja vista que todos os participantes desempenharam a tarefa com o membro superior direito. Sabe-se que a não equalização entre os efetores mais ou menos comprometido dentre os grupos deste estudo pode ter gerado equívocos na interpretação dos achados, assim os resultados deste estudo podem ser contestados por este aspecto.

Boyd e Winstein (2001) investigaram o efeito da quantidade de prática e do conhecimento declarativo na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC. As

autoras utilizaram a TTRS. Participaram do estudo 12 sujeitos pós-AVC crônicos, com lesões em áreas sensório-motoras corticais. Os participantes foram divididos em 3 grupos: Grupo que praticou apenas 1 dia, grupo que praticou durante 3 dias, e grupo que praticou durante 3 dias e teve conhecimento prévio da sequência repetida. Todos os sujeitos praticaram a tarefa com o membro ipsilateral à lesão. Foi avaliada a subjetividade, reconhecimento e lembrança da sequência repetida. Os resultados apontaram que apenas os sujeitos que receberam conhecimento prévio da sequência repetida apresentaram melhor desempenho da sequência repetida em comparação com a aleatória. De maneira complementar, os participantes que não foram informados sobre a sequência repetida não foram capazes de identificar a sequência repetida, o que respalda o método de análise.

Assim, os achados de Boyd e Winstein (2001) indicam que indivíduos pós-AVC podem apresentar déficits na formação de memórias implícitas, as quais mesmo ofertando maior quantidade de prática não foram passíveis de melhora. Neste sentido, os resultados parecem indicar que o conhecimento declarativo da tarefa parece atenuar os déficits de memória implícita que estes indivíduos possuem. Contudo, cabe salientar que o número de participante deste estudo é baixo, tendo 4 indivíduos em cada grupo, o que pode fazer com que a heterogeneidade dos pacientes afete as diferenças encontradas dentre os grupos. Além disso, em análises post-hoc das tomografias das lesões, um dos pacientes do grupo conhecimento declarativo apresentou lesão no tronco encefálico ao invés de áreas motoras superiores, o que gera maiores diferenças dentre os grupos. Ainda, o delineamento não apresentou teste de retenção, o que inviabiliza inferências sobre a consolidação da memória implícita.

No intuito de retomar as investigações nesta temática reconsiderando as limitações apontadas anteriormente, Boyd e Winstein (2003) propuseram a mesma investigação sobre o efeito do conhecimento declarativo na sequência repetida de uma TTRS em indivíduos pós-AVC. Assim, participaram do estudo 10 sujeitos pós-AVC e 10 sujeitos neurologicamente saudáveis, os quais foram divididos em subgrupos que se diferenciavam pela presença ou ausência do conhecimento declarativo da sequência repetida. Foram estabelecidos 3 dias de prática e um teste de retenção no 4º dia. Também foi avaliada a subjetividade, reconhecimento e lembrança da sequência repetida. Os achados apontaram que todos os sujeitos do estudo melhoraram seu desempenho com a prática; contudo, durante a fase de aquisição os indivíduos pós-AVC foram impactados negativamente quando ofertado conhecimento declarativo. Tais

achados não foram evidenciados nos sujeitos sem lesão, os quais apresentaram melhores desempenhos quando possuíam conhecimento declarativo. Além disso, nas análises do teste de retenção, o grupo saudável não apresentou efeitos da condição de receber conhecimento declarativo ou não. Já para os pacientes pós-AVC identificou-se que aqueles que receberam conhecimento declarativo apresentaram piores desempenhos no teste de retenção, se comparados àqueles que não receberam.

Desta forma, apesar do número pequeno de participantes percebeu-se avanço na literatura a partir desse estudo. As análises com a presença de um grupo controle neurologicamente saudável permitiram identificar os efeitos da lesão encefálica no processo de aprendizagem implícita. Além disso, a presença de um teste de retenção viabiliza análises mais consistentes do processo de aprendizagem implícita.

Estes detalhes metodológicos proporcionaram resultados interessantes, visto que se pode notar que os indivíduos pós-AVC possuem capacidade de aprender habilidades motoras de maneira implícita. E, além disso, parecem ser impactados negativamente pela condição de provisão de conhecimento declarativo. Sendo esta, uma condição que não gerou efeitos na aprendizagem implícita de indivíduos neurologicamente saudáveis.

Boyd e Winstein (2004b) investigaram se há condições específicas na aprendizagem implícita de indivíduos que sofreram lesões nos núcleos da base (considerados estrutura chave na aquisição de memórias procedimentais e implícitas) após um AVC. Foram recrutados 10 indivíduos pós-AVC, crônicos, com lesão nos núcleos da base, e 10 indivíduos neurologicamente saudáveis, sendo todos destros. Os participantes foram divididos em 2 grupos, que se diferenciaram novamente pela condição de conhecimento explícito da condição repetida. Utilizou-se uma tarefa de rastreamento, em que 1/3 de cada tentativa requeria rastreamento repetido. Os participantes desempenharam a tarefa com o membro menos afetado, enquanto o grupo controle desempenhou a tarefa com o membro correspondente aos participantes do grupo AVC. A tarefa foi praticada durante 3 dias, e um teste de retenção foi realizado no 4º dia. Os resultados corroboraram com os identificados por Boyd e Winstein (2003), em que o conhecimento declarativo impactou o desempenho e aprendizagem implícita dos indivíduos pós-AVC.

Deste modo, mesmo com lesão nos núcleos da base, sendo esta uma importante estrutura para a automatização do movimento e para a formação de memórias implícitas (CAMINA; GÜELL, 2017; POLDRACK, 2005; SQUIRE; DEDE, 2015; WILLINGHAM; SALIDIS; GABRIELI, 2002), os indivíduos pós-AVC demonstraram

condição de aprender habilidades motoras implicitamente. As autoras atribuem a deterioração do desempenho e da aprendizagem motora na presença de conhecimento declarativo ao fato de que os sistemas de memória explícita e implícita competem por recursos (POLDRACK et al., 1999). Assim, a necessidade de conhecimento flexível no lobo temporal medial compete com a necessidade de velocidade e automatização do processamento do estriado (BOYD; WINSTEIN, 2004a).

Em 2004, além das análises dos efeitos do AVC sobre os núcleos da base durante o processo de aprendizagem implícita, Boyd e Winstein (2004a) também investigaram os resultados de lesões no cerebelo neste processo. Para isto, avaliaram 6 indivíduos pós-AVC, crônicos, além da participação de 10 indivíduos neurologicamente saudáveis, todos destros. O delineamento e a tarefa utilizada foram idênticos ao adotado no estudo com indivíduos com lesões nos núcleos da base, com a ressalva de não haver oferecimento de conhecimento declarativo (i.e. BOYD; WINSTEIN, 2004b). Os resultados apontaram que na fase de aquisição os indivíduos com lesão cerebelar precisaram de uma quantidade de prática maior para identificação de aperfeiçoamento do desempenho. No teste de retenção, ambos os grupos apresentaram melhor desempenho nas sequências repetidas do que nas aleatórias, o que indicou aprendizagem implícita. Identificou-se, também, que os pacientes cerebelares não melhoraram aspectos temporais de seu desempenho, e tão pouco houve diferença temporal entre condições repetidas e randômicas no teste de retenção. Nos pacientes cerebelares a aprendizagem implícita ocorreu principalmente pela melhora de aspectos espaciais do movimento.

Assim, os achados deste experimento indicaram que o cerebelo tem papel na otimização temporal do movimento, em uma condição de predição para habilidades motoras aprendidas implicitamente. Sendo, aparentemente, esta função não é lateralizada, podendo os comandos derivados do cerebelo impactarem a formação de estratégias temporais nos dois membros superiores (BOYD; WINSTEIN, 2004b).

Interessados, também, nas especificidades da aprendizagem implícita dependente de lesões cerebrais específicas; Shin, Aparicio e Ivry (2005) investigaram o efeito de um AVC nos núcleos basais unilaterais sobre a aprendizagem implícita. Neste estudo participaram do grupo experimental 4 indivíduos pós-AVC crônicos, e para o grupo controle contou-se com a participação de 7 indivíduos saudáveis. Os participantes praticaram a TTRS em uma condição que havia ao longo da apresentação dos estímulos modificações espaciais e temporais. A prática ocorreu em apenas 1 dia não havendo

teste de retenção. Os participantes usaram os dois membros superiores para realizar a tarefa, sendo que as teclas à esquerda foram pressionadas pelo dedo indicador da mão esquerda, e as teclas à direita foram pressionadas pelo dedo indicador da mão direita. Ao término da prática os participantes foram indagados sobre a presença da sequência repetida, sendo que nem um deles foi capaz de detectá-la. Os resultados não apontaram diferenças significativas na aprendizagem entre os dois grupos. Além disso, não houve correlação entre os déficits motores em avaliação de função motora e a aprendizagem implícita dos pacientes.

Mesmo havendo um número restrito de participantes, o estudo de Shin, Aparicio e Ivry (2005), demonstra um aspecto interessante da capacidade de aprender implicitamente de indivíduos pós-AVC. Sendo esta capacidade não relacionada a déficits motores específicos, tais achados dão suporte ao modelo de processamento dual paralelo de Verwey (2003) de habilidades sequenciais. Nele, há a proposta de dois mecanismos (um cognitivo e outro motor) que viabilizam paralelamente a execução a aprendizagem de habilidades seriadas. Assim, déficits em um dos mecanismos não necessariamente impactaria a execução do outro, explicando os achados deste estudo e de outros.

Outro aspecto importante durante a não identificação de diferença entre indivíduos saudáveis e pós-AVC no estudo de Shin, Aparicio e Ivry (2005), foi a de que lesões unilaterais nos núcleos da base não necessariamente induzem déficits tanto no mecanismo cognitivo, quanto no motor. Haja vista que os núcleos da base apresentam projeções bilaterais (SELEMON; GOLDMAN-RAKIC, 1985), o que pode ter sido um mecanismo de compensação suficiente neste estudo, em que a estrutura não lesada, por uma condição anátomo-funcional, conseguiu compensar o papel da estrutura lesada.

Já Pohl e colaboradores (2006) buscaram determinar se adultos na fase subaguda do AVC (> 45 dias após o AVC) poderiam aprender uma tarefa motora por condições implícitas. Este estudo também investigou se a gravidade do AVC (leve ou moderado segundo a Escala de Prognóstico de Orpington) impacta este processo. Participaram do estudo 37 indivíduos pós-AVC subagudos (15 moderados e 22 leves), ainda 32 indivíduos neurologicamente saudáveis formaram o grupo controle. Utilizou-se a TTRS e a prática foi constituída dentro de apenas um dia. Não houve teste de retenção. A tarefa foi desempenhada com o braço menos afetado pelos indivíduos pós-AVC, no grupo controle metade dos participantes desempenharam a tarefa com a mão direita, metade dos participantes desempenharam a tarefa com a mão esquerda. Todos os

sujeitos eram destros, no caso dos indivíduos pós-AVC os participantes eram destros anteriormente à lesão. Após a prática os sujeitos foram perguntados se reconheceram alguma sequência repetida dentre as tentativas. No caso de resposta positiva, os sujeitos foram solicitados a registrarem a sequência que identificaram. Identificou-se que todos os grupos aprenderam a tarefa implicitamente, pois melhoraram seu desempenho ao longo dos blocos de tentativa repetida, e foram impactados negativamente durante a inserção do bloco randômico. Também, pôde-se observar que os indivíduos pós-AVC moderados apresentaram respostas mais lentas se comparados aos outros dois grupos (indivíduos pós-AVC leves e indivíduos controle), independentemente do momento do estudo.

Segundo os achados de Pohl e colaboradores (2006) a capacidade de aprender habilidades motoras implicitamente é preservada em indivíduos pós-AVC subagudos leves e moderados. Contudo, aparentemente os indivíduos mais gravemente acometidos pelo AVC tendem a apresentar desempenho pior na TTRS se comparados a indivíduos leves. Um achado complementar importante deste estudo foi que os indivíduos do grupo moderado também apresentavam maiores déficits cognitivos segundo o Mini Exame do Estado Mental, o que pode servir como uma covariável que influencie os resultados deste estudo, já que a cognição é um fator de influência na aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC (CIRSTEA; PTITO; LEVIN, 2006; MULLICK; SUBRAMANIAN; LEVIN, 2015).

Boyd e Winstein (2006) propuseram investigar o efeito do conhecimento declarativo, das características da tarefa (seriada – TTRS ou contínua- Tarefa de rastreamento) e das características da lesão (cortical ou nos núcleos da base) na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC. Neste estudo, contou-se com a participação de 20 indivíduos pós-AVC (10 com lesão cortical sensório-motora, 10 com lesão nos núcleos da base, para o grupo controle foram recrutados 10 indivíduos neurologicamente saudáveis, da mesma faixa etária dos indivíduos pós-AVC). Cada participante foi aleatorizado em uma condição de presença ou ausência do conhecimento declarativo da sequência/ trecho repetida/o. O delineamento experimental foi baseado em Boyd e Winstein (2004b) para a tarefa de rastreamento e Boyd e Winstein (2001) para a TTRS. Logo, o delineamento foi composto por 4 dias, 3 dias dedicados a prática, e no 4º dia foi realizado o teste de retenção. Foi identificado que a informação explícita gerou impactos negativos na aprendizagem implícita, independentemente da tarefa e do local da lesão. Por outro lado, os indivíduos saudáveis

beneficiaram-se do provimento de informação explícita. Estes achados corroboram com os estudos realizados pelas autoras anteriormente.

Orrell e colaboradores (2007) investigaram a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC considerando diferentes condições efetoras. Participaram do estudo 7 indivíduos pós-AVC crônicos com lesão que foram acometidos na artéria cerebral média e 8 indivíduos neurologicamente saudáveis da mesma faixa etária. Utilizou-se a TTRS em condições normal e adaptada, sendo utilizado o dedo indicador e o braço inteiro para desempenhar a tarefa, respectivamente. Os participantes pós-AVC utilizaram o membro ipsilateral para executar a tarefa. O delineamento foi constituído de 3 dias, 2 dias dedicados à prática e após 2 semanas houve um dia destinado aos testes de retenção e transferência. Os achados identificaram que os indivíduos pós-AVC foram mais lentos que os indivíduos saudáveis independentemente da fase do estudo. Também, identificou-se que os indivíduos pós-AVC mantiveram seu desempenho aperfeiçoado nas sequências repetidas no teste de retenção e não houve diferença de desempenho entre a tarefa a ser desempenhada com o dedo ou com o braço.

Desta forma, identifica-se que a capacidade de aprender implicitamente em indivíduos pós-AVC parece não ser impactada pela condição efetora. Além disso, este estudo corrobora com achados anteriores de que mesmo com a capacidade de aprender implicitamente, aparentemente indivíduos pós-AVC apresentam desempenho inferior a indivíduos saudáveis submetidos à mesma condição de prática.

Boyd e colaboradores (2009) investigaram se indivíduos pós-AVC com lesões nos núcleos da base podem aprender implicitamente habilidades motoras seriadas a ponto de formar subunidades funcionais dentre os elementos (*chunking*). Participaram do estudo 13 indivíduos pós-AVC crônicos e destros e 13 indivíduos saudáveis pareados em idade. Utilizou-se a TTRS, sendo desempenhada com o membro não parético. Os participantes completaram 2 dias de prática e retornaram em um 3º dia para um teste de retenção. Testes de conhecimento declarativo foram realizados ao término do delineamento experimental. Os resultados demonstraram que indivíduos pós-AVC nos núcleos da base, quando submetidos à aprendizagem implícita de sequências motoras, apresentam dificuldade de integrar elementos dentro de subsequências funcionais, o que não ocorre em indivíduos neurologicamente saudáveis.

Para Boyd e colaboradores (2009), esta dificuldade de integração que indivíduos pós-AVC apresentaram durante a aprendizagem de sequências motoras pode ser o aspecto que faz com que esta população apresente respostas mais lentas e mais variáveis

do que as apresentadas por indivíduos neurologicamente saudáveis. Assim, supõe-se que mesmo na presença da ocorrência da aprendizagem implícita, estes indivíduos ainda possuem déficits na automatização da sequência motora.

Outro estudo desenvolvido por Siengsukon e Boyd (2009) objetivou investigar o efeito do sono (consolidação *off-line*) na aprendizagem implícita e explícita de indivíduos pós-AVC. Este estudo contou com a participação de 40 indivíduos pós-AVC crônicos e 40 indivíduos neurologicamente saudáveis pareados por idade. Duas variáveis independentes foram manipuladas: 1 – Presença ou ausência do conhecimento declarativo da condição repetida, 2 – Presença ou ausência de sono noturno dentre a prática e o teste de retenção, sendo que parte dos sujeitos praticou a tarefa pela manhã e executou o teste de retenção pela noite, enquanto outros praticaram a tarefa à noite e realizaram o teste de retenção no dia seguinte pela manhã. A tarefa utilizada foi a de rastreamento, sendo oferecido 1 dia de prática e 1 teste de retenção. Os pacientes utilizaram o membro menos afetado para desempenhar a tarefa, enquanto os indivíduos saudáveis foram pareados por membro utilizado com o grupo experimental. Após a prática foi avaliado o grau de retenção do conhecimento declarativo ou a subjetividade a presença de repetição. Os resultados apontaram que a presença do sono noturno foi o principal fator de aprendizagem, independentemente da condição de provisão ou ausência de conhecimento declarativo. Assim, não se identificou aprendizagem implícita daqueles que estiveram em condições de vigília, explicitamente ou implicitamente.

Estes achados suportam a necessidade de consolidação da memória motora via condições *off-line* em indivíduos pós-AVC. Como já mencionado por Kantak e Winstein (2012), faz-se necessário ao menos uma noite de sono para que se possa avaliar a aprendizagem motora.

Meehan e colaboradores (2011) investigaram os parâmetros de atividade cerebral de indivíduos pós-AVC durante um processo de aprendizagem motora implícita, comparando-os com indivíduos neurologicamente saudáveis. Participaram 9 indivíduos pós-AVC crônicos, com lesão focal subcortical, e 9 indivíduos saudáveis pareados em idade. A tarefa praticada foi a de rastreamento. O delineamento completo foi realizado em 7 dias, no 1º e no 7º dia houve o pré-teste e o teste de retenção, respectivamente. Houve o monitoramento da atividade cerebral por meio de ressonância magnética funcional. Nestes testes, os participantes praticaram um bloco composto por condições repetidas e aleatórias contrabalanceadas. Nos dias 2, 3, 4, 5 e 6 houve a fase

de aquisição, ou seja, a prática da tarefa. Os participantes pós-AVC utilizaram o braço mais comprometido, enquanto os indivíduos neurologicamente saudáveis utilizaram-se de seu braço esquerdo. O conhecimento explícito foi avaliado ao término do experimento. As análises comportamentais identificaram que os sujeitos pós-AVC aprenderam implicitamente a tarefa, contudo mostraram respostas mais lentas se comparados com os indivíduos neurologicamente saudáveis. As análises de atividade cerebral indicaram que indivíduos controle apresentaram na retenção aumento da atividade do córtex pré-motor dorsal esquerdo e diminuíram a atividade no córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo durante a sequência repetida. Por outro lado, na retenção, os pacientes pós-AVC não apresentaram esta redução, ao invés disso, a aprendizagem implícita destes sujeitos foi associada com aumento da atividade no giro frontal medial esquerdo.

Os achados de Meehan e colaboradores (2011) trazem importantes considerações acerca dos requisitos de atenção que indivíduos pós-AVC necessitam para aprender habilidades motoras implicitamente. Foi constatado que indivíduos pós-AVC, no início da prática, apresentam altas demandas de ativação de regiões envolvidas com a seleção da ação e atenção (LUFT; BUITRAGO, 2005). Ao passo que na retenção, a melhoria do desempenho foi associada com áreas pré-frontais envolvidas com a memória operacional e controle visuomotor da ação (RUSHWORTH et al., 2003). Estes achados corroboram com a literatura (e.g. KAL et al., 2016a; ORRELL; MASTERS; EVES, 2009) e suportam a ideia de que talvez a automatização de indivíduos pós-AVC apresente déficits.

Dirnberger, Novak e Nasel (2013) investigaram o efeito do AVC cerebelar sobre a aprendizagem implícita em uma TTRS, os autores modificaram nas sequências repetidas condições que afetam o sincronismo sensorial, ou condições que afetam o sincronismo motor para as respostas aos estímulos. Participaram do estudo 10 pacientes pós-AVC cerebelar crônicos e 12 indivíduos neurologicamente saudáveis. O delineamento experimental foi composto por um único dia, sendo que as sequências repetidas em algumas ocasiões apresentavam condições diferenciadas referentes ao estímulo visual, outrora deveriam ser realizadas com condições de sincronismo motor diferentes. Os participantes utilizaram o dedo indicador e o dedo médio de ambas as mãos para desempenhar a tarefa. Após o delineamento experimental foi avaliado conhecimento explícito da sequência repetida. Os resultados apontaram que todos os participantes melhoraram seu desempenho ao longo da prática, embora os pacientes

pós-AVC foram mais lentos. Além disso, observou-se que os indivíduos saudáveis utilizaram a informação perceptual para a memória procedimental, mesmo quando a sincronia entre o estímulo e a resposta havia mudado, o que não ocorreu em indivíduos pós-AVC.

Este achado nos traz maiores informações sobre lesões no cerebelo de indivíduos pós-AVC durante o processo de aprendizagem implícita. Logo, além de o cerebelo estar envolvido em estratégias temporais preditivas durante a aprendizagem implícita, como demonstrada por Boyd e Winstein (2004b), ele também apresenta papel no processamento apurado da informação perceptual, independentemente das condições estímulo-respostas pré-aprendidas (DIRNBERGER; NOVAK; NASEL, 2013). Neste sentido, o cerebelo tem o papel de analisar e interpretar informações perceptuais a fim de prever as melhores condições do movimento em relação ao ambiente. E, esta capacidade encontra-se impactada nos pacientes com lesão nesta estrutura.

Os achados presentes na literatura em relação à aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC foram organizados na Tabela 1. Nela, constam as principais características dos estudos anteriormente citados, seu delineamento e resultados. Na sequência, encontra-se a análise crítica e reflexão dos achados em conjunto.

Tabela 1: Principais características e resultados dos estudos que investigaram a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC.

Autor e ano	Objetivo	Participantes	Tarefa	Delineamento	Resultados
Vakil e colaboradores (2000)	Investigar o papel dos núcleos da base na aprendizagem implícita.	16 pós-AVC crônicos (núcleos da base). 16 saudáveis.	TTRS	1 dia de prática: 4 blocos de 10 tentativas de 10 estímulo repetidos, 1 bloco de 10 tentativas de 10 estímulos pseudoaleatórios. Teste de retenção: 1 bloco de 10 tentativas de 10 estímulos repetidos.	Pacientes pós-AVC aprenderam implicitamente, contudo demonstraram desempenho inferior se comparados aos saudáveis.
Boyd e Winstein (2001)	Investigar o efeito da quantidade de prática e do conhecimento declarativo da tarefa na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC.	12 pós-AVC crônicos.	TTRS	Os participantes foram divididos em 3 grupos: Grupo que praticou durante 1 dia, Grupo que praticou 3 dias e Grupo que praticou 3 dias e teve conhecimento declarativo da sequência repetida. Cada dia de prática foi composto por 6 blocos de 6 tentativas de 9 estímulos (4 blocos repetidos e 4 blocos aleatórios).	Apenas os sujeitos que receberam conhecimento declarativo tiveram melhora significativa do desempenho das sequencias repetidas.
Boyd e Winstein (2003)	Investigar o efeito do conhecimento declarativo na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC.	10 pós-AVC crônicos e 10 sujeitos saudáveis.	TTRS	Os participantes foram divididos em subgrupos que se diferenciavam pela presença ou ausência de conhecimento declarativo. Foram dispostos 3 dias de prática, compostos por 6 blocos de 10 tentativas de 10 estímulos cada (4 blocos repetidos e 2 pseudoaleatórios). Houve um teste de retenção no 4º dia de 1 bloco de sequência repetida.	A provisão de conhecimento declarativo impactou negativamente a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC.

Boyd e Winstein (2004b)	Investigar a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC nos núcleos da base.	10 pós-AVC crônicos (núcleos da base) e 10 sujeitos saudáveis.	Tarefa de rastreamento	Os participantes foram divididos em subgrupos que se diferenciavam pela presença ou ausência de conhecimento declarativo. Foram dispostos 3 dias de prática (5 blocos de 10 tentativas/ dia). No 4º dia houve um teste de retenção.	O conhecimento declarativo impactou negativamente a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC.
Boyd e Winstein (2004a)	Investigar a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC com lesão no cerebelo.	6 pós-AVC crônicos (cerebelo) e 10 indivíduos saudáveis.	Tarefa de rastreamento	Os participantes foram divididos em subgrupos que se diferenciavam pela presença ou ausência de conhecimento declarativo. Foram dispostos 3 dias de prática (5 blocos de 10 tentativas/ dia). No 4º dia houve um teste de retenção.	Os indivíduos pós-AVC com lesão no cerebelo foram capazes de melhorar apenas a condição espacial da memória motora implícita. Estes pacientes demonstraram incapacidade de aperfeiçoamento temporal do desempenho.
Shin, Aparicio e Ivry (2005)	Investigar o efeito do AVC unilateral nos núcleos da base na aprendizagem implícita.	4 pós-AVC crônicos (núcleos da base) e 7 indivíduos saudáveis	TTRS	A prática foi delimitada por 21 blocos de 56 tentativas, cada tentativa foi composta por 8 estímulos. Destes blocos 2/3 eram sequências repetidas, 1/3 era sequência pseudoaleatória.	Foi identificado que ambos grupos aprenderam implicitamente a tarefa, não havendo diferença entre sujeitos pós-AVC e saudáveis.
Pohl e colaboradores (2006)	Determinar se indivíduos pós-AVC subagudos conseguem aprender implicitamente.	37 pós-AVC subagudos e 32 saudáveis.	TTRS	Apenas um dia de prática: 6 blocos de 10 tentativas (8 estímulos em cada tentativa) sendo que: Os blocos 1 e 2 foram randômicos, 3 e 4 foram repetidos, 5 foi randômico e 6 foi repetido	Todos os indivíduos aprenderam implicitamente. Contudo, os indivíduos pós-AVC moderados apresentaram desempenho inferior. Indivíduos pós-AVC leves apresentaram desempenho proporcional a saudáveis.

Boyd e Winstein (2006)	Investigar o efeito do conhecimento declarativo, das características da e das características da lesão na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC.	20 indivíduos pós-AVC (10 lesão cortical, 10 núcleos da base) e 10 indivíduos saudáveis.	TTRS e Tarefa de rastreamento	Os participantes foram divididos em subgrupos que se diferenciavam pela presença ou ausência de conhecimento declarativo. Foram dispostos 3 dias de prática (5 blocos de 10 tentativas/ dia). No 4º dia houve um teste de retenção.	A provisão de conhecimento explícito impactou negativamente a aprendizagem de indivíduos pós-AVC, independentemente do tipo da tarefa e do tipo de lesão.
Orrell e colaboradores (2007)	Investigar a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC a partir de diferentes condições efetoras.	7 pós-AVC crônicos e 8 indivíduos saudáveis.	TTRS	Houve 2 dias de prática e após 2 semanas houve testes de retenção e transferência. A prática foi constituída de 44 blocos que foram organizados em condições repetidas, randômicas e de transferência (tarefa desempenhada com o braço). O teste de retenção foi constituído de 9 blocos nas mesmas condições.	Os indivíduos pós-AVC aprenderam a tarefa implicitamente e foram capazes de manter o desempenho aperfeiçoado no teste de transferência. Contudo, foram mais lentos do que indivíduos saudáveis, independentemente da fase do estudo.
Boyd e colaboradores (2009)	Investigar a capacidade de indivíduos pós-AVC nos núcleos da base em formar <i>chunking</i> durante a aprendizagem implícita.	13 indivíduos pós-AVC crônicos e 13 indivíduos saudáveis.	TTRS	Houve 2 dias de prática compostos por 6 blocos de 120 respostas motoras cada. Compostos por sequencias repetidas e pseudoaleatórias. O teste de retenção foi realizado no 3º dia com apenas sequencias repetidas.	Indivíduos pós-AVC apresentam dificuldade em formar <i>chunking</i> , o que justifica respostas motoras inferiores a indivíduos saudáveis da mesma idade.

Siengsukon e Boyd (2009)	Investigar o efeito do sono na aprendizagem implícita e explícita de indivíduos pós-AVC	40 indivíduos pós-AVC crônicos e 40 indivíduos saudáveis.	Tarefa de rastreamento	Os sujeitos foram divididos em subgrupos que se diferenciavam quanto a provisão de conhecimento declarativo e quanto a uma noite de sono. Praticou-se 10 blocos de 10 tentativas durante a fase de aquisição, sendo condições randômicas e repetidas contrabalanceadas dentre os blocos. O teste de retenção foi composto por 10 tentativas da condição repetida.	Os resultados apontaram que a presença do sono noturno foi o principal fator de aprendizagem, independentemente da condição de provisão ou ausência de conhecimento declarativo.
Meehan e colaboradores (2011)	Investigar os parâmetros de atividade cerebral de indivíduos pós-AVC durante um processo de aprendizagem motora implícita.	9 pós-AVC crônicos e 9 indivíduos saudáveis.	tarefa de rastreamento	A prática foi constituída de 7 dias de prática compostos por 5 blocos de 10 tentativas com condições repetidas e aleatórias. Foi utilizado ressonância magnética funcional no primeiro e no último dia.	Os indivíduos pós-AVC aprenderam implicitamente a tarefa, mas apresentaram respostas mais lentas que indivíduos saudáveis. Os pacientes apresentaram aumento do recrutamento de regiões cerebrais responsáveis pelo controle motor voluntário e da atenção durante o teste de retenção.
Dirnberger, Novak e Nasel (2013)	Investigar os efeitos do AVC cerebelar na aprendizagem implícita.	10 pós-AVC cerebelar crônicos e 12 indivíduos saudáveis	TTRS	A prática ocorreu em um único dia composto por 17 blocos de 45 tentativas que continham sequencias repetidas, aleatórias. Nas sequencias repetidas houve modificações espaciais das respostas motoras e do estímulo visual.	Os pacientes aprenderam a tarefa implicitamente, mas foram mais lentos que indivíduos saudáveis. Os indivíduos saudáveis conseguiram adaptar seu conhecimento procedimental para variações das sequencias repetidas, enquanto os pacientes não o fizeram.

Legenda: AVC – Acidente vascular cerebral, TTRS – Tarefa de tempo de reação seriado.

Em suma, pode-se verificar que a capacidade de aprender habilidades motoras implicitamente está preservada nos pacientes pós-AVC. Apenas um estudo identificou que indivíduos pós-AVC não foram capazes de aprender implicitamente (BOYD; WINSTEIN, 2001). Tais achados foram posteriormente refutados por uma série de estudos realizados pelas mesmas autoras (BOYD; WINSTEIN, 2003, 2004a, 2004b, 2006) e por todos os demais estudos presentes nesta revisão.

Os achados até o momento suportam a ideia de que mesmo com a presença da capacidade de aprender implicitamente, os sujeitos pós-AVC possuem desempenho inferior aos indivíduos saudáveis. Sendo esta, uma condição que pode derivar de déficits em mecanismos motores e/ou de mecanismos relativos à aquisição da representação motora implícita (BOYD et al., 2009; BOYD; WINSTEIN, 2003, 2004a, 2004b, 2006; DIRNBERGER; NOVAK; NASEL, 2013; ORRELL et al., 2007; POHL et al., 2006; SIENGSAKON; BOYD, 2009b; VAKIL et al., 2000).

Estes achados podem ser explicados por déficits na automatização do movimento apresentados pelos indivíduos pós-AVC (KAL et al., 2016a; MEEHAN et al., 2011; ORRELL; MASTERS; EVES, 2009), mesmo em condições de aprendizagem implícita (BOYD et al., 2009). Esses déficits são derivados da incapacidade que indivíduos pós-AVC possuem em formar *chunkings*; ou seja, em representar séries discretas como uma única unidade funcional (BOYD et al., 2009). Além disso, indivíduos pós-AVC apresentam maior recrutamento de regiões neurais responsáveis pelo controle voluntário da ação e da atenção durante a aprendizagem implícita (DIRNBERGER; NOVAK; NASEL, 2013; MEEHAN et al., 2011). Assim sendo, ambas condições (dificuldade em formar *chunkings* e maior envolvimento de recursos voluntários e atencionais) podem ser os mecanismos que impactam a automatização do movimento nestes pacientes e que, conseqüentemente, derivam-se de déficits nos processos de codificação e consolidação da memória implícita destes indivíduos.

Neste sentido, o exercício aeróbio foi considerado para o desenvolvimento desta tese como uma possível estratégia neuromoduladora para favorecer a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC, na medida em que esta modalidade de exercício apresenta fatores diretos e indiretos que induzem a melhor codificação e consolidação da memória, seja ela explícita ou implícita (MANG et al., 2013; SINGH; STAINES, 2015; SMITH et al., 2010; TAUBERT; VILLRINGER; LEHMANN, 2015).

2.4 – EXERCÍCIO AERÓBIO E A FORMAÇÃO DE MEMÓRIAS

Durante o processo de formação de memórias ocorrem modificações morfofuncionais e moleculares no SNC que permitem a retenção da informação na memória (ROBERTSON, 2009). Deste modo, a possibilidade de retenção da informação deve-se à característica plástica do SNC, o qual por meio de uma série de processos molda-se garantindo armazenamento do conteúdo para a adequação de futuros comportamentos.

Segundo Helene e Xavier (2007) o processo de formação de memórias basicamente envolve: 1 – Alterações transitórias na atividade eletrofisiológica (taxa de disparos) de populações de neurônios específicas ao conteúdo, o que se relaciona com a memória de curto prazo. 2 – Alterações na facilidade na transmissão da atividade eletrofisiológica dentre os neurônios, correspondente a um arquivamento mais relacionado a períodos intermediários. 3 – Alterações de caráter estrutural permanente na conectividade neuronal, especificamente nas sinapses dentre grupos de neurônios, o que leva a formação de redes neurais que em atividade representam a informação retida no SNC por períodos prolongados.

Portanto, o armazenamento de informações temporárias ocorre em função de uma melhor condição eletrofisiológica dentre neurônios e de modificações de proteínas que possibilitam o fortalecimento de sinapses já existentes (KRAKAUER; SHADMEHR, 2006; ROBERTSON; COHEN, 2006). Já, os processos de armazenamento relativamente permanente são derivados de condições de transcrição gênica e síntese de novas proteínas, gerando modificações morfológicas do circuito neural ou até mesmo a formação de novas sinapses (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2006; KLEIM; JONES, 2008; ROBERTSON; COHEN, 2006).

