

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

CLAUDIA TREVISAN

VARIABILIDADE DA COORDENAÇÃO INTERARTICULAR ENTRE COTOVELO E
PUNHO DURANTE O ALCANCE EM INDIVÍDUOS HEMIPARÉTICOS CRÔNICOS.

SÃO CARLOS – SP

2021

Claudia Trevisan

Variabilidade da Coordenação interarticular entre cotovelo e punho durante o alcance em indivíduos hemiparéticos crônicos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fisioterapia.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Luiz de Russo.

Coorientador: Dr. Leonardo Marquez Pedro

São Carlos – SP

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Claudia Trevisan, realizada em 25/02/2021.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Thiago Luiz de Russo (UFSCar)

Profa. Dra. Paula Regina Mendes da Silva Serrão (UFSCar)

Profa. Dra. Sandra Regina Alouche (UNICID)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia.

Dedico esse trabalho a todos aqueles que sempre acreditaram na minha capacidade e dedicação.

“A persistência é o menor caminho do êxito”.

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Primeiro agradecer a DEUS por traçar minha jornada aqui na Terra.

Aos meus pais (Lurdes e Claudio), por todo o carinho, paciência, apoio necessário, e pelos primeiros ensinamentos transmitidos.

A minha irmã, fiel confidente, sempre disposta a me escutar.

Ao Prof. Dr. Thiago, meu orientador por permitir meu ingresso no laboratório e por confiar em mim, mesmo num momento em que estava desacreditada de tudo. Agradeço por todos os ensinamentos, pela paciência, (haja paciência, rsrrsrs), pelos “puxões de orelha”, foram merecidos, e com certeza foram combustível para eu chegar até aqui, mesmo com todos os contratempos e dificuldades pelo caminho. Muito obrigada por tudo!!!!

À Prof^a Dr^o Natália, pelas contribuições no trabalho.

Ao meu marido, por suportar minhas incertezas e dúvidas, por me apoiar nas decisões até aqui.

Aos colegas do laboratório LaFiN, por todo o apoio durante minha jornada em São Carlos, agradeço a estadia nos momentos em que mais precisei, além do carinho e preocupação nos dias de chuva e neblina, sentirei saudades de todos vocês!!!

À equipe a qual tive a honra de participar e aprender muita coisa: Erika, Luisa e Gabriela, obrigada por todas as contribuições, espero um dia poder retribuir toda a ajuda.

À banca, por aceitarem o convite e por todas as contribuições para enriquecimento do trabalho.

A todos os professores e professoras do PPGFT que contribuíram para minha formação profissional.

Aos pacientes, por aceitarem a participação no estudo. Sem vocês nada disso seria possível.

Aos funcionários da universidade, cada um com sua função, seja administrativa, limpeza, manutenção, saiba que cada um de vocês também são muito importantes na jornada.

A CAPES (001), CNPq e FAPESP pelo financiamento deste estudo.

RESUMO

A perda ou alteração funcional de membro superior (MS) é um dos relatos mais comuns de indivíduos pós-AVC, que apresentam limitações em tarefas de vida diária, principalmente as que envolvem alcance. Dentre as alterações que limitam a funcionalidade de membro superior estão as alterações de força, proprioceptivas e de sinergias musculares, que refletem na capacidade de coordenação interarticular e de variabilidade do movimento. **Objetivo:** avaliar a variabilidade de coordenação interarticular de cotovelo e punho em indivíduos hemiparéticos crônicos no movimento de alcance. **Métodos:** Trata-se de uma subanálise que avaliou onze indivíduos hemiparéticos crônicos e 11 indivíduos saudáveis pareados por idade e sexo. Durante simulação da atividade de beber em velocidade auto selecionada, realizada com copo de acrílico com água, dividida em alcance do copo (fase 1), levar o copo até a boca (fase 2) e retorno do copo à mesa (fase 3), foram obtidos dados referentes as alterações de variabilidade de coordenação intramembro (cotovelo e punho) no plano sagital, por meio da técnica de codificação vetorial além da construção de gráfico ângulo-ângulo (ciclograma). As variáveis espaço-temporais complementaram as análises. As variáveis espaço-temporais analisadas foram as seguintes: duração da tarefa (segundos e porcentagem), velocidade de pico (mm/s), tempo para velocidade de pico (%). **Resultados:** foram observadas diferenças na qualidade do padrão de coordenação articular e variabilidade de coordenação articular intramembro de cotovelo e punho entre os grupos hemiparético e controle nas fases de alcance do copo (fase 1), levar o copo até a boca (fase 2) e retorno do copo à mesa (fase 3). Nas variáveis espaço-temporais foram observadas diferenças entre os grupos nas variáveis duração do movimento (s) (GH= 2.42 s (0.80), GC= 1.39 s (0.27)), pico de velocidade (GH= 285.00 s (63.25), GC= 385.93 (63.91)), tempo do pico de velocidade (%) (GH= 29.51 s (11.39), GC= 41.95 s (10.10) na fase 1, duração (%) (GH= 24.15 (3.55), GC=29.46 (4.39)) pico de velocidade (GH=425.21 (215.13) GC= 489.96 (122.28)) e tempo do pico de velocidade (%) (GH= 46.48 (23.97), GC= 27.33 (8.24)) na fase 2 , e duração do movimento (s) (GH= 2.96 (1.03), GC= 1.96 (0.38)) e tempo do pico de velocidade (%) (GH= 26.04 (9.86) GC= 40.25 (7.51)) na fase 3. **Conclusão:** Indivíduos hemiparéticos crônicos apresentam alterações de variabilidade e coordenação interarticular durante movimento de alcance, tornando o movimento mais lentificado durante a tarefa funcional de beber. Palavras-chave: Acidente Vascular Cerebral. membros superiores. Hemiparesia. Variabilidade. coordenação interarticular. cotovelo. punho.

ABSTRACT

The loss or functional alteration of the upper limb (MS) is one of the most common reports of post-stroke individuals, who have limitations in tasks of daily living, especially those that involve reaching. Among the changes that limit the functionality of the upper limb are changes in strength, proprioceptives and muscle synergies, which reflect on the ability of interarticular coordination and variability of the movement. Objective: to evaluate the variability of interarticular coordination of the elbow and wrist in chronic hemiparetic individuals in reaching movement. Methods: This is a subanalysis that evaluated eleven chronic hemiparetic individuals and 11 healthy individuals matched for age and sex. During simulation of the drinking activity at a self-selected speed, performed with an acrylic glass with water, divided into the reach of the glass (phase 1), take the glass to the mouth (phase 2) and return the glass to the table (phase 3), data were obtained regarding changes in intra-limb coordination variability (elbow and wrist) in the sagittal plane, using the vector coding technique in addition to the construction of an angle-angle graph (cyclogram). The spatiotemporal variables complemented the analyzes. The spatiotemporal variables analyzed were as follows: duration of the task (seconds and percentage), peak speed (mm / s), time to peak speed (%). Results: differences in the quality of the joint coordination pattern and variability of intra-limb joint coordination between the hemiparetic and control groups were observed in the phases of reaching the cup (phase 1), taking the cup to the mouth (phase 2) and return of the glass to the table (phase 3). In the spatiotemporal variables, differences between groups were observed in the variables duration of movement (s) (HG = 2.42 s (0.80), CG = 1.39 s (0.27)), peak velocity (HG= 285.00 s (63.25), CG = 385.93 (63.91)), peak speed time (%) (HG = 29.51 s (11.39), CG = 41.95 s (10.10) in phase 1, duration (%) (HG = 24.15 (3.55), CG = 29.46 (4.39)) peak velocity (HG = 425.21 (215.13) CH = 489.96 (122.28)) and peak velocity time (%) (HG = 46.48 (23.97), CG = 27.33 (8.24)) in phase 2, and duration of movement (s) (HG = 2.96 (1.03), CG = 1.96 (0.38)) and time of peak velocity (%) (HG = 26.04 (9.86) CG = 40.25 (7.51)) in phase 3. Conclusion: Chronic hemiparetic individuals show changes in variability and interjoint coordination during reaching movements, making movement slower during the functional task of drinking.

Keywords: Stroke. upper limbs. Hemiparesis. Variability. interjoint coordination. elbow. wrist.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tarefa funcional de beber	25
Figura 2 – Fluxograma do estudo	30
Figura 3 – Ciclograma – coordenação articular entre cotovelo e punho	32
Figura 4 - Variabilidade da coordenação intramembro de cotovelo e punho	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados demográficos e características clínicas	31
Tabela 2 – Análises espaço-temporais por fases	34

LISTA DE ABREVIATURAS

AVC – Acidente Vascular Cerebral

BBT – *Bloc and Box Test*

EFM – Escala de Fugl-Meyer

GC – Grupo Controle

GH – Grupo Hemiparético

IMC – Índice de Massa Corporal

MS – Membro Superior

WHO – World Health Organization

PV – Pico de Velocidade

SIB – Sociedade Internacional de Biomecânica

SNC – Sistema Nervoso Central

SPSS – Statistical Package for the Social Sciences

TCV – Técnica de Codificação Vetorial

SUMÁRIO

1.CONTEXTUALIZAÇÃO	12
2.REVISÃO DE LITERATURA	14
3.OBJETIVOS	18
4.MANUSCRITO	19
4.1 RESUMO	20
4.2 INTRODUÇÃO	21
4.3 MÉTODOS	23
4.3.1 <i>Participantes</i>	24
4.3.2 <i>Avaliação Clínica</i>	24
4.3.3 <i>Avaliação Cinemática</i>	25
4.3.4 <i>Análise dos dados</i>	26
4.3.5 <i>Medidas de Resultados</i>	27
4.3.6 <i>Análise Estática</i>	28
4.4 RESULTADOS	28
4.4.1 <i>Participantes</i>	28
4.4.2 <i>Variabilidade da coordenação articular intramembro</i>	31
4.4.3 <i>Variáveis espaço-temporais</i>	33
5. DISCUSSÃO	34
6. CONCLUSÃO	37
7. AGRADECIMENTOS	32
8. REFERÊNCIAS	38

CONTEXTUALIZAÇÃO

Essa dissertação de mestrado é fruto de uma subanálise de um estudo maior denominado: O Efeito do Exercício Aeróbio associado à Terapia de Contensão induzida Modificada em Indivíduos Hemiparéticos Crônicos - Estudo Randomizado, desenvolvido pelo grupo e integra a linha de pesquisa desenvolvida no Laboratório de Pesquisa em Fisioterapia Neurológica (LaFiN) vinculados ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia (PPGFT) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), sob orientação do Professor Dr. Thiago Luis de Russo.

Atualmente o laboratório realiza diversas pesquisas em processos de avaliação e intervenção na recuperação do membro superior de indivíduos pós-AVC. Este trabalho conta com o apoio de docentes colaboradores como a Profa. Dr^a Natália Pereira Duarte Furtado, do Departamento de Fisioterapia e Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Dr^a Gabriela Lopes dos Santos, da Universidade Estadual de Goiás (UEG).

