UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES

SILVIO JOSÉ SANTOS DA ROCHA

DISPOSITIVO PARA QUANTIFICAR O GRAU DE ESPASTICIDADE EM MEMBROS SUPERIORES UTILIZANDO A ESCALA MODIFICADA DE ASHWORTH

Mogi das Cruzes, SP

2024

UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES

SILVIO JOSÉ SANTOS DA ROCHA

DISPOSITIVO PARA QUANTIFICAR O GRAU DE ESPASTICIDADE EM MEMBROS SUPERIORES UTILIZANDO A ESCALA MODIFICADA DE ASHWORTH

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Universidade de Mogi das Cruzes como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Biomédica, na área de concentração Biomecânica e Reabilitação.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Pereira da Silva

Mogi das Cruzes, SP

2024

Ficha catalográfica
Universidade de Mogi das Cruzes - Biblioteca Central

R672d

Rocha, Silvio José Santos da
Dispositivo para quantificar o grau de espasticidade em membros superiores utilizando a escala modificada de Ashworth / Silvio José Santos da Rocha. -- Mogi das Cruzes, SP: Universidade de Mogi das Cruzes, 2024.
69 f. : il.
Inclui bibliografia

Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) -- Universidade de Mogi das Cruzes, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Alessandro Pereira da Silva

1. Acidente Vascular Cerebral 2. Espasticidade Muscular 3. Escala Modificada de Ashworth 4. Dispositivos eletrônicos vestíveis I. Silva, Alessandro Pereira da II. Universidade de Mogi das Cruzes III. Título

CDD 616.8103

Elaborada por Maria Cristina Alves Silva Xavier – CRB-8/10077

ATAS

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA DA UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES

Às quatorze horas e trinta minutos do dia vinte e seis de fevereiro de dois mil e vinte e cinco, pela Universidade de Mogi das Cruzes, realizou-se a defesa de dissertação intitulada "DISPOSITIVO PARA QUANTIFICAR O GRAU DE ESPASTICIDADE EM MEMBROS SUPERIORES UTILIZANDO A ESCALA MODIFICADA DE ASHWORTH" para obtenção do grau de mestre pelo(a) candidato(a) **Silvio José Santos da Rocha.** Tendo sido o número de créditos alcançados pelo(a) mesmo(a) no total de 49 (quarenta e nove), a saber: 25 unidades de crédito em disciplinas de pós-graduação e 24 unidades de crédito no preparo da dissertação, o(a) aluno(a) perfaz assim os requisitos para obtenção do grau de mestre. A comissão examinadora estava constituída dos senhores professores doutores: Alessandro Pereira da Silva, e Terigi Augusto Scardovelli, da Universidade de Mogi das Cruzes, e Fernando Henrique Magalhães, da Universidade de São Paulo, sob a presidência do primeiro, como orientador da dissertação. A sessão pública da defesa de dissertação foi aberta pelo senhor presidente da comissão que apresentou o(a) candidato(a). Em seguida o(a) candidato(a) realizou uma apresentação oral da dissertação. Ao final da apresentação da dissertação, seguiram-se as arguições pelos membros da comissão examinadora. A seguir a comissão, em sessão secreta, conforme julgamento discriminado por cada membro, considerou o(a) candidato(a)

Aprovado (aprovado(a) /reprovado(a)) por Unanimidade (unanimidade/maioria)

Mogi das Cruzes, 26 de fevereiro de 2025.

Comissão Examinadora	Julgamento
Documento assinado digitalmente gov.br FERNANDO HENRIQUE MAGALHAES Data: 27/02/2025 15:37:30-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br	
Prof. Dr. Fernando Henrique Magalhães	Aprovado (aprovado(a)/reprovado(a))
Documento assinado digitalmente gov.br TERIGI AUGUSTO SCARDOVELLI Data: 27/02/2025 17:01:51-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br	
Prof. Dr. Terigi Augusto Scardovelli	Aprovado (aprovado(a)/reprovado(a))
Documento assinado digitalmente gov.br ALESSANDRO PEREIRA DA SILVA Data: 27/02/2025 17:11:13-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br	
Prof. Dr. Alessandro Pereira da Silva	Aprovado (aprovado(a)/reprovado(a))

A Deus, pela saúde, pelas oportunidades e por me conceder forças para enfrentar os desafios. Que este trabalho seja um reflexo da gratidão que carrego em meu coração.