Mais especificamente, para a ocorrência da aprendizagem motora, devem existir condições de excitabilidade corticoespinal em vias motoras o que, aparentemente, é relacionada a codificação da memória (MUELLBACHER et al., 2002). Ainda, a aprendizagem motora é dependente da sinaptogênese (XU et al., 2009), condições de potenciação de longo prazo e depressão de longo prazo no córtex motor e áreas correlatas, as quais são relacionadas aos processos de consolidação (CANTARERO et al., 2013; MCCONNELL et al., 2009; RIOULT-PEDOTTI, 2000).

Para memórias procedimentais, o desencadeamento dos processos que geram consolidação da memória está atrelado à prática, ou seja à exposição frequente ao estímulo (SQUIRE, 1992; SQUIRE; DEDE, 2015). Não obstante, a prática é considerada a principal variável que possibilita a ocorrência de aprendizagem motora

(SCHMIDT; LEE, 2011; WINSTEIN; KAY, 2015; WINSTEIN; STEWART, 2006), sendo ela fator preponderante para a ocorrência de qualquer processo de codificação e consolidação da memória motora (KRAKAUER, 2015; KRAKAUER; SHADMEHR, 2006).

Entretanto, a manipulação de alguns fatores pode influenciar os efeitos da prática. Com isto, tem sido identificado que a consolidação da memória motora pode ser favorecida quando há o oferecimento de um ambiente neurobioquímico favorável aos processos desencadeados pela prática (DAYAN; COHEN, 2011). Assim, o exercício aeróbio tem sido apontado como uma possível estratégia de neuromodulação para o favorecimento de processos subjacentes a codificação e a consolidação de memórias (DISHMAN et al., 2006; TAUBERT; VILLRINGER; LEHMANN, 2015), podendo exercer influências diretas e indiretas nestes processos, como demonstra a Figura 1.

Figura 1: Efeitos diretos e indiretos da neuromodulação promovida pelo exercício aeróbio, os quais podem exercer influência sobre o processo de aprendizagem motora (adaptado de MANG et al., 2013).

O exercício aeróbio, por condições indiretas, pode favorecer a saúde do SNC por propiciar melhora dos parâmetros de inflamação sistêmica (MCARDLE, KATCH, 2009; NIMMO et al., 2013). A literatura tem atribuído a condição de inflamação crônica sistêmica à piora da função cerebral, além de ser associada a uma série de disfunções do SNC, como doença de Alzheimer (HOLMES, 2013) e em indivíduos pós-AVC (DZIEDZIC, 2015). Nesta última população, a inflamação sistêmica é relacionada ao

prognóstico motor (DI NAPOLI; PAPA, 2006), evidenciando sua influência sobre o comportamento motor destes pacientes.

De maneira indireta, o exercício aeróbio aumenta a expressão do Fator de Crescimento Endotelial Vascular e do Fator de Crescimento Semelhante à Insulina tipo 1 (DISHMAN et al., 2006; TAUBERT; VILLRINGER; LEHMANN, 2015). Estas proteínas sinalizadoras exercem influência sobre a angiogênese cerebral, o que induz ao cérebro um melhor aporte de oxigênio e substrato energético (LADOUX; FRELIN, 1993; SATAKE et al., 1998). De maneira complementar, a presença do Fator de Crescimento Semelhante à Insulina tipo 1 e do Fator de Crescimento Endotelial Vascular também estão relacionados a neurogênese (FABEL et al., 2003; TREJO; LLORENS-MARTÍN; TORRES-ALEMÁN, 2008), o que vêm a exercer efeitos positivos sobre a aprendizagem motora.

Como efeitos diretos têm-se o aumento do volume de dopamina após o exercício aeróbio (SINGH; NEVA; STAINES, 2016). Na literatura, há achados que indicam que a dopamina parece modular a excitabilidade cortical e, assim, promover neuroplasticidade (GOEKINT et al., 2012; HASEGAWA et al., 2011). Grande parte deste aumento ocorre em regiões críticas para a ocorrência de aprendizagem implícita, como os núcleos da base (HATTORI; NAOI; NISHINO, 1994). Além disso, a dopamina aumenta a ativação do SNC, fazendo com que haja melhora da atenção e de operações cognitivas (MCMORRIS, 2009). Esta condição torna-se importante dado que, aparentemente, o aumento do volume de dopamina favorece a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC (RÖSSER et al., 2008).

O exercício aeróbio também promove o aumento de serotonina (COTMAN, 2002), sendo este outro aspecto passível de influenciar a aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC. Em níveis baixos de serotonina identifica-se letargia, fadiga central e baixa motivação, o que leva déficits no processamento de informações e no desempenho de habilidades motoras (STRÜDER; WEICKER, 2001).

Além disso, durante e após a realização de exercícios aeróbios identifica-se a maior concentração plasmática de catecolaminas que se relacionam à vigília e a atenção, melhorando o desempenho e aprendizagem motora (SKRIVER et al., 2014). Ainda, o aumento da concentração de catecolaminas pode potencializar os processos de consolidação, pois há relação entre catecolaminas e a ocorrência de potenciação de longo prazo (KORCHOUNOV; ZIEMANN, 2011), e de excitação do córtex motor primário (PLEWNIA et al., 2002).

Outro aspecto que mais recentemente tem sido apontado como um influenciador da aprendizagem motora é a presença de lactato. Este metabólito é o produto final da via glicolítica e resulta em maior magnitude de atividades aeróbias com intensidade acima do limiar anaeróbio (MCARDLE; KATCH, 2009). Tem sido identificado que a excitabilidade do córtex motor primário apresenta relação linear com o aumento do lactato na corrente sanguínea, mesmo em condições de administração intravenosa em descanso (COCO et al., 2010). Ainda, a administração de lactato em descanso aumenta os níveis de BDNF (SCHIFFER et al., 2011), o que sugere uma possível relação entre a produção de lactato e os processos relacionados à potenciação de longo prazo (SINGH; STAINES, 2015). Por fim, o lactato é utilizado preferencialmente pelo SNC como substrato energético, o que talvez venha a favorecer operações mentais (SKRIVER et al., 2014).

Assim, com o aumento destes neurotransmissores e do lactato identificam-se mudanças na excitabilidade cortical, que podem refletir melhora do *output* no trato corticoespinal ou, alternativamente, uma melhor modulação da excitabilidade intracortical (SINGH; STAINES, 2015).

Com base nos fundamentos neurofisiológicos apresentados, especula-se que as melhores condições de excitabilidade cortical induzidas por exercício podem impactar na capacidade de desempenhar e aprender habilidades motoras de indivíduos pós-AVC. Adicionalmente, especula-se que a excitação cortical induzida por exercício não seja efector-dependente, ou seja, é possível excitar a região cortical correspondente aos membros superiores realizando exercícios aeróbios de membros inferiores, como bicicleta ergométrica (MCDONNELL et al., 2013).

Além dos efeitos indiretos do exercício aeróbio sobre a aprendizagem motora há, ainda, o aumento da expressão de fatores de crescimento neural, os quais influem diretamente sobre a neuroplasticidade e por consequência a aprendizagem motora, a considerar o BDNF e a Neurotrofina 3 (DISHMAN et al., 2006; MANG et al., 2013; TAUBERT; VILLRINGER; LEHMANN, 2015).

O BDNF está envolvido em todas as fases da formação de memória, sendo um dos principais aspectos mediadores da codificação e consolidação da memória, independentemente do tipo de memória (HE et al., 2013; KLINTSOVA et al., 2004). De fato, o BDNF é considerado o principal agente molecular dos efeitos positivos que o exercício promove sobre a aprendizagem motora (GOEKINT et al., 2012; KLINTSOVA et al., 2004).

A atribuição de tal importância ao BDNF pode ser verificada em modelos animais. Por exemplo, Vandenberg e colaboradores (2004) verificaram que em primatas o bloqueio da síntese de BDNF inibe a aprendizagem motora, além de diminuir a representação cortical do membro em questão. Todavia, a reinserção de BDNF nestes animais induz a possibilidade de reaprendizagem dos parâmetros motores previamente adquiridos.

Em modelos animais com disfunção neurológica induzida (isquemia), identifica-se que o BDNF está diretamente relacionado à presença de recuperação motora após um evento neurológico. Não sendo constatada a recuperação das sequelas pós - lesão cerebral em roedores, que por condições farmacológicas, tem a expressão de BDNF interrompida (PLOUGHMAN et al., 2009).

Em humanos, pode-se perceber a influência do BDNF na formação de memórias a partir da análise de indivíduos com polimorfismo Val6Met. Indivíduos com esta mutação genética apresentam déficits nas neurotrofinas e em seus receptores, inibindo assim a ação do BDNF (CHEERAN et al., 2008). Relatos clínicos e comportamentais apontam que indivíduos que possuem polimorfismo Val6Met apresentam transmissão sináptica não otimizada (LAMB et al., 2015), diminuição da ativação do córtex motor primário (MCHUGHEN et al., 2010) e diminuição da neuroplasticidade atividade-dependente (KLEIM et al., 2006).

Achados experimentais por administração exógena de BDNF em humanos são impossibilitados, pois o BDNF apresenta dificuldade para cruzar a barreira hematoencefálica. Assim, se a quantidade for pequena os efeitos não são produzidos, por outro lado, se a quantidade for demasiadamente grande pode haver efeitos perigosos como a diminuição dos receptores de BDNF, afetando negativamente este sistema (FUMAGALLI; RACAGNI; RIVA, 2006).

Com isto, o exercício aeróbio torna-se um elemento ainda mais importante, pois é uma forma segura de se aumentar a regulação de BDNF no SNC, e consequentemente, estimular os mecanismos de neuroplasticidade, neurogênese e neuroproteção desencadeados pelo BDNF (DISHMAN et al., 2006; KLINTSOVA et al., 2004).

Portanto, dado os mecanismos diretos (fatores neurotróficos e neurotransmissores) e indiretos (fluxo sanguíneo e inflamação sistêmica) supracitados, evidencia-se a potencialidade do exercício aeróbio como agente neuromodulador que favorece a aprendizagem motora. Estes mecanismos têm sido reportados pela literatura

para explicar os benefícios comportamentais que a prática de exercício aeróbio tem promovido a sujeitos submetidos à prática de habilidades motoras. Até o momento, há dados escassos, porém promissores em indivíduos saudáveis e indivíduos com lesão neurológica.

2.4.1 – Efeitos do exercício aeróbio na aprendizagem motora de indivíduos neurologicamente saudáveis

As investigações sobre o efeito do exercício aeróbio na aprendizagem motora iniciaram com os estudos de Poolton, Masters e Maxwell (2007) e Masters, Poolton e Maxwell (2008). O arcabouço teórico que estes autores utilizaram foi o desenvolvido por Reber (1992), que em uma condição evolutiva propõe que nossa espécie teria capacidade de aprender implicitamente, mesmo em condições de fadiga extenuante. Assim, os mecanismos implícitos são anteriores aos mecanismos explícitos filogeneticamente e são mais estáveis e resilientes ao estresse físico e emocional.

Para testar esta hipótese Poolton, Masters e Maxwell (2007) recrutaram 46 jovens universitários que foram submetidos a prática do passe do rugby. Os participantes foram divididos em dois grupos, um que foi condicionado à aprendizagem por minimização de erro - Errorless² (aprendizagem implícita) e outro que recebia conhecimento explícito e feedback de performance (aprendizagem explícita). Dez participantes da mesma faixa etária compuseram o grupo controle (sem prática). O delineamento experimental iniciou com uma sessão do Teste Anaeróbico de Wingate e, em seguida, os sujeitos foram submetidos à prática da tarefa. Após um ano, foi realizado um teste de retenção sem fadiga e sobre fadiga (após outro protocolo Wingate), assim como, um teste de conhecimento declarativo. Os resultados demonstraram que o grupo aprendizagem implícita apresentou melhor desempenho durante a fase de aquisição. No entanto, após 1 ano, ambos os grupos apresentaram retenção do desempenho aperfeiçoado, independentemente da presença ou ausência de fadiga. Ainda, após 1 ano, ambos os grupos já não apresentavam conhecimento declarativo sobre a tarefa, segundo o teste de reconhecimento. Esses dados sugerem que a presença de conhecimento declarativo impacta o desempenho de habilidades motoras em condições de fadiga e corrobora com a hipótese levantada pelos autores.

² Errorless – Estratégia utilizada para a promoção de aprendizagem implícita. Descrita no subcapítulo “Aprendizagem implícita e aprendizagem explícita de habilidades motoras”.

Masters, Poolton e Maxwell (2008) replicaram esse desenho experimental, contudo utilizaram um teste de Volume Máximo de Oxigênio (VO₂máx) escalonado em esteira ergométrica, ao invés do protocolo de Wingate. Além disso, os autores inseriram no teste de retenção uma análise sobre condições de dupla tarefa. Supõe-se que a aprendizagem explícita seja impactada negativamente em condições de dupla tarefa, devido à divisão de recursos na memória operacional. Os achados corroboraram com os previamente identificados no estudo de 2007. Percebeu-se que os indivíduos que aprenderam implicitamente sofreram menos impacto da fadiga aeróbica no seu processo de aprendizagem, além de serem menos impactados no teste de retenção em dupla tarefa (em condições sem e com fadiga).

Deste modo, ambos achados permitem observar que a fadiga fisiológica, seja ela anaeróbia (Protocolo de Wingate) ou aeróbia (Teste de VO₂máx), não impacta a aprendizagem motora por condições implícitas. Por outro lado, a aprendizagem explícita é impactada por condições de fadiga e, tende a ser mais suscetível a dupla tarefa.

Partindo deste ponto, até o presente momento histórico, a literatura investigou a presença do exercício como um agente que impacta negativamente o processo de aprendizagem motora. Somente a partir da identificação do aumento da regulação de substâncias pró-neuroplasticidade induzidas pelo exercício aeróbio (COTMAN; BERCHTOLD, 2002; COTMAN; BERCHTOLD; CHRISTIE, 2007; KNAEPEN et al., 2010; RASMUSSEN et al., 2009; WARRAICH; KLEIM, 2010), os pesquisadores começaram a analisar o efeito do exercício aeróbio na potencialização da formação de memórias.

No início, estas análises eram baseadas na investigação dos possíveis efeitos da hiper-regulação dos fatores pró-neuroplasticidade induzidos pelo exercício aeróbio na retenção de memórias declarativas e no processamento cognitivo (HILLMAN; ERICKSON; KRAMER, 2008; MCDONNELL; SMITH; MACKINTOSH, 2011). Consequentemente, encorajados pelos resultados destes estudos, pesquisadores da área de Aprendizagem Motora realizaram alguns experimentos analisando a consolidação de memórias procedimentais a partir desta perspectiva (MANG et al., 2013; TAUBERT; VILLRINGER; LEHMANN, 2015).

Roig e colaboradores (2012) foram os pioneiros neste tipo de análise. Os autores buscaram investigar o efeito do exercício aeróbio na aprendizagem de uma tarefa de rastreamento, considerando diferentes momentos da administração do exercício aeróbio em relação à prática da tarefa. Para isto, selecionaram 48 indivíduos

saudáveis, que foram divididos em 3 grupos: Grupo Controle (que não realizou o exercício aeróbio, apenas a prática da tarefa), Grupo Aeróbio Antes (que realizou exercício aeróbio anteriormente a prática) e Grupo Aeróbio Depois (que realizou exercício aeróbio logo após a prática). A prática foi realizada em um dia, seguida de testes de retenção após 1 hora, após um dia e após 1 semana. Identificou-se que os grupos que realizaram exercício aeróbio apresentaram melhor retenção se comparados ao Grupo Controle. Adicionalmente, pôde-se verificar que o grupo que realizou o exercício aeróbio posteriormente a prática obteve melhor retenção se comparado ao grupo exercício aeróbio anteriormente.

Mang e colaboradores (2014) investigaram os efeitos do exercício aeróbio e a aprendizagem implícita em uma tarefa de rastreamento. O foco do estudo foi analisar aspectos comportamentais (desempenho) e neurofisiológicos, por meio da potenciação de longo prazo e BDNF. Para isto, os autores recrutaram 16 indivíduos saudáveis, os quais foram submetidos a um modelo de *cross-over* para o delineamento experimental. Desta forma, o desenho experimental foi constituído por 2 fases principais: 1ª fase – a potenciação de longo prazo foi mensurada após exercício aeróbio e após descanso, em dias separados e 2ª fase – em um momento o participante praticava a tarefa logo após do exercício aeróbio, seguido de um teste de retenção de 1 dia e; em outro momento, o sujeito praticava a tarefa sem o exercício aeróbio, seguindo-se de um teste de retenção. Averiguou-se que a expressão de potenciação de longo prazo foi maior quando precedida de exercício aeróbio, e que os participantes apenas conseguiram apresentar aprendizagem implícita quando realizaram exercício aeróbio anteriormente a prática. Por fim, o BDNF aumentou em função do exercício aeróbio, mas este aumento não foi relacionado com medidas de neuroplasticidade tão pouco com aprendizagem implícita.

Skriver e colaboradores (2014) também analisaram os marcadores biológicos derivados do exercício aeróbio e os possíveis efeitos desta atividade sobre a aprendizagem motora. Para isto, 32 indivíduos saudáveis participaram do estudo, os quais foram divididos em 2 grupos, sendo que um grupo se exercitou aerobiamente antes de praticar uma tarefa de rastreamento e outro apenas praticou a tarefa. A prática ocorreu em 1 dia e houve 3 testes de retenção (após 1 hora, após 1 dia e após 1 semana). A coleta de marcadores biológicos ocorreu no pré-teste, e entre os blocos de prática. Como variáveis dependentes foram obtidas as medidas de desempenho na própria tarefa em todos os momentos experimentais, sendo também extraídas medidas de BDNF, fator de crescimento endotelial, fator de crescimento semelhante à insulina tipo 1, epinefrina,

norepinefrina, dopamina e lactato. Ambos os grupos melhoraram seu desempenho ao longo da fase de aquisição e o retiveram no teste de retenção após 1 hora. No entanto, apenas o grupo exercício aeróbio conseguiu a persistência do desempenho nos testes de retenção após 1 dia e após 1 semana. Além disso, identificou-se que altas concentrações de BDNF, lactato e catecolaminas foram associadas a melhor persistência nos testes de retenção em longo prazo.

Statton et al (2015) realizaram dois experimentos, em que no primeiro, os autores investigaram se o tempo entre o exercício aeróbio e a prática influencia o desempenho da habilidade motora praticada. Utilizou-se uma tarefa de preensão isométrica que promovia o descolamento de alvos em uma tela de computador. Deste modo, a tarefa induzia demandas simultâneas de precisão e velocidade. Recrutaram 24 indivíduos saudáveis no primeiro experimento, divididos em 3 grupos: grupo que realizou a prática da tarefa logo após o exercício aeróbio; grupo que realizou exercício aeróbio, descansou durante 1 hora e após praticou a tarefa; e grupo que realizou caminhada e logo após realizou a tarefa (grupo controle). A prática ocorreu em apenas 1 dia e não houve teste de retenção. Observou-se que todos os grupos melhoraram seu desempenho ao longo dos blocos de prática. Contudo, o grupo que praticou exercício aeróbio e logo após praticou a tarefa mostrou-se superior aos outros grupos.

No segundo experimento, houve a investigação dos efeitos do exercício aeróbio na aprendizagem motora. Utilizou-se a mesma tarefa do primeiro experimento e os mesmos parâmetros para a prescrição do exercício aeróbio. Participaram 20 sujeitos saudáveis que foram divididos em dois grupos, sendo que ambos praticaram a tarefa logo após o exercício, contudo um grupo realizou caminhada (controle) e outro realizou corrida. Houve três dias de prática consecutivos, no 4º dia do protocolo experimental houve um teste de retenção. Observou-se que o grupo que praticou corrida se mostrou superior ao que realizou caminhada ao longo da fase de aquisição; contudo, não houve diferença entre os grupos no teste de retenção, ambos aprenderam a tarefa.

Outro estudo foi o desenvolvido por Rhee e colaboradores (2016), os quais investigaram o efeito do exercício aeróbio sobre a interferência retroativa na aprendizagem motora, mais especificamente, na aprendizagem *offline*. Para isto, selecionaram uma tarefa em que foi solicitado aos participantes pressionar teclas em sequências específicas. A amostra foi constituída de 60 participantes saudáveis, que foram divididos em 5 grupos: 1 - Grupo que praticou a sequência A e desempenhou a mesma sequência após uma noite de sono. 2 - Grupo que praticou a sequência A e

desempenhou a mesma sequência logo após a prática. 3 - Grupo que praticou a sequência A, logo após praticou a sequência B, e após uma noite de sono desempenhou a sequência A. 4 - Grupo que praticou a sequência A, realizou exercício aeróbico em seguida, praticou a sequência B, e após uma noite de sono realizou a sequência A. 5 – Grupo que praticou a sequência A, realizou exercício aeróbico após 2 horas desta prática, logo após praticou a sequência B, e após uma noite de sono praticou a sequência A. Os resultados demonstraram que o exercício aeróbico foi capaz de promover melhora *offline* com menor interferência retroativa da sequência B, contudo os autores afirmam que o exercício aeróbico deve ser realizado em um período próximo a prática da tarefa para a obtenção dos ganhos.

Snow e colaboradores (2016) investigaram o efeito do exercício aeróbico na aprendizagem de uma tarefa de rastreamento. Neste estudo, selecionaram 16 indivíduos saudáveis que participaram do estudo em um estudo do tipo *cross-over*. Este que foi composto por um determinado momento em que se praticou a tarefa em um dia e desempenhou um teste de retenção após 24 horas; e, outro momento, em que foi realizado exercício aeróbico previamente a prática em um dia e desempenhou-se um teste de retenção após 24 horas. As variáveis dependentes foram precisão espacial e precisão temporal. Verificou-se que não houve efeito em ambas as situações (com e sem exercício) sobre a precisão temporal ao longo de todo o experimento. Contudo, verificou-se que a condição em que foi ofertado exercício aeróbico promoveu maior melhora da precisão espacial apenas na fase de aquisição.

Em outro estudo, com o intuito de investigar o efeito da proximidade com que o exercício aeróbico é realizado em relação à prática, Thomas e colaboradores (2016a) propuseram o seguinte experimento: recrutaram 48 indivíduos jovens neurologicamente saudáveis e os dividiram em 4 grupos. Três deles praticaram exercícios aeróbicos após 20 minutos, 1 hora e 2 horas da prática da tarefa, enquanto o 4º grupo apenas descansou após a prática da tarefa. Todos os grupos praticaram uma tarefa de rastreamento. Houve testes de retenção após 1 dia e após 7 dias. Os autores identificaram que os sujeitos que realizaram o exercício aeróbico após 20 minutos da prática apresentaram taxas de retenção superiores àqueles que não realizaram exercício aeróbico e àqueles que realizaram exercício aeróbico após 2 horas. Quando a prática foi reinserida após o teste de retenção, todos os grupos apresentaram melhora do desempenho, garantindo que nenhum efeito teto incidiu sobre os resultados. Desta forma, nota-se o efeito transitório

em escala temporal que o exercício tem em relação a potencializar o desempenho da prática.

Thomas e colaboradores (2016b) também investigaram o papel da intensidade do exercício aeróbio sobre a aprendizagem motora. Para isto, utilizaram-se da mesma tarefa e condição de prática realizada no estudo descrito acima. Contudo, recrutaram 36 participantes que foram divididos em três grupos: grupo controle que somente praticou a tarefa, grupo exercício aeróbio baixa intensidade e grupo exercício aeróbio alta intensidade. A realização dos protocolos de exercício aeróbio foi oferecida após a prática da tarefa sendo utilizado cicloergômetro. Os resultados apontaram que o grupo que praticou a tarefa em alta intensidade mostrou superioridade ao grupo baixa intensidade e controle nos testes de retenção, levando a conclusão de que há uma relação dose-resposta entre intensidade e consolidação da memória motora.

Perini e colaboradores (2016) investigaram o efeito do exercício aeróbio sobre o desempenho de tarefas perceptuais e tarefas motoras. Para isso, foram avaliados 40 universitários saudáveis no primeiro experimento (prática da tarefa de discriminação perceptual) e 44 universitários saudáveis para o segundo experimento (prática da tarefa motora). Os sujeitos foram divididos em dois grupos: grupo exercício - que realizava exercício em 70% da Frequência Cardíaca (FC) máxima; e grupo controle - que realizava exercício em uma intensidade de 20 watts, considerada muito leve. A tarefa perceptual consistia em discriminar estilos visuais intermitentes que apareciam em uma velocidade de 200 milissegundos. O objetivo da tarefa era averiguar se os estímulos que apareciam dispunham-se no mesmo local ou em local diferente. Já, a tarefa motora foi realizar movimentos de adução e abdução com o polegar na máxima velocidade durante 5 minutos. O delineamento para ambos os experimentos foi composto por um bloco de prática de 5 minutos de pré-teste, seguido da realização de exercício aeróbio durante 30 minutos (cada grupo realizava seu respectivo protocolo) e, logo após o exercício, foi proposto 6 blocos de prática idênticos ao pré-teste. Este delineamento foi realizado em 2 dias, sendo que em cada dia os indivíduos praticaram tarefas diferentes. Os achados revelaram que os indivíduos que realizaram exercício em intensidade maior obtiveram melhor desempenho ao longo da prática, nas duas tarefas utilizadas no estudo.

Ostadan e colaboradores (2016) tiveram como objetivo investigar se a excitabilidade cortical advinda da prática de exercício aeróbios poderia prever melhores condições de consolidação da memória procedimental. Para isso, avaliaram 34 indivíduos saudáveis que foram divididos em 2 grupos: grupo exercício que praticou a

tarrafa e realizou exercício aeróbio - High Intensity Interval Training - (HIIT) e grupo controle que praticou a tarefa e teve repouso. Os indivíduos praticaram a TTRS que era composta por 12 elementos sequenciais. O delineamento foi constituído por um pré-teste de 15 tentativas, seguido de 25 tentativas de prática, um pós-teste de 15 tentativas e um teste de retenção após 8 horas composto por 5 tentativas. Foram dispostas 50 tentativas pseudorrandômicas durante a fase de aquisição e o teste de retenção a fim de estimar aprendizagem implícita. Após a sessão de prática os participantes do grupo exercício realizaram um protocolo de HIIT composto por 2 minutos de aquecimento à 50 watts, e 3 blocos de 3 minutos de alta intensidade (85% a 90% do VO₂pico) interpostos por blocos de 2 minutos de intensidade moderada (25% da carga máxima individual). Os participantes do grupo controle após a prática permaneceram em repouso no mesmo período destinado à prática de exercício. Os achados demonstraram que não houve diferença significativa no desempenho dos dois grupos, ambos apresentaram melhora do desempenho *off-line* nas sequências repetidas. Para o grupo exercício houve correlação entre excitabilidade cortical e o desempenho no teste de retenção. Os autores concluíram que houve efeito positivo do exercício aeróbio na aprendizagem motora; contudo, os resultados não corroboram com esta perspectiva, não houve diferença entre os grupos.

Mang e colaboradores (2016) buscaram investigar o efeito do exercício aeróbio sobre a aprendizagem de uma habilidade motora seriada que possibilitava análise da aprendizagem implícita. A tarefa a ser praticada foi a tarefa de rastreamento serial que consiste perseguir utilizando o mouse do computador (com a mão não dominante) perseguir com o cursor estímulos que aparecem em um dos nove locais predispostos na tela do computador. Participaram do estudo 16 indivíduos jovens e saudáveis. Os autores propuseram um delineamento *cross-over* com duas condições. Em uma delas os indivíduos realizavam descanso durante 20 minutos e após praticavam a tarefa durante 3 blocos de 110 movimentos (8 sequencias repetidas e 7 sequências pseudorrandômicas). Após um dia foi realizado um teste de retenção composto por 1 bloco idêntico aos utilizados durante a fase de aquisição. Na outra condição, os indivíduos realizavam exercício aeróbio (ciclo-ergômetro, 5 minutos de aquecimento e 3 tiros de 3 minutos em alta intensidade (90% do VO₂pico) interpostos por 2 minutos de baixa intensidade (50Watts) anteriormente à prática (prática idêntica à utilizada na condição descanso). Entre as duas condições foi dado um período de 2 semanas para *washout*. A ordem das condições foi aleatorizada entre os sujeitos. Os resultados identificaram que não houve

diferença entre as condições (exercício e descanso) na fase de aquisição, havendo melhora do desempenho, sendo a magnitude do aperfeiçoamento do desempenho maior nas sequências repetidas. Foi identificado que em termos absolutos não houve diferença no teste de retenção entre as condições exercício e descanso. Contudo, ao analisar os *savings* no teste de retenção foi observado que na condição precedida por exercício aeróbio houve a demanda de menor quantidade de prática para atingir um desempenho critério, ou seja, melhor taxa de reaprendizagem.

Em outro estudo, Thomas e colaboradores (2017) investigaram o efeito do tipo do exercício sobre a aprendizagem motora. Participaram do estudo 40 sujeitos saudáveis jovens, divididos em quatro grupos: grupo treinamento de força, grupo treinamento em circuito, grupo *hockey indoor* e descanso. Os participantes praticaram a tarefa de rastreamento utilizada nos estudos anteriores e a prática ocorreu anteriormente à realização dos exercícios/ descanso respectivo de cada grupo. Após 1 hora e após 1 dia foram realizados o teste de retenção de curto e longo prazo, respectivamente. Os resultados indicaram que os grupos que praticaram o exercício foram superiores ao grupo controle no teste de retenção atrasado. Além disso, identificou-se que os grupos que praticaram exercício demonstraram desempenho piorado no teste de retenção de curto prazo. Contudo, também foi identificada melhora do desempenho no teste de retenção após uma hora. Estes dados suportam a ideia de que o exercício físico melhorou as condições de consolidação *off-line* da memória procedimental, independentemente do tipo oferecido ao praticante.

Helm e colaboradores (2017) investigaram o efeito do exercício aeróbio sobre a secreção de BDNF e a aprendizagem motora e a relação do polimorfismo Val66Met nesta dinâmica. Participaram deste estudo 54 participantes jovens e saudáveis divididos em 2 grupos: grupo exercício (exercício aeróbio + prática) e grupo controle (prática). A tarefa foi o caminhar sobre uma esteira que impõe diferentes demandas de velocidade em cada perna, sendo as variáveis dependentes o tamanho da passada e análise de fase. O delineamento constituiu de exercício ou descanso, dependendo do grupo. O protocolo utilizado para o exercício ocorreu em um ciclo-ergômetro para membros superiores. Nele os participantes pedalarão durante 1 minuto com o máximo de carga (a fim de ultrapassar 80% da FC máxima prevista para a idade) e, em seguida, reduzia-se a carga pela metade e realizava-se mais 1 minuto de pedalada, seguido de 1 minuto de descanso e repetia-se o processo, até atingir volume total do treino aeróbio de 5 minutos. Após a realização do exercício ou do descanso, os indivíduos realizavam 2 minutos de

caminhada com parâmetros normais há 2 m/s a fim de obter medida de base. Após, os grupos realizaram 15 minutos de caminhada em uma proporção de diferença de 3:1 na velocidade entre as pernas. Após 24 horas, foi realizado o teste de retenção de 15 minutos em uma proporção de 3/1 de velocidade. Foram realizadas mensurações de sangue para BDNF e lactato, antes e depois do exercício aeróbio/ descanso e da prática. Os resultados demonstraram que o exercício induziu aumento do lactato (devido à alta intensidade) e do BDNF em níveis superiores aos registrados no grupo controle. Além disso, também se observou que os grupos demonstraram rápida adaptação à assimetria induzida durante a prática, melhorando seu desempenho e mantendo-o no teste de retenção, sem haver diferença entre os grupos e sem haver diferença entre os sujeitos com presença do polimorfismo Val66Met.

Ferrer-Uribe e colaboradores (2017) tiveram como objetivo investigar o efeito da ordem do exercício sobre a adaptação e a aprendizagem de uma tarefa de rastreamento. Neste estudo, participaram 29 indivíduos jovens e saudáveis divididos em 3 grupos: grupo exercício + prática, grupo prática + exercício e grupo controle (somente prática). A tarefa de rastreamento se deu utilizando um joystick havendo a possibilidade de modificar a angulação da correspondência entre o cursor disponibilizado na tela e as movimentações realizadas pelo participante. Os participantes praticaram a tarefa por 20 tentativas para familiarização, depois realizaram 104 tentativas que foram compreendidas como baseline, em seguida foram praticadas 312 tentativas com o cursor disposto em uma angulação diferenciada de 60° (o que demandou adaptação), posteriormente foram realizados 3 testes de retenção de 104 tentativas com a mesma demanda de adaptação, sendo dispostos após 1 hora, 1 dia e 7 dias do último bloco de prática. O exercício aeróbio foi realizado de acordo com a ordem prevista pelo grupo (antes ou depois da prática). Os pesquisadores determinaram a intensidade pelo teste de *Shuttle Run* 20 metros, sendo determinados 85% o valor intenso para a prescrição e 60% o valor moderado para a prescrição. O protocolo de exercício HIIT ocorreu em 3 tiros de 3 minutos à 85% intercalados por 2 tiros de 2 minutos à 60%. Os resultados não apontaram diferença significativa entre os grupos para a adaptação. Em relação aos testes de retenção foi detectado que os grupos que realizaram exercício (independentemente da ordem) apresentaram melhor persistência no teste de retenção de 1 hora, sendo esta diferença anulada nos testes de 1 dia e 7 dias, em que houve similaridade entre todos os grupos.

Lundbye-Jensen e colaboradores (2017) também investigaram o efeito o tipo de exercício na aprendizagem motora. Participaram do estudo 77 indivíduos pré-adolescentes os quais foram divididos em três grupos: grupo controle que apenas praticou a tarefa, grupo que praticou a tarefa e logo após participou de uma partida de *Floorball*, e grupo que praticou corrida. O tempo das intervenções físicas e do descanso foi de 20 minutos. O jogo de *Floorball* impõe demandas intermitentes de alta intensidade que são espontâneas às condições do jogo. Para a corrida adotou-se os mesmos parâmetros de treinamento intervalado utilizado por Roig e colaboradores (2012). As condições de prática, bem como as características do teste de retenção após 1 hora, após um dia e após 7 dias seguiram exatamente o que foi realizado por Thomas e colaboradores (2017). Os resultados corroboraram com os apontados por Thomas e colaboradores (2017), em que independentemente do tipo de exercício, a taxa de aprendizagem motora mostrou ser superior àquela apresentada pelos participantes que não realizaram exercício físico.