As alterações funcionais de membro superior no pós-AVC, são relatadas com frequência pelos indivíduos, que referem limitações na realização de atividades que envolvem o movimento de alcance, refletindo em suas atividades de vida diária.

Com o intuito de avaliar as alterações de membro superior, realizamos análises de variabilidade e coordenação intramembro de cotovelo e punho durante o movimento de alcance, descrevendo as alterações encontradas nos indivíduos hemiparéticos crônicos. Essas informações contribuem para os clínicos traçar condutas e intervenções que melhorem a funcionalidade de cotovelo e punho.

O documento está apresentado em língua portuguesa e formatado de acordo com as recomendações do Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da UFSCar. Um manuscrito foi originado desta dissertação e ele está organizado de acordo com as normas da Revista *Topics in Stroke Rehabilitation*, a qual foi submetido.

Durante o período, as atividades desenvolvidas pela aluna incluem participação em cursos de formação em Terapia de Contensão Induzida para Membros Inferiores e Atividades de Extensão promovidas pelo LaFiN junto à Unidade de Saúde Escola (USE) da UFSCar como o “Prevenção ao Acidente Vascular Cerebral no Município de São Carlos” e “Telessaúde em Fisioterapia Neurofuncional”. No período a mestranda também atuou como fisioterapeuta em uma clínica que atende à Secretaria Municipal

de Saúde do município de Cordeirópolis. Quanto aos produtos científicos principais vinculados ao seu mestrado destaca-se a coautoria do artigo intitulado *“The Effect of Priming on Outcomes of Task-Oriented Training for the Upper Extremity in Chronic Stroke: A Systematic Review and Meta-analysis*, publicado na revista *Neurorehabilitation and Neural Repair*. Também participou como avaliadora dos trabalhos de conclusão de curso do II Curso de Especialização em Fisioterapia Neurofuncional da UFSCar.

Abaixo são apresentados os links do currículo Lattes e ORCID da candidata, bem como um resumo da dissertação para divulgação para a sociedade.

Link do Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1562169956008279>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2424-1338>

Descrição da dissertação para o público leigo: A dissertação teve como objetivo contribuir com informações relacionadas as alterações de variabilidade e coordenação intramembro de cotovelo e punho nos indivíduos hemiparéticos crônicos. Essas alterações refletem clinicamente em estratégias e intervenções que visam melhorar o desempenho motor desses indivíduos, contribuindo para melhora na coordenação e funcionalidade de membros superiores.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) representa a segunda causa de morte no mundo. No Brasil, dados da Organização Mundial da Saúde, apontam em 2019 estatísticas semelhantes em dados gerais. Em relação as deficiências ajustadas por anos de vida, o AVC representou a terceira causa de deficiências (WHO, 2020).

De origem vascular, o AVC ocorre devido a lesões focais agudas no Sistema Nervoso Central (SNC), podendo ser caracterizado por lesões isquêmicas ou hemorrágicas (SACCO, *et.al.*, 2013), responsáveis por danos neurológicos.

Após o AVC, o comprometimento funcional do membro superior, é uma das sequelas mais comuns e desafiadoras, que afeta a autonomia do indivíduo na execução de atividades (NAKAYAMA, *et.*, 1994), e envolve movimentos de alcance (HARRIS, ENG, 2007), limitando a execução de atividades cotidianas (LANGHORNE; COUPAR.; POLLOCK, 2009) e impactando o auge da vida produtiva desses indivíduos (WHO, 2020).

Representando cerca de 60% dos casos crônicos (HUNTER & CROME, 2002), as alterações de membro superior representam a principal queixa relatada pelos indivíduos que apresentam dificuldade ou limitação na realização de movimentos como os de alcance e preensão (McCLURE, *et.al.*, 2001).

O movimento de alcance é essencial para a realização de tarefas funcionais de vida diária do membro superior (MASSIE, *et.al.*, 2013). Considerado dependente da tarefa escolhida (TOMITA, *et.al.*, 2017), como por exemplo, atividade de beber (MURPHY, *et.al.*, 2012), ocorre devido a complexa coordenação entre articulações de ombro, cotovelo e punho (MEHLER *et.al.*, 2017; LIU, *et.al.*, 2013; LANG, *et.al.*, 2007), além do recrutamento muscular responsável por promover regulações temporais e sequenciais do movimento articular que são controlados por aferências sensoriais (CARR & SHEPHERD, 2008, LENT, 2010).

Constituído por dois componentes, o transporte é responsável por mover a mão de maneira rápida na direção do alvo, e a manipulação, responsável pelos ajustes finais para a preensão de objetos. (CARR & SHEPHERD, 2008, RUEDA, *et.al.*, 2012).

Durante o componente de transporte, a ação coordenada das estruturas escapulotorácicas, glenoumerais, umeroulnares e umeroradiais, contribuem para os movimentos de flexão de ombro, extensão de cotovelo, pronação e supinação de

antebraço, além de orientação geral da mão no espaço para execução do movimento (LACQUANTINI & SOECHTING, 1986; MCCLURE *et.al.*, 2001; HARDWICK & LANG, 2011). Na execução do movimento de alcance, o sistema sensório-motor recebe informações aferentes de músculos, articulações, superfície cutânea e visão, que por meio de controle de feedback e feedforward pretendem garantir a realização planejada e adequada da tarefa, corrigindo possíveis erros de trajeto e execução que possam ocorrer (CARR e SHEPHERD, 2008; LENT, 2010).

Movimento de Alcance x indivíduos pós-AVC

Alvo de diversos estudos na população pós-AVC, o movimento de alcance encontra-se prejudicado devido à presença de alterações que influenciam no controle motor e coordenação de membro superior (LANG, *et.al.*, 2013). Essas alterações incluem mudanças no tônus muscular (WAGNER, *et.al.*, 2007), atrofia muscular (ENGLISH, *et.al.*, 2010), alterações no padrão de ativação muscular (RAIMUNDO, *et.al.*, 2011), diminuição da sinergia entre músculos flexores de ombro e extensores de cotovelo (CHAE, *et.al.*, 2002, HARA, *et.al.*, 2000), e déficits na manutenção de torques submáximos e propriocepção (SANTOS, *et.al.*, 2016). Além disso, estão presentes alterações proprioceptivas (WAGNER, *et.al.*, 2007), como por exemplo, senso e posição articular (FINDLATER, *et.al.* 2018; NIESSEN, *et.al.*, 2008).

O movimento de alcance em indivíduos pós-AVC, apresenta características cinemáticas diferentes comparados aos indivíduos saudáveis. Na fase aguda e subaguda, por exemplo, há relatos de alterações no desempenho do movimento (WAGNER, *et.al.*, 2007). Os autores compararam indivíduos pós-AVC na fase aguda com indivíduos saudáveis e observaram alterações como maior tempo de movimento, menor pico de velocidade e maior ajuste na trajetória de movimento, além de alterações na geração do movimento fracionado e percepção de posição articular. Na fase subaguda, observaram desempenho semelhante aos indivíduos saudáveis através de melhora na avaliação das variáveis cinemática, com exceção do pico de velocidade, que se manteve diminuído.

Zackowski, *et.al.*, (2004) observaram em estudo com indivíduos pós-AVC na fase crônica, desvios acentuados na trajetória de movimento de alcance, quando comparados aos indivíduos saudáveis. Os autores apontam menor eficiência do

movimento de alcance, devido alterações como diminuição no pico de velocidade e na direção inicial do membro pós orientação da tarefa.

O conceito de variabilidade está relacionado às variações típicas, observadas no desempenho motor, e relacionada a várias repetições de uma tarefa (STERGIOU, 2016). Em sistemas biológicos saudáveis a variabilidade indica a complexidade do sistema e suas interações funcionais (VAILLANCOURT & NEWELL, 2002). Já em situações patológicas, como por exemplo, no AVC, a variabilidade encontra-se alterada, por exemplo, na fase crônica, são observadas diminuição da variabilidade nos movimentos de alcance (TOMITA *et al.*, 2018; MURPHY, *et.al.*, 2015; SETHI *et al.*, 2013), ocasionando mudanças cinemáticas, como por exemplo, lentidão do movimento.

Sethi, *et.al.*, (2013), observaram em seu estudo, diminuição da variabilidade na estrutura temporal, indicando alterações no movimento de alcance, principalmente em movimentos que exijam preensão.

Em relação à coordenação articular de membro superior, estudos sobre a coordenação entre ombro e cotovelo têm sido bastante explorado (CIRSTEA, *et.al*, 2003; MURPHY, *et.al.*, 2011; MURPHY, *et.al*, 2015; MURPHY, *et.al*, 2018). Ao longo do tempo, diversos autores vêm estudando a coordenação para melhor entendimento das alterações motoras presentes no membro superior pós-AVC. Levin *et.al.*, (1996), por exemplo, observaram em seu estudo, alterações na coordenação interarticular, como diminuição na amplitude de movimento devido a interrupção da coordenação entre ombro e cotovelo.

Cirstea, *et.al.* (2003), avaliaram o grau de acoplamento articular entre ombro e cotovelo em avaliação intearticular dinâmica, por meio de coordenação temporal. Os autores avaliaram o acoplamento das articulações no movimento de alcance, e observaram alterações na flexão de cotovelo e adução de ombro, sugerindo dificuldade em coordenar as articulações.

Van Vliet & Sheridan (2007), em estudo sobre alteração na coordenação temporal durante a fase de alcance, compararam indivíduos pós-AVC e indivíduos saudáveis. Os autores identificaram que os indivíduos pós-AVC apresentaram maior duração na fase de desaceleração e os componentes de alcance envolvendo preensão e transporte com menor acoplamento articular.

A diminuição da coordenação articular entre ombro e cotovelo comparada com indivíduos saudáveis está associada com o nível de comprometimento motor e à presença de espasticidade (MURPHY, *et.al.*, 2015).

Estudos de Murphy *et.al.*, (2018) apontam diminuição na coordenação articular entre ombro e cotovelo no movimento de alcance em indivíduos com nível de comprometimento motor moderado. Segundo os autores, também foi observado em todas as fases da tarefa de beber, maior lentidão nas variáveis de movimento, velocidade angular e tangencial, seguida de fase maior de desaceleração.

Na literatura, estudos referentes a articulação do punho são pouco explorados, vista a importância dessa articulação em tarefas funcionais. Essencial na realização de tarefas diárias (MASIA, *et.al.*, 2009), o movimento coordenado de punho atua como estabilizador durante transferências (SQUERI, *et.al.*, 2014), como por exemplo, pegar um copo, além de contribuir nas mudanças de padrão e principalmente posição da mão.