Agradeço à minha esposa, Tathiane, pelo seu constante incentivo em minha vida acadêmica, pelo seu apoio pleno e por estar sempre ao meu lado em cada etapa dessa jornada. À minha filha, Lorena, que com sua presença sempre me motivou a seguir em frente, e ao meu amigo Antonio Vinícius, que sempre compartilha conhecimento e experiência.

Gostaria de expressar minha gratidão ao professor Alessandro, por lecionar matérias fundamentais para o meu desenvolvimento e por aceitar ser meu orientador, sempre disponível para responder às minhas dúvidas e me guiar ao longo de todo o processo.

Também gostaria de agradecer aos meus colegas de laboratório, Higor, Luan e Mariana, por compartilharem comigo os desafios e momentos de aprendizado.

Esse projeto foi desafiador, me fez sair da zona de conforto, aprender muito e me mostrou como posso contribuir com o próximo de uma maneira diferente e gratificante.

RESUMO

A espasticidade é uma condição neuromuscular comum em indivíduos que sofreram um Acidente Vascular Cerebral (AVC), causando aumento anormal do tônus muscular e limitando a realização de movimentos voluntários. Essa disfunção impacta significativamente a funcionalidade dos membros superiores, essenciais para atividades cotidianas. No entanto, a avaliação clínica da espasticidade frequentemente depende da Escala Modificada de Ashworth (EMA), cuja aplicação pode ser subjetiva, dependendo da percepção do avaliador. Assim, este estudo apresenta o desenvolvimento de um dispositivo vestível, voltado para a quantificação objetiva da espasticidade em pacientes pós-AVC. O dispositivo desenvolvido utiliza sensores inerciais, como o acelerômetro e giroscópio MPU6050, integrados à placa T-Display-S3 ESP32-S3, equipada com uma tela LCD touchscreen de 1,9 polegadas. A configuração de hardware incluiu ainda uma bateria Li-po de 3,7V para garantir a autonomia do dispositivo e uma faixa de Velcro ajustável para sua fixação no braço do paciente, assegurando estabilidade durante as avaliações. O software foi programado no Arduino IDE, empregando bibliotecas específicas como lvgl e MPU6050_6Axis_MotionAPPS612, enquanto a interface gráfica foi projetada no SquareLine Studio, permitindo exibição clara dos dados em tempo real. O método do estudo envolveu três etapas principais: especificação do dispositivo, configuração do software e análise dos dados. Durante os testes, o dispositivo capturou parâmetros biomecânicos, como aceleração e velocidade angular, correlacionando esses dados com os níveis da EMA. A calibração dos sensores foi realizada com base em estudos prévios e lógica difusa, suavizando transições entre os níveis da escala. A análise dos dados revelou uma relação consistente entre os valores de aceleração registrados e os graus de espasticidade definidos pela EMA, validando o dispositivo como uma alternativa promissora às avaliações tradicionais e como ferramenta de auxílio aos profissionais para uma avaliação objetiva. Além de coletar e processar dados biomecânicos, o dispositivo permite a transmissão via Bluetooth para aplicativos móveis, facilitando o armazenamento e consulta posterior dos resultados. Essa funcionalidade visa atender à demanda por monitoramento contínuo e avaliações mais precisas, proporcionando aos profissionais de saúde uma ferramenta prática para acompanhar a evolução dos pacientes ao longo do tratamento. Os resultados