Stavrinos e Coxon (2017) analisaram o efeito do exercício aeróbio na excitabilidade cortical e na consolidação inicial (período após a prática que antecede o sono noturno) da memória motora. Participaram deste estudo 24 indivíduos, jovens e saudáveis, os quais foram divididos em 2 grupos: grupo exercício que realizou HIIT anteriormente à prática e grupo controle que apenas praticou a tarefa. A tarefa utilizada no estudo foi a tarefa de preensão isométrica sequencial visual, nela o participante dispõe de um transdutor de força, o qual a partir da preensão é possível deslocar um cursor na tela do computador. O objetivo da tarefa é deslocar o mais precisamente e velozmente o cursor na direção de alvos sequenciais que aparecem na tela. Foi determinado que os blocos de prática fossem compostos por oito tentativas. Inicialmente, os sujeitos praticaram um bloco para familiarização com a tarefa, após houve a realização de exercício ou descanso (de acordo com o grupo correspondente). Anteriormente e logo após o exercício/ descanso foi realizada estimulação transcraniana a fim de determinar o efeito do exercício/ descanso na excitabilidade cortical. Após estes procedimentos iniciou-se a prática da tarefa composta por sete blocos. Após 5 horas do término da prática foi realizado um teste de retenção composto por quatro blocos. O protocolo utilizado para o exercício foi o de HIIT, utilizando-se tiros de 2 minutos a 90% da FC de reserva (alta intensidade) e tiros de 3 minutos a 50% da FC de reserva (recuperação), o tempo total da sessão se deu em 20 minutos, o exercício foi realizado em ciclo-ergômetro. Os resultados indicaram que a realização de HIIT induziu

efeito inibitório na neurotransmissão sináptica envolvendo receptores Gabaérgicos, sendo esta atividade relacionada com consolidação da memória motora. Além disso, observou-se que ambos os grupos melhoraram seu desempenho ao longo da prática de maneira homogênea, contudo, o grupo que realizou HIIT apresentou melhor desempenho no teste de retenção.

Ferrer-Uris, Busquets e Angulo-Barroso (2018) replicaram a mesma metodologia de Ferrer-Uris e colaboradores (2017) para verificar se os resultados se aplicavam à crianças. Logo, os autores buscaram investigar os efeitos do exercício aeróbico (e da ordem que ele é realizado em relação à prática) sobre a adaptação e aprendizagem motora de crianças. Para isso, avaliaram 33 crianças (8 a 9 anos de idade) em 3 grupos: grupo exercício + prática, grupo prática+ exercício e grupo prática. Todo o delineamento foi seguido igualmente à Ferrer-Uris e colaboradores (2017). Os resultados demonstraram que não houve efeito do exercício sobre a adaptação induzida ao longo dos blocos de tentativa, ou seja, todos os grupos foram capazes de adaptar seus desempenhos ao longo da prática e aperfeiçoá-los. Em relação ao teste de retenção foi possível identificar que o grupo que realizou exercício anteriormente à prática demonstrou melhor desempenho se comparado ao grupo controle. Não houve diferença significativa entre o grupo controle e o grupo que realizou exercício após a prática nos testes de retenção.

Baird e colaboradores (2018) investigaram o efeito da intensidade (pareada pelo gasto energético) do exercício aeróbico sobre a secreção de BDNF e a aprendizagem motora. Participaram do estudo 48 indivíduos, destros, jovens e saudáveis, que foram divididos em três grupos: grupo exercício de alta intensidade + prática, grupo exercício de baixa intensidade + prática e grupo controle. Através de teste ergoespiométrico foi determinado o VO₂máx dos sujeitos assim, o grupo alta intensidade se exercitou à 80% do Vo₂máx, já o grupo baixa intensidade se exercitou à 40% do VO₂máx. A duração do exercício foi determinada individualmente para que houvesse o gasto de 200 kcal na sessão de treinamento. A tarefa praticada foi uma tarefa laboratorial de alvos seriais, em que o aprendiz sentado à frente de um aparato deve alcançar movendo o braço os estímulos que aparecem em 8 locais prováveis. Nesta tarefa o indivíduo não possui feedback visual do seu braço, pois ele utiliza um visor que apenas apresenta os alvos a serem alcançados e o deslocamento de sua mão. Interessantemente ao longo da prática, os alvos aparecem em sequencias repetidas e pseudorrandômicas, permitindo inferir sobre aprendizagem implícita. O delineamento experimental iniciou com uma tentativa

de sequência pseudorrandômica para o pré-teste, seguida de sessão de exercício ou descanso (sendo o exercício realizado em ciclo-ergômetro com os parâmetros anteriormente mencionados), após isso se seguiu com a prática composta por 144 sequências (72 pseudorrandômicas e 72 repetidas) e, após 1 dia, foi realizado o teste de retenção composto por 72 sequências (36 pseudorrandômicas e 36 repetidas), após o teste de retenção foi testado a subjetividade da existência da sequência repetida. Os resultados demonstraram que todos os grupos apresentaram de maneira parecida melhora do desempenho na fase de aquisição, tendo respostas significativamente mais rápidas nas sequências repetidas em relação a aleatórias. Foi possível encontrar diferença cinemática durante a prática, sendo que o grupo de alta intensidade apresentou deslocamentos maiores e picos de velocidade mais distantes do ponto final se comparado aos outros grupos. Em relação ao teste de retenção não houve diferença dentre os grupos, todos apresentaram aprendizagem da habilidade motora. E, por fim, não houve correlação do nível de BDNF com melhora do desempenho e com aprendizagem motora.

Tomporowski e Pendleton (2018) investigaram o efeito do momento em que o exercício aeróbico é realizado em relação à prática e o papel da complexidade do exercício físico sobre a aprendizagem motora. Como tarefa a ser apreendida, os pesquisadores utilizaram a Tarefa Rotor de Perseguição. Como exercício aeróbico foi utilizado um programa de dança denominado “Dance Dance Revolution” em que era possível manipular a complexidade através do número e das características dos passos que compunham a coreografia. Esta pesquisa foi composta por dois experimentos. No primeiro experimento contou-se com a participação de 32 participantes os quais foram divididos em três grupos (grupo prática + exercício simples, grupo prática + exercício complexo e grupo controle – prática somente). A prática foi composta por cinco blocos de 10 tentativas as quais tinham 30 segundos de duração e eram intercaladas por 10 segundos de descanso. Os participantes utilizaram a mão não dominante para rastrear um alvo que se movia em uma velocidade de 50 rpm em uma disposição triangular. Após a prática se deu o protocolo de dança com duração de 10 minutos no total, sendo intercalados 2 minutos de atividade e 30 segundos de descanso. Após o exercício houve um teste composto por 10 tentativas, este teste foi replicado após 1 dia e após 1 semanas (testes de retenção). Os resultados demonstraram que ao longo da fase de aquisição o grupo exercício complexo mostrou ser superior ao grupo controle. Em relação aos testes de retenção, os grupos foram iguais testes de retenção imediato, iguais no teste de

retenção 24 horas, mas apresentaram diferença no teste de retenção de 7 dias. Nele, o grupo exercício complexo mostrou-se superior ao grupo exercício simples e ao grupo controle e o grupo exercício simples foi superior ao grupo controle. Adicionalmente, a FC do grupo exercício simples não foi diferente do grupo complexo, o que faz crer que os efeitos se devem em função da complexidade da atividade física e não à intensidade do esforço.

No segundo experimento foram replicadas todas as condições de prática e de exercício utilizadas no experimento 1, todavia mudou-se a ordem do exercício em relação à prática. A rotina de dança foi realizada anteriormente à prática. Neste experimento participaram 31 indivíduos os quais foram divididos em 3 grupos (grupo exercício simples + prática, grupo exercício complexo + prática e grupo controle – prática somente). Deste modo, o experimento 2 se assemelhou ao experimento 1, sendo a ordem do exercício em relação a prática o aspecto que os difere. As análises realizadas no experimento 1 também foram replicadas. Em relação a fase de aquisição não houve melhora de desempenho para nenhum grupo. Já, analisando o desempenho no teste de retenção foi observada a mesma tendência identificada no experimento 1: os grupos mantiveram iguais nos testes de retenção imediatos e de 24 horas, mas no teste de retenção de 7 dias o grupo exercício complexo mostrou superioridade ao grupo exercício simples e ao grupo controle. Novamente, não foi observada diferença significativa na frequência cardíaca dos indivíduos que se exercitaram.

Neva e colaboradores (2019) investigaram o efeito do exercício aeróbico na adaptação, na aprendizagem motora e na transferência bilateral em um estudo *cross-over*. Participaram deste estudo 17 indivíduos jovens saudáveis destros. Logo, o delineamento foi seguido por duas vezes para cada sujeito, com período de *wash-out* de 2 semanas e tendo a presença de exercício aeróbico (entre o *baseline* e a prática) como sendo a variável de interesse. Utilizou-se uma tarefa de rastreamento de computador para o experimento. O delineamento constituiu de 32 tentativas com o membro dominante, seguido da condição exercício ou descanso, logo após foi realizado 200 tentativas com a condição de rotação do cursor para averiguar adaptação, e após foi realizado 16 tentativas com o membro esquerdo mantendo-se as demandas de adaptação. Após 1 dia foi realizado um teste de retenção para cada membro composto por 16 tentativas e mantendo-se a rotação do cursor. Dentre as condições foi realizado troca na direção deslocamento do cursor (do sentido horário para o sentido anti-horário), também por condições pseudorrandômicas foram aleatorizadas a ordem do membro que

era testado no teste de retenção, e a ordem do descanso e do exercício. O exercício ocorreu em ciclo-ergômetro, adotando-se uma intensidade de 65% a 70% da FC_{máx} durante 20 minutos em uma condição contínua. Os achados demonstraram que quando os sujeitos estavam sob a condição do exercício foi identificado melhor desempenho durante a fase de aquisição e no teste de retenção. Além disso, observou-se que o exercício promoveu melhora do tempo de reação para o membro contralateral durante a prática, contudo esta condição não foi mantida no teste de retenção.

Por fim, Stranda e colaboradores (2019) investigaram o efeito do exercício aeróbio na aprendizagem motora dando ênfase à análise da precisão e da velocidade. Neste estudo, os autores contaram com a participação de 26 jovens saudáveis que foram divididos em dois grupos: grupo controle que apenas praticou a tarefa, e grupo exercício que realizou exercício aeróbio anteriormente à prática. A tarefa praticada foi digitação em um teclado padrão de computador, em que em um software o aprendiz deveria pressionar as teclas que apareciam na tela do computador sem possuir visualização do posicionamento das mãos em relação ao teclado. Os indivíduos praticaram a tarefa por 4 semanas, 3 vezes por semana, 10 minutos por dia, sendo que em cada dia havia avaliação do desempenho pós a prática durante 3 minutos. Após uma semana houve um teste de retenção. O exercício era realizado anteriormente à prática, utilizando-se de um ciclo-ergômetro e adotando a intensidade de 65% da FC máxima e o volume de 20 minutos. Os achados não apontaram diferença entre os grupos, ambos os grupos durante a fase de aquisição melhoraram a precisão das teclas pressionadas e a velocidade de movimento, sendo esta memória mantida no teste de retenção igualmente.

Deste modo, a fim de melhorar organizar os achados dos estudos que investigaram o efeito do exercício aeróbio sobre a aprendizagem motora de indivíduos neurologicamente saudáveis, desenvolveu-se a Tabela 2 que demonstra as principais características dos estudos com seus respectivos resultados. Após a tabela, segue a análise crítica dos principais achados em conjunto.

Tabela 2: Principais características e resultados dos estudos que investigaram o efeito do exercício aeróbio sobre a aprendizagem motora de indivíduos saudáveis.

Autor e Ano	Objetivo	Participantes	Tarefa	Delineamento	Parâmetro de Prescrição do Exercício	Resultados
Poolton, Masters e Maxwell (2007)	Investigar o efeito deletério da fadiga induzida por exercício anaeróbio sobre a memória implícita e explícita.	46 jovens universitários.	Passe do rugby	Modelo: Medidas repetidas, formação de 3 grupos (Grupo que praticou a tarefa sobre condições de <i>errorless</i> , e Grupo que praticou a tarefa recebendo feedback de CP e conhecimento explícito). Prática: 10 blocos de 10 tentativas cada. Teste de retenção: 1 bloco de 10 tentativas. Anteriormente à prática em todas as fases experimentais os sujeitos foram submetidos ao teste anaeróbico de Wingate.	Tipo: Ciclo-ergômetro, protocolo: Teste anaeróbico de Wingate.	Os sujeitos que praticaram a tarefa implicitamente obtiveram melhor desempenho durante a fase de aquisição. Todos os participantes mantiveram seu desempenho no teste de retenção, não havendo diferença dentre eles neste momento.
Masters, Poolton e Maxwell (2008)	Investigar o efeito deletério da fadiga induzida por exercício aeróbio sobre a memória implícita e explícita.	41 jovens universitários.	Passe do rugby	Mesmo delineamento de prática utilizado por Poolton, Masters e Maxwell (2007). No entanto, os participantes realizaram como exercício um teste escalonado de VO ₂ máx. Além disso, foi inserida uma condição de dupla tarefa no teste de retenção.	Tipo: Esteira ergométrica, protocolo: Teste escalonado de VO ₂ máx.	Os sujeitos que praticaram a tarefa implicitamente apresentaram melhor desempenho e aprendizagem motora, além de serem menos impactados durante a realização de dupla tarefa no teste de retenção.

Roig e colaboradores (2012)	Investigar o efeito do momento em que o exercício aeróbio é realizado em relação à prática na aprendizagem de uma tarefa de rastreamento.	48 jovens saudáveis.	Tarefa de rastreamento	Modelo: Medidas repetidas, formação de 3 grupos (Grupo exercício antes da prática, Grupo exercício após a prática e Grupo apenas prática). Prática: 3 blocos de 5 minutos de prática, Teste de retenção: 5 minutos de prática (após 1 hora, após 1 dia e após 1 semana).	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: Suficiente para gerar 10mmol/l de lactato, Volume: 3 tiros de 3 minutos intercalados com 2 minutos de pausa ativa, Condição: HIIT.	Os indivíduos que realizaram exercício aeróbio melhor retiveram o desempenho se comparados aqueles que não realizaram exercício aeróbio. Os indivíduos que realizaram exercício aeróbio após a prática apresentaram melhor retenção no teste de longo prazo (1 semana).
Mang e colaboradores (2014)	Investigar o efeito do exercício aeróbio sobre a LTP e a aprendizagem de uma habilidade motora com demandas espaciais e temporais.	16 jovens saudáveis	Tarefa de rastreamento	Fase 1: Os participantes realizaram RMF após a execução de exercício aeróbio ou descanso a fim de verificar medidas relacionadas à LTP. Fase 2: Modelo: <i>Cross-over</i> (Condição 1 e 2). Condição 1: Descanso + Prática, após 1 dia teste de retenção. Condição 2: Exercício aeróbio + Prática, após 1 dia teste de retenção. Todas as sessões de prática foram compostas por 2 blocos de 10 tentativas. Os testes de retenção foram compostos por 1 bloco de 10 tentativas.	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: 90% dos watts máx., Volume: 20 min total (tiros de 3 min de duração com pausa ativa de 2 min), Condição: HIIT.	Houve retenção apenas no momento em que foi realizado exercício aeróbio prévio à prática. Esta retenção correlacionou-se com maior potencialização de longo prazo induzida pelo exercício.

Skriver e colaboradores (2014)	Explorar a relação de marcadores biológicos induzidos pelo exercício e a aprendizagem motora.	32 jovens saudáveis	Tarefa de rastreamento	Modelo: Medidas repetidas, formação de 2 grupos (Grupo Exercício Anterior à Prática e Grupo Controle). Pré-teste: 5 tentativas, Prática: 3 blocos de 5 minutos de prática, Retenção após 1 hora, 1 dia e 7 dias: 1 bloco de 5 minutos de prática. Medidas de marcadores biológicos foram obtidas ao longo da fase de aquisição.	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: 200 a 315 watts, Volume: 3 blocos de alta intensidade intercalados por pausa ativa em 50 watts. Condição: HIIT	O exercício aeróbio induziu melhor retenção a longo prazo. Altas concentrações de Norepinefrina e Lactato foram associadas com melhora na fase de aquisição. Altas concentrações de Norepinefrina, Lactato e BDNF foram associados com melhor retenção.
Statton e colaboradores (2015) Experimento 1	Verificar a o efeito do tempo entre a realização do exercício aeróbio e a prática	24 jovens saudáveis	Tarefa de Precisão x Velocidade	Modelo: Medidas repetidas, formação de 3 grupos (Grupo que realizou exercício aeróbio e logo após praticou a tarefa, Grupo que realizou o exercício aeróbio e após 1 hora praticou a tarefa, e Grupo controle). Pré-teste: 30 tentativas, Prática: 4 blocos de 30 tentativas.	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: 60% a 85% da FC _{máx} , Volume: 30 min, Condição: Contínuo	Observou-se que todos os grupos melhoraram seu desempenho ao longo dos 4 blocos de prática. Contudo, o grupo que realizou exercício aeróbio e logo após praticou a tarefa se mostrou superior aos outros grupos.
Statton e colaboradores (2015) Experimento 2	Verificar o efeito da realização do exercício aeróbio na aprendizagem motora	20 jovens saudáveis	Tarefa de Precisão x Velocidade	Modelo: Medidas repetidas, formação de 2 grupos (Grupo que realizou exercício aeróbio anteriormente a prática e Grupo controle que realizou caminhada). Pré-teste: 30 tentativas. Prática: 3 dias, 4 blocos de 30 tentativas/ dia. Retenção: 30 tentativas após 1 dia da prática.	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: 60% a 85% da FC _{máx} , Volume: 30 min, Condição: Contínuo	Observou-se que o grupo que realizou exercício aeróbio foi superior ao controle durante a fase de aquisição, contudo não houve diferença entre os grupos na retenção.

Rhee e colaboradores (2015)	Verificar os efeitos do exercício aeróbio na interferência retroativa negativa e na consolidação da memória motora	60 jovens universitários saudáveis	Tarefa de sequenciamento manual	Modelo: Medidas repetidas, formação de 5 grupos (Grupo que praticou a tarefa e teve seu teste após 24 horas; Grupo que praticou a tarefa e logo após realizou seu teste; Grupo que praticou a tarefa, praticou outra tarefa e teve seu teste após 24 horas; Grupo que praticou a tarefa, realizou exercício aeróbio, praticou outra tarefa, e teve seu teste após 24 horas; e, Grupo que praticou a tarefa, após 2 horas realizou exercício aeróbio, após praticou outra tarefa, e teve seu teste após 24 horas). As sessões de prática foram constituídas de 20 tentativas de 30 segundos. Os testes foram compostos por 1 tentativa de 30 segundos.	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: 80% da FC _{máx} , Volume: 18 min, Condição: Contínuo	Concluiu-se que o exercício aeróbio promoveu melhor retenção e diminui em maior ênfase a interferência da segunda tarefa sobre a aprendizagem da primeira. Contudo, observou-se que a realização do exercício aeróbio deve ser feita próximo a prática da tarefa a ser enfatizada.
Snow e colaboradores (2016)	Verificar os efeitos do exercício aeróbio na aprendizagem motora	16 jovens saudáveis	Tarefa de rastreamento	Modelo: <i>Cross-Over</i> . Condição 1: Realização de exercício aeróbio + Prática da tarefa, teste de retenção após 1 dia. Condição 2: Descanso + Prática da tarefa, teste de retenção. Prática: 2 blocos de 5 minutos. Retenção: 1 bloco de 5 minutos.	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: 60% do VO ₂ pico de 70 a 90 RPM, Volume: 30 min, Condição: Contínuo	O exercício aeróbio apresentou melhora da precisão espacial durante a fase de aquisição. Não houve efeito no teste de retenção.

Thomas e colaboradores (2016a)	Investigar o efeito na aprendizagem motora da proximidade temporal entre o exercício aeróbio e a prática da tarefa.	48 jovens saudáveis	Tarefa de rastreamento	Modelo: Medidas repetidas. Formação de 4 grupos (3 grupos que realizaram exercício aeróbio após 20 minutos, 1 hora e 2 horas da prática, e 1 grupo que apenas praticou a tarefa). Prática: 5 blocos de 4 minutos de duração. Teste de retenção após 1 dia e após 7 dias: 1 bloco.	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: 90% do VO2 pico, Volume: 15 min total (tiros de 3 min de duração com pausa ativa de 2 min), Condição: HIIT.	Os sujeitos que realizaram o exercício aeróbio próximo à prática (20 minutos após a prática) obtiveram melhor retenção do desempenho aperfeiçoado ao longo da prática.
Thomas e colaboradores (2016b)	Investigar o efeito da intensidade do exercício aeróbio na aprendizagem motora	36 jovens saudáveis	Tarefa de rastreamento	Delineamento idêntico ao proposto por Thomas et al (2016a). Formação de 3 grupos (Grupo que apenas praticou a tarefa, Grupo que realizou treinamento intervalado de alta intensidade, grupo que realizou treinamento intervalado de baixa intensidade).	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: 90% do VO2 pico, para o grupo alta intensidade e 45% do VO2pico para o grupo baixa intensidade, Volume: 15 min total (tiros de 3 min de duração com pausa ativa de 2 min), Condição: HIIT e intervalada.	Os sujeitos que realizaram exercício aeróbio em alta intensidade demonstraram melhor desempenho e retenção se comparados aos outros grupos.

Perini e colaboradores (2016)	Investigar o efeito do exercício aeróbio no desempenho de uma tarefa de discriminação perceptual e em uma tarefa motora.	44 jovens universitários saudáveis	Tarefa de discriminação perceptual e Tarefa de abdução do polegar	Modelo: Medidas repetidas, 2 grupos (Grupo exercício: Exercício intensidade moderada + prática, Grupo controle: Exercício baixa intensidade + Prática). Delineamento: Em cada dia havia a prática de uma tarefa diferente. Prática: pré-teste de 5 minutos, prática de exercício durante 30 minutos, e após 6 blocos de prática iguais ao pré-teste.	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: 70% FCmáx (para o grupo exercício) e 20 W – muito leve (grupo controle), Volume: 30 minutos, Condição: Contínuo.	Os sujeitos que realizaram o exercício em maior intensidade apresentaram melhor desempenho ao longo da prática da tarefa de discriminação perceptual e da tarefa motora.
Ostadan e colaboradores (2016)	Investigar se o efeito da excitabilidade cortical induzida pelo exercício aeróbio exerce efeito na consolidação da memória procedimental.	34 jovens saudáveis.	TTRS	Modelo: Medidas repetidas, formação de 2 grupos (Grupo Exercício: Prática + HIIT. Grupo Controle: Prática + repouso). Delineamento: Um dia de prática composto por um pré-teste de 15 tentativas, seguidos de 25 tentativas de prática, pós-teste de 15 tentativas e um teste de retenção após 8 horas composto por 5 tentativas. Houve ao longo da prática e do teste de retenção 50 tentativas pseudorrandômicas. Após a prática os grupos realizaram exercício ou repouso.	Tipo: Ciclo-ergômetro. Intensidade: tiros 85% a 90% do VO2 pico intervalados com pausa ativa de 25% da carga máxima individual. Volume: 3 ciclos de 3 minutos em alta intensidade e 2 minutos de baixa intensidade. Condição: HIIT	Ambos os grupos apresentaram aprendizagem off-line. Não houve diferença entre os grupos. A excitabilidade cortical foi relacionada com melhor desempenho no grupo exercício.

Mang e colaboradores (2016b)	Investigar o efeito do exercício aeróbio na aprendizagem implícita de uma habilidade motora seriada	16 indivíduos jovens e saudáveis	Tarefa de rastreamento serial	Modelo: <i>Cross-over</i> , 2 condições (Exercício + Prática e Descanso + Prática). A prática foi composta de 3 blocos de 8 sequencias repetidas e 7 sequencias pseudorrandômicas. O teste de retenção se deu após 24 horas composto por 1 bloco nas mesmas condições de prática.	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: estímulo intenso - 90% do VO2pico, estímulo de recuperação – 50W. Volume: aquecimento 5 minutos e 3 tiros em cada condição (intenso e recuperação). Condição: HIIT	Não houve diferença entre as condições (exercício e descanso) durante a fase de aquisição e retenção. Todos os grupos apresentaram aprendizagem implícita. Na fase de retenção houve melhor <i>savings</i> na condição precedida por exercício.
Thomas e colaboradores (2017)	Investigar o efeito do tipo de exercício na aprendizagem motora	40 jovens saudáveis	Tarefa de rastreamento	Modelo: Medidas repetidas, formação de 4 grupos (Grupo treinamento de força, Grupo treinamento em circuito, Grupo Hockey Indoor e Descanso). Os exercícios foram realizados posteriormente à prática. Delineamento: pré-teste de 2 blocos de 16 tentativas, Prática 3 blocos de 32 tentativas, teste de retenção após 1 hora e 1 dia adotando-se as mesmas características do pré-teste.	Tipo de exercício relativo ao grupo.	Os sujeitos que praticaram exercício físico apresentaram melhor retenção, independentemente do exercício realizado.

Helm e colaboradores (2017)	Investigar o efeito do exercício aeróbico na secreção de BDNF e na aprendizagem de uma habilidade de locomoção.	54 jovens saudáveis	Tarefa de locomoção em esteira com assimetria entre as pernas	Modelo: Medidas repetidas, formação de 2 grupos (Grupo Exercício: Exercício + Prática, Grupo Controle: Prática). Delineamento: pré-teste composto por 2 minutos em condições normais, prática 15 minutos em assimetria 3:1, após 1 dia teste de retenção composto por 15 minutos de prática com assimetria 3:1.	Tipo: Cicloergômetro de membros superiores. Intensidade: Intenso – carga máxima acima de 80% da FC _{máx} , Moderado – 40% da carga utilizada no estímulo intenso, Leve – Pausa passiva. Volume: 1 minuto em intensidade alta, 1 minuto em intensidade moderada, 1 minuto de pausa passiva. Volume total: 5 minutos. Condição: HIIT	Todos os sujeitos adaptaram os padrões cinemáticos durante a prática melhorando seu desempenho. Esta melhora se manteve no teste de retenção. Não houve diferença entre os grupos e não houve diferença aos que possuíam ou não poliformismo Val66Met.
Ferrer-Uris e colaboradores (2017)	Investigar o efeito da ordem do exercício em relação à prática na adaptação e na aprendizagem de uma habilidade motora de rastreamento.	29 jovens saudáveis	Tarefa de adaptação rotacional visuo-motora	Modelo: Medidas repetidas, formação de 3 grupos (Grupo Exercício + Prática, Grupo Prática + Exercício e Grupo Controle (Somente Prática)). O exercício foi realizado de acordo com a ordem prevista no grupo (antes ou depois da prática). As sessões de prática foram compostas por 20 tentativas de familiarização, 104 tentativas de baseline, 312 tentativas de prática com adaptação (diferenciação de 60° no cursor), e testes de retenção com adaptação compostos por 104 tentativas após 1 hora, 1 dia e 7 dias.	A partir do teste de Shuttle Run 20m (VO ₂ máx) foi adotado 85% como intenso e 60% como moderado. O protocolo se constituiu de 3 min intenso + 2 minutos moderado + 3 minutos intenso + 2 minutos moderado + 3 minutos intenso. Condição: HIIT.	Não houve efeito do exercício na adaptação. Houve efeito do exercício na aprendizagem motora apenas no teste de retenção de 1 hora (sem diferença em relação a ordem do exercício). Nos outros testes de retenção não foi encontrado diferença significativa.

Lundbye-Jensen e colaboradores (2017)	Investigar o efeito do tipo de exercício na aprendizagem motora	77 pré-adolescentes saudáveis	Tarefa de rastreamento	Modelo medidas repetidas, formação de 3 grupos: Grupo que apenas realizou a prática da tarefa, Grupo que participou de uma partida de <i>Floorball</i> após a prática da tarefa, e Grupo que realizou corrida após a prática da tarefa. As condições de prática e dos testes de aprendizagem foram baseadas em Thomas et al 2017.	Prescrição do grupo corrida foi baseada em Roig e colaboradores (2012). O grupo <i>floorball</i> possuiu as demandas físicas advindas da dinâmica do jogo.	Os sujeitos que praticaram exercício físico apresentaram melhor retenção, independentemente do exercício realizado.
Stavrinos e Coxon (2017)	Investigar o efeito do exercício aeróbio sobre a excitabilidade cortical e a consolidação inicial da memória motora.	24 jovens saudáveis	Tarefa de preensão isométrica sequencial visual	Modelo medidas repetidas, formação de 2 grupos: Grupo somente prática e Grupo exercício aeróbio + prática. Delineamento: Realização de exercício aeróbio ou descanso com monitoramento de excitabilidade cortical. Após, 7 blocos de 8 tentativas de prática, com um teste de retenção (após 5 horas) composto de 4 blocos de 8 tentativas.	Tipo: Ciclo-ergômetro. Intensidade: Tiros intensos de 90% da FC reserva e tiros moderados à 50% da FC de reserva. Volume: 2 minutos para tiros intensos e 3 minutos para recuperação ativa, volume total de 20 minutos. Condição: HIIT	Não houve diferença entre os grupos durante a prática. O grupo que realizou HIIT apresentou melhor retenção. A excitabilidade cortical do grupo exercício não foi relacionada com sua aprendizagem motora.

Ferrer-Uris, Busquets e Angulo-Barroso (2018)	Investigar o efeito da ordem do exercício em relação à prática na adaptação e na aprendizagem motora de crianças.	33 crianças (8 a 9 anos)	Tarefa de adaptação rotacional visuo-motora	Modelo: Medidas repetidas, formação de 3 grupos (Grupo Exercício + Prática, Grupo Prática + Exercício e Grupo Controle (Somente Prática)). O exercício foi realizado de acordo com a ordem prevista no grupo (antes ou depois da prática). As sessões de prática foram compostas por 20 tentativas de familiarização, 104 tentativas de baseline, 312 tentativas de prática com adaptação (diferenciação de 60° no cursor), e testes de retenção com adaptação compostos por 104 tentativas após 1 hora, 1 dia e 7 dias.	A partir do teste de Shuttle Run 20m (VO2máx) foi adotado 85% como intenso e 60% como moderado. O protocolo se constituiu de 3 min intenso + 2 minutos moderado + 3 minutos intenso + 2 minutos moderado + 3 minutos intenso. Condição: HIIT.	Não houve efeito do exercício na adaptação durante à prática. Todos os grupos melhoraram igualmente seu desempenho na fase de aquisição. O grupo que realizou exercício anteriormente à prática apresentou melhor retenção se comparado ao controle.
Baird e colaboradores (2018)	Investigar o efeito da intensidade do exercício aeróbio (pareado pelo gasto energético) sobre a secreção de BDNF e a aprendizagem motora.	48 jovens saudáveis.	Tarefa de alvo seriais	Modelo: Medidas repetidas, 3 grupos (Grupo Exercício Alta Intensidade + Prática, Grupo Baixa Intensidade + Prática, Grupo Controle (Somente prática). Delineamento: Realização de 1 tentativas de prática para baseline, após realização de exercício ou descanso com inferência de BDNF antes e depois. Posteriormente, a prática foi constituída de 144 e após 1 dia foi realizado um teste de retenção de 72 sequencias. As sequencias da prática e da retenção eram compostas de condições repetidas e pseudorrandômicas.	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: 80% do VO2máx para o grupo alta intensidade e 40% do VO2máx para o grupo baixa intensidade. Volume: Dependente do tempo necessário para se atingir 200 kcal. Condição: Contínuo.	Não houve efeito do exercício durante a fase de aquisição e no teste de retenção. Todos os grupos se mostraram mais rápidos nas sequencias repetidas. O grupo alta intensidade apresentou diferenciações cinemáticas relacionadas à erro. O BDNF não foi relacionado com aprendizagem motora.

Tomporowski e Pendleton (2018) Experimento 1	Investigar o efeito do momento do exercício em relação à prática e da complexidade do exercício aeróbio sobre a aprendizagem motora	32 indivíduos jovens saudáveis	Tarefa rotor de perseguição	Modelo: Medidas repetidas, 3 grupos: Grupo Prática + Exercício simples, Grupo Prática + Exercício Complexo e Grupo Controle (apenas prática). Delineamento: A prática se constituiu de 5 blocos de 10 tentativas, sendo cada tentativa composta por 30 segundos de prática e 10 segundos de descanso. Após a prática se deu o protocolo de exercício. Logo após o exercício os indivíduos realizaram o teste de retenção imediato composto por 10 tentativas. Houve a replicação do teste de retenção após 1 dia e após 7 dias.	Tipo: Dança (Dance Dance Revolution). Manipulação de complexidade por meio do número e características dos passos. Volume: 10 minutos. Densidade: 2 minutos de atividade e 30 segundos de descanso.	Durante a fase de aquisição o grupo exercício complexo demonstrou melhor desempenho se comparado ao grupo controle. No teste de retenção imediato e de 24 horas não foram encontradas diferenças entre os grupos. Houve diferença significativa no teste de retenção de 7 dias, em que o grupo exercício complexo se demonstrou superior ao grupo controle.
Tomporowski e Pendleton (2018) Experimento 2	Investigar o efeito do momento do exercício em relação à prática e da complexidade do exercício aeróbio sobre a aprendizagem motora	31 indivíduos jovens saudáveis	Tarefa rotor de perseguição	Modelo: Medidas repetidas, 3 grupos: Grupo Exercício simples + Prática, Grupo Exercício Complexo + Prática e Grupo Controle (apenas prática). Delineamento: Foi replicado o mesmo delineamento utilizado no experimento 1, apenas havendo a diferenciação da ordem da prática em relação ao exercício.	Tipo: Dança (Dance Dance Revolution). Manipulação de complexidade por meio do número e características dos passos. Volume: 10 minutos. Densidade: 2 minutos de atividade e 30 segundos de descanso.	Durante a fase de aquisição os grupos não demonstraram melhora do desempenho. No teste de retenção imediato e de 24 horas não foram encontradas diferenças entre os grupos. Houve diferença significativa no teste de retenção de 7 dias, em que o grupo exercício complexo se demonstrou superior ao grupo controle.

Neva e colaboradores (2019)	Investigar o efeito do exercício aeróbio na adaptação, na transferência bilateral e na aprendizagem motora	17 jovens saudáveis	Tarefa de rastreamento	Modelo <i>cross-over</i> , duas condições com exercício e sem exercício anteriormente à prática. Delineamento: Pré-teste: 32 tentativas, seguido de exercício ou descanso, após 200 tentativas de prática com rotação do cursor (adaptação), seguido de 16 tentativas com o outro membro. Após 1 dia, 1 teste de retenção e de transferência bilateral, 16 tentativas cada (mesma condição de rotação). <i>Washout</i> : 2 semanas. Após <i>washout</i> mudava-se a direção da rotação a ser rastreada.	Tipo: Ciclo-ergômetro. Intensidade: 65% a 70% da FCmáx. Volume: 25 minutos. Condição: Contínuo.	Em condição de exercício os indivíduos apresentaram melhor desempenho (adaptação) e aprendizagem motora. Foi possível identificar que em exercício os indivíduos melhoraram o tempo de reação em condição de transferência bilateral, mas o desempenho do membro oposto não foi afetado.
Stranda e colaboradores (2019)	Investigar os efeitos do exercício aeróbio nos componentes de precisão e velocidade durante a aprendizagem motora	26 jovens saudáveis	Tarefa de digitação em um teclado de computador.	Modelo medidas repetidas, formação de 2 grupos: Grupo que realizou apenas a prática da tarefa e Grupo que realizou Exercício + Prática. O exercício ou descanso era precedente à prática. Delineamento: A prática ocorreu em 4 semanas, 3 vezes por semana, 10 minutos por dia. O desempenho era avaliado em blocos diários de 3 minutos sendo constatado a precisão e a velocidade da digitação. Foi realizado um teste de retenção após 7 dias.	Tipo: Ciclo-ergômetro. Intensidade: 65% FCmáx. Volume: 20 minutos.	Não houve diferença entre os grupos. Ambos grupos melhoraram seu desempenho ao longo da prática e o mantiveram no teste de retenção.