Além disso, alguns estudos identificaram por exemplo, alterações na variabilidade durante o movimento de alcance. Liu *et.al.*, (2013) verificaram uma estratégia incomum, ao observar maior variabilidade do punho durante movimento de alcance, para compensar a diminuição do movimento de ombro, indicando coordenação dessas articulações, o mesmo foi observado em estudo de Kim, *et.al.*, (2014), durante o movimento de alcance. Além disso, a articulação do punho participa no ajuste final da mão no movimento de alcance (LI, *et.al.*, 2017).

Cabe destacar que estudos referentes a coordenação entre cotovelo e punho, envolvendo indivíduos pós-AVC crônico são escassos. Portanto, as análises de variabilidade e coordenação articular intramembro de cotovelo e punho, nos permite compreender as diferenças entre indivíduos hemiparéticos crônicos e saudáveis. Além disso, nos permite entender as estratégias adaptativas e os repertórios motores explorados por indivíduos hemiparéticos crônicos para executar a tarefa funcional de beber. Essas informações permitem aos clínicos traçar condutas e intervenções que melhorem a funcionalidade de cotovelo e punho em indivíduos hemiparéticos crônicos.

3.OBJETIVOS

Analisar as alterações de variabilidade da coordenação articular intramembro de cotovelo e punho de indivíduos hemiparéticos crônicos durante o movimento de alcance comparado a indivíduos saudáveis.

4. MANUSCRITO

Título: Variabilidade da coordenação interarticular entre cotovelo e punho durante o alcance em indivíduos hemiparéticos crônicos: estudo piloto

Claudia Trevisan¹, Luisa Fernanda Garcia-Salazar^{1,2}, Gabriela Lopes Santos^{1,3,4}, Erika Shirley Moreira da Silva¹, Natália Pereira Duarte Furtado¹, Sandra Regina Alouche⁵, Rafaella Mendes Zambetta¹, Leonardo Marques Pedro⁶, Thiago Luiz Russo^{1*}

¹Laboratório de Pesquisa em Fisioterapia Neurofuncional, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, São Paulo, Brasil.

²Universidad del Rosario, School of Medicine and Health Sciences, Rehabilitation Science Research Group, Bogotá, Colombia.

³Centro Universitário Alfredo Nasser (UNIFAN), Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil.

⁴Escola Superior de Educação Física e Fisioterapia do Estado de Goiás, Universidade Estadual de Goiás (UEG), Goiânia, Brasil.

⁵Unicid

⁶Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, São Paulo, Brasil.

Autores para correspondência: Claudia Trevisan e Thiago Luiz de Russo
Endereço: Laboratório de Pesquisa em Fisioterapia Neurológica – LaFiN.
Departamento de Fisioterapia. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. São Carlos, SP, Brasil.
Rodovia Washington Luis, Km 235. CEP: 13565-905. Telefone:+551633519578.
Email: trevisanclaudiaster@gmail.com e thiagoluirusso@gmail.com

4.1 RESUMO

A perda ou alteração funcional de membro superior (MS) é um dos relatos mais comuns de indivíduos pós-AVC, que apresentam limitações em tarefas de vida diária, principalmente as que envolvem alcance. Dentre as alterações que limitam a funcionalidade de membro estão as alterações de força, proprioceptivas e de sinergias musculares, que refletem na capacidade de coordenação interarticular e de variabilidade do movimento. **Objetivo:** Analisar as alterações de variabilidade da coordenação articular intramembro de cotovelo e punho de indivíduos hemiparéticos crônicos durante o movimento de alcance comparado a indivíduos saudáveis. **Métodos:** Trata-se de uma subanálise que avaliou onze indivíduos hemiparéticos crônicos e 11 indivíduos saudáveis pareados por idade e sexo. Durante simulação da atividade de beber em velocidade auto selecionada, realizada com copo de acrílico com água, dividida em alcance do copo (fase 1), levar o copo até a boca (fase 2) e retorno do copo à mesa (fase 3), foram obtidos dados referentes as alterações de variabilidade de coordenação intramembro (cotovelo e punho) no plano sagital, por meio da técnica de codificação vetorial além da construção de gráfico ângulo-ângulo (ciclograma). As variáveis espaço-temporais complementaram as análises. As variáveis espaço-temporais analisadas foram as seguintes: duração da tarefa (segundos e porcentagem), velocidade de pico (mm/s), tempo para velocidade de pico (%). **Resultados:** foram observadas diferenças na qualidade do padrão de coordenação articular e variabilidade de coordenação articular intramembro de cotovelo e punho entre os grupos hemiparético e controle nas fases de alcance do copo (fase 1), levar o copo até a boca (fase 2) e retorno do copo à mesa (fase 3). Nas variáveis espaço-temporais foram observadas diferenças entre os grupos nas variáveis duração do movimento (s) (GH= 2.42 s (0.80), GC= 1.39 s (0.27)), pico de velocidade (GH= 285.00 s (63.25), GC= 385.93 (63.91)), tempo do pico de velocidade (%) (GH= 29.51 s (11.39), GC= 41.95 s (10.10) na fase 1, duração (%) (GH= 24.15 (3.55), GC=29.46 (4.39)) pico de velocidade (GH=425.21 (215.13) GC= 489.96 (122.28)) e tempo do pico de velocidade (%) (GH= 46.48 (23.97), GC= 27.33 (8.24)) na fase 2 , e duração do movimento (s) (GH= 2.96 (1.03), GC= 1.96 (0.38)) e tempo do pico de velocidade (%) (GH= 26.04 (9.86) GC= 40.25 (7.51)) na fase 3. **Conclusão:** Indivíduos hemiparéticos crônicos apresentam alterações de variabilidade e coordenação interarticular durante movimento de alcance, tornando o movimento mais lentificado durante a tarefa funcional de beber.

Palavras-chave: Acidente Vascular Cerebral. membros superiores. Hemiparesia. Variabilidade. Coordenação interarticular. cotovelo. punho.

4.2 INTRODUÇÃO

Representando a terceira causa de incapacidade na população adulta no mundo em 2019 (WHO, 2020), o Acidente Vascular Cerebral (AVC), repercute negativamente nos aspectos físico, mental e social do indivíduo (LIESHOUT *et al.*, 2020). Dentre os comprometimentos funcionais pós AVC, os relacionados ao membro superior (MS), ocorrem em cerca de 60% dos casos na fase crônica (CARVALHO-PINTO E FARIA, 2016). Esses comprometimentos funcionais de membro superior podem gerar impacto importante na independência, participação social e qualidade de vida desta população (LANGHORNE; BERNHARDT; KWAKKEL, 2011; MORRIS, *et al.*, 2013).

Relacionados a alterações no controle motor, tônus e força muscular do membro parético (ANDREWS; BOHANNON, 2000; AVILA *et al.*, 2013; JUNG; YOUNG; PARK, 2002; MCCREA ;ENG ; HODGSON, 2003; TURNER *et al.*, 2012), podem ocorrer déficits na manutenção de torques submáximos e prejuízos na ativação muscular (SANTOS *et al.*, 2016), além de déficits proprioceptivos (NIESSE *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2015), de coordenação (MURPHY *et al.*, 2015), alterações articulares como aumento da rotação interna e inclinação anterior da escápula (LIXANDRÃO *et al.*, 2017), assim como nas sinergias musculares (RUEDA *et al.*, 2012). Tais comprometimentos relacionam-se às limitações na capacidade de controle seletivo e coordenado das articulações proximais e distais dos membros superiores, essenciais para o desempenho de atividades intencionais (BEER *et al.*, 2004; SUKAL *et al.*, 2007; MILLER; DEWALD, 2012; LAN *et al.*, 2017a; MCPHERSON *et al.*, 2018a, MCPHERSON, *et al.*, 2018b).

O movimento de alcance ocorre graças a ação coordenada das articulações de ombro, cotovelo, punho e mão (MEHLER *et al.*, 2017) e tem levantado interesse como movimento chave sobre a funcionalidade do membro superior, em especial no pós-AVC por ser sensivelmente prejudicado nessa população. A literatura descreve que pessoas na fase crônica pós-AVC, ao realizar alcance, apresentam ativação simultânea da musculatura de ombro e cotovelo, indicando o comprometimento da sinergia flexora (SEO *et al.*, 2009; MILLER; DEWALD, 2012; LAN *et al.*, 2017).

No alcance, a coordenação entre as articulações de ombro e cotovelo é essencial para a realização do movimento, visto que contribuem para a posição final

da mão durante a atividade de alcance (LIU; WHITALL, KEPPLER, 2013; SAINBURG; KALAKANIS, 2000; GALLOWAY, KOSHLAND, 2002).

Na população pós-AVC, estudos prévios indicam comprometimento na coordenação dessas articulações durante o movimento de alcance, e são apontados maior contribuição do movimento de ombro para execução do alcance (CIRSTEA *et al.*, 2003, CIRSTEA; LEVIN., 2000; LIU *et al.*, 2013). Em relação as articulações de cotovelo e punho (RAIMUNDO *et al.*, 2011), são relatadas diminuição da velocidade de movimento de cotovelo e deslocamento de punho, além de padrões anormais de ativação muscular, déficit de força e propriocepção.

Tem sido observado nos indivíduos pós-AVC, diminuição na variabilidade durante o movimento de alcance (TOMITA *et al.*, 2018; MURPHY, *et al.*, 2015; SETHI *et al.*, 2013), ocasionando lentidão do movimento. Considerando a teoria dos sistemas dinâmicos, a variabilidade é vista como componente biológico na seleção do padrão ideal de movimento, através de interação entre diversos componentes (biomecânicos, morfológicos, cognitivos, afetivos e ambientais) do sistema (DAVIS and BENETT, 2008; KELSO, 1984; SCHOLZ, 1990). Assim, durante as tarefas de alcance, apreensão e manipulação, espera-se observar diferentes possibilidades de combinações de movimentos entre o ombro, cotovelo e punho que permitam a execução bem sucedida da tarefa em diferentes situações ambientais ou perturbações. Portanto, esses ajustes contínuos ou variações durante o movimento permitem identificar a capacidade de exploração dos graus de liberdade ou quão adaptável e flexível é o sistema (HARBOURNE and STERGIOU, 2009).

Estudos que avaliaram a articulação do punho, indicam contribuição da articulação para aproximar a mão em direção ao alvo, no movimento de alcance (VILAPLANA *et al.*, 2006), devido à disposição de músculos que cruzam o punho e os dedos, facilitando a abertura e o fechamento dos dedos, como por exemplo o flexor superficial dos dedos. Além disso, há evidências de maiores ajustes de punho e cotovelo ao realizar o movimento de alcance, indicando estratégias compensatórias para reotimizar o movimento (SETHI *et al.*, 2013). No entanto, a lacuna que permanece na literatura, é a variabilidade da coordenação das articulações de cotovelo e punho intramembro no movimento de alcance e suas fases, qual importância e como atuam na variabilidade do movimento, além de suas implicações clínicas.

Estudos de coordenação interarticular (LEVIN, 1996) podem nortear informações clínicas sobre a função motora do indivíduo. Além disso, análises como as de ângulo-ângulo, permitem analisar qualitativamente a coordenação interarticular.