destacam o potencial do dispositivo vestível para transformar a abordagem clínica da espasticidade, oferecendo uma solução mais objetiva e personalizada. A interface intuitiva e a capacidade de monitoramento em tempo real representam um avanço significativo em relação aos métodos convencionais, que dependem de avaliações pontuais e subjetivas. Além disso, o dispositivo tem o potencial de contribuir para a reabilitação de pacientes pós-AVC, ajudando o profissional a otimizar intervenções terapêuticas. Embora os resultados sejam promissores, desafios permanecem, como a validação em amostras maiores e a padronização de protocolos de uso. Estudos futuros poderão explorar a integração do dispositivo com inteligência artificial, ampliando sua aplicabilidade e precisão. Este trabalho estabelece uma base sólida para o uso de tecnologias vestíveis na avaliação e monitoramento da espasticidade, com potencial de impactar positivamente a qualidade de vida de pacientes pós-AVC.

Palavras-chave: Espasticidade, Acidente Vascular Cerebral, Dispositivos Vestíveis, Sensores Inerciais, Escala Modificada de Ashworth.

ABSTRACT

Spasticity is a neuromuscular condition commonly found in individuals who have suffered a Stroke (CVA), causing an abnormal increase in muscle tone and limiting voluntary movement. This dysfunction significantly impacts the functionality of the upper limbs, essential for daily activities. However, the clinical evaluation of spasticity often relies on the Modified Ashworth Scale (MAS), whose application can be subjective, depending on the evaluator's perception. Thus, this study presents the development of an innovative wearable device aimed at objectively quantifying spasticity in post-stroke patients. The device developed utilizes inertial sensors, such as the MPU6050 accelerometer and gyroscope, integrated into the T-Display-S3 ESP32-S3 board, equipped with a 1.9-inch LCD touchscreen. The hardware configuration also included a 3.7V Li-po battery to ensure the device's autonomy and a Velcro-adjustable strap for attachment to the patient's arm, ensuring stability during evaluations. The software was programmed using Arduino IDE, employing specific libraries such as lvgl and MPU6050_6Axis_MotionAPPS612, while the graphical interface was designed using SquareLine Studio, enabling clear real-time data visualization. The study method involved three main stages: device specification, software configuration, and data analysis. During the tests, the device captured biomechanical parameters, such as acceleration and angular velocity, correlating these data with the levels of MAS. Sensor calibration was performed based on previous studies and fuzzy logic, smoothing transitions between the scale levels. Data analysis revealed a consistent relationship between the acceleration values recorded and the degrees of spasticity defined by MAS, validating the device as a promising alternative to traditional assessments. In addition to collecting and processing biomechanical data, the device allows Bluetooth transmission to mobile applications, facilitating the storage and later consultation of results. This functionality aims to meet the demand for continuous monitoring and more precise evaluations, providing healthcare professionals with a practical tool to track patient progress throughout treatment. The results highlight the potential of the wearable device to transform the clinical approach to spasticity, offering a more objective and personalized solution. The intuitive interface and real-time monitoring capability represent a significant advance compared to conventional methods, which depend on punctual and subjective evaluations.

Additionally, the device has the potential to contribute to the rehabilitation of post-stroke patients, helping to optimize therapeutic interventions. Although the results are promising, challenges remain, such as validation with larger samples and standardization of usage protocols. Future studies may explore the integration of the device with artificial intelligence, expanding its applicability and precision. This work lays a solid foundation for the use of wearable technologies in spasticity evaluation and monitoring, with the potential to positively impact the quality of life of post-stroke patients.