Legenda: VO2máx – Volume máximo de oxigênio, mmol/l – massa molecular por litro de mercúrio, HIIT – *High Intensity Interval Training*, BDNF – *Brain Derived Neurotrophic Factor*, FCmáx – Frequência Cardíaca Máxima, RMF – Ressonância Magnética Funcional, RPM – Rotações por minuto, W – Watts, TTRS – Tarefa de tempo de reação seriado.

Tomados em conjunto, estes achados apontam o potencial do exercício aeróbio no processo de aprendizagem de habilidades motoras, independentemente do tipo de exercício realizado (LUNDBYE-JENSEN et al., 2017; THOMAS et al., 2017). Pode-se ressaltar a possibilidade de potencializar a consolidação, promovendo melhor retenção (LUNDBYE-JENSEN et al., 2017; MANG et al., 2014; NEVA et al., 2019; RHEE et al., 2016; ROIG et al., 2012; SKRIVER et al., 2014; STAVRINOS; COXON, 2017; THOMAS et al., 2016a, 2016b, 2017) e a promoção de melhor codificação, o que resulta em melhores condições de aperfeiçoamento e consistência durante a fase de aquisição (NEVA et al., 2019; PERINI et al., 2016; SNOW et al., 2016; STATTON et al., 2015).

Aparentemente, a maioria dos estudos aponta que tais efeitos parecem ser momento-dependentes (MANG et al., 2013; ROIG et al., 2016), ou seja, a facilitação do aperfeiçoamento e da consistência parece ser mais influenciada quando o exercício aeróbio é realizado anteriormente à prática (NEVA et al., 2019; SNOW et al., 2016; STATTON et al., 2015). Por outro lado, a persistência do desempenho aperfeiçoado parece ser mais influenciada quando o exercício aeróbio é realizado logo após a prática da habilidade a ser aprendida (MANG et al., 2013; PERINI et al., 2016; ROIG et al., 2016). Estes efeitos são explicados pelo aparente potencial do exercício aeróbio quando desempenhado anteriormente à prática sobre a codificação da memória motora. Por outro lado, supõe-se que o exercício aeróbio quando realizado posteriormente a prática influi positivamente sobre processos de consolidação (ROIG et al., 2016). Contudo, mais investigações sobre os efeitos momento-dependentes do exercício aeróbio em relação à aprendizagem motora são necessárias, uma vez que há resultados que não corroboram com esta perspectiva (FERRER-URIS et al., 2017; STAVRINOS; COXON, 2017).

Além disso, estes achados ainda apontam que, para que sejam obtidos os efeitos positivos, o exercício aeróbio deve ser feito próximo ao momento dedicado a prática da tarefa (SKRIVER et al., 2014; STATTON et al., 2015; THOMAS et al., 2016a). Tal perspectiva pode estar associada ao curso de tempo que catecolaminas e BDNF possuem após o exercício aeróbio, sendo esperada uma queda após 60 minutos de sua prática (KNAEPEN et al., 2010; RASMUSSEN et al., 2009).

Ainda, parece haver relação entre intensidade do exercício aeróbio e a melhora do processo de aprendizagem motora. Segundo os achados de Skriver e colaboradores (2014), há relação entre aumento de lactato e catecolaminas com o desempenho ao

longo da fase de aquisição e, também, na persistência no teste de retenção. Neste sentido, sabe-se que o aumento de lactato e catecolaminas é intensidade dependente, ou seja, quanto maior a intensidade do exercício maior a presença destes marcadores biológicos (MCARDLE, KATCH, 2009). Com isso, pode-se supor uma possível relação de dependência entre intensidade do exercício aeróbio e melhora no processo de aprendizagem motora. Estas assunções corroboram com os achados de Statton e colaboradores (2015) e Thomas e colaboradores (2016b), em que se pôde observar uma relação dose-dependente entre a intensidade do exercício aeróbio e a potencialização do processo de aprendizagem motora. Contudo, mais estudos se fazem necessários, uma vez que o estudo de Baird e colaboradores (2018) não identificou efeito de diferentes intensidades de exercício aeróbio (com demanda energética pareada) sobre a aprendizagem motora.

Ainda em relação às características do exercício aeróbio, o estudo de Tomporowski e Pendleton (2018) fornece *insights* interessantes acerca da necessidade de envolvimento cognitivo (termo utilizado pelos autores para referir ao maior envolvimento cognitivo advindo da realização de tarefas motoras mais complexas) durante a realização do exercício aeróbio. Assim, atividades aeróbias que contemplem maior envolvimento cognitivo exerceriam efeito ainda maior na consolidação da memória motora, como os próprios achados do estudo apontam.

Por fim, parece que o exercício aeróbio influencia na consolidação da memória procedimental por mecanismos implícitos (MANG et al., 2014). Sendo que, não há relação entre estados de fadiga advindos do exercício aeróbio sobre a aprendizagem implícita dos indivíduos (MASTERS; POOLTON; MAXWELL, 2008; POOLTON; MASTERS; MAXWELL, 2007). Por outro lado, em processos explícitos, a fadiga pode vir a prejudicar a aprendizagem motora (MASTERS; POOLTON; MAXWELL, 2008; POOLTON; MASTERS; MAXWELL, 2007). Há, todavia, achados que não corroboram com esta perspectiva, uma vez que a realização de exercício aeróbio não ocasionou efeitos diferentes na aprendizagem implícita segundo o estudo de Mang e colaboradores (2016) e de Baird e colaboradores (2018).

Segundo Mang e colaboradores (2016) esta discrepância em relação ao efeito do exercício aeróbio na aprendizagem implícita talvez seja explicada em função das características da tarefa a ser aprendida. Isto porque tem sido identificado que o efeito do exercício aeróbio se dá com maior ênfase em tarefas contínuas e em aspectos temporais (mais dependentes de circuitos cerebelares). Já para tarefas seriadas (mais

dependente de núcleos da base) o efeito do exercício aeróbio sobre a aprendizagem motora ainda é controverso. Assim sendo, justifica-se a continuação da investigação deste fenômeno para melhor compreensão de seus efeitos.

2.4.2 – Efeitos do exercício aeróbio no desempenho e aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC.

Na literatura, desde o início dos anos 2000, há evidências crescentes de que o exercício aeróbio é uma intervenção não medicamentosa importante para a saúde de indivíduos pós-AVC, levando-se em conta seu efeito positivo sobre a saúde cardiovascular, junto a prevenção de fatores de risco e da recorrência de novos eventos cerebrovasculares (BILLINGER et al., 2014). No entanto, a intenção de utilizá-lo como um mediador para facilitar a aquisição de habilidades motoras nestes pacientes é recente (HASAN et al., 2016; MANG et al., 2013).

Neste sentido, é conveniente analisar criticamente os efeitos do exercício aeróbio sobre a aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC, uma vez que se sabe que os resultados consistentes observados em sujeitos neurologicamente saudáveis não se estendem para indivíduos pós-AVC (TORRIANI-PASIN; BONUZZI; FREUDENHEIM, 2016). Exemplo disto pode ser o fato de não serem encontrados aumento da excitabilidade cortical após a realização de exercício aeróbio em indivíduos pós-AVC, como se demonstra em indivíduos saudáveis (MADHAVAN; STINEAR; KANEKAR, 2016; MURDOCH; BUCKLEY; MCDONNELL, 2016). Esta condição pode fazer com que indivíduos pós-AVC sejam menos responsivos a neuromodulação induzida pelo exercício físico.

Todavia, achados comportamentais parecem identificar efeitos positivos da prática de exercício aeróbio no desempenho e aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC. Por exemplo, Ploughman e colaboradores (2008) investigaram os efeitos agudos de uma sessão de exercício aeróbio realizado em esteira com suporte parcial de peso sobre o desempenho de testes cognitivos e tarefas funcionais manuais desempenhadas com o membro superior parético. Participaram do estudo, com desenho metodológico *cross-over*, 21 indivíduos pós-AVC crônicos. O experimento foi dividido em 2 momentos em que os participantes eram avaliados em testes cognitivos e testes clínicos de função manual com realização de exercício aeróbio prévio e sem realização de exercícios. A prescrição de exercício aeróbio foi com intensidade de 70% da FC máxima em um volume de 20 minutos. Os resultados apontaram que o exercício aeróbio

foi capaz de melhorar o desempenho nos testes motores, mas não nos cognitivos. Interessantemente, houve uma correlação negativa entre aumento de intensidade do exercício aeróbio e desempenho motor.

Noutro estudo realizado por Quaney e colegas (2009) foram investigados os efeitos do exercício aeróbio sobre as funções executivas, desempenho motor e mobilidade em indivíduos pós-AVC. Participaram do estudo 38 indivíduos pós-AVC crônicos os quais foram divididos em 2 grupos. Os parâmetros de prescrição do treinamento foram: 3 vezes por semana, 45 minutos por dia, em um período de 8 semanas. Os grupos diferenciaram-se pela modalidade de exercício físico, promovida ao longo do experimento, sendo que o grupo exercício aeróbio realizou treinamento em bicicleta ergométrica em uma intensidade de 70% da FC máxima, já o grupo treinamento de força realizou exercício domiciliares com acompanhamento semanal monitorado por fisioterapeutas. Houve um pré-teste, um pós-teste e um seguimento em que foram realizadas avaliações cognitivas, motoras e de mobilidade. Foi verificado que dentre o pré-teste e o pós-teste o grupo que praticou exercício aeróbio demonstrou melhor desempenho em tarefas utilizando o membro superior mais comprometido. Tais tarefas possuíam demandas de memória implícita e de controle motor preditivo, no entanto, ao cessar o período de intervenção não houve manutenção dos efeitos.

De 2009 até 2016 não foram evidenciados na literatura estudos que investigaram os efeitos dos exercícios aeróbios na aquisição de habilidades motoras, aprendizagem implícita e formação de memórias em indivíduos pós-AVC. As razões para essa lacuna na literatura são desconhecidas. No entanto, especula-se que as pesquisas estavam voltadas para a identificação e explicação dos mecanismos básicos relativos à neuromodulação induzida pelo exercício (COTMAN; BERCHTOLD, 2002; COTMAN; BERCHTOLD; CHRISTIE, 2007; KNAEPEN et al., 2010; RASMUSSEN et al., 2009; WARRAICH; KLEIM, 2010). Estes mecanismos foram melhor investigados em modelos animais e em sujeitos neurologicamente saudáveis durante este período (HASAN et al., 2016; HEIJNEN et al., 2016; ROIG et al., 2016; SMITH et al., 2010).

Com isso, impulsionados pelas descobertas dos efeitos positivos sobre mecanismos de neuromodulação induzida pelo exercício, em 2017, Nepveu e colaboradores investigaram o efeito do exercício aeróbio intervalado de alta intensidade em parâmetros de mudanças neuroplásticas e na aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC. Vinte indivíduos pós-AVC crônicos foram divididos em 2 grupos: grupo

exercício que realizou exercício aeróbio intervalado de alta intensidade após a prática da tarefa, sendo adotados os seguintes parâmetros de prescrição: duração 15 minutos intervalando sprints de 3 minutos em alta intensidade (100% da carga relativa) e pausas ativas de 2 minutos de duração (25% da carga relativa) e um grupo controle (descanso após a prática). No 1º dia, os participantes realizaram um teste de VO₂máx, intercalado por análises da excitabilidade intracortical e corticoespinal da mão ipsilateral e da mão contralateral. No 2º dia, houve a prática de uma tarefa de computador em que os participantes deveriam através de preensão manual mover um cursor ao longo de um trajeto específico. Os participantes utilizaram o membro superior mais afetado para desempenhar a tarefa. A fase de aquisição foi composta de 5 blocos de 20 tentativas. No 3º dia, aplicou-se o teste de retenção composto por 1 bloco de 20 tentativas. Os resultados apontaram que o grupo submetido ao exercício apresentou melhor retenção e não houve relação da melhor retenção com os parâmetros de neuroplasticidade.

Impulsionados com os achados do efeito do exercício aeróbio à nível da excitabilidade cortical e à nível do comportamento motor, em populações saudáveis e neurológicas, alguns pesquisadores iniciaram investigações clínicas nesta temática.

Um destes estudos clínicos foi realizado por Linder e colaboradores (2019), com o intuito de investigar o efeito do exercício aeróbio (forçado ou voluntário) acrescido à terapia orientada à tarefa sobre a recuperação motora de indivíduos pós-AVC. Configura-se exercício aeróbio forçado a utilização de assistência mecânica acrescida a capacidade do indivíduo em realizar o exercício espontaneamente. Consegue-se, assim, alcançar uma taxa de exercício maior daquela utilizada naturalmente pelo indivíduo. Já o exercício aeróbio voluntário é aquele que o indivíduo consegue realizar utilizando-se exclusivamente de seus próprios recursos motores. Participaram do estudo 40 indivíduos, os quais foram divididos em três grupos: grupo exercício forçado + prática orientada à tarefa - n= 17; grupo exercício voluntário + prática orientada à tarefa - n= 20; grupo orientações educacionais + prática orientada à tarefa - n=11). O protocolo experimental ocorreu durante 8 semanas, 3 vezes por semana, com sessões de 90 minutos no total. Houve avaliações cegas (escala de Fugl-Meyer e Wolf Motor Function Test) nos períodos pré-intervenção, pós-intervenção e seguimento de 4 semanas. O protocolo de exercício foi realizado em ciclo-ergômetro, em um volume de 45 minutos (5 minutos de aquecimento, 35 minutos de exercício e 5 minutos de volta à calma), em uma intensidade de 60% a 80% da FC de reserva. O grupo exercício forçado recebeu a assistência mecânica de 30% na sua capacidade de

pedalar. O protocolo de intervenção orientada à tarefa foi baseado em tarefas funcionais, em que se praticavam de 5 a 7 tarefas por sessão, sendo realizado em média 70 a 100 repetições cada tarefa. O grupo orientações educacionais participou de aulas relativas à reabilitação pós-AVC em um período e duração pareado com os grupos exercícios. Os resultados apontaram que todos os grupos obtiveram melhora na Escala de Fugl Meyer, porém o grupo exercício forçado mostrou ser superior. Para o Wolf Motor Function Test observou-se que os grupos melhoraram ao longo da intervenção, contudo apenas o grupo forçado manteve essa melhora no seguimento. De forma interessante, não foi observada diferença significativa na FC média durante as intervenções de exercício forçado e voluntário.

Outro ensaio clínico controlado aleatorizado cego foi desenvolvido por Valkenborghs e colaboradores, sendo publicado primeiramente o protocolo que foi utilizado (VALKENBORGHs et al., 2017) e, posteriormente, sendo realizado um estudo piloto/ série de casos (VALKENBORGHs et al., 2018).

Assim, o estudo que já estaria na fase 3 (viabilidade) foi publicado em 2019 (VALKENBORGHs et al., 2019), objetivando investigar a viabilidade do exercício aeróbio acrescido à intervenção de prática orientada à tarefa em comparação à intervenção de prática orientada à tarefa sozinha sobre a recuperação da função motora do membro superior parético de indivíduos pós-AVC. Participaram deste estudo 20 indivíduos pós-AVC crônicos, os quais compuseram dois grupos: grupo exercício aeróbio + prática orientada à tarefa ($n = 9$) e grupo controle (prática orientada à tarefa somente) ($n = 11$). A intervenção teve duração de 10 semanas, havendo 3 sessões por semana. Houve avaliações pré-intervenção, pós-intervenção e seguimentos de 1 e 6 meses após o término da intervenção. O protocolo de exercício aeróbio ocorreu um ciclo-ergômetro anteriormente à intervenção motora. O exercício aeróbio foi intervalado (4 minutos de estímulo intenso e 4 minutos de recuperação) até totalizar o tempo total de 30 minutos. Os estímulos intensos foram realizados em 85% da FC máxima e os de recuperação foram realizados em 70% da FC máxima. O protocolo de prática orientada à tarefa se deu com o intuito de dispor de 100 a 300 repetições de tarefas funcionais manuais, as quais contabilizaram 30 minutos com acompanhamento do terapeuta e 30 minutos em prática domiciliar. As medidas de desfecho primário foram o Action Research Arm Test e o Wolf Motor Function Test, como medida de desfecho secundário utilizou-se a Motor Activity Log. Foi analisada a aceitabilidade dos pacientes ao programa, BDNF, VO_{2max} e níveis de fadiga. Por se tratar de um estudo

de viabilidade houve apenas análise descritiva dos dados. Os achados demonstraram que os indivíduos pós-AVC apresentaram aceitabilidade ao exercício físico. Verificou-se que os indivíduos que realizaram exercício desempenharam menores repetições durante a intervenção devido à fadiga. Além disso, observou-se que ambos os grupos melhoraram seu desempenho nas medidas de desfecho primário, mas apenas o grupo controle manteve no seguimento a melhora no Wolf Motor Function Test. Uma das adaptações que os autores sugeriram para a continuação na fase 4 foi a modificação da ordem do exercício em relação à prática, para a fadiga não atrapalhar o desempenho motor subsequente.

Para a melhor compreensão dos estudos que buscaram investigar o efeito do exercício aeróbio no desempenho, aprendizagem motora e na reabilitação de indivíduos pós-AVC desenvolveu-se a tabela 3. A análise em conjunto dos achados referentes a estes estudos foi alocada após a tabela.

Tabela 3: Principais características e resultados dos estudos que investigaram o efeito do exercício aeróbio sobre o desempenho, aprendizagem e recuperação motora de indivíduos pós-AVC.

Autor e Ano	Objetivo	Participantes	Tarefa	Delineamento	Parâmetro de Prescrição do Exercício	Resultados
Ploughman e colaboradores (2008)	Investigar o efeito agudo do exercício aeróbio sobre o desempenho de tarefas cognitivas e tarefas motoras desempenhas com o membro superior parético	21 indivíduos pós-AVC crônicos	TMT, SDST, PASAT, ARAT	Modelo: <i>Cross-over</i> , duas condições (com e sem realização de exercício). Os indivíduos desempenharam a tarefa em questão, após realizavam exercício ou descanso, e logo em seguida desempenhavam novamente o instrumento de avaliação. <i>Whashout</i> : 7 a 10 dias.	Tipo: Esteira com suporte parcial de peso, Intensidade: 70% da FCmáx, Volume: 20 min, Condição: Contínuo	Observou-se que na condição exercício aeróbio o desempenho motor apresentou melhora após realização de exercício aeróbio. O exercício aeróbio não gerou efeito sobre a cognição. Houve correlação negativa entre intensidade do exercício e desempenho motor.
Quaney e colegas (2009)	Investigar os efeitos de um programa de exercício aeróbio sobre as funções executivas, desempenho motor e mobilidade de indivíduos pós-AVC	38 indivíduos pós-AVC crônicos	WCST, TMT, TTRS, PGFM, FM, BERG, TUG	Modelo medidas repetidas, formação de 2 grupos: Grupo Exercício Aeróbio e Grupo Exercício de Força Domiciliar. Houve avaliações pré-intervenção, pós-intervenção e seguimento de 8 semanas após o fim da intervenção.	Tipo: Ciclo-ergômetro Intensidade: 70% FCmáx. Volume: 45 minutos, 3x /semana. Condição: Contínuo Duração do programa: 8 semanas.	O exercício aeróbio induziu melhora do desempenho para tarefas funcionais de membro superior. Contudo estes efeitos não perduraram no seguimento. Não houve efeito do exercício aeróbio sobre as funções executivas. O exercício aeróbio induziu efeitos positivos sobre a mobilidade e equilíbrio.

Nepveu e colaboradores (2017)	Investigar o efeito do exercício aeróbio na excitabilidade cortical e na aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC	20 indivíduos pós-AVC crônicos	Tarefa de rastreamento com preensão manual	Modelo: Medidas repetidas, formação de 2 grupos: Grupo Exercício (Prática + HIIT) e Grupo Controle (Somente Prática). Delineamento: No primeiro dia os participantes realizaram um teste de VO ₂ máx em que foi analisada a atividade cortical antes e após utilizando-se EMT. No segundo dia houve a prática da tarefa composta por 5 bloco de 20 tentativas, e após exercício ou descanso. No terceiro dia foi realizado o teste de retenção composto por 1 bloco de 20 tentativas.	Tipo: Ciclo-ergômetro de MMSS e MMII simultaneamente. Intensidade: Intenso – 100% carga relativa, Recuperação – 25% carga relativa. Volume: 15 minutos total (intervalando 3 minutos intenso, 2 minutos recuperação). Condição: HIIT	O grupo exercício obteve melhor desempenho na retenção se comparado ao grupo controle. Não houve correlação entre aprendizagem motora e parâmetros corticais.
Linder e colaboradores (2019)	Investigar o efeito do exercício aeróbio (forçado ou voluntário) na recuperação motora de indivíduos pós-AVC	40 indivíduos pós-AVC crônicos	Estudo clínico – Intervenção: Prática Orientada à Tarefa	Modelo: Ensaio controlado aleatorizado cego. Formação de 3 grupos: (exercício forçado + intervenção, exercício voluntário + intervenção, Orientação educacional + intervenção). Delineamento: 8 semanas, 3 vezes por semana, 90 minutos por sessão. Avaliação com FM e WMFT pré-intervenção, pós-intervenção e seguimento de 4 semanas.	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade 60% a 80% da FC de reserva, Volume: 45 minutos, Condição: Contínuo Forçada (30% de vantagem mecânica individualizada) Contínuo Voluntário (sem auxílio mecânico).	O Grupo Exercício Forçado apresentou melhor recuperação motora na FM e obteve melhor seguimento na WMFT.

Valkenborhs e colaboradores (2019)	Analisar a viabilidade do exercício aeróbio acrescido à intervenção de prática orientada à tarefa sobre a recuperação motora do membro parético de indivíduos pós-AVC	20 indivíduos pós-AVC crônicos	Estudo Clínico-Intervenção Prática Orientada à Tarefa	Modelo: Ensaio Controlado Aleatorizado Cego. Formação de 3 grupos (Grupo exercício aeróbio + Intervenção e Grupo Controle (Somente Intervenção)). Delineamento: 10 semanas, 3x/ semana. O exercício foi realizado anteriormente às intervenções realizadas com o terapeuta. A intervenção se deu 30 minutos com a presença do terapeuta e 30 minutos na residência do paciente. Houve avaliações pré, pós, e seguimento de 1 e 6 meses. Medidas de desfecho primário: WMFT e ARAT, Desfecho Secundário: avaliações de aderência, fadiga e avaliações motoras.	Tipo: Ciclo-ergômetro, Intensidade: Intenso – 85% FC _{máx} , e Recuperação – 70% Fc _{máx} . Volume: estímulos intercalados de 4 minutos, total: 30 minutos. Condição: HIIT	Os resultados demonstraram que ambos os grupos melhoraram seu desempenho nas medidas de desfecho primário. Contudo, o Grupo Controle manteve a melhora nos seguimentos. O Grupo Exercício foi prejudicado pela fadiga, realizando menor número de repetições durante à intervenção.
------------------------------------	---	--------------------------------	---	---	--	---

Legenda: Acidente Vascular Cerebral (AVC), Frequência Cardíaca (FC), Trail Making Tests (TMT) Symbol Digit Substitution Test (SDST), Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT), Action Research Arm Test (ARAT), Wisconsin Card Sorting Task (WCST), Trail-Making Task (TMT), Tarefa de Tempo de Reação Seriado (TTRS), Predictive Grip Force Modulation (PGFM), Escala de Fugl-Meyer (FM), Escala de Equilíbrio de Berg (BERG), Timed Up and Go (TUG), High Intensity Interval Training (HIIT), Volume Máximo de Oxigênio (VO₂ máx), Estimulação Magnética Transcraniana (EMT), Membros Superiores (MMSS), Membros Inferiores (MMII), Escala de Fugl Meyer (FM), Wolf Motor Function Test (WMFT), Action Research Arm Test (ARAT).

Levando em consideração os resultados em conjunto pode-se perceber que o exercício aeróbio promove melhora do desempenho motor de indivíduos pós-AVC quando realizado em intensidade moderada (exemplo: 70% da FC máxima) como apontam os estudos de Ploughman e colaboradores (2009) e Quaney e colaboradores (2009). Estes achados tornam-se especiais, uma vez que impulsionam investigações de caráter clínico que possivelmente podem trazer benefícios à recuperação funcional destes pacientes, como aponta o estudo de Linder e colaboradores (2019).

Pode-se notar que indivíduos pós-AVC parecem ter seu desempenho prejudicado quando a atividade é realizada de maneira intensa anteriormente à prática (VALKENBORGHS et al., 2019). Deste modo, estratégias que auxiliem mecanicamente o movimento talvez sejam interessantes para melhor regular o exercício as dificuldades motoras destes pacientes (LINDER et al., 2019). Ainda, mesmo diante de relatos de fadiga considerada, a realização de exercício aeróbio pode ser considerada viável e aceitável pelo ponto de vista destes indivíduos (VALKENBORGHS et al., 2019).

Em relação aos efeitos do exercício aeróbio na aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC especificamente, somente o estudo de Nepveu e colaboradores (2017) abordou esta temática. Sendo que os achados apontam para o potencial do exercício aeróbio em propiciar efeito neuromodulador capaz de influenciar positivamente a aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC. Todavia, a melhor retenção do grupo exercício em relação ao grupo controle não foi relacionada com os parâmetros de neuroplasticidade, o que não permite relacionar a melhor condição de aprendizagem à mecanismos de potenciação de longo prazo. Com isso, os mecanismos neurobiológicos induzidos pelo exercício aeróbio que podem influenciar a aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC ainda são desconhecidos, cabendo apenas suposições baseadas nos achados de indivíduos neurologicamente saudáveis.

Ao se analisar os resultados destas pesquisas sugere-se que o exercício aeróbio pode promover ambiente neuromodulatório favorável aos processos de codificação da memória motora, uma vez que há relatos de que a realização de exercício aeróbio previamente à prática propiciou melhora do desempenho (PLOUGHMAN et al., 2008), sendo necessário o controle da intensidade do exercício para a não promoção de efeitos deletérios da fadiga sobre o desempenho (VALKENBORGHS et al., 2019). Além disso, aparentemente, a realização do exercício aeróbio posteriormente à prática impacta positivamente a consolidação da memória motora de indivíduos pós-AVC (NEPVEU et

al., 2017). Assim sendo, estes achados em conjunto corroboram com a premissa de que os efeitos do exercício aeróbio sobre o processo de criação da memória motora são momento-dependentes (ROIG et al., 2016) e que, talvez, esta premissa seja generalizável à população pós-AVC.

Levando em consideração a necessidade da continuação das investigações nessa área. Identificou-se que até o presente momento não houve a investigação do efeito do exercício aeróbio sobre a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC, especificamente. Tal temática justifica-se pois sabe-se que indivíduos pós-AVC tendem a apresentar taxas de aprendizagem inferiores se comparados a indivíduos neurologicamente saudáveis (BOYD et al., 2009; BOYD; WINSTEIN, 2003, 2004a, 2004b, 2006; DIRNBERGER; NOVAK; NASEL, 2013; ORRELL et al., 2007; POHL et al., 2006; SIENGSAKON; BOYD, 2009b; VAKIL et al., 2000). E, isto deriva-se de déficits em mecanismos relativos a codificação e/ou consolidação da memória motora, levando a dificuldade na automatização do movimento (BOYD et al., 2009; KAL et al., 2016a; ORRELL; MASTERS; EVES, 2009).

Assim, criou-se a hipótese de que o exercício aeróbio poderia ser um agente neuromodulador que facilitasse os processos de codificação e consolidação da aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC, como já demonstrado em indivíduos neurologicamente saudáveis (MANG et al., 2016b). Além disso, adicionamos a hipótese de que estes efeitos pudessem ser momento-dependentes. Ou seja, esperava-se melhor codificação da representação implícita quando o exercício aeróbio fosse realizado imediatamente antes da prática, o que resultaria em um melhor desempenho durante a fase de aquisição. Por outro lado, quando o exercício aeróbio fosse realizado posteriormente à prática esperava-se uma melhoria dos processos de consolidação da memória motora, que proporcionaria melhor desempenho no teste de retenção. Neste sentido, as perguntas desta tese foram: O exercício aeróbio influencia a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC? Estes possíveis efeitos neuromoduladores são momento-dependentes?

Portanto, o objetivo desta tese foi investigar o efeito do exercício aeróbio sobre a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC. Pretendeu-se, mais especificamente, investigar os efeitos do momento de realização do exercício aeróbio (imediatamente antes e imediatamente depois da prática) sobre os processos de codificação e consolidação da memória implícita destes indivíduos.

3 - MÉTODO

3.1 - LOCAL

Este estudo foi realizado na Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, no Laboratório de Comportamento Motor. Todas as etapas procedimentais que caracterizam o estudo apenas foram realizadas após a aprovação do projeto de pesquisa no Comitê de Ética e Pesquisa da referida instituição (nº CAAE 03499218.1.0000.5391) – APÊNDICE A. Todos os participantes receberam informações detalhadas dos procedimentos adotados no experimento e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – ANEXO 1.

3.2 - AMOSTRA

Para o cálculo amostral do presente projeto foi utilizado o software G*Power3 (FAUL et al., 2007). Neste sentido, o cálculo estimando-se um tamanho de efeito de 0.40 $\alpha = 0,05$, e um poder de $0,80$ indica um número de 12 pacientes por grupo. Foram recrutados 15 sujeitos a fim de se obter suficiência na coleta dos dados, os quais foram selecionados de acordo com os seguintes critérios de elegibilidade.

Como critérios de inclusão: 1 – Diagnóstico de AVC isquêmico e/ou hemorrágico, 2 – Tempo de lesão superior a 6 meses (BERNHARDT et al., 2018), 3 – Ser destro anteriormente ao AVC, segundo o questionário de dominância manual de Edimburgo (OLDFIELD, 1971), 4 – pontuação maior ou igual a 21 na Montreal Cognitive Assessment (MoCA) (NASREDDINE et al., 2005), 5 – Liberação médica para realização de atividades físicas de moderada intensidade derivada de ergoespiometria de esforço, 6 – Acuidade visual satisfatória para realização da tarefa, podendo ser utilizadas lentes corretivas, 7 – Compreensão da tarefa e do objetivo a ser alcançado com a prática.

Já para critérios de exclusão foram utilizados: 1 – Outras doenças neurológicas associadas, tais como: doença de Parkinson, doença de Alzheimer e dor neuropática, 2- Lesão cerebral bilateral (em ambos hemisférios) comprovada por neurologista ou exame de neuroimagem, 3 – Heminegligência espacial, detectada pelo teste de cancelamento de estrelas (HALLIGAN; COCKBURN; WILSON, 1991), 4- Ausência de 2 vezes ou mais nos dias pré-determinados para os procedimentos experimentais do estudo, 5 – Participação em programas de condicionamento físico durante as fases do protocolo

experimental, 6 – Ingestão de bebidas alcoólicas ou drogas psicoativas durante a execução do protocolo experimental, 7 – Depressão, detectada pelo Questionário de Depressão de Beck (BECK; STEER; BROWN, 1996).

Por fim, foram coletadas as seguintes informações de caracterização da amostra a fim de garantir homogeneidade de covariáveis: 1 – Questionário Internacional de Atividade Física (IPAC) (MATSUDO et al., 2012), 2 - Escala de Fugl-Meyer (FUGL-MEYER) (MAKI et al., 2006), 3 - Informações clínicas e sócio-demográficas, como: Idade (meses), sexo, tempo de lesão (meses), lado da lesão, tipo de AVC e nível de escolaridade (anos).

3.3 - TAREFA

A tarefa utilizada foi o TTRS, mencionada no subcapítulo “Avaliando a aprendizagem implícita de habilidades motoras”. A tarefa utilizada neste experimento foi embasada na tarefa utilizada no estudo clássico de Nissen e Bullemer (1987). No presente estudo, a TTRS foi desenvolvida utilizando-se o software GNU/Octave e o toolbox Psychtoolbox, os quais permitiram a programação da tarefa e a respectiva aquisição de dados com precisão de milésimos de segundo (KLEINER; BRAINARD; PELLI, 2007). Os respectivos softwares foram utilizados em um sistema operacional Linux, Ubuntu 16.04.

Para a apresentação dos estímulos visuais foi utilizada uma tela LCD (*Liquid Crystal Display*) de 22” – com taxa de atualização de 120 Hz e resolução de 1680 x 1050 pixels. O participante sentou-se em uma cadeira e em sua frente foi posicionada a tela sobre uma mesa de madeira. Este posicionamento foi realizado de modo a dispor a tela na altura dos olhos do participante, sendo adotada uma distância de aproximadamente 60 centímetros entre o rosto do participante e a tela LCD, conforme ilustra a figura 2 e conforme pode ser verificado na figura 3.

Figura 2: Representação da TTRS e do posicionamento do participante em relação ao equipamento.

Figura 3: Registro fotográfico de um participante do estudo desempenhando a TTRS.

Na tela foram dispostos 4 estímulos visuais, os quais possuíam um formato quadrado de 5 x 5 cm. Estes estímulos foram preenchidos pela cor verde individualmente em uma condição pré-determinada. Quando isto ocorreu, o participante deveria pressionar a tecla correspondente ao estímulo o mais rapidamente possível. Após essa ação, outro dos 4 estímulos foi preenchido pela cor verde, exigindo do participante o pressionamento de outra tecla correspondente. O preenchimento do próximo estímulo em verde somente ocorria quando a tecla correta foi pressionada. Desta forma, denominou-se 1 tentativa a condição de 9 apresentações consecutivas de estímulos visuais com as suas correspondentes respostas motoras.

A correspondência correta entre o estímulo visual e a resposta motora foi: para o estímulo visual lateralizado à esquerda deveria ser pressionado a tecla 1, para o estímulo centralizado à esquerda deveria ser pressionada a tecla 2, para o estímulo centralizado à direita deveria ser pressionado a tecla 3, e para o estímulo lateralizado à direita deveria ser pressionado a tecla 4, conforme é verificado na Figura 2.

Para a devida compreensão da dinâmica da tarefa a imagem presente na Figura 4 (impressa no tamanho de uma folha de sulfite A4) foi apresentada ao participante.

Figura 4: Imagem utilizada para a instrução da dinâmica da tarefa para o participante.