A interpretação da variabilidade de coordenação interarticular refere-se à capacidade do indivíduo em explorar os graus de liberdade inerentes à tarefa, permitindo dessa forma, compreender a flexibilidade e consistência do sistema nervoso em reproduzir uma ação (HAMILL *et al.*, 2012; VAN EMMERIK *et al.*, 2005; VAN EMMERIK & VAN WEGEN, 2000).

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo analisar a variabilidade da coordenação articular intramembro do cotovelo e punho, comparando o grupo hemiparético crônico com o grupo controle nas fases do movimento de alcance. Nossa hipótese é a que há redução da variabilidade em todas as fases do movimento comparando os grupos hemiparético versus controle.

Uma das estratégias de tratamento que favorecem essa condição é a Terapia Orientada na Tarefa que envolve a prática de tarefas, considerando todo e/ou parte do movimento, através da repetição, especificidades, solução ativa, organização de ambiente e inclusão dos componentes biomecânicos essenciais de cada movimento (WINSTEIN and KAY, 2015). Assim, identificar a diminuição da variabilidade na coordenação articular de cotovelo e punho intramembro nestes indivíduos nas fases do movimento de alcance, permitirá a esse tipo de terapia reconhecer qual fase do movimento é a mais vulnerável para ser perturbada/estimulada, e assim aumentar a capacidade dos pacientes pós-AVC a encontrar um maior número de soluções motoras relevantes para a tarefa.

Considerar as estratégias de tratamento que permitam a exploração voluntária dos graus de liberdade durante o movimento de alcance em indivíduos pós-AVC em estágio crônico, poderá aumentar a capacidade de adaptar o padrão de movimento para superar as perturbações encontradas durante o dia a dia, melhorando a recuperação do membro superior (SETHI *et al.*, 2013; TOMITA *et al.*, 2018).

4.3 MÉTODOS

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa em Seres Humanos da Universidade (parecer nº 4.043.885/2020), conforme Resolução do Conselho Nacional de Saúde 466/2012. O estudo faz parte de uma subanálise pertencente a

um estudo maior. Os indivíduos foram recrutados na comunidade local, receberam explicação sobre os procedimentos do estudo e consentiram por escrito sua participação.

4.3.1 Participantes

Onze indivíduos hemiparéticos crônicos pós AVC (grupo hemiparético) e 11 controles saudáveis (grupo controle) foram incluídos. Foram considerados indivíduos de ambos os sexos com idade entre 40-80 anos. Os seguintes critérios foram considerados para o grupo hemiparético: tempo pós-AVC > 6 meses (BERNHARDT *et al.*, 2017), diagnóstico médico de AVC (isquêmico ou hemorrágico), comprovado por ressonância magnética e laudo médico, capacidade de manutenção da postura sentada sem apoio de tronco e dos membros superiores por 60 segundos (MESSIER *et al.*, 2006), e capacidade de executar a tarefa de pegar um copo e levar a boca (SANTOS *et al.*, 2017). Para o grupo controle, foram incluídos indivíduos saudáveis e não sedentários (BOOTH e LEES, 2006). Esse grupo foi pareado por idade, sexo e preferência manual com os indivíduos hemiparéticos crônicos. Para os dois grupos foi considerada uma pontuação mínima no Mini Exame do Estado Mental, de acordo com o nível de escolaridade do voluntário (FOLSTEIN; FOLSTEIN; MCHUGH, 1975).

Foram excluídos do estudo indivíduos com déficits auditivos e visuais não corrigidos; histórico de doenças ou alterações osteomioarticulares (por exemplo, fraturas, tendinites, cirurgias recentes) que impeçam a realização dos procedimentos devido a bloqueio articular ou gerem dor, hipotensão postural, AVC bilateral, AVC agudo ou subagudo (< 6 meses), acidente vascular transitório e outras doenças do sistema nervoso central e periférico.

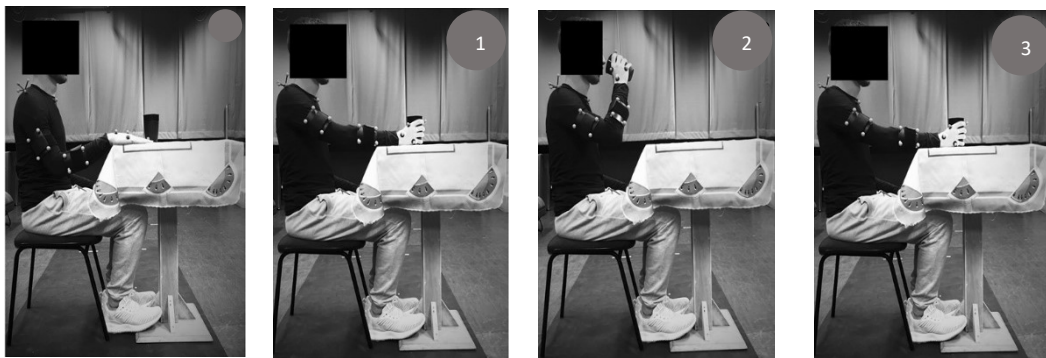
4.3.2 Avaliação Clínica

Os indivíduos que atenderam aos critérios do estudo conforme fluxograma (Figura 1), foram submetidos a avaliação, a qual incluiu a coleta de dados demográficos (idade, peso e altura) e características antropométricas (composição corporal e estatura). No grupo hemiparético, foram coletados dados clínicos (número e tipo de AVC, tempo após lesão e lado da lesão). Para ambos os grupos

(hemiparético e controle), foi aplicado inventário de preferência manual (OLDFIELD, 1971), com objetivo de definir a preferência manual. No grupo hemiparético, foi considerado a preferência antes da lesão. Após aplicação do inventário, o índice de preferência manual foi calculado utilizando a fórmula: $(D-E)/(D+E)$, em que D representa número de ações com membro superior direito e E com membro superior esquerdo. De acordo com o valor do índice, o indivíduo foi classificado com preferência manual direita (1,0 a 0,2), indefinida (0,2 a -0,2) e esquerda (-0,2 a -1,0). Para avaliação do comprometimento sensório-motor realizou-se aplicação da Escala de Avaliação Motora Fugl-Meyer (EFM) e *Box and Block Test* (BBT), com objetivo de caracterizar a amostra.

4.3.3 Avaliação Cinemática

A análise da tarefa de beber foi realizada em três fases (fase 1 – alcançar o copo, fase 2- levar o copo à boca, incluindo a simulação de dar um gole, e fase 3 – retornar o copo sobre a mesa) (Figura 1) utilizando o sistema optoeletrônico ProReflex com oito câmeras de alta velocidade à frequência de amostragem de 120 Hz.



Créditos: SILVA, *et.al.*, 2019

Figura 1 – Tarefa funcional de beber. Fase 1 – alcançar o copo, fase 2 – levar o copo à boca, fase 3- retorno do copo à mesa.

O protocolo de coleta foi realizado conforme publicado por Santos *et al* (2017). Inicialmente os pacientes foram sentados em uma cadeira sem encosto e com os pés apoiados no chão e as articulações do quadril, joelho e tornozelo a 90°. Para a análise foram posicionados marcadores refletivos nas seguintes referências anatômicas do membro superior parético: epicôndilo medial, epicôndilo lateral, processo estilóide da ulna, processo estilóide do rádio, base da falange proximal do 2, 3 e 5 dedo, base da

metacarpofalangiana do 3 dedo (DA SILVA, *et.al.*, 2019; WU *et al.*, 2005). Posteriormente, uma coleta de cinco segundos foi realizada na postura estática com a mão pronada sobre uma mesa colocada à frente na altura do processo xifóide (DA SILVA *et al.*, 2019).

Em seguida, os indivíduos foram instruídos a simular a atividade de beber a uma velocidade auto selecionada. Para isso, um copo de acrílico com água e medidas de 70 milímetros de diâmetro, 140 milímetros de altura e peso aproximadamente 200 gramas foi utilizado. O copo foi posicionado sobre a mesa na linha média na altura do apêndice xifóide e a uma distância de 80% do comprimento do membro superior (SANTOS *et al.*, 2017; DA SILVA *et al.*, 2019). Para isso foi fornecido o seguinte comando: “agarre o copo, leve até a boca e retorne o copo à mesa” com referência visual indicando o local, para ser retornado o objeto à mesa. Além disso, foi orientado ao participante manter a mão que não estava realizando o movimento sobre a coxa. Foram realizadas quatro tentativas, sendo a primeira apenas para familiarização da tarefa. Foram avaliados o membro superior mais acometido nos indivíduos hemiparéticos e o não dominante em indivíduos saudáveis. Toda a atividade foi filmada por uma câmera posicionada frontalmente para análise qualitativa, se necessário.

4.3.4 Análise dos dados

A tarefa de beber foi dividida em três fases: (1) alcançar o copo, (2) levar o copo à boca, incluindo a simulação de dar um gole e (3) retornar o copo sobre a mesa. Essa divisão foi realizada visualmente *frame por frame* por único avaliado (LFGS) utilizando o programa *Qualysis Track Manager* (SANTOS *et al* 2017; JASPERS *et al.*, 2011). Os dados cinemáticos do cotovelo e punho foram calculados para cada fase usando o sistema de coordenadas anatômicas e rotação articular recomendado pela Sociedade Internacional de Biomecânica (WU *et al.*, 2005). Os parâmetros foram expressos em relação à posição anatômica estática usando o programa *Upper Limb Evaluation in Motion Analysis* (<https://github.com/u0078867/ulema-ul-analyzer>) (SANTOS, *et.al.*, 2017; JASPERS *et al.*, 2011). Esse programa permite a análise cinemática 3D dos movimentos de membros superiores, através do registro de marcadores passivos e análise de coordenadas anatômicas e ângulos articulares (tronco, ombro, cotovelo e punho) (JASPERS, *et.al.*, 2014).

4.3.5 Medidas de resultados

A variabilidade da coordenação intramembro (cotovelo e punho) em cada fase foi construída por um gráfico ângulo-ângulo articular (ciclograma), considerando os movimentos de flexão e extensão no plano sagital. Posteriormente, os dados cinemáticos angulares de cotovelo e punho foram calculados e normalizados pelo grau máximo de amplitude de movimento de flexão e extensão de cada articulação em cada tentativa e, a seguir, a variabilidade da coordenação intramembro foi analisada por meio da técnica de codificação vetorial (TCV) (CELESTINO, *et.al.*, 2019). Essa técnica permite quantificar a variabilidade do movimento durante uma ação (WINTER, 1984), contribuindo com informações importantes sobre estratégias motoras (NEEDHAM, *et.al.*, 2014). A TCV é uma medida espacial com foco na relação de deslocamento angular de dois segmentos, que permite interpretações simples quanto à relação espacial entre os elementos, sendo útil no diagnóstico de melhora do desempenho da tarefa (CELESTINO, *et.al.*, 2019). Clinicamente, essa análise permite avaliar a coordenação e a variabilidade de coordenação (NEEDHAM, *et.al.*, 2014).