Keywords: Spasticity, Stroke, Wearable Devices, Inertial Sensors, Modified Ashworth Scale.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 REVISÃO DA LITERATURA 15

2.1 ESPASTICIDADE - CONCEITOS E IMPACTO CLÍNICO 15
2.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA ESPASTICIDADE 16
2.3 MECANOMIOGRAFIA (MMG) COMO MÉTODO DE AVALIAÇÃO QUANTITATIVA 18
2.4 INTRODUÇÃO AOS SENSORES INERCIAIS 19
2.5 INTEGRAÇÃO DE SENSORES INERCIAIS NA AVALIAÇÃO DE ESPASTICIDADE 21
2.6 LIMITAÇÕES E OPORTUNIDADES DAS TECNOLOGIAS 22
2.7 DISPOSITIVOS VESTÍVEIS NA SAÚDE E REABILITAÇÃO 23

3 OBJETIVOS 25

3.1 OBJETIVO GERAL 25
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 25

4 ESCOPO 26

5 ARTIGO DE REVISÃO INTEGRATIVA – REVISTA ELETRÔNICA - ACERVO SAÚDE 28

6 CARTA DE REGISTRO, CERTIFICADO E PRODUÇÃO TÉCNICA - COLETA DE DADOS DO ACELERÔMETRO MPU6050 37

7 ARTIGO DE PESQUISA – BIOMEDICAL PHYSICS & ENGINEERING EXPRESS 39

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS 51

REFERÊNCIAS 53

APÊNDICE A – ARTIGO – REVISTA CIENTÍFICA UMC (SUMMIT) 56

ANEXO A – NORMAS DO PERIÓDICO ACERVO SAÚDE 57

NORMAS E DIRETRIZES DE PUBLICAÇÃO – ACERVO SAÚDE. 57

ANEXO B – CARTA DE REGISTRO, CERTIFICADO E PRODUÇÃO TÉCNICA - . 58

ANEXO C – NORMAS DO PERIÓDICO BPEX- BIOMEDICAL PHYSICS &

ENGINEERING EXPRESS 65

NORMAS E DIRETRIZES DE PUBLICAÇÃO - BPEX 65

ANEXO D – COLABORAÇÃO EM ARTIGOS – CUADERNOS DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO 67

ANEXO E – COLABORAÇÃO EM ARTIGOS – MATERIALS - MDPI 68

ANEXO F – COLABORAÇÃO EM ARTIGOS – CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES 69

1 INTRODUÇÃO

Os membros superiores desempenham um papel crucial nas atividades cotidianas, sendo responsáveis por uma ampla gama de movimentos essenciais para a funcionalidade diária, como o alcance, preensão e manipulação de objetos[1]. Essas funções permitem que os indivíduos realizem tarefas importantes, como alimentar-se, vestir-se e escrever, atividades que, quando comprometidas, afetam significativamente a autonomia e a qualidade de vida[2].

A espasticidade é uma condição neuromuscular caracterizada pelo aumento involuntário do tônus muscular, tornando os movimentos rígidos e difíceis de controlar. Embora seja frequentemente associada a pacientes pós-Acidente Vascular Cerebral (AVC), essa condição também pode surgir como consequência de outras doenças e lesões, como traumatismos cranioencefálicos (TCE), lesões medulares, esclerose múltipla e paralisia cerebral[3]. Aproximadamente 30% a 60% dos sobreviventes de AVC desenvolvem espasticidade, mas essa condição também afeta uma parcela significativa de pacientes com outras condições neurológicas, representando um desafio clínico devido ao impacto na funcionalidade e qualidade de vida[4].

Atualmente, a avaliação da espasticidade é realizada principalmente pela Escala Modificada de Ashworth (EMA), amplamente adotada na prática clínica. A EMA é reconhecida pela simplicidade e rapidez na aplicação, permitindo uma avaliação consistente do tônus muscular. Apesar disso, a escala enfrenta limitações devido à subjetividade inerente à avaliação, que depende da percepção do avaliador. Diferentemente de outras escalas, como a Escala de Tardieu, que incorpora a análise de velocidade, ou a Escala de Penn, focada em espasmos, a EMA oferece um método prático e padronizado que é amplamente utilizado em ambientes clínicos. Esse diferencial torna a EMA uma ferramenta preferida na avaliação da espasticidade, mesmo considerando a necessidade de métodos mais objetivos para complementá-la[1,3].