No momento de apresentação da imagem foi oferecido a seguinte instrução:

- “Esta é a tarefa que vamos propor para você aprender. Você deverá pressionar a tecla 1 quando esta *“indicação do estímulo lateralizado à esquerda”* acender. Quando esta *“indicação do estímulo centralizado à esquerda”* acender você deverá pressionar a tecla 2. Quando esta *“indicação do estímulo centralizado à direita”* acender você deverá pressionar a tecla 3. E, quando esta *“indicação do estímulo lateralizado à direita”* acender você deverá pressionar a tecla 4. Você irá desempenhar a tarefa com a mão que sente mais facilidade para isto. Sendo que você deverá pressionar a tecla 1 com o dedo indicador (no caso da mão direita) / com o dedo mindinho (no caso da mão esquerda), a tecla 2 com o dedo do meio (no caso da mão direita) / com o dedo anelar (no caso da mão esquerda), a tecla 3 com o dedo anelar (no caso da mão direita) / com o dedo do meio (no caso da mão esquerda) e a tecla 4 com o dedo mindinho (no caso da mão direita) / com o dedo indicador (no caso da mão esquerda). Quando você pressionar a tecla correta, que é correspondente ao estímulo,

outro quadrado se acenderá, e você deve apertar a outra tecla correspondente. Portanto, o seu objetivo é pressionar a tecla correspondente ao estímulo o mais rápido possível ao longo de toda a tentativa.”

Para uma melhor compreensão da dinâmica da tarefa pode-se verificar um vídeo explicativo no link: <https://figshare.com/s/5f1cc69e1c8780cb3ee1>.

3.4 - DELINEAMENTO

Todos os participantes foram avaliados por meio das medidas de caracterização e foram checados os critérios de elegibilidade. Os sujeitos que preencheram os critérios de elegibilidade foram convidados a participar do estudo e todas as informações acerca da pesquisa foram fornecidas. Em seguida, os sujeitos ou seus responsáveis legais assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (vide anexo 1).

Após esta fase, os participantes foram divididos em 3 grupos. Para isso, utilizou-se o processo de randomização estratificada considerando a mão menos afetada pelo AVC. Assim, anteriormente à randomização houve a estratificação dos sujeitos que iriam realizar a tarefa com o membro direito e com o membro esquerdo. Após isto, o processo de randomização para os grupos foi realizado dentro de cada estrato (direita e esquerda, no caso). Este tipo de estratégia de randomização é realizada quando o pesquisador deseja o controle de vieses e/ ou covariáveis que podem vir a influenciar a validade interna do experimento (KANG; RAGAN; PARK, 2008). No caso de nosso estudo, dado que todos os indivíduos eram destros anteriormente à lesão, esta estratégia nos permitiu reduzir o efeito da dominância manual sobre o desempenho na TTRS.

Deste modo, os indivíduos foram alocados nos 3 grupos como consta no fluxograma apresentado na Figura 5, a considerar:

Grupo Controle (GC), o qual apenas praticou a tarefa proposta, não realizando exercício aeróbio;

Grupo Exercício Antes (GEA), o qual participou de sessões de exercício aeróbio contínuo anteriormente a prática da tarefa proposta e,

Grupo Exercício Depois (GED) que praticou sessões de exercício aeróbio nas mesmas condições que o GEA, contudo realizou o exercício imediatamente depois das sessões de prática.

Figura 5: Fluxograma dos participantes nas fases do estudo.

No início do delineamento experimental o indivíduo recebeu instruções sobre a dinâmica envolvida para o desempenho da tarefa, como foi mencionado no subcapítulo anterior. Após esta instrução, o participante desempenhou 3 tentativas de familiarização com a tarefa, em que houve a apresentação de estímulos pseudoaleatórios (não houve pressionamento de teclas consecutivos).

Em seguida, o participante foi submetido a 3 dias de prática seguidos por 1 teste de retenção após 1 semana. Este delineamento é similar aos estudos que investigaram a aprendizagem implícita em indivíduos pós-AVC (BOYD; WINSTEIN, 2001, 2006; POHL et al., 2006), e tem-se mostrado consistente para este tipo de

investigação nesta população, o que permite a comparação dos nossos achados com os existentes na literatura.

Com isto, em cada dia da fase de aquisição o participante foi submetido à 7 blocos de 6 tentativas cada. Os blocos foram configurados em sequências pseudoaleatórias e em sequências repetidas (em todos os casos não houve estímulos que repetidos no mesmo local). Passados os 3 dias de prática, houve um teste de retenção após 1 semana, em que os participantes desempenharam 1 bloco de prática composto por 6 tentativas de sequência repetida, sendo composto pela mesma sequência repetida utilizada durante toda a fase de aquisição (teclas em sequência: 2, 4, 1, 2, 3, 4, 3, 1, 2). Para todo o delineamento experimental, o participante desempenhou a tarefa com o membro superior menos afetado.

Durante a fase de aquisição, o GC participou das sessões de prática exclusivamente. Os sujeitos do GEA e GED participaram de sessões de exercício aeróbio em cicloergômetro, realizadas antes e depois da prática, respectivamente. A prescrição do exercício aeróbio foi baseada nos parâmetros de Saunders e colaboradores (2016), sendo adotada a intensidade de 70% da FC de reserva e o volume das sessões de treinamento fixado em 20 minutos por dia. Todos os indivíduos foram orientados a se manterem entre 7 e 8 na Escala modificada de 0 à 10 de Percepção Subjetiva de Esforço de Borg (KENDRICK; BAXI; SMITH, 2000).

Para o cálculo da FC de reserva utilizou-se a fórmula de Karvonen, a considerar: $FC \text{ de treino} = FC \text{ de repouso} + 0,7 ((220 - \text{idade}) - FC \text{ de repouso})$. Para os indivíduos que utilizavam betabloqueador a FC de treino foi ajustada pela seguinte fórmula: $\% FC \text{ a corrigir} = Y + 95,58 / 9,74$. Onde, Y é a dosagem em mg de propranolol utilizada.

Para todas as sessões de treinamento foram registradas a FC máxima atingida durante o exercício, e a FC média ao longo da sessão de treinamento. Todas as inferências sobre FC foram realizadas utilizando-se um monitor cardíaco da marca Polar®, modelo A300.

Para evitar que as inferências sobre a consolidação da memória fossem influenciadas pela excitação promovida pelo exercício aeróbio, não houve realização de exercício aeróbio anteriormente aos testes de retenção, somente nos dias destinados à prática. Na Figura 6, podem ser verificadas as principais características do delineamento experimental, bem como a disposição dos blocos com sequências pseudoaleatórias e repetidas ao longo dos dias e os blocos de interesse para análise.

Figura 6: Principais características das condições de prática e momento de realização de exercício aeróbico em função de cada grupo.

Foi solicitado aos participantes que não participassem de programas de exercício físico durante todo o delineamento experimental, e que evitassem o consumo de bebidas psicoativas, como café e energéticos, além de bebidas alcoólicas.

Ao longo de todo o experimento, independentemente do grupo, não foi oferecido conhecimento declarativo sobre a existência da sequência repetida. Ao término do experimento, foi avaliada a subjetividade e a possibilidade de reconhecimento da sequência repetida. Assim, foi reproduzida a avaliação de conhecimento declarativo existente no estudo de Boyd e Winstein (2006), como consta na Figura 7:

Condição do Teste Explícito	Teste de Avaliação Explícita
Consciência Subjetiva	<p>Você notou algo sobre a tarefa?</p> <p style="text-align: right;">Se sim, Do que se trata isso?</p> <p style="text-align: right;">Se não, Havia sequências repetidas, você consegue me dar alguma informação sobre isso?</p>
Reconhecimento da memória	<p>Veja estas 3 sequencias de números:</p> <p style="text-align: right;">Esta foi a sequência que você reconheceu?</p> <p>1 – Verdadeira 2 – Falso</p>

Figura 7: Testes de conhecimento declarativo inspirados na avaliação proposta no estudo de Boyd e Winstein (2006).

3.5 – VARIÁVEIS DEPENDENTES

Para a análise as seguintes variáveis advindas do desempenho dos participantes foram utilizadas:

1 – Tempo de resposta absoluto: Soma do tempo de resposta (Tempo de reação + tempo de movimento) dos nove elementos que compuseram uma tentativa. Esta variável nos permitir avaliar o tempo de resposta absoluto do desempenho e foi utilizada na análise do aperfeiçoamento em relação à aprendizagem específica (sequencias repetidas) e para a aprendizagem não específica (sequencias pseudorrandômicas).

2 – Tempo de resposta diferencial: Diferença entre a soma do tempo de resposta da sequência repetida e a soma do tempo de resposta da sequência pseudorrandômica (Repetido – Pseudorrandômica). Esta variável foi utilizada para avaliar a aprendizagem implícita, sendo que os valores negativos da subtração representam aprendizagem implícita.

3 – Tempo de resposta por elemento individual: Tempo de resposta de cada um dos nove elementos que compuseram a sequência. Com esta variável foi avaliado a formação de *chunkings* na sequência repetida, como previamente realizado por Boyd e colaboradores (2009).

4 – O conhecimento declarativo foi avaliado pelo número de pessoas que identificaram a sequência repetida e o número de pessoas que reconheceram a sequência repetida.

3.6 - TRATAMENTO DOS DADOS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para o tratamento matemático e análise estatística dos dados foram utilizados os programas STATISTICA 11.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA) e Microsoft Excel 365. Foi adotado o nível de significância de 5% para as análises inferenciais.

Inicialmente, foi realizada a análise descritiva das variáveis de caracterização da amostra (idade (anos), sexo, tempo de lesão (meses), tipo de AVC, FUGL-MEYER, MOCA, nível de escolaridade (anos) e IPAC). Para verificar a homogeneidade das covariáveis (FUGL-MEYER, MOCA, idade, nível de escolaridade e tempo de lesão) dentre os grupos foi realizada uma ANOVA *one way*, seguido do post hoc de Fisher.

Para verificar se os grupos GEA e GED realizaram exercício em uma intensidade parecida, realizou-se um teste T entre os grupos, confrontando a FC média e a porcentagem média da FC de reserva.

Após, foi averiguada a normalidade e homogeneidade das variáveis dependentes por meio dos testes de Shapiro Wilk e Levene, respectivamente. Foram observados nestas análises os pressupostos paramétricos. As tentativas que excederam dois desvios padrão da média foram excluídas da análise.

Nas próximas descrições de análise foram atribuídas siglas representativas dos blocos que foram comparados (exemplo: B2, B8, RT). A ordem dos blocos e suas respectivas siglas podem ser verificados na Figura 6.

Como o objetivo desta tese foi investigar o efeito do exercício aeróbio sobre aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC. Optou-se por primeiramente averiguar se os participantes do estudo aprenderam a tarefa implicitamente, para somente após esta constatação ser analisado o efeito do exercício aeróbio (e seus momentos de realização em relação à prática) sobre a aprendizagem implícita. Assim, a princípio reunimos todos os participantes em um único grupo, e realizamos as seguintes análises:

Para averiguar se os participantes demonstraram melhora do desempenho em relação à aprendizagem específica (sequências repetidas) foi realizado uma ANOVA *one way* seguida do *post hoc* de Fisher comparando a média do tempo de resposta absoluto dos blocos (B2, B8, B9, B15, B16, B22 e RT) com os grupos analisados de forma agrupada. Também, para verificar se os participantes demonstraram melhoria de

desempenho relacionados à aprendizagem não específica (sequências pseudorrandômicas), independentemente do grupo, foi realizado uma ANOVA *one way* seguida do *post hoc* de Fisher comparando a média absoluta do tempo de resposta dos blocos (B3, B7, B10, B14, B17 e B21) com os grupos juntos.

Para investigar se os participantes demonstraram aprendizagem implícita, uma ANOVA *one way* seguida do *post hoc* de Fisher foi realizada comparando a média do tempo de resposta diferencial das diferenças entre os blocos (B2 – B3; B8 – B7; B15 – B14; B22 – B21; RT – B21).

Como constatou-se a aprendizagem implícita a partir da análise com todos os sujeitos em um único grupo. Sucedeu-se as análises relativas ao efeito do exercício aeróbio (e seu momento de realização em relação à prática) sobre a aprendizagem implícita.

Quanto ao mecanismo de codificação da aprendizagem implícita e os efeitos do exercício aeróbio e seu momento de realização em relação à prática foi analisada a média do tempo de resposta diferencial através de uma ANOVA *two way* (3 grupos x 4 momentos) seguido do *post hoc* de Fisher. Em que os grupos representaram o fator intergrupo (CG, GEA, GED) e as diferenças dos blocos representaram o fator intragrupo (B2 – B3, B8 – B7, B15 – B14, B22 – B21).

Para verificar os efeitos do exercício aeróbio e seu momento em relação à prática sobre o mecanismo de consolidação da aprendizagem implícita foi realizado uma ANOVA *one way* seguido pelo *post hoc* de Fisher comparando o tempo de reação diferencial (RT-B21) entre os grupos (CG, BEG AEG) no teste de retenção.

A fim de analisar a relação entre a aquisição do conhecimento declarativo e a aprendizagem implícita foi realizado um teste de correlação de Pearson, sendo verificado a correlação entre o número de pessoas que identificaram a sequência e o tempo de reação diferencial (RT – B21) no teste de retenção; e também a correlação entre o número de pessoas que reconheceram a sequência com o tempo de reação diferencial (RT – B21) no teste de retenção.

Por fim, objetivou-se também determinar o processo de formação de *chunkings* ao longo da prática em cada grupo utilizando a média do tempo de resposta absoluto e diferencial por elementos individuais das sequências. De acordo com Boyd e colaboradores (2009), primeiramente foram identificados potenciais *chunkings* através de uma análise de cluster hierárquica usando o método de Ward como link de agrupamento e o valor absoluto da correlação de Pearson como medida de similaridade.

Para as análises de cluster foi utilizado o tempo de resposta diferencial dos elementos individuais das sequências repetidas e pseudorrandômicas de cada participante, por grupo. Após, verificar se os *chunkings* encontrados representavam de maneira fidedigna o agrupamento funcional de elementos individuais, foram realizadas comparações com a média do tempo de resposta absoluto dos elementos individuais das sequências repetidas e pseudorrandômicas de interesse. Em ambas análises (cluster e teste T), as comparações de interesse foram: B2 e B3; B7 e B8; B14 e B15; B21 e B22; RT e B21.

Foi considerado *chunking* quando se identificou os seguintes aspectos: 1 – Link entre os elementos na análise de cluster, 2 – Diminuição do tempo de resposta do elemento interligado em uma unidade funcional (*chunking*), 3 – Aumento do tempo de resposta do elemento que precedeu o elemento interligado em uma unidade funcional. Este aumento do tempo de resposta do primeiro elemento representa o tempo de planejamento da sequência funcional em *chunking* (SAKAI; KITAGUCHI; HIKOSAKA, 2003), 4 – Diferença significativa ($p < .05$) entre o elemento da sequência repetida e seu correspondente da sequência pseudorrandômica (Teste T), 5 – Identificação por meio de análise exploratória que o dado absoluto do elemento em *chunking* esteve em um valor entre 200 milissegundos (tempo de reação simples) e 600 milissegundos (melhor tempo de resposta em elementos pseudorrandômicos em nosso experimento).

4 – RESULTADOS

4.1 – CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Na tabela 4 pode-se verificar a comparação entre GC, GEA e GED em relação as medidas de caracterização utilizadas neste estudo.

Tabela 4: Caracterização dos participantes do estudo.

	GC	GEA	GED
Informações Pessoais			
Idade (anos)	53.4 ± 15.1	51.66 ± 9.18	49.6 ± 15.86
Sexo	11 M / 4 F	9 M / 6 F	8 M / 7 F
Escolaridade (anos)	12.8 ± 2.07	10.8 ± 4.31	11.06 ± 3.95
Característica do AVC			
Tipo de AVC	12 I / 6 H	10 I / 5 H	12 I / 3 H
Tempo de lesão (meses)	109.6 ± 55.4	66.53 ± 35.88	89.8 ± 67.18
Topografia lesional	8 D / 7 E	8 D / 7 E	8 D / 7 E
Cognição			
MOCA (score)	23.4 ± 2.5	23.13 ± 1.99	23.4±2.06
Comprometimento funcional			
FUGL-MEYER (Score Total)	147.6 ± 30.4	167.66 ± 33.20	153.13 ± 27.66
FUGL-MEYER (Score MS)	31.6 ± 14.2	36.6 ± 13.56	33.33 ± 10.20
FUGL-MEYER (Classificação MS)	15 moderados	4 leves/ 11 moderados	1 leve/ 14 moderados
FUGL-MEYER (Score MI)	26.26 ± 3.47	25.9 ± 3.01	27.4 ± 2.72
FUGL-MEYER (Classificação MI)	3 leves / 13 moderados	5 leves / 10 moderados	3 leves / 12 moderados
Nível de atividade física			
IPAC - Classificação Muito Ativo	4	8	7
IPAC - Classificação Ativo	6	2	4
IPAC - Classificação Irregularmente Ativo A	2	2	1
IPAC - Classificação Irregularmente Ativo B	1	3	1
Sedentário	2	0	2

# de minutos de exercício físico intenso/ semana	127 ± 119.7	144 ± 127.88	149 ± 125.04
---	-------------	--------------	--------------

Legenda: GC – Grupo Controle, GEA – Grupo Exercício Antes, GED – Grupo Exercício Depois, M- Masculino, F – Feminino, AVC – Acidente Vascular Cerebral, I – Isquêmico, H – Hemorrágico, D – Direito, E – Esquerdo, MOCA – Montreal Cognitive Assessment, FUGL-MEYER – Escala de Fugl-Meyer, IPAC - International Physical Activity Questionnaire, # - número, MS – Membro superior, MI – Membro Inferior. Nota: Os dados são apresentados em média ± desvio padrão.

Para as medidas de caracterização que foram analisadas por meio do teste ANOVA one way não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes entre os grupos, garantindo a homogeneidade das seguintes covariáveis de interesse: idade [$F(2.42) = 0.28$; $p = .75$], tempo de lesão [$F(2.42) = 2.36$; $p = .10$], escolaridade [$F(2.42) = 1.37$; $p = .26$], MOCA [$F(2.42) = 0.09$; $p = .91$], minutos envolvidos em exercício intenso por semana [$F(2.42) = 0.12$, $p = .88$], Fugl-Meyer score total score [$F(2.42) = 1.72$, $p = .18$], Fugl-Meyer score membro superior (MS) [$F(2.42) = 0.09$, $p = .9$] e Fugl-Meyer score membro inferior (MI) [$F(2.42) = 1.05$, $p = .35$].

4.2 – INTENSIDADE DO EXERCÍCIO AERÓBIO

O teste T revelou que GED e GEA obtiveram valores similares da FC média [$p = .61$] e da porcentagem da FC de reserva média [$p = .58$]. Estes dados sugerem que a intensidade do exercício foi semelhante entre os grupos, o que garante que esta variável não tenha exercido influência na comparação dos achados entre os grupos.

A porcentagem da FC de reserva apresentou-se de modo que seis participantes (três no GEA e três no GED) atingiram a FC de treino de 70%. Além disso, um participante em cada grupo não foi capaz de atingir 50% da FC de reserva. Em ambos casos, os participantes completaram a sessão de exercício entre 45% e 47% da FC de reserva. Um participante no GEA e dois participantes no GED faziam uso de betabloqueadores, tendo suas FC de treino recalculadas. Os valores da FR média de cada grupo foram : GEA [$M = 118.3$; $DP = 16.59$], AEG [$M = 122.47$; $DP = 24.53$], os valores em relação a porcentagem da FC foram: GEA [$M = 62\%$; $DP = 0.07$] e GED [$M = 61\%$; $DP = 0.07$]. O gráfico referente à média da porcentagem da FC de reserva de cada indivíduos do GEA e do GED pode ser verificado na Figura 8.

Figura 8: Valor médio da porcentagem da FC de reserva atingida pelos indivíduos do GEA e do GED ao longo da realização das sessões de exercício aeróbio. Legenda: % - Porcentagem, GED – Grupo Exercício Depois, GEA – Grupo Exercício Antes. Nota: 1 - O gráfico expressa o valor da FC que deveria ser atingido por meio de uma linha tracejada. 2 – Os participantes que apresentam * frente à sua sigla representativa utilizavam betabloqueadores durante o período experimental. Para eles, a FC de reserva foi ajustada considerando a dosagem do medicamento.

4.3 – APRENDIZAGEM ESPECÍFICA E NÃO ESPECÍFICA

A primeira análise com todos os grupos juntos revelou que os participantes melhoraram seu desempenho relacionado à aprendizagem específica (sequência repetida) ao longo da prática [$F(0.44) = 36.16$, $p < .001$, Figura 9 – A]. Mais especificamente, os participantes demonstraram aperfeiçoamento do desempenho no primeiro dia [B2 e B8, $p < .001$], mantendo-o no segundo dia [B2 e B9, $p < .001$]. Ao longo do segundo dia também foi verificado melhora do desempenho [B9 e B15, $p < .001$]. Os participantes demonstraram um platô de desempenho no B15, que foi mantido no B16, B22 e no teste de retenção.

Também foi verificado que os participantes demonstraram melhora do desempenho relacionada à aprendizagem não específica [$F(0.44) = 6.79$, $p < .001$, Figura 9 – A]. Não foi identificada melhora do desempenho no primeiro dia, mas foi verificada diferença estatística significativa no segundo dia [B3 e B10, $p < .001$; B3 e B14, $p < .001$] e no terceiro dia da fase de aquisição [B3 e B10, $p < .001$; B3 e B14, $p < .001$].

Estas duas análises permitiram verificar que a quantidade de prática oferecida foi adequada, uma vez que houve aperfeiçoamento e consistência do desempenho ao longo da fase de aquisição, tanto para a aprendizagem específica quanto para a aprendizagem não específica. Além disso, a constatação de que houve melhora do desempenho não específico direcionou comparações mais coerentes para as inferências em relação à

aprendizagem implícita. Assim, a variável tempo de reação diferencial teve que ser obtida com a subtração dos últimos blocos (repetido e pseudorrandômico) de cada dia da fase de aquisição. Uma vez que houve melhora do desempenho da sequência repetida e pseudorrandômica ao longo da prática.

4.4 – APRENDIZAGEM IMPLÍCITA

Em nossa análise com todos os participantes agrupados em um único grupo foi identificado que houve aprendizagem implícita ao longo da prática [$F(0.44) = 12.26$, $p < .001$, Figura 9 – B]. Também se identificou que no pré-teste os participantes não demonstraram respostas motoras mais rápidas na sequência repetida em relação à sequência pseudorrandômica. No entanto, ao término do dia 1 o tempo de reação diferencial tornou-se negativo e foi encontrada diferença significativa em relação ao pré-teste [$p < .001$], esta tendência foi mantida no dia 2 [$p < .001$], no dia 3 [$p < .001$] e no teste de retenção [$p < .001$]. Com isso, pôde-se identificar que o delineamento experimental foi capaz de induzir aprendizagem implícita nos participantes, cabendo assim o questionamento dos efeitos do exercício aeróbio (e seu momento de realização em relação à prática) neste processo.

Figura 9: A – Tempo de resposta absoluto a longo da prática com os participantes em um só grupo. B – Tempo de resposta diferencial a longo da prática com o agrupamento dos participantes em um único grupo. Medidas de tendência central são médias, barras de erro são desvio padrão da média. Abreviações: * - Diferença significativa.

4.5 – EFEITOS DO EXERCÍCIO AERÓBIO SOBRE OS MECANISMOS DE CODIFICAÇÃO DA APRENDIZAGEM IMPLÍCITA DE INDIVÍDUOS PÓS-AVC

Identificou-se que o exercício aeróbio não influenciou os mecanismos de codificação. Todos os grupos demonstraram respostas motoras mais rápidas na sequência repetida em comparação à sequência pseudorrandômica a longo da prática [$F(2.42) = 14.30$, $p < .001$, Figura 10 – A], não havendo diferença entre os grupos [$F(2.42) = 1.60$, $p = .21$, Figura 10 – A]. Na análise *post hoc* foi identificado que os grupos demonstraram uma melhora do desempenho estatisticamente significativa ao longo da prática, o que induziu valores negativos entre o pré-teste e o dia 1 [$p < .001$], esta tendência foi mantida no dia 2 [$p < .001$] e no dia 3 [$p < .001$].

Assim, foi verificado que o exercício aeróbio não impactou os mecanismos de codificação da aprendizagem implícita, independentemente do momento de realização do exercício aeróbio em relação à prática (imediatamente antes ou imediatamente depois).

4.6 – EFEITOS DO EXERCÍCIO AERÓBIO SOBRE OS MECANISMOS DE CONSOLIDAÇÃO DA APRENDIZAGEM IMPLÍCITA DE INDIVÍDUOS PÓS-AVC

No teste de retenção foi identificado que todos os grupos demonstraram valores negativos no tempo de resposta diferencial, o que indica que todos os grupos demonstraram aprendizagem implícita. No entanto, identificou-se uma diferença intergrupo [$F(2.42) = 5.08$, $p < .05$, Figura 10 – B], os participantes do GEA demonstraram menor tempo de resposta diferencial se comparados ao GC [$p < .01$] e ao GED [$p < .05$]. Não houve diferença significativa para o tempo de resposta diferencial no teste de retenção entre o GC e o GED [$p = .34$]. Como isso, supõe-se que o exercício aeróbio realizado imediatamente antes da prática motora impacta de maneira negativa a aprendizagem implícita. Além disso, a realização do exercício aeróbio imediatamente depois da prática não exerceu influência positiva na consolidação da representação implícita.

Figura 10: A – Tempo de resposta diferencial do GEA, GC e GED ao longo da prática. B – Tempo de resposta diferencial do GEA, GC e GED no teste de retenção
Valores negativos representam aprendizagem implícita.
Medidas de tendência central são médias; barras de erro são desvios padrão da média.
Abreviações: * - Diferença significativa.

Em nossa análise dos elementos individuais da sequência repetida e pseudorrandômica foram identificados detalhes do processo de formação de *chunking* que estão relacionados com o fato do GEA apresentar pior consolidação da representação implícita no teste de retenção.

Como pode ser verificado na Figura 11, na fase de aquisição, o GEA demonstrou menor número de *chunkings* ao longo da prática. Enquanto os participantes do GC e do GED demonstraram alto nível de organização dos elementos individuais em

aglomerados funcionais desde o dia 1. Como resultado da formação destas subsequências funcionais, identificou-se que o GED e o GC demonstraram um maior número de diferenças significativas no tempo de resposta entre os elementos individuais da sequência repetida e pseudorrandômica se comparados ao GEA.

Em relação ao teste de retenção, verificou-se que o GEA não demonstrou *chunkings* na sequência repetida, como demonstrado pelo GC e pelo GED. Isto foi confirmado pelo fato de que no teste de retenção o GC e o GED apresentaram maior número de diferenças significativas no tempo de resposta absoluto dos elementos individuais da sequência repetida e pseudorrandômica. Assim, o teste T identificou que para o GED houve diferença significativa entre os elementos 4 [$p < .001$], 5 [$p < .01$], 8 [$p < .05$] e 9 [$p < .001$]; e para o GC houve diferença significativa entre os elementos 2 [$p < .05$], 4 [$p < .001$], 5 [$p < .05$], 6 [$p < .01$], 8 [$p < .01$] e 9 [$p < .001$]. Por outro lado, o GEA demonstrou diferença significativa apenas no elemento 8, o qual possivelmente foi atingida pela piora do desempenho do elemento pseudorrandômico ao invés da melhora do elemento repetido, condição esta que não configura a existência de *chunking*.

Estes resultados em conjunto apontam que a realização de exercício aeróbio não proporcionou benefício à aprendizagem implícita. Ao invés disto, quando o exercício aeróbio foi realizado antes da prática houve déficits nos processos de consolidação, o que afetou a formação de *chunking*, e, por consequência, a aprendizagem implícita.

Figura 11: Tempo de resposta absoluto por elementos do GC, GEA e GED ao longo do experimento. É possível verificar que o GEA demonstrou menor número de *chunkings* e demonstrou menor número de diferenças significativas entre elementos da sequência repetida e pseudorrandômica se comparado aos outros grupos.

Medidas de tendência central são médias. Barras de erro são desvios padrão da média. Respostas motoras em *chunking* são demarcadas por retângulos no eixo X.

Abreviações: * - diferença significativa entre elementos repetido e pseudorrandômicos.

4.7 – AVALIAÇÃO DO CONHECIMENTO EXPLÍCITO

Em relação ao conhecimento declarativo, observou-se que 8 participantes no GC (53%), 5 participantes no GEA (33%) e 5 participantes no GED (33%) identificaram a existência da sequência repetida. Além disso, 3 participantes no GC (20%), 2 participantes no GEA (13%), e 2 participantes no GED (13%) foram capazes de reconhecer as sequências repetidas. Ainda, identificou-se uma correlação fraca entre o teste consciência subjetiva e o tempo de resposta diferencial no teste de retenção [$r = -.14$; $p = .35$], também houve uma fraca correlação entre o teste de reconhecimento da memória e o tempo de resposta diferencial no teste de retenção [$r = -.18$; $p = .21$]. Baseando-se nestes resultados percebe-se que a aquisição do conhecimento declarativo não exerceu influência significativa na aprendizagem implícita dos participantes. Estes achados podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5: Número de participantes que obtiveram conhecimento declarativo espontaneamente da existência da sequência repetida no GC, GEA e GED.

Grupo	# de participantes que identificaram a sequência	# de participantes que reconheceram a sequência
GC	8/ 15	3/ 15
GEA	5/ 15	2/ 15
GED	5/ 15	2/ 15

Legenda: # - número, GC – Grupo Controle, GEA – Grupo Exercício Antes, GED – Grupo Exercício Depois.

5 – DISCUSSÃO

O objetivo desta tese foi investigar os efeitos do exercício aeróbio sobre a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC, e ainda, verificar se estes possíveis efeitos neuromoduladores ocorrem em uma condição momento-dependente.

Dado os possíveis efeitos neuromoduladores do exercício aeróbio realizado anteriormente à prática sobre os mecanismos de codificação (MANG et al., 2013; ROIG et al., 2016) tínhamos como hipótese que o GEA demonstraria melhor desempenho durante a fase de aquisição. Essa hipótese baseou-se no fato de ter sido identificado resultados positivos na literatura para esse fato em indivíduos neurologicamente saudáveis (PERINI et al., 2016; SNOW et al., 2016; STATTON et al., 2015) e indivíduos pós-AVC (PLOUGHMAN et al., 2008; QUANEY et al., 2009).

Ainda, levando em consideração achados anteriores que demonstraram efeitos positivos do exercício aeróbio realizado posteriormente à prática sobre os processos de consolidação (MANG et al., 2013; ROIG et al., 2016), foi levantada a hipótese de que o GED teria melhor desempenho no teste de retenção se comparado aos outros grupos, baseando-se nos estudos com indivíduos neurologicamente saudáveis (FERRER-URIS et al., 2017; FERRER-URIS; BUSQUETS; ANGULO-BARROSO, 2018; LUNDBYE-JENSEN et al., 2017; MANG et al., 2014, 2016b; ROIG et al., 2012; SKRIVER et al., 2014; THOMAS et al., 2016b, 2017; TOMPOROWSKI; PENDLETON, 2018) e indivíduos pós-AVC (NEPVEU et al., 2017).

Todavia, os resultados desta tese não corroboraram com as hipóteses previamente elaboradas. Os participantes demonstraram aprendizagem implícita, e o exercício aeróbio não promoveu melhora deste processo. Mais especificamente, na fase de aquisição, não houve diferença entre os grupos, o que sugere que o exercício aeróbio não influenciou os mecanismos de codificação. No teste de retenção, foi verificado que o exercício aeróbio realizado anteriormente à prática induziu piora da aprendizagem implícita, o que foi relacionado com uma determinada ineficiência em agrupar os elementos individuais em *chunkings*. Ainda, o exercício aeróbio realizado posteriormente não induziu efeito sobre o processo de aprendizagem implícita, uma vez que não houve diferença para o tempo de resposta diferencial entre GC e GED no teste de retenção.

5.1 – INDIVÍDUOS PÓS-AVC POSSUEM CAPACIDADE PARA APRENDER HABILIDADES MOTORAS IMPLICITAMENTE?

Os achados desta tese corroboram com o consenso da literatura que sugere que indivíduos pós-AVC apresentam capacidade de aprender habilidades motoras de maneira implícita. De fato, em nossa revisão pôde-se verificar que dos 13 estudos que se propuseram a investigar a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC, apenas um não a verificou (BOYD; WINSTEIN, 2001); sendo este um estudo com número de participantes reduzido, desprovido de teste de retenção e que teve seus resultados refutados por uma série de estudos realizados posteriormente pelas mesmas autoras (BOYD; WINSTEIN, 2004a, 2004b, 2003, 2006). Assim, os resultados de nossas análises com todos os participantes em um único grupo convergem com o relatado pela literatura, inclusive com aqueles estudos que se assemelham com o delineamento e a tarefa por nós utilizados (BOYD; WINSTEIN, 2004a, 2004b, 2003, 2006).

Interessantemente, nossos resultados revelaram que os indivíduos pós-AVC apresentaram melhora nos dois mecanismos (cognitivo e motor) previstos no modelo de processamento dual paralelo de habilidades sequenciais de Verwey (2003). Pois, os participantes demonstraram melhora da aprendizagem não específica, isto é, aperfeiçoaram sua capacidade de responder mais rapidamente aos estímulos da TTRS, o que reflete aperfeiçoamento no mecanismo motor proposto por Verwey (2003). Mas também demonstraram aprendizagem específica, o que reflete a aquisição da ordem dos elementos motores que compunham a sequência repetida, que se relaciona ao aperfeiçoamento do mecanismo cognitivo de Verwey (2003).

Outro aspecto a ser salientado foi que a aprendizagem implícita foi mantida mesmo após uma semana sem prática, como demonstra a análise do tempo de reação diferencial com todos os indivíduos reunidos em um grupo. Além de nós, somente o estudo de Orell e colaboradores (2007) utilizou testes de retenção de longo prazo (2 semanas) para investigar a aprendizagem implícita. E, no caso, ambos detectaram manutenção da aprendizagem implícita mesmo após períodos de restrição de prática maiores.

Aliás, parece ser prudente a utilização de testes de retenção de curto prazo (1 dia) e de longo prazo (> 1 semana) para aferir a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC. Pois, sabe-se que após uma noite de sono a consolidação da memória implícita de indivíduos pós-AVC tende a ser beneficiada (SIENGSAKON; BOYD, 2009a). Com isso, pode-se identificar com o teste de retenção de curto prazo (1 dia) a efetividade do processo de consolidação da memória implícita de indivíduos pós-AVC,

e com o teste de retenção de longo prazo investigar o quão esta memória é resistente ao esquecimento.

Por fim, a partir da detecção da aprendizagem implícita nos participantes de nosso experimento, foi possível os seguintes questionamentos relativos aos efeitos do exercício aeróbico (e seu momento de realização em relação à prática) sobre a aprendizagem implícitas de indivíduos pós-AVC:

5.2 – O EXERCÍCIO AERÓBIO (ESPECIALMENTE ANTES DA PRÁTICA) MELHORA O MECANISMO DE CODIFICAÇÃO ENVOLVIDO NA APRENDIZAGEM IMPLÍCITA DE INDIVÍDUOS PÓS-AVC?