Como análise complementar, no intuito de caracterização das estratégias de movimento, para cada uma das fases da tarefa (Figura 1), os parâmetros espaço-temporais foram extraídos das formas de onda do ângulo articular de cotovelo e punho, calculados por fase, conforme Santos, *et.al.*, (2017). Os parâmetros espaço-temporais analisados foram: duração da tarefa (segundos e porcentagem), velocidade de pico (mm/s), tempo para velocidade de pico (expressa como % do total da fase), (MURPHY *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2017; DA SILVA *et al.*, 2019) a fase de retorno da mão sobre a mesa não foi calculada, pois não era esse o objetivo das análises. Além disso, no plano sagital, os valores angulares dos movimentos de cotovelo e punho foram obtidos para os movimentos de flexão e extensão (SANTOS *et al.*, 2017). As variáveis analisadas, permitem avaliar o padrão de coordenação das articulações de cotovelo e punho durante as fases do movimento de alcance.

4.3.6 Análise Estatística

A normalidade e a homogeneidade da distribuição dos dados foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. O teste t independente foi usado para idade e IMC. O teste qui-quadrado foi usado para comparar os grupos em relação ao sexo e preferência manual. Para comparar os grupos em relação a variabilidade da coordenação intramembro em cada fase da tarefa foi utilizado o teste de Mann-Whitney. Por outro lado, para comparar os grupos em relação às variáveis espaço-temporais foram utilizados os testes t independente e Mann-Whitney para variáveis paramétricas e não paramétricas, respectivamente em cada uma das fases analisadas. Para todas as análises foi considerado um nível de significância de 5% e utilizado o programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS, versão 25.0).

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Participantes

A figura 2, apresenta o fluxograma do estudo experimental. Inicialmente foram contatados 461 indivíduos. Destes, 374 foram excluídos de acordo com os motivos descritos na Figura 2. Dos 87 indivíduos considerados elegíveis, 54 foram excluídos principalmente pelos critérios definidos no estudo. Ao final, 22 indivíduos foram usados para as análises (11 hemiparéticos e 11 controle).

A descrição dos grupos é encontrada na Tabela 1. No grupo hemiparético (GH), participaram indivíduos com hemiparesia crônica de MS (6 do sexo masculino, 5 do sexo feminino, com média de idade 58.27 ± 11.48 anos, IMC de 25.23 ± 2.27 Kg/m²). No grupo controle (GC), participaram onze indivíduos saudáveis (7 do sexo masculino e 4 do sexo feminino, IMC de 25.42 ± 2.78 Kg/m²). Em relação a preferência manual, em ambos os grupos 10 indivíduos apresentaram preferência à direita. Não houve diferenças entre os grupos controle e hemiparético para idade, sexo, índice de massa corporal e preferência manual.

No grupo hemiparético observou-se predominância do AVC isquêmico com tempo médio de lesão de 31 meses, variando de 6 a 168 meses. Além disso, comparados ao lado não dominante, sete pacientes apresentavam hemiparesia à direita (63,6%) e quatro à esquerda (36,4%), com comprometimento moderado de

acordo com a Escala Fugl-Meyer (pontuação média de 48 com variação de 38 a 56) e destreza manual grossa avaliada pelo *Block and Box Test (BBT)* (média de 23.66 blocos).

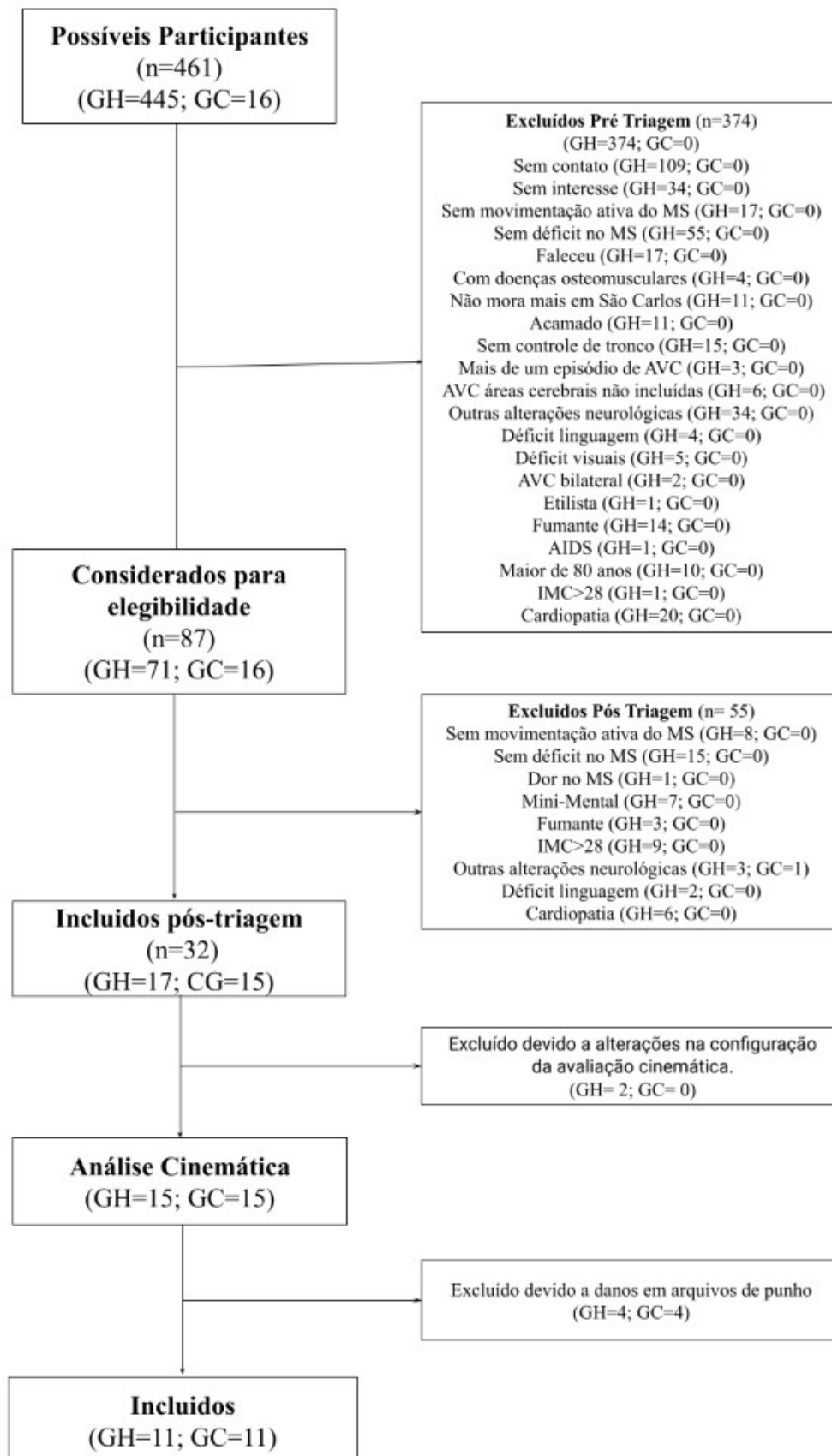


Figura 2. Fluxograma do estudo. GH: Grupo Hemiparético. GC: Grupo Controle. MS: Membro Superior. IMC: Índice de Massa Corporal.

Tabela 1 – Dados demográficos e características clínicas

	Grupo Hemiparético (n=11)	Grupo Controle (n=11)	p
Idade (Anos)	58.27 (11.48)	59.363 (11.85)	0.829
Sexo			0.665
Feminino	5 (45.5)	4 (36.4)	
Masculino	6 (54.5)	7 (63.6)	
IMC (Kg/m ²)	25.23 (2.27)	25.42 (2.78)	0.862
Número de AVC	1 (1- 2)	NA	
Tipo de AVC			
Isquêmico	10 (90.90)	NA	
Hemorrágico	1 (9.1)		
Tempo após AVC (meses)	31 (6 - 168)	NA	
Lado Parético			
Direito	7 (63.63)	NA	
Esquerdo	4 (36.36)		
Preferência Manual			1.00
Direita	10 (90.90)	10 (90.90)	
Esquerda	1 (9.1)	1 (9.1)	
EFM-Membros Superiores	48 (38 - 56)	NA	
Block and Box Test (BBT) (n. de blocos)	23.66 (8.79)	NA	

Dados demográficos e características clínicas. AVC: Acidente Vascular Cerebral. EFM: Escala de Fugl-Meyer para Membros Superiores IMC: Índice de Massa Corporal. NA: Não aplicável. Dados expressos em número para sexo, tipo de AVC, Lado Parético, Preferência Manual. Tempo após AVC, número de AVC e EFM são expressos em mediana e intervalo interquartil (quartil inferior-superior). Os dados restantes são apresentados como média e desvio padrão.

4.4.2 Variabilidade da coordenação articular intramembro

A variabilidade da coordenação articular intramembro (Figura 3) para as articulações de cotovelo e punho foram traçadas usando gráfico ângulo-ângulo, no movimento de alcance. Os ângulos articulares foram calculados para os graus máximos e mínimos de flexão e extensão de cotovelo e punho no plano sagital. São observadas diferenças qualitativas no padrão de coordenação articular.

Na fase de alcance do copo (fase 1 para fase 2), ambos os grupos têm comportamento em extensão de cotovelo e punho, porém a extensão de cotovelo é menor no grupo hemiparético. Na fase de levar o copo até a boca (fase 2 para fase 3), a flexão do punho é menor no grupo controle. Por fim, na fase de retornar o copo para a mesa (fase 3 para fase 1), ambos os grupos realizam extensão de cotovelo. Um fato interessante, é que apesar do grupo hemiparético apresentar menos graus de movimento em ambas as articulações comparando com o grupo controle, o

movimento de retorno do copo à mesa é realizado com extensão de cotovelo e de punho.

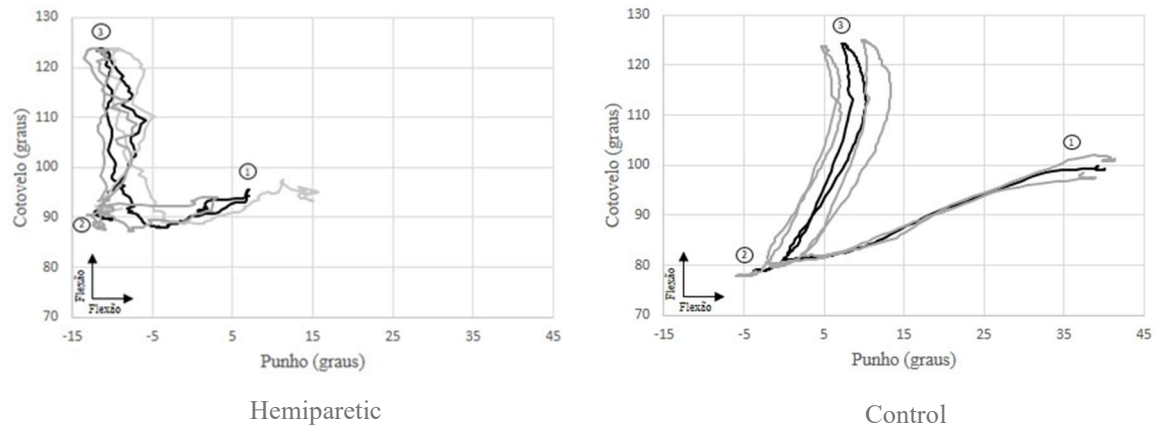


Figura 3 - Coordenação articular de cotovelo e punho durante movimento de alcance.