Nos últimos anos, o desenvolvimento de dispositivos vestíveis com sensores inerciais, como acelerômetros e giroscópios, trouxe uma nova perspectiva para a avaliação da espasticidade[3]. Esses dispositivos podem capturar dados cinemáticos durante a realização de movimentos, medindo parâmetros como aceleração e amplitude, os quais podem ser correlacionados com o grau de espasticidade

observado[2]. Essa abordagem objetiva amplia as possibilidades de avaliação e acompanhamento do paciente, permitindo monitoramento contínuo e coleta de dados em tempo real.

Além disso, a utilização de dispositivos vestíveis possibilita a coleta de dados durante atividades diárias, proporcionando uma visão mais abrangente do impacto da espasticidade na vida dos pacientes. Esse avanço oferece potencial não apenas para a quantificação mais precisa do tônus muscular, mas também para a personalização de intervenções terapêuticas, melhorando a qualidade do tratamento[5].

Portanto, o desenvolvimento de um dispositivo vestível que quantifique o grau de espasticidade em membros superiores de pacientes Pós-AVC, utilizando a EMA como referência, representa um passo importante para melhorar o diagnóstico e o acompanhamento clínico de pacientes com espasticidade. Este trabalho busca abordar as limitações existentes na avaliação subjetiva, fornecendo uma solução para a mensuração objetiva da espasticidade, com potencial de impactar positivamente a reabilitação e a qualidade de vida desses pacientes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Espasticidade - Conceitos e Impacto Clínico

A espasticidade é uma alteração motora que se manifesta como um aumento do tônus muscular, dependente da velocidade do movimento e acompanhado de reflexos tendíneos exacerbados, como o reflexo de estiramento. Está associada a uma disfunção no sistema piramidal, que é uma via neurológica responsável pelo controle dos movimentos voluntários e pelo ajuste da postura, iniciando no córtex motor primário do cérebro e conectando-se aos neurônios motores inferiores na medula espinhal. Essa condição ocorre devido a lesões no neuroeixo do neurônio motor superior (NMS), que inclui o córtex motor, a cápsula interna, o tronco encefálico e a medula espinhal. [6–8]

O neurônio motor superior é uma classe de células nervosas responsável por transmitir comandos do cérebro para o sistema nervoso periférico, coordenando e modulando a atividade dos neurônios motores inferiores. Quando há uma lesão nesse sistema, como ocorre em casos de AVC, esclerose múltipla, paralisia cerebral ou algumas formas de trauma cranioencefálico, os circuitos neuromusculares se desregulam. Essa desregulação resulta no aumento anormal do tônus muscular e na hiperexcitabilidade reflexa característica da espasticidade. [6–8]. Nem toda lesão no sistema nervoso central causa espasticidade, uma vez que condições como hipertonia, embora compartilhem algumas semelhanças, podem ter origens diferentes, não relacionadas diretamente ao sistema piramidal.

Aproximadamente 19% dos pacientes que sofrem um AVC apresentam espasticidade após três meses. A condição frequentemente interfere no desempenho motor, limitando atividades básicas e causando dor, o que pode agravar o impacto funcional e a qualidade de vida dos pacientes. A espasticidade é mais prevalente nos membros superiores devido à vulnerabilidade do sistema piramidal nesse segmento, sendo exacerbada por alterações intrínsecas dos músculos, como rigidez e alterações mecânicas [6,9].

Em relação a lesões na medula espinhal, embora estas frequentemente resultem em hipertonia, a espasticidade está presente em casos onde há

comprometimento do sistema piramidal. Os sintomas podem incluir reflexos exagerados, clônus e espasmos involuntários, variando com a gravidade da lesão. Enquanto isso, em condições como paralisia cerebral, a espasticidade ocorre devido a lesões cerebrais que afetam diretamente o controle neuromuscular, levando a uma regulação inadequada dos reflexos musculares.[10,11].