Nossos resultados não corroboram com o que foi proposto pela Hipótese da Ativação (MCMORRIS et al., 2008) e o modelo de Sanders (SANDERS, 1983). Neles, há a sugestão de que o aumento na concentração de catecolaminas e neurotransmissores induzidos pelo exercício aeróbico erariam uma pré-ativação (*priming*) no sistema motora que melhoraria o desempenho motor. Também, em nosso estudo, o exercício provavelmente não influenciou o mecanismo de codificação do processo de criação de memórias motoras, como sugerido por Roig e colaboradores (2016).

Neste sentido, indivíduos pós-AVC podem ser menos responsivos ao efeito de pré-ativação induzido pelo exercício aeróbico. Murdoch, Bukley e McDonnell (2016) não identificaram diferenças na excitabilidade cortical de indivíduos pós-AVC após realizarem exercício aeróbico em uma bicicleta ergométrica, em intensidade moderada, por 30 minutos. Tem sido sugerido que para induzir excitabilidade cortical suficiente para influenciar a aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC se faz necessário um protocolo de exercício aeróbico de alta intensidade, conforme descrevem Boyne e colaboradores (2019) e Li e colaboradores (2019). Desse modo, talvez a intensidade utilizada no protocolo deste estudo não tenha sido suficiente para induzir efeitos de pré-ativação nos participantes desta pesquisa, uma vez que foi proposto intensidade moderada para a realização do exercício. Esta condição pode estar associada a não melhoria dos mecanismos de codificação, e por consequência, à igualdade dos grupos na fase de aquisição.

Contudo, a questão da intensidade do exercício aeróbico e a aprendizagem motora parece também não ser consensual na literatura. Em termos neurofisiológicos, quanto maior a intensidade do exercício aeróbico maior é a concentração de BDNF e catecolaminas, que se relacionam com a potenciação de longo prazo (TAUBERT;

VILLRINGER; LEHMANN, 2015). Porém, com altas intensidades aumenta-se o cortisol, sendo este hormônio um fator limitante da potenciação de longo prazo e da neuroplasticidade (SALE; RIDDING; NORDSTROM, 2008).

Em um nível de análise comportamental, não há consenso da literatura sobre os efeitos do exercício aeróbio sobre o desempenho durante a aprendizagem implícita, especificamente. Por exemplo, Mang e colaboradores (2014) demonstraram que o HIIT induziu melhor desempenho durante a fase de aquisição da aprendizagem implícita de indivíduos neurologicamente saudáveis. Contudo, Baird e colaboradores (2018) e Mang e colaboradores (2016b) não encontraram evidência que o HIIT realizado anteriormente à prática promova melhorias do desempenho durante a aprendizagem implícita de indivíduos neurologicamente saudáveis.

A partir disso, pode-se supor que talvez a intensidade do protocolo de exercício proposto nesta tese não seja o único aspecto que induziu a não diferença entre os grupos na fase de aquisição, uma vez que Baird e colaboradores (2018) e Mang e colaboradores (2016b) utilizaram HIIT e também não encontraram diferença. De fato, em indivíduos neurologicamente saudáveis, ao equiparmos as diferentes intensidade pareadas por gasto energético (40% VO₂máx e 80% VO₂máx) não foram encontradas diferença no desempenho e aprendizagem de uma habilidade adquirida implicitamente (BAIRD et al., 2018).

Deste modo, outro aspecto que pode explicar os resultados desta pesquisa relaciona-se com o fato de o membro superior ter sido utilizado para a prática. No presente estudo, os participantes utilizaram o membro menos afetado para realizar a tarefa (membro ipsilateral à lesão em todos os casos), e não se identificou efeito do exercício aeróbio sobre o desempenho motor durante a fase de aquisição. Contudo, Ploughman e colaboradores (2008) identificaram que indivíduos pós-AVC demonstraram melhor desempenho motor com a mão mais afetada no *Action Research Arm Test* quando o exercício aeróbio precedeu a sessão de prática.

Assim, pode-se supor que os efeitos do exercício aeróbio sobre os mecanismos de codificação da aprendizagem implícita são mais acentuados no membro superior contralateral à lesão. Esta perspectiva tem plausibilidade biológica, pois Li e colaboradores (2019) demonstraram que o HIIT promoveu excitabilidade cortical no hemisfério motor lesionado de indivíduos pós-AVC e isto pode estar relacionado a divergência entre os achados desta tese e os encontrados por Ploughman e colaboradores (2008). Todavia, mais investigações nessa área são necessárias para

constatações mais robustas.

5.3 – O EXERCÍCIO AERÓBIO (ESPECIALMENTE APÓS A PRÁTICA) MELHORA O MECANISMO DE CONSOLIDAÇÃO ENVOLVIDO NA APRENDIZAGEM IMPLÍCITA DE INDIVÍDUOS PÓS-AVC?

Este estudo tinha a hipótese de que o exercício aeróbico (especialmente aquele realizado imediatamente após a prática) poderia influenciar a consolidação da aprendizagem implícita, o que potencializaria a transformação da engrama motor em uma memória motora de longo prazo, como sugerido por Roig e colaboradores (2016). Contudo, os achados não corroboraram com a hipótese. Ao invés disso, identificou-se que o exercício aeróbico realizado posteriormente à prática não beneficiou a consolidação da aprendizagem implícita. Nossos achados demonstraram que realizar exercício aeróbico anteriormente a prática pode impactar negativamente o mecanismo de consolidação da aprendizagem implícita.

Para explicar tal condição deletéria ocasionada pelo exercício realizado anteriormente à prática, pode-se supor que os participantes do GEA obtiveram níveis de fadiga que podem ter influenciado negativamente os mecanismos de consolidação da memória. Assim, nossos resultados não corroboram com Masters, Poolton e Maxwell (2008), e Poolton, Masters e Maxwell (2007), que identificaram que em indivíduos neurologicamente saudáveis a fadiga induzida pelo exercício não influenciou a criação de memórias implícitas, apenas impactou a aquisição de memórias explícitas. Com isso, sugere-se que indivíduos pós-AVC talvez sejam mais suscetíveis aos efeitos deletérios da fadiga sobre a aprendizagem implícita. Desta forma, com base em nossos resultados talvez não seja interessante promover exercício aeróbico anteriormente à prática nesta população, a fim de se evitar estes déficits promovidos pela fadiga, como já sugerido por Valkenborghs e colaboradores (2019).

A partir de nossos achados, em relação a premissa de que os efeitos do exercício aeróbico ocorrem em uma condição momento-dependente sobre a aprendizagem motora, pode-se contestar a validade deste princípio para pessoas após um AVC.

De fato, os estudos com indivíduos neurologicamente saudáveis não têm demonstrado suporte à premissa dos efeitos momento-dependentes do exercício aeróbico sobre os mecanismos de codificação e consolidação da memória motora. Nos estudos que tiveram como variável independente o momento do exercício em relação à prática, apenas um identificou que realizar o exercício aeróbico após a prática induz melhor

consolidação em indivíduos neurologicamente saudáveis (ROIG et al., 2012). Enquanto outros três estudos não demonstraram efeitos significativos do momento de realização do exercício aeróbio sobre a consolidação do processo de aprendizagem motora de indivíduos neurologicamente saudáveis (FERRER-URIS et al., 2017; FERRER-URIS; BUSQUETS; ANGULO-BARROSO, 2018; TOMPOROWSKI; PENDLETON, 2018).

Em indivíduos pós-AVC, Nepveu e colaboradores (2017) demonstraram que realizar exercício aeróbio após a prática promoveu melhor persistência do desempenho no teste de retenção de 24 horas se comparado ao grupo controle (sem exercício). Pode-se sugerir que talvez a diferença entre os resultados desta tese com os encontrados por Nepveu e colaboradores (2017) possam ser atribuídos as características da tarefa utilizada em cada estudo. Neste estudo foi utilizada uma tarefa seriada, a TTRS; enquanto no estudo de Nepveu e colaboradores (2017) foi utilizada uma tarefa contínua, de rastreamento. Assim, como mencionado por Mang e colaboradores (2016b), talvez o efeito do exercício aeróbio seja superior para tarefas contínuas de rastreamento e de sincronização temporal por sua maior influência em circuitarias cortico-cerebelares. Dado que aparentemente o cerebelo apresenta grande função na sincronização espaço temporal (BOYD; WINSTEIN, 2004a), e que há grande envolvimento (efeito de pré-ativação) destas circuitarias após a realização de exercício aeróbio (MANG et al., 2016a).

Por outro lado, por conta do baixo efeito do exercício aeróbio sobre habilidades motoras seriadas, pode-se especular que talvez o efeito do exercício aeróbio não gere influência em circuitarias cortico-nucleobasais (MANG et al., 2016b), estas que são as estruturas neurofuncionais que mais se responsabilizam pela formação de *chunking* (BOYD; WINSTEIN, 2004b; BOYD et al., 2009).

Os estudos em indivíduos neurologicamente saudáveis têm dado suporte comportamental a esta hipótese, uma vez que parece haver uma tendência dos estudos com resultados positivos utilizarem tarefas contínuas (FERRER-URIS et al., 2017; FERRER-URIS; BUSQUETS; ANGULO-BARROSO, 2018; LUNDBYE-JENSEN et al., 2017; MANG et al., 2014; ROIG et al., 2012; SKRIVER et al., 2014; SNOW et al., 2016; THOMAS et al., 2016a, 2016c, 2017; TOMPOROWSKI; PENDLETON, 2018). E por outro lado, uma outra tendência de aqueles estudos que não demonstram efeito do exercício aeróbio utilizarem tarefas seriadas (BAIRD et al., 2018; MANG et al., 2016; OSTADAN et al., 2016; STRANDA et al., 2019).

Com isso, sugere-se que, a característica da tarefa utilizada no presente estudo explica os resultados de que não há diferença entre GED e GC, uma vez que, aparentemente, as tarefas seriadas são menos suscetíveis aos efeitos neuromoduladores advindos do exercício aeróbio.

5.4 – LIMITAÇÕES DO ESTUDO

5.4.1 – Sobre os participantes

Um dos aspectos a serem considerados em relação à caracterização dos participantes desta pesquisa se deve ao fato de que a maioria deles é fisicamente ativa como verificado no IPAC, sendo da amostra total de 45 indivíduos:

- 19 participantes muito ativos (atividade vigorosa, 5 vezes por semana, com duração de 30 minutos; ou 3 vezes por semana de atividade vigorosa acima de 30 minutos, com 5 vezes por semana de atividades moderadas por no mínimo 30 minutos).
- 12 participantes ativos (atividade vigorosa, 3 vezes por semana, com duração mínima de 20 minutos; ou, atividade moderada, 5 vezes por semana, com duração mínima de 30 minutos; ou, mais de 150 minutos de atividade física diversa por semana ao longo de no mínimo 5 dias por semana).
- 5 participantes irregularmente ativos A (que realiza ou atinge a frequência estipulada de atividade de 5 vezes por semana com duração menor de 20 minutos; ou, atinge a duração de 150 minutos de atividade física por semana),
- 4 participantes irregularmente ativos B (que praticam atividade física abaixo dos critérios pré-estabelecidos).
- 4 participantes sedentários.

Este achado deve ser levado em consideração para a interpretação dos resultados desta tese, especialmente no que se refere à adesão e capacidade dos sujeitos pós-AVC para a prática do exercício proposto no protocolo experimental. Isto porque, a amostra do estudo pode não representar a população pós-AVC, uma vez que achados epidemiológicos têm apontado que a incidência de inatividade física nesta população é alta e preocupante (ASHE et al., 2009; GEBRUERS et al., 2010; THILARAJAH et al., 2018; VAHLBERG et al., 2019).

A literatura tem identificado que há efeitos crônicos da prática de exercício físico sobre a aprendizagem motora, sugerindo que um estilo de vida mais ativo faz com que os indivíduos apresentem melhor aperfeiçoamento de desempenho, especialmente no início do processo de aprendizagem motora, onde há maior demanda cognitiva

(HÜBNER; VOELCKER-REHAGE, 2017). Esta condição pode estar associada ao processo de aprendizagem dos participantes de nosso experimento e, não necessariamente, refletir as condições típicas de indivíduos pós-AVC.

Tais aspectos tomados em conjunto nos levam a crer que há limitações na validade externa dos nossos achados, uma vez que nossa amostra não representa fidedignamente as características clássicas de pacientes pós-AVC em termos de aptidão física.

Considerando o estilo de vida ativa dos participantes do estudo, buscou-se controlar esta variável com a solicitação de que os sujeitos não participassem de programas de atividade física durante o período destinado ao protocolo experimental, para que não houvesse efeito destas intervenções sobre a variável independente do estudo. Deste modo, dada a igualdade do número de horas envolvidos em programas de atividade física dentre os grupos e a solicitação de interrupção destes programas durante o período experimental, nós supomos que a aptidão física e o estilo de vida dos nossos participantes não tenham exercido forte influência na validade interna de nossos achados.

5.4.2 – Sobre o exercício aeróbio

Em relação ao exercício aeróbio, o protocolo de pesquisa determinou que a intensidade deveria estar em 70% da FC de reserva, de maneira contínua, durante 20 minutos. Contudo, observou-se que poucos participantes conseguiram se exercitar na FC alvo (3 participantes no GEA e 3 participantes no GED). De fato, os participantes do estudo não foram capazes de se exercitarem na intensidade prevista no protocolo proposto e isso nos levou a realizar uma violação em nosso protocolo. A maioria dos participantes experimentou fadiga local no membro inferior parético antes de atingir a FC alvo, dificultando o alcance da intensidade prevista no protocolo. Cabe salientar, todavia, que a maioria dos participantes deste estudo são muito ativos fisicamente e, mesmo assim, não conseguiram se exercitar na intensidade proposta, o que justificou nossa tomada de decisão de permitir o treinamento sem atingir a FC alvo.

Este aspecto parece não corroborar com a literatura, uma vez que temos o estudo de Valkengorghs e colaboradores (2019) que identificou a viabilidade de um protocolo de HIIT (tiros de 85% da FC máxima intercalados por períodos de recuperação de 70% da FC máxima) para potencialização da terapia orientada à tarefa de indivíduos pós-AVC. E, o estudo de aprendizagem motora de Nepveu e

colaboradores (2017) que utilizou um protocolo de HIIT (tiros de 100% da carga relativa intercalando com períodos de recuperação de 25% da carga relativa).

Sugere-se cautela na extrapolação dos resultados dos estudos em indivíduos pós-AVC utilizando exercício aeróbio de alta intensidade como um agente neuromodulador para melhora de desfechos motores. Uma vez que, possivelmente estes achados podem estar sendo baseados em indivíduos pós-AVC com comprometimentos mínimos, os quais conseguem realizar exercícios em intensidades altas, e que não apresentam as dificuldades de aptidão física que corriqueiramente são encontradas nesta população. A critério de exemplo, o estudo de Nepveu e colaboradores (2017) tem a amostra constituída basicamente por indivíduos nível 7 (critério máximo na classificação funcional) na Chedoke-McMaster Stroke Assessment (GOWLAND et al., 1993). Por outro lado, em nosso estudo, com a maioria dos participantes sendo considerados moderados na FUGL-MEYER identificou-se incapacidade de se atingir a intensidade de 70% da FC de reserva, mesmo os participantes sendo fisicamente ativos.

Ainda em relação a intensidade em que os participantes deste estudo realizaram o exercício aeróbio, pôde-se notar que a maioria deles se exercitou em uma faixa de amplitude de 50 a 70% da FC de reserva, sendo que somente dois indivíduos, um em cada grupo (GEA e GED), obtiveram intensidade inferior à 50% da FC de reserva. Tal constatação nos permite elencar que a maioria dos indivíduos deste estudo se exercitou na faixa de amplitude de intensidade considerada ideal pelas principais diretrizes de atividade física para esta população (i.e. BILLINGER et al., 2014; SAUNDERS et al., 2016).

Por fim, identificou-se que mesmo havendo flutuações na intensidade do exercício aeróbio entre os participantes da pesquisa, não foi encontrada diferença significativa entre GEA e GED para os valores de FC média e da porcentagem média da FC de reserva. Assim, supõe-se que os grupos realizaram o exercício em uma intensidade similar, podendo-se excluir a influência desta covariável em possíveis constatações intergrupo.

5.4.3 – Sobre o delineamento experimental

Utilizou-se os blocos B2 e B3 para subtração e aquisição do tempo de resposta diferencial do pré-teste, o qual foi utilizado como medida de base para inferência da aprendizagem implícita. Contudo, o GEA realizou exercício aeróbio anteriormente ao B3, condição esta não correspondente ao GC e o GED. Sabendo que haveria a

possibilidade de talvez o exercício promover alguma diferenciação na medida de base entre os grupos, realizou-se uma ANOVA one way comparando o desempenho no B3 entre GEA, GC e GED. Esta análise foi realizada para averiguar se o exercício impactou em alguma diferenciação no B3, o que inviabilizaria a utilização da medida do tempo de resposta diferencial do pré-teste. Não foi identificada diferença significativa entre os grupos [$F_{(2,42)} = 0,13, p = .87$], possibilitando a utilização deste bloco para a análise.

Pode-se também destacar que no teste de retenção de longo prazo não houve sequências pseudorrandômicas. Sabe-se, todavia, que avaliar as sequências repetidas e pseudorrandômicas induz maior quantidade de prática durante o teste de retenção. Esta condição é apontada como um aspecto negativo para inferência da persistência do desempenho, uma vez que há a possibilidade de melhora do desempenho dentro do próprio teste de retenção, dada a maior quantidade de prática (MAGILL; ANDERSON, 2017). Por isso, decidimos manter apenas um bloco de sequência repetida no teste de retenção e compará-lo com o último bloco pseudorrandômico da fase de aquisição (B21).

Poderíamos, também, ter realizado o teste de retenção proposto por Mang e colaboradores (2016b). Neste estudo as sequências repetidas foram flanqueadas pelas sequências pseudoaleatórias. Ou seja, as tentativas iniciavam com uma sequência pseudoaleatória, no meio eram compostas pela sequência repetida, e o fim da tentativa era composta por uma sequência pseudoaleatória. Esta estratégia possibilita inferência da aprendizagem implícita no teste de retenção sem que haja melhora do desempenho dentro do teste. Além de possibilitar que os indivíduos reconheçam a sequência repetida. Sendo, portanto, uma boa estratégia para inferir aprendizagem implícita.

Todavia, objetivamos manter nossos delineamento o mais similar possível ao proposto por Boyd e Winstein (2001, 2003, 2006) para comparar nossos achados com os estudos que investigaram a aprendizagem implícita em indivíduos pós-AVC. Portanto, optou-se por manter o delineamento com as sequências repetidas e pseudoaleatórias se diferenciando nos blocos, ao invés de estarem englobadas dentro da própria tentativa.

5.5 – FUTUROS DESDOBRAMENTOS

Os resultados desta tese levantam questionamentos interessantes sobre a investigação dos efeitos do exercício aeróbio sobre o desempenho e aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC. Assim, parece que, durante o processo de

aprendizagem motora, o membro ipsilateral à lesão pode apresentar diferentes respostas ao efeito neuromodulador do exercício aeróbio se comparado ao membro contralateral. Pode-se supor esta perspectiva pelo fato da capacidade do exercício aeróbio incrementar a excitabilidade cortical do hemisfério lesado (LI et al., 2019).

Além disso, aparentemente, os efeitos do exercício aeróbio sobre a aprendizagem motora são dependentes das características da tarefa. Sabe-se que habilidades motoras seriadas envolvem durante o processo de aprendizagem motora mecanismos diferentes daqueles envolvidos em habilidades motoras contínuas. Sendo que, com o passar da prática os indivíduos tornam-se mais habilidosos em tarefas seriadas devido sua capacidade em formar *chunkings*, ao passo que em tarefas contínuas a melhora do desempenho se dá principalmente por uma maior capacidade de sincronização espaço temporal (KRAKAUER et al., 2019). Os achados presentes na literatura suportam a ideia de que talvez os efeitos do exercício aeróbio incidam com maior ênfase em circuitarias responsáveis pela sincronização espaço temporal, do que as responsáveis pela formação de *chunkings*. Cabe uma análise experimental para verificar se esta hipótese se sustenta.

Por fim, partindo do pressuposto que as inferências em tarefas simples não são generalizadas para tarefas complexas (WULF; SHEA, 2002). Cabe a análise dos efeitos do exercício aeróbio sobre a aprendizagem motora de indivíduos pós-AVC (e indivíduos neurologicamente saudáveis), utilizando-se de tarefas com maior validade ecológica, e que envolvam o controle de maior número de graus de liberdade, como AVD's. Até o presente momento, todas as investigações dos efeitos do exercício aeróbio sobre a aprendizagem motora utilizaram habilidades estritamente laboratoriais.

6 – CONCLUSÃO

Conclui-se que o exercício aeróbio não induziu melhora nos mecanismos de codificação e consolidação envolvidos na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC, independentemente do momento de realização do exercício aeróbio em relação à prática. Ainda, a provisão do exercício aeróbio imediatamente antes da prática impactou negativamente a consolidação da representação implícita. Assume-se que os efeitos encontrados do exercício aeróbio sobre a aprendizagem implícita podem ser atribuídos a intensidade do exercício (moderado), as características da tarefa (tarefa seriada) e o membro superior envolvido na prática da tarefa (ipsilesional à lesão).

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-QAZZAZ, N. et al. Cognitive impairment and memory dysfunction after a stroke diagnosis: a post-stroke memory assessment. **Neuropsychiatric Disease and Treatment**, p. 1677, set. 2014.

ASHE, M. C. et al. Older Adults, Chronic Disease and Leisure-Time Physical Activity. **Gerontology**, v. 55, n. 1, p. 64–72, 2009.

BADDELEY, A. Working memory: looking back and looking forward. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 4, n. 10, p. 829–839, out. 2003.

BADDELEY, A. Working memory. **Current biology : CB**, v. 20, n. 4, p. R136-40, 23 fev. 2010.

BAIRD, J. F. et al. The effect of energy-matched exercise intensity on brain-derived neurotrophic factor and motor learning. **Neurobiology of Learning and Memory**, v. 156, n. April, p. 33–44, dez. 2018.

BECK, A. T.; STEER, R. A.; BROWN, G. K. Manual for the Beck depression inventory-II. **San Antonio, TX: Psychological Corporation**, p. 1–82, 1996.

BERNHARDT, J. et al. Advances in stroke 2017. **Stroke**, v. 49, n. 5, p. E174–E199, 2018.

BILLINGER, S. A et al. Physical Activity and Exercise Recommendations for Stroke Survivors: A Statement for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. **Stroke; a journal of cerebral circulation**, maio 2014.

BONUZZI, G. M. G. et al. Learning of a postural control task by elderly post-stroke patients. **Motricidade**, v. 12, n. 1, p. 141, 2016.

BOYD, L. A. et al. Learning Implicitly: Effects of Task and Severity After Stroke. **Neurorehabilitation and Neural Repair**, v. 21, n. 5, p. 444–454, 16 mar. 2007.

BOYD, L. A. et al. Motor sequence chunking is impaired by basal ganglia stroke. **Neurobiology of Learning and Memory**, v. 92, n. 1, p. 35–44, 2009.

BOYD, L. A.; WINSTEIN, C. J. Implicit motor-sequence learning in humans following unilateral stroke: the impact of practice and explicit knowledge. **Neuroscience Letters**, v. 298, n. 1, p. 65–69, jan. 2001.

BOYD, L. A.; WINSTEIN, C. J. Providing Explicit Information Disrupts Implicit Motor

Learning After Basal Ganglia Stroke. **Learning & Memory**, v. 11, n. 4, p. 388–396, 14 jul. 2004a.

BOYD, L. A.; WINSTEIN, C. J. Cerebellar Stroke Impairs Temporal but not Spatial Accuracy during Implicit Motor Learning. **Neurorehabilitation and Neural Repair**, v. 18, n. 3, p. 134–143, set. 2004b.

BOYD, L. A.; WINSTEIN, C. J. Impact of explicit information on implicit motor-sequence learning following middle cerebral artery stroke. **Physical therapy**, v. 83, n. 11, p. 976–89, nov. 2003.

BOYD, L.A.; WINSTEIN, C. J. Explicit information interferes with implicit motor learning of both continuous and discrete movement tasks after stroke. **Journal of neurologic physical therapy : JNPT**, v. 30, n. 2, p. 46–57; discussion 58-9, jun. 2006.

BOYNE, P. et al. Exercise intensity affects acute neurotrophic and neurophysiological responses poststroke. **Journal of Applied Physiology**, v. 126, n. 2, p. 431–443, 1 fev. 2019.

BROWN, L. A.; SLEIK, R. J.; WINDER, T. R. Attentional demands for static postural control after stroke. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 83, n. 12, p. 1732–1735, 2002.

CAMINA, E.; GÜELL, F. The neuroanatomical, neurophysiological and psychological basis of memory: Current models and their origins. **Frontiers in Pharmacology**, v. 8, n. JUN, p. 1–16, 2017.

CANNING, C. G.; ADA, L.; PAUL, S. S. Is automaticity of walking regained after stroke? **Disability and rehabilitation**, v. 28, n. 2, p. 97–102, 30 jan. 2006.

CANTARERO, G. et al. Motor Learning Interference Is Proportional to Occlusion of LTP-Like Plasticity. **Journal of Neuroscience**, v. 33, n. 11, p. 4634–4641, 13 mar. 2013.

CHEERAN, B. et al. A common polymorphism in the brain-derived neurotrophic factor gene (BDNF) modulates human cortical plasticity and the response to rTMS. **The Journal of Physiology**, v. 586, n. 23, p. 5717–5725, 1 dez. 2008.

CHEN, C.; LEYS, D.; ESQUENAZI, A. The interaction between neuropsychological and motor deficits in patients after stroke. **Neurology**, v. 80, n. Issue 3, Supplement 2, p. S27–S34, 15 jan. 2013.

CHRISTINA, R. W. Concerns and issues in Studying and Assessing Motor Learning. **Measurement in Physical Education and Exercise Science**, v. 1, n. 1, p. 19–38, mar. 1997.

CIRSTEA, C. M.; PTITO, A.; LEVIN, M. F. Feedback and cognition in arm motor skill reacquisition after stroke. **Stroke**, v. 37, n. 5, p. 1237–1242, 2006.

CIRSTEA, M. C. et al. Interjoint coordination dynamics during reaching in stroke. **Experimental Brain Research**, v. 151, n. 3, p. 289–300, 2003.

COCO, M. et al. Elevated blood lactate is associated with increased motor cortex excitability. **Somatosensory & Motor Research**, v. 27, n. 1, p. 1–8, 8 jan. 2010.

COHEN, N. J. Preserved learning capacity in amnesia: evidence for multiple memory systems. In: SQUIRE, L. R.; BUTERS, N. (Eds.). **The neuropsychology of memory**. New York: Guilford Press, 1984. p. 83–103.

COHEN, N.; SQUIRE, L. Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: dissociation of knowing how and knowing that. **Science**, v. 210, n. 4466, p. 207–210, 10 out. 1980.

CONNELL, L.; LINCOLN, N.; RADFORD, K. Somatosensory impairment after stroke: frequency of different deficits and their recovery. **Clinical Rehabilitation**, v. 22, n. 8, p. 758–767, 1 ago. 2008.

COTMAN, C. Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. **Trends in Neurosciences**, v. 25, n. 6, p. 295–301, 1 jun. 2002.

COTMAN, C. W.; BERCHTOLD, N. C. Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. **Trends in neurosciences**, v. 25, n. 6, p. 295–301, jun. 2002.

COTMAN, C. W.; BERCHTOLD, N. C.; CHRISTIE, L.-A. Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. **Trends in Neurosciences**, v. 30, n. 9, p. 464–472, set. 2007.

CUMMING, T. B.; MARSHALL, R. S.; LAZAR, R. M. Stroke, Cognitive Deficits, and Rehabilitation: Still an Incomplete Picture. **International Journal of Stroke**, v. 8, n. 1, p. 38–45, 24 jan. 2013.

CUTTON, D. M.; LANDIN, D. The Effects of Self-Talk and Augmented Feedback on Learning the Tennis Forehand. **Journal of Applied Sport Psychology**, v. 19, n. 3, p. 288–303, jul. 2007.

DAYAN, E.; COHEN, L. G. Neuroplasticity Subservicing Motor Skill Learning. **Neuron**, v. 72, n. 3, p. 443–454, nov. 2011.

DI NAPOLI, M.; PAPA, F. Systemic inflammation, blood pressure, and stroke outcome. **Journal of clinical hypertension (Greenwich, Conn.)**, v. 8, n. 3, p. 187–94, mar. 2006.

DICKERSON, B. C.; EICHENBAUM, H. The episodic memory system: neurocircuitry and disorders. **Neuropsychopharmacology**, v. 35, n. 1, p. 86–104, jan. 2010.

DIRNBERGER, G.; NOVAK, J.; NASEL, C. Perceptual Sequence Learning Is More Severely Impaired than Motor Sequence Learning in Patients with Chronic Cerebellar Stroke. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 25, n. 12, p. 2207–2215, dez. 2013.

DISHMAN, R. K. et al. Neurobiology of Exercise*. **Obesity**, v. 14, n. 3, p. 345–356, mar. 2006.

DZIEDZIC, T. Systemic inflammation as a therapeutic target in acute ischemic stroke. **Expert Review of Neurotherapeutics**, v. 15, n. 5, p. 523–531, 4 maio 2015.

EDWARDS, W. H. **Motor learning and control: from theory to practice**. Wadsworth: Cengage Learning, 2011.

FABEL, K. et al. VEGF is necessary for exercise-induced adult hippocampal neurogenesis. **The European journal of neuroscience**, v. 18, n. 10, p. 2803–12, nov. 2003.

FAUL, F. et al. G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. **Behavior Research Methods**, v. 39, n. 2, p. 175–191, maio 2007.

FERRER-URIS, B. et al. Enhancing consolidation of a rotational visuomotor adaptation task through acute exercise. **PLOS ONE**, v. 12, n. 4, p. e0175296, 13 abr. 2017.

FERRER-URIS, B.; BUSQUETS, A.; ANGULO-BARROSO, R. Adaptation and Retention of a Perceptual-Motor Task in Children: Effects of a Single Bout of Intense Endurance Exercise. **Journal of Sport and Exercise Psychology**, v. 40, n. 1, p. 1–9, fev. 2018.

FISCHMAN, M. G.; CHRISTINA, R. W.; VERCRUYSEN, M. J. Retention and Transfer of Motor Skills: A Review for the Practitioner. **Quest**, v. 33, n. 2, p. 181–194, jul. 1981.

FITTS, P. M.; POSNER, M. I. **Human Performance**. Belmont: Brooks-Cole, 1967.

FOSTER, D. J.; WILSON, M. A. Reverse replay of behavioural sequences in hippocampal place cells during the awake state. **Nature**, v. 440, n. 7084, p. 680–3, 30 mar. 2006.

FOTI, F. et al. Implicit learning in individuals with autism spectrum disorders: a meta-analysis. **Psychological Medicine**, v. 45, n. 05, p. 897–910, abr. 2015.

FUMAGALLI, F.; RACAGNI, G.; RIVA, M. A. The expanding role of BDNF: A therapeutic target for Alzheimer's disease? **Pharmacogenomics Journal**, 2006.

GARLAND, J. S.; GRAY, V. L.; KNORR, S. Muscle activation patterns and postural control following stroke. **Motor Control**, v. 13, n. 4, p. 387–411, 2009.

GAZZANIGA, M. S.; IVRY, R. B.; MANGUN, G. R. **Neurociência Cognitiva: A Biologia da Mente**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

GEBRUERS, N. et al. Monitoring of Physical Activity After Stroke: A Systematic Review of Accelerometry-Based Measures. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 91, n. 2, p. 288–297, fev. 2010.

GOEKINT, M. et al. Acute running stimulates hippocampal dopaminergic neurotransmission in rats, but has no influence on brain-derived neurotrophic factor. **Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 4, p. 535–541, 15 fev. 2012.

GOWLAND, C. et al. Measuring physical impairment and disability with the Chedoke-McMaster Stroke Assessment. **Stroke**, v. 24, n. 1, p. 58–63, jan. 1993.

HALLIGAN, P. W.; COCKBURN, J.; WILSON, B. A. The behavioural assessment of visual neglect. **Neuropsychological Rehabilitation**, v. 1, n. 1, p. 5–32, 1991.

HASAN, S. M. M. et al. Defining Optimal Aerobic Exercise Parameters to Affect Complex Motor and Cognitive Outcomes after Stroke: A Systematic Review and Synthesis. **Neural plasticity**, v. 2016, p. 1–12, 2016.

HASEGAWA, H. et al. Continuous monitoring of hypothalamic neurotransmitters and thermoregulatory responses in exercising rats. **Journal of Neuroscience Methods**, v. 202, n. 2, p. 119–123, nov. 2011.

HATTORI, S.; NAOI, M.; NISHINO, H. Striatal dopamine turnover during treadmill running in the rat: relation to the speed of running. **Brain research bulletin**, v. 35, n. 1, p. 41–9, 1994.

HE, Y.-Y. et al. Role of BDNF in Central Motor Structures and Motor Diseases. **Molecular Neurobiology**, v. 48, n. 3, p. 783–793, 7 dez. 2013.

HEIJNEN, S. et al. Neuromodulation of Aerobic Exercise—A Review. **Frontiers in Psychology**, v. 6, 7 jan. 2016.

HELENE, A. F.; XAVIER, G. F. A construção da atenção a partir da memória. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, v. 25, n. suppl 2, p. 12–20, dez. 2003.

HELENE, A. F.; XAVIER, G. F. Memória (e a elaboração da) Percepção, Imaginação, Inconsciente e Consciência. In: LANDEIRA-FERNANDEZ, J.; SILVA, M. (Eds.). . **Intersecções entre Psicologia e Neurociências**. Rio de Janeiro: MedBook, 2007. p. 103–148.

HELM, E. E. et al. The influence of high intensity exercise and the Val66Met polymorphism on circulating BDNF and locomotor learning. **Neurobiology of Learning and Memory**, v. 144, p. 77–85, out. 2017.

HILLMAN, C. H.; ERICKSON, K. I.; KRAMER, A. F. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. **Nature reviews. Neuroscience**, v. 9, n. 1, p. 58–65, jan. 2008.
HOLMES, C. Review: Systemic inflammation and Alzheimer's disease. **Neuropathology and Applied Neurobiology**, v. 39, n. 1, p. 51–68, fev. 2013.

HÜBNER, L.; VOELCKER-REHAGE, C. Does physical activity benefit motor performance and learning of upper extremity tasks in older adults? – A systematic review. **European Review of Aging and Physical Activity**, v. 14, n. 1, p. 15, 12 dez. 2017.