Padrão de coordenação articular intramembro durante toda a tarefa de um participante que melhor representa o comportamento da média dos participantes para cada grupo. Eixo x: movimento de flexão e extensão de punho. Eixo y: movimento de flexão e extensão de cotovelo. Linha preta = média. Linhas cinzas = desvio padrão. Círculo e número = início de cada fase. 1 = Alcance para o copo, 2 = Transporte do copo até à boca. 3 = Transporte do copo à mesa

Em relação a variabilidade da coordenação articular intramembro de cotovelo e punho, observamos diferenças qualitativas entre as fases. O grupo hemiparético apresentou variabilidade menor na fase de alcance para o copo ($U = 10,00$; $p = 0,00$), fase de transporte do copo até a boca ($U = 30,00$; $p = 0,04$) e fase de transporte do copo até a mesa ($U = 13,00$; $p = 0,00$) (Figura 4) em relação ao grupo controle.

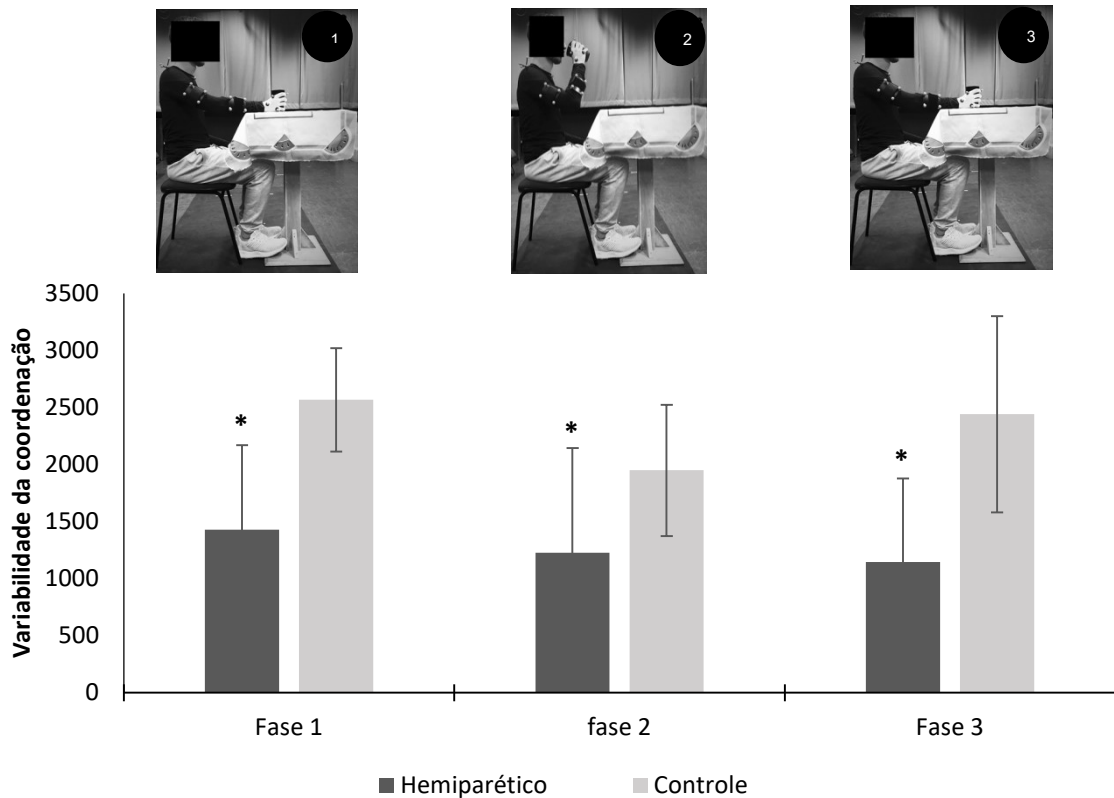


Figura 4- Variabilidade da coordenação intramembro de cotovelo e punho, analisada no plano sagital para cada fase com dados normalizados. Os dados são descritos como média e desvio padrão. 1 = Alcance para o copo = . 2 = Transporte do copo até a boca. 3 = Transporte do copo até a mesa. * $p < 0,005$ em comparação ao grupo controle.

4.4.3 Variáveis espaço-temporais

A tabela 2 apresenta os resultados das variáveis espaço-temporais. Ao comparar os grupos, observa-se que na fase 1 (Alcance para o copo), o hemiparético realiza o movimento em um maior tempo, com menor pico de velocidade (PV) e tempo para atingir o PV quando comparado ao controle. Na fase 2 (Transporte do copo até a boca), o hemiparético apresenta menor duração em relação ao tempo total da tarefa com menor pico de velocidade (PV) e maior tempo para atingir o PV quando comparado ao controle. Na fase 3 (Transporte do copo até a mesa), o hemiparético realiza em um maior tempo e com menor tempo para atingir o PV quando comparado ao controle.

Tabela 2 – Análise das variáveis espaço-temporais por fases.

	Grupo Hemiparético (n=11)	Grupo Controle (n=11)	p-value
<i>Alcance para o copo</i>			
Duração (s)	2.47 (0.80)	1.39 (0.27)	0.000*
Duração (%)	23.55 (3.96)	20.40 (4.23)	0.088
PV (mm/s)	285.00 (63.25)	385.93 (63.91)	0.001*
Tempo do Pico de Velocidade (%)	29.51 (11.39)	41.95 (10.10)	0.014*
<i>Transporte do Copo até a boca</i>			
Duração (s)	2.48 (0.71)	2.01 (0.49)	0.094
Duração (%)	24.15 (3.55)	29.46 (4.39)	0.005*
PV (mm/s)	425.21 (215.13)	489.96 (122.28)	0.045**
Tempo do Pico de Velocidade (%)	46.48 (23.97)	27.33 (8.24)	0.020**
<i>Transporte do copo até a mesa</i>			
Duração (s)	2.96 (1.03)	1.96 (0.38)	0.007*
Duração (%)	28.29 (5.23)	28.83 (4.44)	0.797
PV (mm/s)	499.18 (168.83)	492.80 (87.13)	0.912
Tempo do Pico de Velocidade (%)	26.04 (9.86)	40.25 (7.51)	0.005**

GH: Grupo hemiparético. GC: Grupo Controle PV: Pico de Velocidade. *p<0.05 (Teste T independente). **p<0.05: Mann-Whitney Test. Os dados são descritos como média e em parênteses desvio padrão.

5. DISCUSSÃO

O objetivo do estudo foi avaliar a variabilidade da coordenação interarticular de cotovelo e punho, em indivíduos hemiparéticos crônicos durante o movimento de alcance. A fim de avaliar a variabilidade da coordenação, a técnica de codificação vetorial foi usada, usando como base estudo de Celestino, *et.al.*, (2019). Foi hipotetizado que a variabilidade estivesse diminuída no grupo hemiparético nas fases do movimento de alcance. Os dados obtidos estavam em concordância com a hipótese do estudo e com a literatura (TOMITA *et al.*, 2018; MURPHY, *et.al.*, 2015; SETHI *et al.*, 2013).

As diferenças observadas no padrão de movimento de alcance (CIRSTEA e LEVIN, 2000) apontam alterações características de incoordenação. Essas informações refletem num padrão rígido de movimento e repertório pobre de movimento, características presentes em indivíduos hemiparéticos crônicos.

Nas análises de variabilidade, foram observadas diferenças na qualidade do padrão de movimento coordenado comparando os grupos nas fases do movimento de alcance (figura 3). Na fase de alcance ao copo (fase 1 para fase 2) ambos os grupos tiveram comportamento semelhante ao iniciar o movimento em extensão de cotovelo e punho, porém no grupo hemiparético, a extensão de cotovelo é reduzida. Na fase de levar o copo até a boca (fase 2 para fase 3), o grupo hemiparético apresentou menos suavidade ao realizar a flexão de punho comparando com o grupo controle, indicando padrão de incoordenação entre punho e cotovelo. Na fase de retorno do copo para a mesa (fase 3 para fase 1), ambos os grupos realizam extensão de cotovelo.

Um fato interessante, é que apesar do grupo hemiparético apresentar menos graus de movimento em ambas as articulações comparando com o grupo controle, o movimento de retorno do copo à mesa é realizado com extensão de punho. Esse padrão atípico, sugere estratégias adaptativas na articulação do punho para estabilizar o retorno do copo à mesa e facilitar o movimento conforme estudo de Squeri, *et.al*, (2014). Um fator que pode estar associado a esse comportamento é a alteração de coordenação entre as articulações de cotovelo e ombro, que atuam em sinergia no movimento de alcance.

Além disso, foi observada diferença quantitativa na variabilidade de movimento comparando os grupos (Figura 4). Em geral, o grupo hemiparético, apresentou menor variabilidade nas fases do movimento de alcance, comparando com o grupo controle. Esse padrão de menor variabilidade, indica que indivíduos hemiparéticos crônicos, apresentam um padrão rígido e repertório pobre de movimento.

Os dados cinemáticos obtidos como análise complementar, fornecem compreensão dos movimentos do membro superior parético crônico, contribuindo para informações sobre desempenho do movimento.

As seguintes variáveis espaço-temporais analisadas apresentam alterações entre os grupos hemiparético e controle, nas respectivas fases do movimento de alcance. Na fase de alcance ao copo, observou-se duração em segundos significativamente maior no grupo hemiparético em comparação com o grupo controle, seguido de menor pico de velocidade (mm/s) e menor tempo do pico de velocidade (%).

Na fase 2, observou-se no grupo hemiparético em comparação com o grupo controle duração (%) significativamente menor em comparação com o grupo controle,

seguido de menor pico de velocidade (mm/s). Um dado interessante é que embora o pico de velocidade é menor, ocorre inversão no valor de porcentagem do tempo do pico de velocidade no grupo hemiparético, levando mais tempo para atingir o pico de velocidade.

Provavelmente, esse comportamento no grupo hemiparético esteja relacionado ao desempenho e experiência na realização da tarefa. Wu *et.al.*, (1998), observaram dados semelhantes ao avaliar desempenho durante tarefas manipulativas. Na fase 3, observou-se maior duração em segundos e menor tempo do pico de velocidade (%).