JANACSEK, K.; NEMETH, D. Implicit sequence learning and working memory: Correlated or complicated? **Cortex**, v. 49, n. 8, p. 2001–2006, 2013.

JOYCE, J. et al. The time course effect of moderate intensity exercise on response execution and response inhibition. **Brain and Cognition**, v. 71, n. 1, p. 14–19, 2009.

KAL, E. et al. The inclination for conscious motor control after stroke: validating the Movement-Specific Reinvestment Scale for use in inpatient stroke patients. **Disability and Rehabilitation**, v. 38, n. 11, p. 1097–1106, 21 maio 2016a.

KAL, E. et al. Is Implicit Motor Learning Preserved after Stroke? A Systematic Review with Meta-Analysis. **PLOS ONE**, v. 11, n. 12, p. e0166376, 16 dez. 2016b.

KANG, M.; RAGAN, B. G.; PARK, J.-H. Issues in Outcomes Research: An Overview of Randomization Techniques for Clinical Trials. **Journal of Athletic Training**, v. 43, n. 2, p. 215–221, mar. 2008.

KANTAK, S. S.; WINSTEIN, C. J. Learning–performance distinction and memory processes for motor skills: A focused review and perspective. **Behavioural Brain Research**, v. 228, n. 1, p. 219–231, mar. 2012.

KASHIHARA, K.; NAKAHARA, Y. Short-Term Effect of Physical Exercise at Lactate Threshold on Choice Reaction Time. **Perceptual and Motor Skills**, v. 100, n. 2, p. 275–291, abr. 2005.

KENDRICK, K. R.; BAXI, S. C.; SMITH, R. M. Usefulness of the modified 0-10 Borg scale in assessing the degree of dyspnea in patients with COPD and asthma. **Journal of Emergency Nursing**, v. 26, n. 3, p. 216–222, jun. 2000.

KLEIM, J. A. et al. BDNF val66met polymorphism is associated with modified experience-dependent plasticity in human motor cortex. **Nature Neuroscience**, v. 9, n. 6, p. 735–737, 7 jun. 2006.

KLEIM, J. A.; COOPER, N. R.; VANDENBERG, P. M. Exercise induces angiogenesis but does not alter movement representations within rat motor cortex. **Brain Research**, v. 934, n. 1, p. 1–6, abr. 2002.

KLEIM, J. A.; JONES, T. A. Principles of Experience-Dependent Neural Plasticity: Implications for Rehabilitation After Brain Damage. **Journal of Speech Language and Hearing Research**, v. 51, n. 1, p. S225, 1 fev. 2008.

KLEINER, M.; BRAINARD, D. H.; PELLI, D. G. What's new in Psychtoolbox-3? **Perception**, v. 36, n. 14, p. 1–89, 2007.

KLEYNEN, M. et al. Using a Delphi Technique to Seek Consensus Regarding Definitions, Descriptions and Classification of Terms Related to Implicit and Explicit Forms of Motor Learning. **PLoS ONE**, v. 9, n. 6, p. e100227, 26 jun. 2014.

KLEYNEN, M. et al. Multidisciplinary Views on Applying Explicit and Implicit Motor Learning in Practice: An International Survey. **PLOS ONE**, v. 10, n. 8, p. e0135522, ago. 2015.

KLINTSOVA, A. Y. et al. Altered expression of BDNF and its high-affinity receptor TrkB in response to complex motor learning and moderate exercise. **Brain Research**, v. 1028, n. 1, p. 92–104, nov. 2004.

KLUGER, B. M. et al. Loss of Somatosensory-evoked Potentials and the Timing of Perception. **Cognitive and Behavioral Neurology**, v. 22, n. 3, p. 173–179, set. 2009.

KNAEPEN, K. et al. Neuroplasticity ? Exercise-Induced Response of Peripheral Brain-Derived Neurotrophic Factor. **Sports Medicine**, v. 40, n. 9, p. 765–801, set. 2010.

KORCHOUNOV, A.; ZIEMANN, U. Neuromodulatory Neurotransmitters Influence LTP-Like Plasticity in Human Cortex: A Pharmacological-TMS Study. **Neuropsychopharmacology**, v. 36, n. 9, p. 1894–1902, 4 ago. 2011.

KRAKAUER, J. W. The applicability of motor learning to neurorehabilitation. In: **Oxford Textbook of Neurorehabilitation**. Oxônia: Oxford University Press, 2015. p. 55–64.

KRAKAUER, J. W. et al. Motor Learning. **Comprehensive Physiology**, v. 9, n. April, p. 613–663, 14 mar. 2019.

KRAKAUER, J. W.; SHADMEHR, R. Consolidation of motor memory. **Trends in Neurosciences**, v. 29, n. 1, p. 58–64, jan. 2006.

LADWIG, I. A importância da atenção na aprendizagem de habilidades motoras. **Revista Paulista de Educação Física**, v. 3, p. 62–71, 2000.

LADOUX, A.; FRELIN, C. Hypoxia is a strong inducer of vascular endothelial growth factor mRNA expression in the heart. **Biochemical and biophysical research communications**, v. 195, n. 2, p. 1005–10, 1993.

LAMB, Y. N. et al. Brain-derived neurotrophic factor Val66Met polymorphism, human memory, and synaptic neuroplasticity. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science**, v. 6, n. 2, p. 97–108, mar. 2015.

LATASH, M. L. **Synergy**. Oxônia: Oxford University Press, 2008.

LEE, T. D.; SWINNEN, S. P.; SERRIEN, D. J. Cognitive Effort and Motor Learning. **Quest**, v. 46, n. 3, p. 328–344, ago. 1994.

LI, X. et al. A short bout of high-intensity exercise alters ipsilesional motor cortical excitability post-stroke. **Topics in Stroke Rehabilitation**, v. 26, n. 6, p. 405–411, 18 ago. 2019.

LINDER, S. M. et al. Forced, Not Voluntary, Aerobic Exercise Enhances Motor Recovery in Persons With Chronic Stroke. **Neurorehabilitation and Neural Repair**, p. 154596831986255, 17 jul. 2019.

LUFT, A. R.; BUITRAGO, M. M. Stages of Motor Skill Learning. **Molecular Neurobiology**, v. 32, n. 3, p. 205–216, 2005.

LUNDBYE-JENSEN, J. et al. Acute Exercise Improves Motor Memory Consolidation in Preadolescent Children. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 11, n. April, p. 1–10, 20 abr. 2017.

MADHAVAN, S.; STINEAR, J. W.; KANEKAR, N. Effects of a Single Session of High Intensity Interval Treadmill Training on Corticomotor Excitability following Stroke: Implications for Therapy. **Neural Plasticity**, v. 2016, p. 1–8, 2016.

MAGILL, RICHARD. A. **Aprendizagem Motora: conceitos e aplicações**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

MAGILL, R. A.; ANDERSON, D. I. **Motor Learning and Control: Concepts and Applications**. 4. ed. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2017.

MAHON, B. Z.; CARAMAZZA, A. A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. **Journal of Physiology-Paris**, v. 102, n. 1–3, p. 59–70, jan. 2008.

MAKI, T. et al. Reliability Study on the Application of the Fugl-Meyer Scale in Brazil. **Rev. bras. fisioter**, v. 10, n. 2, p. 177–183, 2006.

MANG, C. S. et al. Promoting Neuroplasticity for Motor Rehabilitation After Stroke: Considering the Effects of Aerobic Exercise and Genetic Variation on Brain-Derived Neurotrophic Factor. **Physical Therapy**, v. 93, n. 12, p. 1707–1716, 1 dez. 2013.

MANG, C. S. et al. A single bout of high-intensity aerobic exercise facilitates response to paired associative stimulation and promotes sequence-specific implicit motor learning. **Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)**, v. 117, n. 11, p. 1325–36, 1 dez. 2014.

MANG, C. S. et al. Promoting Motor Cortical Plasticity with Acute Aerobic Exercise: A Role for Cerebellar Circuits. **Neural plasticity**, v. 2016, p. 6797928, 2016a.

MANG, C. S. et al. High-Intensity Aerobic Exercise Enhances Motor Memory Retrieval. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 48, n. 12, p. 2477–2486, dez. 2016b.

MARLATT, M. W.; LUCASSEN, P. J.; VAN PRAAG, H. Comparison of neurogenic effects of fluoxetine, duloxetine and running in mice. **Brain Research**, v. 1341, p. 93–99, jun. 2010.

MASTERS, R. S. W. Knowledge, knerves and know-how: The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. **British Journal of Psychology**, v. 83, n. 3, p. 343–358, ago. 1992.

MASTERS, R. S. W.; POOLTON, J. Advances in implicit motor learning. In: HODGES, N. J.; WILLIAMS, A. M. (Eds.). **Skill Acquisition in Sport: Research, Theory and Practice**. 2. ed. Londres: Routledge, 2012. p. 59–75.

MASTERS, R. S. W.; POOLTON, J. M.; MAXWELL, J. P. Stable implicit motor processes despite aerobic locomotor fatigue. **Consciousness and Cognition**, v. 17, n. 1, p. 335–338, mar. 2008.

MATSUDO, S. et al. Questionário Internacional De Atividade Física (Ipaq): Estuo De Validade E Reprodutibilidade No Brasil. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, v. 6, n. 2, p. 5–18, 2012.

MCARDLE WD, KATCH KI, K. V. **Fisiologia do Exercício. Energia, Nutrição e Desempenho Humano**. 7ª Edição. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2011.

MCCONNELL, M. J. et al. H2-Kb and H2-Db regulate cerebellar long-term depression and limit motor learning. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 16, p. 6784–6789, 21 abr. 2009.

MCCULLAGH, P.; WEISS, M. R.; ROSS, D. Modeling considerations in motor skill acquisition and performance: an integrated approach. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 17, p. 475–513, 1989.

MCDONNELL, M. N. et al. A single bout of aerobic exercise promotes motor cortical neuroplasticity. **Journal of Applied Physiology**, v. 114, n. 9, p. 1174–1182, maio 2013.

MCDONNELL, M. N.; SMITH, A. E.; MACKINTOSH, S. F. Aerobic Exercise to Improve Cognitive Function in Adults With Neurological Disorders: A Systematic Review. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 92, n. 7, p. 1044–1052, jul. 2011.

MCHUGHEN, S. A. et al. BDNF Val66Met Polymorphism Influences Motor System Function in the Human Brain. **Cerebral Cortex**, v. 20, n. 5, p. 1254–1262, 1 maio 2010.

MCMORRIS, T. et al. A test of the catecholamines hypothesis for an acute exercise–cognition interaction. **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, v. 89, n. 1, p. 106–115, mar. 2008.

MCMORRIS, T. Exercise and Cognitive Function: A Neuroendocrinological Explanation. In: MCMORRIS, T.; TOMPOROWSKI, P. D.; AUDIFFREN, M. (Eds.). **Exercise and Cognitive Function**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2009. p. 41–68.

MEEHAN, S. K. et al. Implicit sequence-specific motor learning after subcortical stroke is associated with increased prefrontal brain activations: An fMRI Study. **Human Brain Mapping**, v. 32, n. 2, p. 290–303, fev. 2011.

MUELLBACHER, W. et al. Early consolidation in human primary motor cortex. **Nature**, v. 415, n. 6872, p. 640–4, 7 fev. 2002.

MULLICK, A. A.; SUBRAMANIAN, S. K.; LEVIN, M. F. Emerging evidence of the association between cognitive deficits and arm motor recovery after stroke: A meta-analysis. **Restorative Neurology and Neuroscience**, v. 33, n. 3, p. 389–403, 17 jun. 2015.

MURDOCH, K.; BUCKLEY, J. D.; MCDONNELL, M. N. The effect of aerobic exercise on neuroplasticity within the motor cortex following stroke. **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. 1–14, 2016.

NASREDDINE, Z. S. et al. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A Brief Screening Tool For Mild Cognitive Impairment. **Journal of the American Geriatrics Society**, v. 53, n. 4, p. 695–699, abr. 2005.

NEPVEU, J. et al. A Single Bout of High-Intensity Interval Training Improves Motor Skill Retention in Individuals With Stroke. **Neurorehabilitation and Neural Repair**, v. 31, n. 8, p. 726–735, 8 ago. 2017.

NEVA, J. L. et al. The effects of acute exercise on visuomotor adaptation, learning, and inter-limb transfer. **Experimental Brain Research**, v. 0, n. 0, p. 0, 18 fev. 2019.

NIMMO, M. A. et al. The effect of physical activity on mediators of inflammation. **Diabetes, Obesity and Metabolism**, v. 15, n. s3, p. 51–60, set. 2013.

NISSEN, M. J.; BULLEMER, P. Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. **Cognitive Psychology**, v. 19, n. 1, p. 1–32, jan. 1987.

NYS, G. M. S. et al. Cognitive disorders in acute stroke: prevalence and clinical determinants. **Cerebrovascular diseases (Basel, Switzerland)**, v. 23, n. 5–6, p. 408–16, 2007.

OLDFIELD, R. C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. **Neuropsychologia**, v. 9, n. 1, p. 97–113, mar. 1971.

ORRELL, A. J. et al. Implicit sequence learning processes after unilateral stroke. **Neuropsychological Rehabilitation**, v. 17, n. 3, p. 335–354, 28 abr. 2007.

ORRELL, A. J.; MASTERS, R. S. W.; EVES, F. F. Reinvestment and movement disruption following stroke. **Neurorehabilitation and neural repair**, v. 23, n. 2, p. 177–83, fev. 2009.

OSTADAN, F. et al. Changes in corticospinal excitability during consolidation predict acute exercise-induced off-line gains in procedural memory. **Neurobiology of Learning and Memory**, v. 136, p. 196–203, dez. 2016.

PALMA, G. C. D. S. **Aprendizagem de uma habilidade motora com diferentes níveis de complexidade em sujeitos pós acidente vascular cerebral**. Dissertação de mestrado, Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, 2016.

PERINI, R. et al. Acute effects of aerobic exercise promote learning. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 25440, 5 jul. 2016.

PLEWNIA, C. et al. Enhancement of human cortico-motoneuronal excitability by the selective norepinephrine reuptake inhibitor reboxetine. **Neuroscience Letters**, v. 330, n. 3, p. 231–234, set. 2002.

PLOUGHMAN, M. et al. Does Treadmill Exercise Improve Performance of Cognitive or Upper-Extremity Tasks in People With Chronic Stroke? A Randomized Cross-Over Trial. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 89, n. 11, p. 2041–2047, nov. 2008.

PLOUGHMAN, M. et al. Brain-Derived Neurotrophic Factor Contributes to Recovery of Skilled Reaching After Focal Ischemia in Rats. **Stroke**, v. 40, n. 4, p. 1490–1495, 1 abr. 2009.

PLUMMER-D'AMATO, P. et al. Interactions between cognitive tasks and gait after stroke: a dual task study. **Gait & posture**, v. 27, n. 4, p. 683–8, maio 2008.

POHL, P. S. et al. Implicit learning of a motor skill after mild and moderate stroke. **Clinical Rehabilitation**, v. 20, n. 3, p. 246–253, mar. 2006.

POLDRACK, R. A. et al. Striatal activation during acquisition of a cognitive skill. **Neuropsychology**, v. 13, n. 4, p. 564–574, out. 1999.

POLDRACK, R. A. The Neural Correlates of Motor Skill Automaticity. **Journal of Neuroscience**, v. 25, n. 22, p. 5356–5364, 1 jun. 2005.

POLDRACK, R. A.; PACKARD, M. G. Competition among multiple memory systems: converging evidence from animal and human brain studies. **Neuropsychologia**, v. 41, n. 3, p. 245–251, jan. 2003.

POOLTON, J. M.; MASTERS, R. S. W.; MAXWELL, J. P. Passing thoughts on the evolutionary stability of implicit motor behaviour: Performance retention under physiological fatigue. **Consciousness and Cognition**, v. 16, n. 2, p. 456–468, 2007.

QUANEY, B. M. et al. Aerobic Exercise Improves Cognition and Motor Function Poststroke. **Neurorehabilitation and Neural Repair**, v. 23, n. 9, p. 879–885, 1 nov. 2009.

RASMUSSEN, P. et al. Evidence for a release of brain-derived neurotrophic factor from the brain during exercise. **Experimental Physiology**, v. 94, n. 10, p. 1062–1069, 1 out. 2009.

REBER, A. S. The cognitive unconscious: An evolutionary perspective. **Consciousness and Cognition**, v. 1, n. 2, p. 93–133, jun. 1992.

REMILLARD, G. The study of sequence learning in individuals with schizophrenia: a critical review of the literature. **Journal of neuropsychology**, v. 8, n. 2, p. 231–45, set. 2014.

REPOVŠ, G.; BADDELEY, A. The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. **Neuroscience**, v. 139, n. 1, p. 5–21, abr. 2006.

RHEE, J. et al. An acute bout of aerobic exercise can protect immediate offline motor sequence gains. **Psychological Research**, v. 80, n. 4, p. 518–531, 2016.

RINK, J. E. Task Presentation in Pedagogy. **Quest**, v. 46, n. 3, p. 270–280, ago. 1994.

RIOULT-PEDOTTI, M.-S. Learning-Induced LTP in Neocortex. **Science**, v. 290, n. 5491, p. 533–536, 20 out. 2000.

ROBERTSON, E. M. The Serial Reaction Time Task: Implicit Motor Skill Learning? **The Journal of Neuroscience**, v. 27, n. 38, p. 10073–10075, 2007.

ROBERTSON, E. M. From creation to consolidation: A novel framework for memory processing. **PLoS Biology**, v. 7, n. 1, 2009.

ROBERTSON, E. M.; COHEN, D. A. Understanding Consolidation through the Architecture of Memories. **The Neuroscientist**, v. 12, n. 3, p. 261–271, 29 jun. 2006.

RODRIGUES, M. R. M. et al. Does the Finger-to-Nose Test measure upper limb coordination in chronic stroke? **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 14, n. 6, p. 1–11, 2017.

ROIG, M. et al. A Single Bout of Exercise Improves Motor Memory. **PLoS ONE**, v. 7, n. 9, p. e44594, 4 set. 2012.

ROIG, M. et al. Time-Dependent Effects of Cardiovascular Exercise on Memory. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 44, n. 2, p. 81–88, abr. 2016.

RÖSSER, N. et al. Levodopa Improves Procedural Motor Learning in Chronic Stroke Patients. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 89, n. 9, p. 1633–1641, set. 2008.

RUSHWORTH, M. F. S. et al. The left parietal and premotor cortices: Motor attention and selection. **NeuroImage**, v. 20, n. SUPPL. 1, 2003.

SAKAI, K.; KITAGUCHI, K.; HIKOSAKA, O. Chunking during human visuomotor sequence learning. **Experimental Brain Research**, v. 152, n. 2, p. 229–242, 1 set. 2003.

SALE, M. V.; RIDDING, M. C.; NORDSTROM, M. A. Cortisol Inhibits Neuroplasticity Induction in Human Motor Cortex. **Journal of Neuroscience**, v. 28, n. 33, p. 8285–8293, 13 ago. 2008.

SANDERS, A. F. Towards a model of stress and human performance. **Acta Psychologica**, 1983.

SATAKE, S. et al. Up-regulation of vascular endothelial growth factor in response to glucose deprivation. **Biol.Cell**, v. 90, n. 2, p. 161–168, 1998.

SAUNDERS, D. H. et al. Physical fitness training for stroke patients. **Cochrane database of systematic reviews**, n. 3, p. 1–420, 2016.

SCALHA, T. B. et al. Correlations between motor and sensory functions in upper limb chronic hemiparetics after stroke. **Arquivos de neuro-psiquiatria**, v. 69, n. 4, p. 624–629, 2011.

SCHAAPSMEERDERS, P. et al. Long-term cognitive impairment after first-ever ischemic stroke in young adults. **Stroke**, v. 44, n. 6, p. 1621–1628, 2013.

SCHACTER, D. L. Implicit memory: History and current status. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, v. 13, n. 3, p. 501–518, 1987.

SCHAEFER, S. Y.; LANG, C. E. Using Dual Tasks to Test Immediate Transfer of Training Between Naturalistic Movements: A Proof-of-Principle Study. **Journal of Motor Behavior**, v. 44, n. 5, p. 313–327, set. 2012.

SCHIFFER, T. et al. Lactate infusion at rest increases BDNF blood concentration in humans. **Neuroscience Letters**, v. 488, n. 3, p. 234–237, jan. 2011.

SCHMIDT, R.A.; LEE, T. D. **Motor control and learning: a behavioral emphasis**. [s.l.] Champaign: Human Kinetics, 2014.

SCHMIDT, R. A. Frequent Augmented Feedback Can Degrade Learning: Evidence and Interpretations. In: REQUIN, J.; STEALMACH, G. E. (Eds.). **Tutorials in Motor Neuroscience**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 59–75.

SELEMON, L. D.; GOLDMAN-RAKIC, P. S. Longitudinal topography and interdigitation of corticostriatal projections in the rhesus monkey. **The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience**, v. 5, n. 3, p. 776–94, mar. 1985.

SHIN, J. C.; APARICIO, P.; IVRY, R. B. Multidimensional sequence learning in patients with focal basal ganglia lesions. **Brain and cognition**, v. 58, n. 1, p. 75–83, jun. 2005.

SIENGSKON, C. F.; BOYD, L. A. Sleep to learn after stroke: Implicit and explicit off-line motor learning. **Neuroscience Letters**, v. 451, n. 1, p. 1–5, fev. 2009a.

SIENGSAKON, C. F.; BOYD, L. A. Does Sleep Promote Motor Learning? Implications for Physical Rehabilitation. **Physical Therapy**, v. 89, n. 4, p. 370–383, 1 abr. 2009b.

SINGH, A. M.; NEVA, J. L.; STAINES, W. R. Aerobic exercise enhances neural correlates of motor skill learning. **Behavioural Brain Research**, v. 301, p. 19–26, 2016.

SINGH, A. M.; STAINES, W. R. The Effects of Acute Aerobic Exercise on the Primary Motor Cortex. **Journal of Motor Behavior**, v. 47, n. 4, p. 328–339, 4 jul. 2015.

SKRIVER, K. et al. Acute exercise improves motor memory: Exploring potential biomarkers. **Neurobiology of Learning and Memory**, v. 116, p. 46–58, 2014.

SMITH, P. J. et al. Aerobic exercise and neurocognitive performance: a meta-analytic review of randomized controlled trials. **Psychosomatic medicine**, v. 72, n. 3, p. 239–52, abr. 2010.

SNOW, N. J. et al. The effect of an acute bout of moderate-intensity aerobic exercise on motor learning of a continuous tracking task. **PLoS ONE**, v. 11, n. 2, p. 1–16, 2016.

SQUIRE, L. R. Declarative and Nondeclarative Memory: Multiple Brain Systems Supporting Learning and Memory. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 4, n. 3, p. 232–243, jul. 1992.

SQUIRE, L. R. Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. **Neurobiology of Learning and Memory**, v. 82, n. 3, p. 171–177, nov. 2004.

SQUIRE, L. R.; DEDE, A. J. Conscious and unconscious memory systems. **Cold Spring Harbor Perspect Biol**, v. 7, n. 3, p. a021667, 2015.

STATTON, M. A. et al. A Single Bout of Moderate Aerobic Exercise Improves Motor Skill Acquisition. **PLOS ONE**, v. 10, n. 10, p. e0141393, 27 out. 2015.

STAVRINOS, E. L.; COXON, J. P. High-intensity interval exercise promotes motor cortex disinhibition and early motor skill consolidation. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 29, n. 4, p. 593–604, abr. 2017.

STE-MARIE, D. M. et al. Observation interventions for motor skill learning and performance: An applied model for the use of observation. **International Review of Sport and Exercise Psychology**, v. 5, n. 2, p. 145–176, 2012.

STRANDA, H. et al. The Effect of Aerobic Exercise on Speed and Accuracy Task Components in Motor Learning. **Sports**, v. 7, n. 3, p. 54, 26 fev. 2019.

STRÜDER, H. K.; WEICKER, H. Physiology and Pathophysiology of the Serotonergic System

and its Implications on Mental and Physical Performance. Part II. **International Journal of Sports Medicine**, v. 22, n. 7, p. 482–497, out. 2001.

SUN, R.; SLUSARZ, P.; TERRY, C. The Interaction of the Explicit and the Implicit in Skill Learning: A Dual-Process Approach. **Psychological Review**, v. 112, n. 1, p. 159–192, 2005.

TANI, G. et al. Aprendizagem motora: tendências, perspectivas e aplicações. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 18, n. N.esp., p. 55–72, 2004.

TANI, G. et al. Pesquisa na área de comportamento motor: Modelos teóricos, métodos de investigação, instrumentos de análise, desafios, tendências e perspectivas. **Revista da Educação Física/UEM**, v. 21, n. 3, 2010.

TAUBERT, M.; VILLRINGER, A.; LEHMANN, N. Endurance Exercise as an “Endogenous” Neuro-enhancement Strategy to Facilitate Motor Learning. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 9, 22 dez. 2015.

THILARAJAH, S. et al. Factors Associated With Post-Stroke Physical Activity: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 99, n. 9, p. 1876–1889, set. 2018.

THOMAS, R. et al. Acute Exercise and Motor Memory Consolidation: The Role of Exercise Timing. **Neural Plasticity**, v. 2016, p. 1–11, 2016a.

THOMAS, R. et al. Acute Exercise and Motor Memory Consolidation: The Role of Exercise Intensity. **PLOS ONE**, v. 11, n. 7, p. e0159589, 25 jul. 2016b.

THOMAS, R. et al. Acute exercise and motor memory consolidation: Does exercise type play a role? **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 27, n. 11, p. 1523–1532, nov. 2017.

TOMPOROWSKI, P. D.; PENDLETON, D. M. Effects of the Timing of Acute Exercise and Movement Complexity on Young Adults’ Psychomotor Learning. **Journal of Sport and Exercise Psychology**, v. 40, n. 5, p. 240–248, out. 2018.

TONONI, G.; CIRELLI, C. Sleep and synaptic homeostasis: a hypothesis. **Brain Research Bulletin**, v. 62, n. 2, p. 143–150, dez. 2003.

TORRIANI-PASIN, C.; BONUZZI, G. M. G.; FREUDENHEIM, A. M. Fatores que afetam a aprendizagem motora de indivíduos pós Acidente Vascular Cerebral. In: TANI, G. (Ed.). . **Comportamento Motor: Conceitos, estudos e aplicações**. São Paulo: Guanabara Koogan, 2016. p. 175–180.

TREJO, J. L.; LLORENS-MARTÍN, M. V.; TORRES-ALEMÁN, I. The effects of exercise on spatial learning and anxiety-like behavior are mediated by an IGF-I-dependent mechanism related to hippocampal neurogenesis. **Molecular and Cellular Neuroscience**, v. 37, n. 2, p. 402–411, fev. 2008.

TULVING, E. How many memory systems are there? **American Psychologist**, v. 40, n. 4, p. 385–398, 1985.

TULVING, E. Episodic Memory: From Mind to Brain. **Annual Review of Psychology**, v. 53, n. 1, p. 1–25, fev. 2002.

VAHLBERG, B. et al. Level of physical activity in men and women with chronic stroke. **Physiotherapy Theory and Practice**, v. 35, n. 10, p. 947–955, 3 out. 2019.

VAKIL, E. et al. Motor and non-motor sequence learning in patients with basal ganglia lesions: the case of serial reaction time (SRT). **Neuropsychologia**, v. 38, n. 1, p. 1–10, jan. 2000.

VALKENBORGH, S. R. et al. AExaCTT – Aerobic Exercise and Consecutive Task-specific Training for the upper limb after stroke: Protocol for a randomised controlled pilot study. **Contemporary Clinical Trials Communications**, v. 7, p. 179–185, set. 2017.

VALKENBORGH, S. R. et al. Aerobic exercise prior to task-specific training to improve poststroke motor function: A case series. **Physiotherapy Research International**, v. 23, n. 2, p. e1707, abr. 2018.

VALKENBORGH, S. R. et al. Aerobic exercise and consecutive task-specific training (AExaCTT) for upper limb recovery after stroke: A randomized controlled pilot study. **Physiotherapy Research International**, v. 24, n. 3, p. 1–11, 3 jul. 2019.

VANDENBERG, P. et al. BDNF is required for Cerebral, motor map integrity in adult Cortex. **Soc Neurosci Abstr**, v. 681, n. 5, 2004.

VERWEY, W. B. Processing modes and parallel processors in producing familiar keying sequences. **Psychological research**, v. 67, n. 2, p. 106–22, maio 2003.

WAGNER, J. M. et al. Relationships between sensorimotor impairments and reaching deficits in acute hemiparesis. **Neurorehabilitation and neural repair**, v. 20, n. 3, p. 406–416, 2006.

WARLOW, C. et al. **Stroke: Practical Management**. 3. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2007.

WARRAICH, Z.; KLEIM, J. A. Neural Plasticity: The Biological Substrate For Neurorehabilitation. **PM&R**, v. 2, n. 12, p. S208–S219, dez. 2010.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Stroke, Cerebrovascular accident.** Disponível em: <http://www.who.int/topics/cerebrovascular_accident/en/>. Acesso em: 11 jan. 2018.

WIESE-BJORNSTAL, D. M.; WEISS, M. R. Modeling effects on children's form kinematics, performance outcome, and cognitive recognition of a sport skill: an integrated perspective. **Research quarterly for exercise and sport**, v. 63, n. 1, p. 67–75, mar. 1992.

WILLINGHAM, D. B. A neuropsychological theory of motor skill learning. **Psychological Review**, v. 105, n. 3, p. 558–584, 1998.

WILLINGHAM, D. B. Implicit motor sequence learning is not purely perceptual. **Memory & cognition**, v. 27, n. 3, p. 561–572, 1999.

WILLINGHAM, D. B.; SALIDIS, J.; GABRIELI, J. D. E. Direct comparison of neural systems mediating conscious and unconscious skill learning. **Journal of neurophysiology**, v. 88, n. 3, p. 1451–60, set. 2002.

WINSTEIN, C. J.; KAY, D. B. Translating the science into practice: shaping rehabilitation practice to enhance recovery after brain damage. In: **Sensorimotor Rehabilitation: At the Crossroads of Basic and Clinical Sciences**. 1. ed. [s.l.] Elsevier B.V., 2015. v. 218p. 331–360.

WINSTEIN, C. J.; STEWART, J. C. Conditions of task practice for individuals with neurologic impairments. In: SELZER, M. et al. (Eds.). **Neural Repair and Rehabilitation**. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2006. p. 89–102.

WISSEL, J.; MANACK, A.; BRAININ, M. Toward an epidemiology of poststroke spasticity. **Neurology**, v. 80, n. Issue 3, Supplement 2, p. S13–S19, 15 jan. 2013.

WULF, G. et al. Enhancing the learning of sport skills through external-focus feedback. **Journal of motor behavior**, v. 34, n. 2, p. 171–182, 2002.

WULF, G. Attentional Focus and Motor Learning: A Review of 10 Years of Research. **e-journal Bewegung und Training**, v. 1, p. 1–64, 2007.

WULF, G.; SCHMIDT, R. A.; DEUBEL, H. Reduced feedback frequency enhances generalized motor program learning but not parameterization learning. **Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition**, v. 19, n. 5, p. 1134–1150, 1993.

WULF, G.; SHEA, C. H. Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. **Psychonomic bulletin & review**, v. 9, n. 2, p. 185–211, 2002.

XU, T. et al. Rapid formation and selective stabilization of synapses for enduring motor memories. **Nature**, v. 462, n. 7275, p. 915–919, 29 dez. 2009.

ZINN, S. et al. Executive function deficits in acute stroke. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 88, n. 2, p. 173–80, fev. 2007.

ZWART, F. S. et al. Procedural learning across the lifespan: A systematic review with implications for atypical development. **Journal of neuropsychology**, v. 8, out. 2017.

Anexo 1**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO****I - DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL****1. DADOS DO INDIVÍDUO**

Nome completo

Sexo ☐ Masculino
☐ Feminino

RG

Data de
nascimento

Endereço
completo

CEP

Fone

e-mail

2. RESPONSÁVEL LEGAL

Nome completo

Natureza (grau de parentesco, tutor,
curador, etc.)

Sexo ☐ Masculino
☐ Feminino

RG

Data de
nascimento

Endereço
completo

CEP

Fone

e-mail

II - DADOS SOBRE A PESQUISA CIENTÍFICA

1. Título do Projeto de Pesquisa

Efeitos do exercício aeróbio na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC.

2. Pesquisador Responsável

Profa. Dra. Camila Torriani-Pasin

3. Cargo/Função

Professora Doutora

4. Avaliação do risco da pesquisa:

☒ RISCO MÍNIMO	☐ RISCO BAIXO	☐ RISCO MÉDIO	☐ RISCO MAIOR
--	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

(probabilidade de que o indivíduo sofra algum dano como consequência imediata ou tardia do estudo)

5. Duração da Pesquisa

2 anos

III - EXPLICAÇÕES DO PESQUISADOR AO INDIVÍDUO OU SEU REPRESENTANTE LEGAL SOBRE A PESQUISA, DE FORMA CLARA E SIMPLES, CONSIGNANDO:

1. Justificativa e os objetivos da pesquisa;

Este é um estudo que pretende entender como o exercício aeróbico (como a caminhada, a natação, a corrida, andar de bicicleta) pode auxiliar indivíduos pós-AVC a readquirirem seus movimentos. Assim, nós gostaríamos de entender a relação entre a realização deste tipo de exercício físico e a aprendizagem de movimentos corporais.

Após a realização de exercícios aeróbicos uma série de alterações positivas acontecem no cérebro do praticante. Desta forma, nós estamos supondo que estas alterações podem influenciar positivamente o aprendizado de movimentos corporais de indivíduos que sofreram Derrame. Nossas descobertas podem auxiliar a utilização deste tipo de exercício com o objetivo de melhorar os resultados das sessões de reabilitação destes pacientes.

2. Procedimentos que serão utilizados e propósitos, incluindo a identificação dos procedimentos que são experimentais;

Para participar deste estudo você deverá comparecer no Laboratório de Comportamento Motor da USP, nos dias agendados pelo pesquisador.

Você participará de sessões de prática em um jogo de computador. Para isto, você deverá pressionar as teclas do teclado de acordo com alguns estímulos que aparecem na tela do computador. As sessões de prática deste jogo duram aproximadamente entre 5 a 20 minutos, e você praticará este jogo durante 4 dias.

Além disso, você também realizará exercícios aeróbicos em uma bicicleta ergométrica. A forma de realização do exercício será baseada nos protocolos mais seguros para pessoas com Derrame, sendo que será monitorado seu esforço com um frequencímetro (aparelho que mede os batimentos do coração). Um profissional de educação física irá lhe acompanhar ao longo de todo exercício, para garantir sua segurança. As sessões de exercício irão durar 20 minutos, e serão feitas em 3 dias consecutivos.