Diante desses resultados, identificar as alterações de coordenação dos movimentos e de variabilidade nas fases do movimento de alcance, pode ser útil para prever o nível de recuperação no processo de reabilitação pós-AVC (TOMITA, *et.al.*, 2017).

Portanto a avaliação de variabilidade e coordenação interarticular durante o movimento de alcance, é essencial para compreensão dos déficits persistentes nos indivíduos hemiparéticos (TOMITA, *et.al.*, 2017). A capacidade reduzida em controlar de forma seletiva e independente as articulações tanto proximais como distais de membro superior, presença de movimentos estereotipados, habilidade reduzida de extensão articular do cotovelo são característicos em indivíduos com nível moderado de comprometimento motor (BEER *et al.*, 2004; SUKAL *et al.*, 2007; MILLER e DEWALD, 2012; MASSIE, *et.al*, 2011; LAN *et al.*, 2017a; MCPHERSON *et al.*, 2018a).

Em geral, observamos que os indivíduos hemiparéticos apresentam maior lentidão para executar a tarefa de beber e precisam de maior tempo para ajustes de feedback, como consequência, gastam mais tempo na fase de desaceleração quando comparados aos indivíduos saudáveis, uma vez que atingem o pico precocemente nas fases de alcance para o copo e transporte para a mesa (VAN VLIET, SHERIDAN, 2007; MICHAELSEN *et.al.*, 2013, MURPHY; WILLÉN, SUNNERAGEN, 2011).

O comportamento sensório motor de leve a moderado, a cronicidade dos indivíduos avaliados, assim como o pequeno tamanho amostral e o lado de dominância no AVC e lado do hemisfério lesionado podem ser considerados como fatores limitantes do estudo. Sugerimos estudos futuros mais rebuscados com tamanho amostral maior, incluindo populações com níveis de comprometimento sensório motor grave, AVC agudo e subagudo, e indivíduos jovens, a fim de caracterizar o padrão de coordenação articular e variabilidade da extremidade distal de membro superior.

6.CONCLUSÃO

Os indivíduos hemiparéticos crônicos apresentam alterações na variabilidade e coordenação articular intramembro de cotovelo e punho, durante o movimento de alcance. Esses indivíduos utilizam de estratégias compensatórias devido o pobre repertório de variabilidade de movimentos para realizar determinada tarefa.

7.AGRADECIMENTOS

Este estudo recebeu apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

8.REFERÊNCIAS

ALT MURPHY, M., MURPHY, S., PERSSON, H.C., BERGSTRÖM, U.B., SUNNERHAGEN, K.S. Kinematic Analysis Using 3D Motion Capture of Drinking Task in People with and Without Upper-extremity Impairments. *J. Vis. Exp.* (133), e57228. 2018).

ANDREWS, A. W., BOHANNON., R. W. Distribution of muscle strength impairments following stroke. **Clinical Rehabilitation**, v. 14, n. 1, p. 79-87, 2000.

AVILA, M. A., ROMAGUERA, F., OLIVEIRA, A.B., CAMARGO, P.R., SALVINI, T.F. Bilateral impairments of shoulder abduction in chronic hemiparesis: Electromyographic patterns and isokinetic muscle performance. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 23, n. 3, p. 712-720, 2013.

BEER, R. F. et al. Target-dependent differences between free and constrained arm movements in chronic hemiparesis. **Experimental Brain Research**, v. 156, n. 4, p. 458-470, 2004.

BERNHARDT, J. et.al. Agreed definitions and a shared vision for new standards in stroke recovery research: The Stroke Recovery and Rehabilitation Roundtable taskforce. **International Journal of Stroke**. Vol 12(5). 444-450. 2017.

BOOTH, F. W., LEES, S. J. Physically active subjects should be the control group. **Med Sci Sports Exerc**, v. 38, n. 3, p. 405-6, Mar 2006.

CARR, J.S.R. **Reabilitação Neurológica: Otimizando o desempenho motor**. São Paulo, 2008.

CARVALHO-PINTO, B. P. B., FARIA, C. D. C. M. Health, function and disability in stroke patients in the community. **Brasilian Journal of Physical Therapy**. 20(4), 355-366. 2016.

CELESTINO, M. L., *et.al.* Intralimb gait coordination of individuals with stroke using vector coding. **Human Movement Science**. 68. 2019.

CHAE, J. *et.al.* Delay in initiation and termination of muscle contraction, motor impairment and physical disability in upper limb hemiparesis. **Muscle Nerve**, v.25, n 4, p.122-35, Apr 2002.

CIRSTEA, M. C., MITNITSKI, A. B., FELDMAN, A.G., LEVIN, M. F. Interjoint coordination dynamics during reaching in stroke. **Experimental Brain Research**, v. 151, n. 3, p. 289-300, 2003.

CIRSTEA, M. C., LEVIN, M. F. Compensatory strategies for reaching in stroke. **Brain**, v. 123, n. 5, p. 940-953, 2000.

DA SILVA, E.S.M., SANTOS, G. L., CATAI, A.M. *et al.* Effect of aerobic exercise prior to modified constraint-induced movement therapy outcomes in individuals with chronic hemiparesis: a study protocol for a randomized clinical trial. **BMC Neurol** 19. 196 2019.

DAVIDS, K., BUTTON, C., BENNETT, S. Dynamics of Skill Acquisition: A Constraints-led Approach. **Human Kinetics**, 2008 .

ENGLISH, C. *et.al.* Loss of skeletal muscle mass after stroke: a systematic review. **Int J Stroke**, v.5, n.5, p.395-402. Oct, 2010.

FINDLATER, S. E., *et.al.* Lesion locations associated with persistent proprioceptive impairment in the upper limbs after stroke. **Neuroimage Clin.** 20. 955-971. 2018.

FOLSTEIN, M. F., FOLSTEIN, S. E., MCHUGH, P. R. "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. **J Psychiatr Res**, v. 12, n. 3, p. 189-98, 1975.

GALLOWAY, J. C., KOSHLAND, G. F. General coordination of shoulder, elbow and wrist dynamics during multijoint arm movements. **Experimental brain research**, v. 142, n. 2, p. 163-180, 2002.

HAMILL, J., *et.al.* Coordinative variability and overuse injury. **Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology: SMARTT**, 4(1), 45. 2012.

HARA, Y., *et.al.* Physiologic Decrease of Single Thenar Motor Units in the F-Response in Stroke Patients. **Archives of Physical Medicine Rehabilitation**. V.81, p.418-23, 2000.

HARBOURNE, R. T., STERGIOU, N. Movement Variability and The Use of Nonlinear Tools: Principles to Guide Physical Therapist Practice. **Physical Therapy**. V.89(3) 267-285. 2009.

HARDWICK, D. D., LANG, C. E. Scapular and humeral movement patterns of people with stroke during range-of-motion exercises. **J Neurol Phys Ther**, v35, n1, p.18-25. 2011.

HARRIS, J.E., ENG, J.J. Paretic upper-limb strength bet explains arm activity in people with stroke. **Physical Therapy**. 87(1):88-97. Jan 2007.

HUNTER S, CROME P. Hand function and stroke. *Reviews in Clinical Gerontology*. 2002; 12(01):68–81. 4.

JASPERS, E., FEYS, H., BRUNINCKX, H, HARLLAR, J., MOLENAERS, G., DESLOOVER, K. Upper limb kinematics: development and reliability of a clinical protocol for children. **Gait & Posture**, v. 33, n. 2, p. 279-285, 2011.

JASPERS, E., MONARI, D., MOLENAERS, G., FEYS, H., DESLOOVERE, K. Upper limb evaluation in movement analysis: Open-source custom made MATLAB based software. **Gait & Posture**, v.39, S1, p.76-77, 2014.

JUNG, H. Y., YOON, J. S., PARK, B. S. Recovery of proximal and distal arm weakness in the ipsilateral upper limb after stroke. **NeuroRehabilitation**, v. 17, n. 2, p. 153-159, 2002.

KELSO, J. A. Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 246(6). 1984.

KIM, K., SONG, W.K., LEE, J., LEE, H.Y., PARK, D.S., KO, B.O., KIM, J. Kinematic analysis of upper extremity movement during drinking in hemiplegic subjects. **Clinical Biomechanics**, v. 29, n. 3, p. 248-256, 2014.

LACQUANTINI, F., SOECHTING, J. F. EMG responses to load perturbations of the upper limb: effect of dynamic coupling between shoulder and elbow motion. **Exp Brain Res**, v. 61, n.3, p.482-96, 1986.

LAN, C.E., BEEBE, J, A. Relating movement control at 9 upper extremity segments to loss of hand function in people with chronic hemiparesis. **Neurorehabilitation Neural Repair**. 2007; 21(3):279–91

LAN, Y.; YAO, J., DEWALD, J. P. A. The impact of shoulder abduction loading on volitional hand opening and grasping in chronic hemiparetic stroke. **Neurorehabilitation and neural repair**, v. 31, n. 6, p. 521-529, 2017.

LANGHORNE, P., COUPAR, F., POLLOCK, A. Motor recovery after stroke: a systematic review. **Lancet Neurol**. v.8, n.8.p. 741-54. 2009.

LANGHORNE, P., BERNHARDT, J., KWAKKEL, G. Stroke rehabilitation. **The Lancet**, v. 377, n. 9778, p. 1693-1702, 2011.

LENT, R. **Cem bilhões de Neurônios ? – Conceitos fundamentais de Neurociência**. Rio de Janeiro. 2010

LEVIN, M. Interjoint coordination during pointing movements is disrupted in spastic hemiparesis. **Brain**. V. 119, p.281-293. 1996.

LI, Z., MILUTINOVIĆ, D., ROSEN, J. From reaching to reach-to-grasp: the arm posture difference and its implications on human motion control strategy. **Exp Brain Res**. May;235(5):1627-1642. 2017

LIESHOUT, E. V., PORT, I.G.V., DIJKHUIZEN, R.M., VISSER-MEILY, J.M.A. Does upper limb strength play a prominent role in health-related quality of life in stroke patients discharged from inpatient rehabilitation? **Topics in Stroke Rehabilitation**, p. 1-9, 2020.

LIU, W., WALLER, S. MC., KEPPLER, T., WHITALL, J. Compensatory arm reaching strategies after stroke: induced position analysis. **Journal of rehabilitation research and development**, v. 50, n. 1, p. 71, 2013.

LIU, W., WHITALL, J., KEPPLER, T. M. Multi-Joint Coordination of Functional Arm Reaching: Induced Position Analysis. **Journal of applied biomechanics**, v. 29, n. 2, p. 235-240, 2013.

LIXANDRÃO, M.C., CAMARGO, P.R., SCARPA, C.E.N., PRADO-MEDEIROS, C.L., SALVINI, T.F. Bilateral changes in 3-D scapular kinematics in individuals with chronic stroke. **Clinical Biomechanics**, v. 47, p. 79-86, 2017.