Portanto, você vai vir ao laboratório 3 (três) dias consecutivos, sendo que em cada dia você vai se exercitar na bicicleta ergométrica e praticar o jogo de computador. Após uma semana você vai participar de mais 1 (um) dia de prática do jogo de computador. Assim, cada dia de sua participação terá uma duração total de aproximadamente 50 minutos, e você terá o direito de descansar quantas vezes forem necessárias.

É importante nos dias de sua participação que você esteja alimentado e hidratado à no mínimo 30 minutos do início da sessão, para evitar que você tenha algum desconforto durante o exercício. É sugerido também que você venha para as sessões com roupas leves que permitem conforto para atividade física.

3. Desconfortos e riscos esperados;

Esta pesquisa apresenta riscos mínimos durante sua realização. O exercício físico possui capacidade de gerar estresse cardíaco. Desta forma, pode ser que a prática de exercício físico venha a proporcionar: cansaço, queda ou aumento de pressão arterial, mal súbito, hipoglicemia (diminuição do açúcar do sangue), dentre outros.

Com isso, para evitar qualquer risco você só poderá participar desta pesquisa estando apto a praticar atividade física por seu médico. Além disso, é necessário que em caso de você tomar remédio relacionado a qualquer problema do coração e do sangue (como remédio de pressão arterial, por exemplo), você continue tomando rigorosamente os remédios prescritos por seu médico durante toda a realização da pesquisa.

4. Benefícios que poderão ser obtidos;

Não haverá benefícios específicos para sua pessoa.

5. Procedimentos alternativos que possam ser vantajosos para o indivíduo.

Não há procedimentos alternativos neste estudo.

IV - ESCLARECIMENTOS DADOS PELO PESQUISADOR SOBRE GARANTIAS DO SUJEITO DA PESQUISA:

1. O (A) senhor(a) terá acesso, a qualquer tempo, às informações sobre procedimentos, riscos e benefícios relacionados a esta pesquisa, inclusive para sanar eventuais dúvidas;
2. O(A) senhor(a) tem liberdade de retirar seu consentimento a qualquer momento e de deixar de participar do estudo, sem que isto traga prejuízo à continuidade da assistência;
3. A pesquisa é confidencial e sigilosa, garantindo a privacidade dos participantes. Assim, o(a) senhor(a) não terá sua imagem ou seu nome publicado em qualquer via de comunicação como revistas, artigos, textos na internet, etc. Seus dados serão tratados sempre de maneira anônima.; e
4. Se houver qualquer eventual dano à saúde decorrente desta pesquisa, o(a) senhor(a) será encaminhado para atendimento no Hospital Universitário ou no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina, ambos da Universidade de São Paulo.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Escola de Educação Física e Esportes da universidade de São Paulo, coordenado pela Prof^a. Dr^a. Edilamar Menezes de Oliveira, que poderá ser contatado em caso de questões éticas, pelo telefone 11- 3091.3097 ou e-mail: cep39@usp.br

Os pesquisadores responsáveis pelo estudo poderão fornecer qualquer esclarecimento sobre o estudo, assim como tirar dúvidas, bastando contato por meio das informações descritas abaixo.

V - INFORMAÇÕES DE NOMES, ENDEREÇOS E TELEFONES DOS RESPONSÁVEIS PELO ACOMPANHAMENTO DA PESQUISA, PARA CONTATO EM CASO DE INTERCORRÊNCIAS CLÍNICAS E REAÇÕES ADVERSAS.

Professora Dra. Camila Torriani-Pasin / camipasin@usp.br

Tel.: (11) 3091-8786

Giordano Marcio Gatinho Bonuzzi / giordanomgb@gmail.com

Tel.: (19) 997488148

Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo

Avenida Professor Mello Moraes, 65 – Cidade Universitária – São Paulo – CEP 05508-030

VI. - OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES

--

VII - CONSENTIMENTO PÓS-ESCLARECIDO

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

São Paulo, ____/____/____

assinatura do sujeito da pesquisa

ou responsável legal

assinatura do pesquisador

(carimbo ou nome legível)

Apêndice 1

USP - ESCOLA DE EDUCAÇÃO
FÍSICA E ESPORTE DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Efeitos do exercício aeróbico na aprendizagem implícita de indivíduos pós-Acidente Vascular Cerebral

Pesquisador: Camila Torriani-Pasin

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 03499218.1.0000.5391

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE DE SAO PAULO

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.163.843

Apresentação do Projeto:

Tem sido identificado que a prática de exercício aeróbico promove benefícios na codificação e consolidação de memórias motoras. Considerando que indivíduos pós-Acidente Vascular Cerebral (AVC) apresentam déficits na aquisição de memórias implícitas, sugere-se que a prática de exercícios aeróbicos pode promover neuromodulação que favoreça a aprendizagem implícita destes indivíduos. Assim, busca-se investigar os efeitos do exercício aeróbico na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC. Para isto contar-se-á com a participação de 45 indivíduos pós-AVC e 45 indivíduos neurologicamente saudáveis, pareados em idade com o grupo AVC. Os participantes irão ser divididos aleatoriamente em 3 grupos, a considerar: Grupo Controle (GC), o qual não realizará exercício aeróbico e fará somente a prática da tarefa proposta; Grupo Exercício Antes (GEA), o qual participará de sessões de exercício aeróbico contínuo anteriormente a prática da tarefa proposta e Grupo Exercício Depois (GED) que praticará sessões de exercício aeróbico nas mesmas condições que o GEA, contudo fará o exercício imediatamente depois das sessões de prática. Todos os participantes praticarão a Tarefa de Tempo de Reação Seriado, sendo ofertados 18 blocos de 6 tentativas de prática divididos em 3 dias, após uma semana será realizado um teste de retenção. Para averiguar a aprendizagem implícita durante a prática será ofertado sequencias de estímulo aleatórias e repetidas, não sendo ofertado conhecimento explícito sobre a existência da sequencia repetida em nenhuma ocasião do estudo. Após a realização de todo o delineamento experimental será avaliado o conhecimento declarativo dos sujeitos em relação a sequencia

Endereço: Av. Profº Mello Moraes, 65

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 05.508-030

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3091-3097

Fax: (11)3812-4141

E-mail: cep39@usp.br

USP - ESCOLA DE EDUCAÇÃO
FÍSICA E ESPORTE DA
UNIVERSIDADE DE SÃO

Continuação do Parecer: 3.163.843

repetida. Será utilizado como variável dependente o tempo de resposta e o número de erros. Sendo observados os pressupostos paramétricos os dados serão confrontados em uma Anova two way (3 grupos x 3 momentos (pré-teste, pós-teste e teste de retenção)), utilizando-se o teste de tukey para análises post-hoc. Será adotado um alfa de 0,05 para a diferença significativa. Tem-se a hipótese de que o exercício aeróbico favorecerá a aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC devido seus potenciais neuromodulatórios.

Objetivo da Pesquisa:

Investigar os efeitos do exercício aeróbico na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC. Investigar os efeitos de diferentes momentos em que o exercício aeróbico é realizado (imediatamente antes ou imediatamente após a prática) na aprendizagem implícita de indivíduos pós-AVC.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

A prática de exercícios físicos envolve certos riscos que são inerentes à sua execução, como desconfortos musculares e fadiga. Adotar-se-á todas as exigências e protocolos aconselhados para esta população, tanto para a devida certificação de aptidão para a realização de atividade física (liberação médica), quanto para a adequação do treinamento segundo parâmetros de segurança cardiovascular (protocolo de treinamento sugerido por diretrizes internacionais) e biomecânica (ajuste ergonômico da bicicleta estacionária em relação ao participante). Assim, todas as precauções serão tomadas para a prescrição de um modelo de exercício eficiente e seguro.

Os participantes não receberão nenhum benefício ou reembolso que seja derivado da participação dos mesmos nos experimentos propostos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Projeto com desenho claro, com relevância no campo de conhecimento. O grupo de pesquisa tem experiência na área e contribuirá para desenvolver ainda mais o conhecimento.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

TCLE adequado, conciso, coeso e com linguagem pertinente.

Recomendações:

Sem mais recomendações

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sugiro aprovação, cronograma adequado nessa versão

Endereço: Av. Profº Mello Moraes, 65

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 05.508-030

UF: SP

Município: SÃO PAULO

Telefone: (11)3091-3097

Fax: (11)3812-4141

E-mail: cep39@usp.br

**USP - ESCOLA DE EDUCAÇÃO
FÍSICA E ESPORTE DA
UNIVERSIDADE DE SÃO**

Continuação do Parecer: 3.163.843

Considerações Finais a critério do CEP:

aprovado

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_1193752.pdf	07/12/2018 17:12:12		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Giordano_Doutorado_CEP.docx	07/12/2018 17:10:26	Giordano Marcio Gatinho Bonuzzi	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle.docx	07/12/2018 17:07:54	Giordano Marcio Gatinho Bonuzzi	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto.pdf	15/08/2018 15:48:30	Giordano Marcio Gatinho Bonuzzi	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SAO PAULO, 22 de Fevereiro de 2019

**Assinado por:
Edilamar Menezes de Oliveira
(Coordenador(a))**

Endereço: Av. Profº Mello Moraes, 65

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 05.508-030

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3091-3097

Fax: (11)3812-4141

E-mail: cep39@usp.br

Apêndice 2

MONTREAL COGNITIVE ASSESSMENT (MOCA)
Versão Experimental Brasileira

Nome: _____
Escolaridade: _____
Sexo: _____

Data de nascimento: ____/____/____
Data de avaliação: ____/____/____
Idade: _____

VISUOESPACIAL / EXECUTIVA		Copiar o cubo		Desenhar um RELÓGIO (onze horas e dez minutos) (3 pontos)		Pontos
				[] [] [] Contorno Números Ponteiros		5
NOMEAÇÃO						
						3
MEMÓRIA		Leia a lista de palavras, O sujeito deve repeti-la, faça duas tentativas Evocar após 5 minutos		Rosto Veludo Igreja Margarida Vermelho 1ª tentativa [] [] [] [] [] 2ª tentativa [] [] [] [] []	Sem Pontuação	
ATENÇÃO		Leia a sequência de números (1 número por segundo)		O sujeito deve repetir a sequência em ordem direta [] 2 1 8 5 4 O sujeito deve repetir a sequência em ordem indireta [] 7 4 2		2
		Leia a série de letras. O sujeito deve bater com a mão (na mesa) cada vez que ouvir a letra "A". Não se atribuem pontos se ≥ 2 erros.		[] FBACMNAAJKLBAFAKDEAAAJAMOFAB		1
		Subtração de 7 começando pelo 100 [] 93 [] 86 [] 79 [] 72 [] 65		4 ou 5 subtrações corretas: 3 pontos; 2 ou 3 corretas 2 pontos; 1 correta 1 ponto; 0 correta 0 ponto		3
LINGUAGEM		Repetir: Eu somente sei que é João quem será ajudado hoje. []		O gato sempre se esconde embaixo do sofá quando o cachorro está na sala. []		2
		Fluência verbal: dizer o maior número possível de palavras que comecem pela letra F (1 minuto). [] _____ (N ≥ 11 palavras)				1
ABSTRAÇÃO		Semelhança p. ex. entre banana e laranja = fruta [] trem - bicicleta [] relógio - régua				2
EVOCAÇÃO TARDIA		Deve recordar as palavras SEM PISTAS		Rosto Veludo Igreja Margarida Vermelho [] [] [] [] []		5
OPCIONAL		Pista de categoria [] Pista de múltipla escolha []		Pontuação apenas para evocação SEM PISTAS		
ORIENTAÇÃO		[] Dia do mês [] Mês [] Ano [] Dia da semana [] Lugar [] Cidade				6
		© Z. Nasreddine MD www.mocatest.org Versão experimental Brasileira: Ana Luisa Rosas Sarmento Paulo Henrique Ferreira Bertolucci - José Roberto Wajman		TOTAL Adicionar 1 pt se ≤ 12 anos de escolaridade		30

Apêndice 3

A - OMBRO/ COTOVELO/ ANTEBRAÇO

I - Atividade Reflexa

a) Biceps / flexor dedos () // (v)(h) / (v)(h)

b) Tríceps () // (v)(h)

0 – nenhuma atividade reflexa presente

2 – atividade reflexa presente

Pontuação máxima: 4

II - a) Sinergia Flexora (6 movimentos)

Retração ()

Elevação ()

Abdução 90° ()

Rotação externa de ombro ()

Flexão de cotovelo ()

Supinação de antebraço ()

0 – atividade não pode ser realizada

1 – atividade pode ser realizada parcialmente

2 – atividade é realizada sem erro

b) Sinergia Extensora (4 movimentos)

Adução de ombro / Rotação interna de ombro ()

Extensão de cotovelo ()

Pronação de antebraço ()

0 – atividade não pode ser realizada

1 – atividade pode ser realizada parcialmente

2 – atividade é realizada sem erro

Pontuação máxima: 18

III - a) Mão na lombo ()

0 – tarefa não pode ser realizada completamente

1 – tarefa pode ser realizada parcialmente

2 – tarefa é realizada completamente

b) Flexão de ombro 0-90° c/ o cotovelo em extensão completa e antebraço entre prono e supino ()

0 – no início do movimento, o braço abduz ou o cotovelo flexiona

1 – na fase final do movimento, o ombro abduz e/ou flexiona o cotovelo

2 – a tarefa é realizada perfeitamente

b) Flexão de ombro 0-90° c/ o cotovelo em extensão completa e antebraço entre prono e supino ()

0 – no início do movimento, o braço abduz ou o cotovelo flexiona

1 – na fase final do movimento, o ombro abduz e/ou flexiona o cotovelo

2 – a tarefa é realizada perfeitamente

c) Pronação - supinação do antebraço c/ o cotovelo a 90° e ombro a 0° ()

0 – não ocorre posicionamento correto do cotovelo e ombro e/ou pronação e supinação não pode ser realizada completamente

1 – prono-supino pode ser realizada com ADM limitada e ao mesmo tempo o ombro e o cotovelo estão corretamente posicionados

2 – a tarefa é realizada completamente

Pontuação máxima: 6

IV - a) Abdução de ombro 0-90° c/ o cotovelo em extensão total e antebraço prono ()

0 – ocorre flexão inicial do cotovelo e algum desvio do antebraço prono

1 – durante o movimento, o cotovelo flexiona ou o antebraço não pode ser mantido na posição prono

2 – a tarefa pode ser realizada sem desvio

b) Flexão de ombro 90° - 180° ()

0 – no início do movimento, o braço abduz ou o cotovelo flexiona

1 – na fase final do movimento, o ombro abduz e/ou flexiona o cotovelo

2 – a tarefa é realizada completamente

c) Pronação c/ cotovelo a 0° ()

0 – não ocorre posicionamento correto do cotovelo e ombro e/ou pronação e supinação não pode ser realizada completamente

1 – prono-supino pode ser realizada com ADM limitada e ao mesmo tempo o ombro e o cotovelo estão corretamente posicionados

2 – a tarefa é realizada completamente

Pontuação máxima: 6

V - Atividade Reflexa Normal

Biceps / Flexor dedos / Tríceps ()

0 – pelo menos 2 dos 3 reflexos estão marcadamente hiperativos

1 – 1 reflexo hiperativo ou pelo menos 2 reflexos vivos

2 – não mais do que 1 reflexo vivo e nenhum reflexo hiperativo

Somente se o indivíduo tem uma pontuação de 6 pts no estágio IV

Pontuação máxima: 2

Pontuação máxima para a parte superior do braço: 36

B - PUNHO

a) Ombro à 0°, cotovelo à 90°, antebraço em prono, punho em extensão de 15° (aplicar resistência) ()

- 0 – o pte não pode estender o punho para a posição desejada
- 1 – a extensão pode ser realizada, mas sem resistência alguma
- 2 – a posição pode ser mantida contra alguma resistência

b) Flexão/Ext. de punho c/ombro a 0° e cotovelo à 90° ()

- 0 – não ocorre movimento voluntário
- 1 – o pte não move ativamente o punho em toda ADM
- 2 – a tarefa pode ser realizada

c) Ombro flexido e/ou abduzido, cotovelo à 0° e antebraço pronado (aplicar resistência) ()

- 0 – não ocorre movimento voluntário
- 1 – o pte não move ativamente o punho em toda ADM
- 2 – a tarefa pode ser realizada

d) Flexão/Extensão de punho c/ombro flex e/ou abd e cotovelo à 0° ()

- 0 – não ocorre movimento voluntário
- 1 – o pte não move ativamente o punho em toda ADM
- 2 – a tarefa pode ser realizada

e) Circundução ()

- 0 – não ocorre movimento voluntário
- 1 – o pte não move ativamente o punho em toda ADM
- 2 – a tarefa pode ser realizada

Pontuação máxima: 10

C - MÃO

a) Flexão em massa dos dedos ()

- 0 – nenhuma flexão ocorre
- 1 – alguma, mas sem flexão total dos dedos
- 2 – flexão ativa total (comparado c/o membro não afetado)

b) Extensão em massa dos dedos ()

- 0 – nenhuma atividade ocorre
- 1 – ocorre relaxamento (liberação) da flexão em massa
- 2 – extensão completa (comparado c/o membro não afetado)

c) Preensão 1 - Extensão das art. MTF dos dígitos II-V e flexão das art. IFP e IFD contra resistência ()

- 0 – posição requerida não pode ser realizada
- 1 – a preensão é fraca
- 2 – a preensão pode ser mantida contra uma resistência relativamente grande

d) Preensão 2 - Papel Interposto entre o polegar e o dedo Indicador ()

- 0 – a função não pode ser realizada
- 1 – o papel pode ser mantido no lugar, mas não contra uma leve puxada
- 2 – um pedaço de papel é segurado firmemente contra uma puxada

e) Preensão 3 - Opor a polpa digital do polegar contra a do dedo Indicador com um lápis interposto ()

- 0 – a função não pode ser realizada
- 1 – o lápis pode ser mantido no lugar, mas não contra uma leve puxada
- 2 – o lápis é segurado firmemente contra uma puxada

f) Preensão 4 - Segurar com firmeza um objeto cilíndrico com a superfície volar do primeiro e segundo dedos contra os demais ()

- 0 – a função não pode ser realizada
- 1 – o objeto interposto pode ser mantido no lugar, mas não contra uma leve puxada
- 2 – o objeto é segurado firmemente contra uma puxada

g) Preensão 5 - Segurar com firmeza uma bola de tênis ()

- 0 – a função não pode ser realizada
- 1 – o objeto pode ser mantido no lugar, mas não contra uma leve puxada
- 2 – o objeto é segurado firmemente contra uma puxada

Pontuação máxima: 14

Pontuação total de ombro/cotovelo/antebraço, mão e punho: 60

D – COORDENAÇÃO/VELOCIDADE

Index-nariz 5 vezes o mais rápido que conseguir

a) Tremor ()

- 0 – tremor marcante
- 1 – tremor leve
- 2 – sem tremor

b) Dismetria ()

- 0 – dismetria pronunciada
- 1 – dismetria leve
- 2 – sem dismetria

c) Tempo ()

0 – pelo menos < 6 seg. mais devagar no lado afetado do que no lado não afetado

1 – 2 a 5 seg. mais devagar no lado afetado

2 – menos do que 2 seg. de diferença

Pontuação máxima: 6

Pontuação total de extremidade superior: 66

E – QUADRIL/JOELHO/TORNOZELO

I – Atividade Reflexa

a) Adutor/Aquiles () // (V)(h) / (V)(h)

b) Patelar () // (V)(h)

0 – nenhuma atividade reflexa

2 – atividade reflexa pode ser observada em flexores e/ou extensores

Pontuação máxima: 4

II – a) Sinergia Flexora

Em decúbito dorsal, flexionar:

Quadril () * Joelho () Tornozelo ()

0 – atividade não pode ser realizada

1 – atividade pode ser realizada parcialmente

2 – atividade é realizada no decorrer das ADM de cada uma das 3 articulações

b) Sinergia Extensora

Em decúbito dorsal, a partir da sinergia flexora e aplicando uma resistência, pedir a:

Adução do Quadril ()

Extensão do Quadril ()

Extensão do Joelho ()

Flexão Plantar ()

0 – atividade não pode ser realizada

1 – pouca força

2 – força normal ou perto do normal (comparado ao membro não afetado)

Pontuação máxima: 14

III – a) Com o indivíduo sentado e a fossa poplíteia livre, pedir a flexão do joelho além de 90° ()

0 – sem movimento ativo

1 – partindo da extensão, o joelho pode ser flexionado ativamente não mais do que 90°

2 – joelho pode ser flexionado além de 90°

b) Com o indivíduo sentado, pedir a dorsiflexão do tornozelo ()

0 – não pode

1 – flexão ativa incompleta

2 – dorsiflexão normal (comparado com o membro não afetado)

Pontuação máxima: 4

IV – a) Com o indivíduo em pé, pedir a flexão do joelho além de 90° ()

0 – joelho não pode ser fletido sem que quadril seja fletido simultaneamente

1 – joelho não pode ser fletido totalmente a 90° e/ou quadril é fletido durante a realização do movimento

2 – joelho pode ser fletido além de 90°

b) Com o indivíduo em pé, pedir a dorsiflexão do tornozelo ()

Para conseguir 1 ou 2 pts, o movimento ativo da articulação é comparado com o lado não afetado

Pontuação máxima: 4

V – Atividade reflexa Normal

Adutor/Aquiles / Patelar ()

0 – pelo menos 2 dos 3 reflexos estão marcadamente hiperativos

1 – 1 reflexo hiperativo ou pelo menos 2 reflexos vivos

2 – não mais do que 1 reflexo vivo e nenhum reflexo hiperativo

Somente se o indivíduo tem uma pontuação de 4 pts no estágio IV

Pontuação máxima: 2

F – COORDENAÇÃO / VELOCIDADE

Indivíduo em decúbito dorsal, realizar deslização do calcanhar no joelho-tíbia 5 vezes em uma sucessão rápida

a) Tremor ()

0 – tremor

1 – tremor leve

2 – sem tremor

b) Dismetria ()

0 – dismetria pronunciada

1 – dismetria leve

2 – sem dismetria

c) Tempo ()

0 – pelo menos < 6 seg. mais devagar no lado no lado afetado do que no lado não afetado

1 – 2 a 5 seg. mais devagar no lado afetado

2 – menos do que 2 seg. de diferença

Pontuação máxima: 6

Pontuação total de extremidade inferior: 34

De A até F: 100

G – EQUILÍBRIO

a) Sentado sem apoio ()

0 – não consegue manter a posição sem suporte

1 – senta somente por um curto período

2 – senta por pelo menos 5 min. Sem nenhum suporte, regulando a postura do corpo em relação à gravidade

b) Reação de proteção no lado não afetado ()

Indivíduo sentado e vendado é empurrado contra o lado não afetado

0 – não realiza abdução do ombro, a extensão do cotovelo para prevenir a queda

1 – reação de proteção incompleta

2 – reação de proteção normal

c) Reação de proteção no lado afetado ()

Mesmo ato realizado porém, contra o lado afetado

0 – não realiza abdução do ombro, a extensão do cotovelo para prevenir a queda

1 – reação de proteção incompleta

2 – reação de proteção normal

d) Ficar de pé com apoio ()

0 – não consegue ficar de pé

1 – ficar de pé demanda grande ajuda de outras pessoas

2 – pode ficar de pé ereto por pelo menos 1 min. Com leve ajuda (ou simbólica) de outra pessoa

e) Ficar de pé sem apoio ()

0 – não pode ficar de pé sem ajuda

1 – pode ficar de pé por pelo menos 1 min. Ou fica de pé por mais tempo, mas movendo-se de um lado p/ o outro

2 – bom equilíbrio em pé, pode manter o equilíbrio por mais de 1 min. sem insegurança

f) Ficar de pé sobre o lado não afetado ()

0 – a posição não pode ser mantida por mais do que alguns segundos

1 – pode ficar de pé em uma posição equilibrada entre 4-9 seg

2 – pode manter a posição equilibrada por mais de 10 seg.

g) Ficar de pé sobre o lado afetado ()

0 – a posição não pode ser mantida por mais do que alguns segundos

1 – pode ficar de pé em uma posição equilibrada entre 4-9 seg

2 – pode manter a posição equilibrada por mais de 10 seg.

Pontuação máxima: 14**H – SENSIBILIDADE****a) Exteroceptiva (Indivíduo em decúbito dorsal vendado)**

Braço ()

Superfície palmar ()

Coxa ()

Superfície plantar ()

0 – anestesia

1 – hipostesia/dissestesia

2 – normoestesia

Pontuação máxima: 8**b) Propriocepção (Indivíduo em decúbito dorsal vendado)**

Ombro () Cotovelo () Punho () Polegar () Quadril () Joelho () Tornozelo () Hálux ()

0 – falta da sensação (nenhuma resposta correta)

1 – diferença considerável na sensação comparado com a art. Do lado não afetado, mas pelo menos ¼ das respostas corretas

2 – todas as respostas corretas, pequena ou nenhuma diferença comparando o membro não afetado c/o afetado

Pontuação máxima: 16**De G até H: 38****J – ADM / DOR**

Movimentação passiva da art. comparada com a extremidade não afetada

Ombro

Flexão () / ()

Abdução 90° () / ()

Rotação Externa () / ()

Rotação Interna () / ()

Cotovelo

Flexão () / ()

Extensão () / ()

Antebraço

Pronação () / ()

Supinação () / ()

Punho

Flexão () / ()

Extensão () / ()

Dedos

Flexão () / ()

Extensão () / ()

Quadril

Flexão () / ()

Abdução () / ()

Rotação lateral () / ()

Rotação Medial () / ()

Joselho

Flexão () / ()

Extensão () / ()

Tornozelo

Dorsiflexão () / ()

Flexão plantar () / ()

Pé

Eversão () / ()

Inversão () / ()

0 – alguns graus de ADM

1 – ADM passiva diminuída

2 – ADM passiva normal

Pontuação máxima para ADM: 44

0 – alguma dor

2 – nenhuma dor

Pontuação máxima para dor: 44**Total Final: 226 pontos**

96 – 99 pontos = comprometimento motor leve

85 – 95 pontos = comprometimento motor moderado

50 – 84 pontos = comprometimento motor marcante

< 50 pontos = comprometimento motor severo

Apêndice 4

QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA – VERSÃO CURTA -

Nome: _____
 Data: ____/____/____ Idade : ____ Sexo: F () M ()

Nós estamos interessados em saber que tipos de atividade física as pessoas fazem como parte do seu dia a dia. Este projeto faz parte de um grande estudo que está sendo feito em diferentes países ao redor do mundo. Suas respostas nos ajudarão a entender que tão ativos nós somos em relação à pessoas de outros países. As perguntas estão relacionadas ao tempo que você gasta fazendo atividade física na **ÚLTIMA** semana. As perguntas incluem as atividades que você faz no trabalho, para ir de um lugar a outro, por lazer, por esporte, por exercício ou como parte das suas atividades em casa ou no jardim. Suas respostas são **MUITO** importantes. Por favor responda cada questão mesmo que considere que não seja ativo. Obrigado pela sua participação !

Para responder as questões lembre que:

- atividades físicas **VIGOROSAS** são aquelas que precisam de um grande esforço físico e que fazem respirar **MUITO** mais forte que o normal
- atividades físicas **MODERADAS** são aquelas que precisam de algum esforço físico e que fazem respirar **UM POUCO** mais forte que o normal

Para responder as perguntas pense somente nas atividades que você realiza **por pelo menos 10 minutos contínuos** de cada vez.

1a Em quantos dias da última semana você **CAMINHOU** por pelo menos 10 minutos contínuos em casa ou no trabalho, como forma de transporte para ir de um lugar para outro, por lazer, por prazer ou como forma de exercício?

dias ____ por **SEMANA** () Nenhum

1b Nos dias em que você caminhou por pelo menos 10 minutos contínuos quanto tempo no total você gastou caminhando **por dia**?

horas: ____ Minutos: ____

2a. Em quantos dias da última semana, você realizou atividades **MODERADAS** por pelo menos 10 minutos contínuos, como por exemplo pedalar leve na bicicleta, nadar, dançar, fazer ginástica aeróbica leve, jogar vôlei recreativo, carregar pesos leves, fazer serviços domésticos na casa, no quintal ou no jardim como varrer, aspirar, cuidar do jardim, ou qualquer atividade que fez aumentar

moderadamente sua respiração ou batimentos do coração (**POR FAVOR NAO INCLUA CAMINHADA**)

dias _____ por **SEMANA** () Nenhum

2b. Nos dias em que você fez essas atividades moderadas por pelo menos 10 minutos contínuos, quanto tempo no total você gastou fazendo essas atividades por dia?

horas: _____ Minutos: _____

3a Em quantos dias da última semana, você realizou atividades **VIGOROSAS** por pelo menos 10 minutos contínuos, como por exemplo correr, fazer ginástica aeróbica, jogar futebol, pedalar rápido na bicicleta, jogar basquete, fazer serviços domésticos pesados em casa, no quintal ou cavoucar no jardim, carregar pesos elevados ou qualquer atividade que fez aumentar **MUITO** sua respiração ou batimentos do coração.

dias _____ por **SEMANA** () Nenhum

3b Nos dias em que você fez essas atividades vigorosas por pelo menos 10 minutos contínuos quanto tempo no total você gastou fazendo essas atividades por dia?

horas: _____ Minutos: _____

Estas últimas questões são sobre o tempo que você permanece sentado todo dia, no trabalho, na escola ou faculdade, em casa e durante seu tempo livre. Isto inclui o tempo sentado estudando, sentado enquanto descansa, fazendo lição de casa visitando um amigo, lendo, sentado ou deitado assistindo TV. Não inclua o tempo gasto sentando durante o transporte em ônibus, trem, metrô ou carro.

4a. Quanto tempo no total você gasta sentado durante um **dia de semana**?
_____ horas _____ minutos

4b. Quanto tempo no total você gasta sentado durante em um **dia de final de semana**?
_____ horas _____ minutos

PERGUNTA SOMENTE PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

5. Você já ouviu falar do Programa Agita São Paulo? () Sim () Não

6.. Você sabe o objetivo do Programa? () Sim () Não

Apêndice 5

Este questionário consiste em 21 grupos de afirmações. Depois de ler cuidadosamente cada grupo, faça um círculo em torno do número (0, 1, 2 ou 3) próximo à afirmação, em cada grupo, que descreve **melhor** a maneira que você tem se sentido na **última semana, incluindo hoje**. Se várias afirmações num grupo parecerem se aplicar igualmente bem, faça um círculo em cada uma. **Tome cuidado de ler todas as afirmações, em cada grupo, antes de fazer sua escolha.**

0 Não me sinto triste

1 Eu me sinto triste

2 Estou sempre triste e não consigo sair disto

3 Estou tão triste ou infeliz que não consigo suportar

0 Não estou especialmente desanimado quanto ao futuro

1 Eu me sinto desanimado quanto ao futuro

2 Acho que nada tenho a esperar

3 Acho o futuro sem esperanças e tenho a impressão de que as coisas não podem melhorar

0 Não me sinto um fracasso

1 Acho que fracassei mais do que uma pessoa comum

2 Quando olho pra trás, na minha vida, tudo o que posso ver é um monte de fracassos

3 Acho que, como pessoa, sou um completo fracasso

0 Tenho tanto prazer em tudo como antes

1 Não sinto mais prazer nas coisas como antes

2 Não encontro um prazer real em mais nada

3 Estou insatisfeito ou aborrecido com tudo

0 Não me sinto especialmente culpado

1 Eu me sinto culpado grande parte do tempo

2 Eu me sinto culpado na maior parte do tempo

3 Eu me sinto sempre culpado

0 Não acho que esteja sendo punido

1 Acho que posso ser punido

2 Creio que vou ser punido

3 Acho que estou sendo punido

0 Não me sinto decepcionado comigo mesmo

1 Estou decepcionado comigo mesmo

2 Estou enojado de mim

3 Eu me odeio

0 Não me sinto de qualquer modo pior que os outros

1 Sou crítico em relação a mim por minhas fraquezas ou erros

2 Eu me culpo sempre por minhas falhas

3 Eu me culpo por tudo de mal que acontece

0 Não tenho quaisquer idéias de me matar

1 Tenho idéias de me matar, mas não as executaria

2 Gostaria de me matar

3 Eu me mataria se tivesse oportunidade

0 Não choro mais que o habitual

1 Choro mais agora do que costumava

2 Agora, choro o tempo todo

3 Costumava ser capaz de chorar, mas agora não consigo, mesmo que o queria

0 Não sou mais irritado agora do que já fui

1 Fico aborrecido ou irritado mais facilmente do que costumava

2 Agora, eu me sinto irritado o tempo todo

3 Não me irrita mais com coisas que costumavam me irritar

0 Não perdi o interesse pelas outras pessoas

1 Estou menos interessado pelas outras pessoas do que costumava estar

2 Perdi a maior parte do meu interesse pelas outras pessoas

3 Perdi todo o interesse pelas outras pessoas

0 Tomo decisões tão bem quanto antes

1 Adio as tomadas de decisões mais do que costumava

2 Tenho mais dificuldades de tomar decisões do que antes

3 Absolutamente não consigo mais tomar decisões

0 Não acho que de qualquer modo pareço pior do que antes

1 Estou preocupado em estar parecendo velho ou sem atrativo

2 Acho que há mudanças permanentes na minha aparência, que me fazem parecer sem atrativo

3 Acredito que pareço feio

0 Posso trabalhar tão bem quanto antes

1 É preciso algum esforço extra para fazer alguma coisa

2 Tenho que me esforçar muito para fazer alguma coisa

3 Não consigo mais fazer qualquer trabalho

0 Consigo dormir tão bem como o habitual

1 Não durmo tão bem como costumava

2 Acordo 1 a 2 horas mais cedo do que habitualmente e acho difícil voltar a dormir

3 Acordo várias horas mais cedo do que costumava e não consigo voltar a dormir

0 Não fico mais cansado do que o habitual

1 Fico cansado mais facilmente do que costumava

2 Fico cansado em fazer qualquer coisa

3 Estou cansado demais para fazer qualquer coisa

0 O meu apetite não está pior do que o habitual

1 Meu apetite não é tão bom como costumava ser

2 Meu apetite é muito pior agora

3 Absolutamente não tenho mais apetite

0 Não tenho perdido muito peso se é que perdi algum recentemente

1 Perdi mais do que 2 quilos e meio

2 Perdi mais do que 5 quilos

3 Perdi mais do que 7 quilos

Estou tentando perder peso de propósito, comendo menos: Sim _____ Não _____

0 Não estou mais preocupado com a minha saúde do que o habitual

1 Estou preocupado com problemas físicos, tais como dores, indisposição do estômago ou constipação

2 Estou muito preocupado com problemas físicos e é difícil pensar em outra coisa

3 Estou tão preocupado com meus problemas físicos que não consigo pensar em qualquer outra coisa

0 Não notei qualquer mudança recente no meu interesse por sexo

1 Estou menos interessado por sexo do que costumava

2 Estou muito menos interessado por sexo agora

3 Perdi completamente o interesse por sexo