MASIA, L., CASADIO, M., GIANNONI, P., SANDINI, G., MORASSO, P. Performance adaptive training control strategy for recovering wrist movements in stroke patients: a preliminary, feasibility study. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**. v.6.2009.

MASSIE, C.L., FRITZ, S., MALCOLM, M.P. Elbow extension predicts motor impairment and performance after stroke. Clinical Study. **Rehabilitation Research and Practice**. 2011.

MASSIE, C. L., TRACY, B. L., MALCOLM, M. P. Functional repetitive transcranial magnetic stimulation increases motor cortex excitability in survivors of stroke. **Clinical Neurophysiology**, 124(2), 371–378. 2013.

MCCLURE, P. W., et.al. Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo. **J. Shoulder Elbow Surg.** V.10, n.3, p.269-77. May-Jun, 2001.

MCCREA, P. H., ENG, J. J., HODGSON, A. J. Time and magnitude of torque generation is impaired in both arms following stroke. **Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine**, v. 28, n. 1, p. 46-53, 2003.

MCPHERSON, J. G. et al. Modification of spastic stretch reflexes at the elbow by flexion synergy expression in individuals with chronic hemiparetic stroke. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 99, n. 3, p. 491-500, 2018b.

MCPHERSON, J. G. et al. Progressive recruitment of contralesional cortico-reticulospinal pathways drives motor impairment post stroke. **The Journal of physiology**, v. 596, n. 7, p. 1211-1225, 2018.

MCPHERSON, L.M., DEWALD, J.P.A. Differences between flexion and extension synergy-driven coupling at the elbow, wrists, and fingers of individuals with chronic hemiparetic stroke. **Clinical Neurophysiology**. 130, 454-468. 2019.-

MEHLER, D.M.A., REICHENBACH, A., KLEIN, J., DIEDRICHSEN, J. Minimizing endpoint variability through reinforcement learning during reaching movements involving shoulder, elbow and wrist. **PLoS One**. 18;12(7) Jul 2017.

MESSIER, S. et al. Kinematic analysis of upper limbs and trunk movement during bilateral movement after stroke. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 87, n. 11, p. 1463-1470, 2006.

MICHAELSEN, S. M. et al. Using an accelerometer for analyzing a reach-to-grasp movement after stroke. **Motriz: Revista de Educação Física**, v. 19, n. 4, p. 746-752, 2013.

MILLER, L. C., DEWALD, J. P. A. Involuntary paretic wrist/finger flexion forces and EMG increase with shoulder abduction load in individuals with chronic stroke. **Clinical Neurophysiology**, v. 123, n. 6, p. 1216-1225, 2012.

MORRIS, J. H. et al. Predicting health related quality of life 6 months after stroke: the role of anxiety and upper limb dysfunction. **Disability and rehabilitation**, v. 35, n. 4, p. 291-299, 2013.

MURPHY, M. Alt., WILLÉN, C., SUNNERHAGEN, K. S. Kinematic variables quantifying upper-extremity performance after stroke during reaching and drinking from a glass. **Neurorehabilitation and neural repair**, v. 25, n. 1, p. 71-80, 2011.

MURPHY, M. Alt., WILLÉN, C., SUNNERHAGEN, K. S. Movement Kinematics During a Drinking Task Are Associated with the Activity Capacity Level After Stroke. **Neurorehabilitation of Neural Repair**. 26(9) 1106-1115. 2012.

MURPHY, M., HÄGER, C. K. Kinematic analysis of the upper extremity after stroke—how far have we reached and what have we grasped? **Physical Therapy Reviews**, v. 20, n. 3, p. 137-155, 2015.

NAKAYAMA, H., JORGENSEN, H.S., RAASCHOU, H.O., OLSEN, T.S. Recovery of upper extremity function in stroke patients: the Copenhagen Stroke Study. **Arch Phys Med Rehabil.** ;75: 394-398. 1994

NEEDHAM, R., NAEMI, R., CHOCKALINGAM, N. Quantifying lumbar-pelvis coordination during gait using a modified vector coding technique. **J Biomech** [Internet]. Elsevier; 2014;47(5):1020–6

NIESSEN, M. H., VEEGER, D.H., KOPPE, P.A., KONIJNENBELT, M.H., VAN DIEEN, J., JANSSEN, T. W. Proprioception of the shoulder after stroke. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 89, n. 2, p. 333-338, 2008.

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

RAIMUNDO, K.C., SILVEIRA, L.S., KISHI, M.S., FERNANDES, L.F.R.M., SOUZA, L.A.P.S. Análise cinemática e eletromiográfica do alcance em pacientes com acidente vascular encefálico. **Fisioter Mov.** 24(1):87-97. 2011.

RUEDA, F. M. et al. Movement analysis of upper extremity hemiparesis in patients with cerebrovascular disease: a pilot study. **Neurología (English Edition)**, v. 27, n. 6, p. 343-347, 2012.

SACCO, R. L. et.al. An updated definition of stroke for the 21 st century: a statement for healthcare professional from the American Heart Association/American Stroke Association. **Stroke**, V.44. n7. P.2064-89. 2013.

SAINBURG, R. L., KALAKANIS, D. Differences in control of limb dynamics during dominant and nondominant arm reaching. **Journal of neurophysiology**, v. 83, n. 5, p. 2661-2675, 2000.

SANTOS, G. L., RUSSO, T.L., NIEUWENHUYIS, A., MONARI, D., DESLOOVER, K. Kinematic analysis of a drinking task in chronic hemiparetic patients using features

analysis and Statistical Parametric Mapping. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 99, n. 3, p. 501-511. e4, 2017.

SANTOS, G. L., SALAZAR, L.F.G., LAZARIN, A.C., RUSSO, T.L. Joint position sense is bilaterally reduced for shoulder abduction and flexion in chronic hemiparetic individuals. **Topics in stroke rehabilitation**, v. 22, n. 4, p. 271-280, 2015.

SANTOS, G. L., SALAZAR, L.F.G., SOUZA, M.B., OLIVEIRA, A.B., CAMARGO, P.R., RUSSO, T.L. Torque steadiness and muscle activation are bilaterally impaired during shoulder abduction and flexion in chronic post-stroke subjects. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 30, p. 151-160, 2016.

SCHOLZ, J., & KELSO, J. A. S. Intentional switching between patterns of bimanual coordination depends on the intrinsic dynamics of the patterns. **Journal of Motor Behavior**. 22, 98–124. 1990.

SEO, N. J., RYMER, W. Z., KAMPER, D. G. Delays in grip initiation and termination in persons with stroke: effects of arm support and active muscle stretch exercise. **Journal of neurophysiology**, v. 101, n. 6, p. 3108-3115, 2009.

SETHI, A., PATTERSON, T., MCGUIRK, T., PATTEN, C., RICHARDS, L.G, STERGIOU, N. Temporal structure of variability decreases in upper extremity movements post stroke. **Clinical Biomechanics**. 28(2). 134-139. 2013.

SQUERI, V., MASIA, L., GIANNONI, P., SANDINI, G., MORASSO, P. Wrist Rehabilitation in Chronic Stroke Patients by Means of Adaptive, Progressive Robot-Aided Therapy. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 22(2), 312–325. 2014

STERGIOU, N. *Nonlinear Analysis for Human Movement Variability*. 2016.

SUKAL, T. M., ELLIS, M.D., DEWALD, J. P. A. Shoulder abduction-induced reductions in reaching work area following hemiparetic stroke: neuroscientific implications. **Experimental brain research**, v. 183, n. 2, p. 215-223, 2007.

TOMITA, Y., MULLICK, A.A., LEVIN, M. F. Reduced Kinematic Redundancy and Motor Equivalence During Whole-Body Reaching in Individuals with Chronic Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. V.32(2) 175-186. 2018.

TOMITA, Y., RODRIGUES, M.R.M., LEVIN, M.F. Upper Limb Coordination in individuals with stroke: Poorly Defined and Poorly Quantified. ***Neurorehabilitation and Neural Repair***. v.31(10-11) 885-897. 2017.

TURNER, D. L., TANG, X., WINTERBOTHAM, W., KMETOVA, M. Recovery of submaximal upper limb force production is correlated with better arm position control and motor impairment early after a stroke. ***Clinical neurophysiology***, v. 123, n. 1, p. 183-192, 2012.

VAILLANCOURT, D. E., NEWEL, K. M. Changing complexity in human behavior and physiology through aging and disease, ***Neurobiology of Aging***, v.23, Issue 1, Pages 1-11. 2002.

VAN EMMERIK, R. E. A., et al. Variability and coordinative function in human gait. *Quest*. 57. 2005.

VAN EMMERIK, R. E. A., VAN WEGEN, E. E. H. On variability and stability in human movement. *Journal of Applied Biomechanics*. 16. 394-406. 2000.

VAN VLIET, P. M., SHERIDAN, M. R. Coordination between reaching and grasping in patients with hemiparesis and healthy subjects. ***Archives of physical medicine and rehabilitation***, v. 88, n. 10, p. 1325-1331, 2007.

VILAPLANA, J. M., CORONADO, J. L. A neural network model for coordination of hand gesture during reach to grasp. ***Neural networks***, v. 19, n. 1, p. 12-30, 2006.

WAGNER, J. M. *et.al.* Upper extremity muscle activation during recovery of reaching in subjects with post-stroke hemiparesis. ***Clin Neurophysiol***. V.118, n.1, p.164-76. Jan 2007.

WAGNER, J. M. *et.al.* Sensorimotor impairments and reaching performance in subjects with poststroke hemiparesis during the first few months of recovery. ***Phys Ther***. V.87, n.6, p.751-65, Jun 2007.

W.H.O. Reveal as leading causes of death and disability worldwide: 2000-2019. News release Geneva, Switzerland. December 2020. Acesso: <https://www.who.int/news/item/09-12-2020-who-reveals-leading-causes-of-death-and-disability-worldwide-2000-2019>.

WINSTEIN, C.; KAY, D. B. Translating the science into practice: shaping rehabilitation practice to enhance recovery after brain damage. **Progress in Brain Research**. 218: 331-60. April 2015.

WINTER, D. A. Kinematic and kinetic patterns in human gait: Variability and compensating effects. *Hum Mov Sci* [Internet]. 1984 Mar;3(1-2):51-76. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0167945784900058>

WU, G., VAN, DER HELM F.C.T., VEEGER, H.E.J., MAKHSOUS, M., VAN ROY, P., ANGLIN C, *et.al*. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion: part II: shoulder, elbow, wrist and hand. **J Biomech**. 2005;38(5):981-92

WU, C. *et.al*. Effects of object affordances on reaching performance in persons with and without cerebrovascular accident. **Am J Occup Ther**, v 52, n.6, p.447-56, Jun 1998.

ZACKOWSKI, K. M. *et.al*. How do strength, sensation, spasticity and joint individuation relate to the reaching deficits of people with chronic hemiparesis? **Brain**, v.127, n, Pt 5, p.1035-46. May, 2004.