A avaliação precisa da espasticidade é essencial para planejar intervenções de reabilitação eficazes. Apesar da espasticidade estar associada a limitações motoras, sua correlação direta com incapacidades funcionais é baixa, indicando que outros fatores também desempenham papéis cruciais na recuperação dos pacientes após um AVC. Portanto, a reabilitação deve ser adaptada às necessidades individuais, considerando tanto os aspectos neurais quanto as mudanças mecânicas nos músculos[6].

Pacientes com lesão na medula espinhal (LME), o manejo da espasticidade deve equilibrar seus efeitos positivos e negativos, priorizando intervenções que melhorem a qualidade de vida sem comprometer a funcionalidade[10].

2.2 Métodos de Avaliação da Espasticidade.

A avaliação da espasticidade é essencial na reabilitação de pacientes com lesões neurológicas, permitindo quantificar alterações motoras e direcionar intervenções terapêuticas de forma mais assertiva. Diversas escalas são utilizadas para mensurar a espasticidade e suas implicações na funcionalidade do paciente.

A Escala de Tardieu avalia a resistência muscular durante movimentos passivos e mede tanto o ângulo de captura quanto a velocidade do movimento. Essa escala oferece maior sensibilidade em diferenciar rigidez passiva de espasticidade, permitindo uma análise detalhada da resposta muscular em diferentes velocidades.[12,13]

O Índice de Barthel é amplamente utilizado para avaliar o grau de independência funcional nas atividades de vida diária. Sua pontuação varia de 0 a 100, com valores mais altos indicando maior independência. Embora não avalie diretamente a espasticidade, o índice é relevante para compreender o impacto funcional da condição.[14,15]

A Medida de Independência Funcional é composta por 18 itens agrupados em seis subescalas, que avaliam aspectos como autocuidado, mobilidade e cognição. Cada item é pontuado de 1 (dependência total) a 7 (independência completa), sendo útil para avaliar o progresso do paciente em um contexto mais amplo.[16]

A espasticidade também era avaliada utilizando métodos clínicos qualitativos, como a Escala de Ashworth, desenvolvida em 1964, que posteriormente evoluiu para a Escala Modificada de Ashworth (EMA). Reconhecida como uma ferramenta prática e confiável para mensurar a intensidade da hipertonia muscular, ela classifica o tônus muscular em uma escala ordinal de 0 (sem aumento no tônus) a 4 (rigidez extrema), sendo amplamente utilizada devido à sua simplicidade e rapidez de aplicação. Diferente de outras escalas, a EMA é capaz de avaliar diretamente a resistência ao movimento passivo, tornando-se essencial para monitorar a evolução da espasticidade e a eficácia de intervenções terapêuticas. [13,17]

Quadro 1 – Escala Modificada de Ashworth.

Grau	Resposta do Tônus Muscular
0	Tônus normal.
1	Leve aumento do tônus muscular, com minima resistência no fim do movimento.
1+	Leve aumento do tônus muscular, com minima resistência em menos da metade do movimento.
2	Aumento mais marcado do tônus muscular na maior parte do movimento, mas a mobilização passive é efetuada com facilidade.
3	Considerável aumento do tônus muscular, e o movimento passivo é difícil.
4	Segmento afetado rígido em flexão ou extensão.

Fonte: Adaptado de Bohannon e Smith [18]

Apesar de sua popularidade, a EMA apresenta limitações, como a variabilidade entre avaliadores e a subjetividade nos resultados, o que pode comprometer a confiabilidade das medições. Em resposta a essas limitações, métodos quantitativos foram desenvolvidos, incluindo tecnologias como a eletromiografia de superfície (sEMG) e a elastografia por ultrassom[13].

A EMA é amplamente considerada o padrão-ouro para avaliação da espasticidade na prática clínica. Seus principais benefícios incluem a fácil aplicação e a rápida obtenção de resultados, tornando-a uma ferramenta valiosa em ambientes clínicos. No entanto, a escala não consegue capturar alterações biomecânicas mais

sutis relacionadas à espasticidade, como rigidez passiva e atividade reflexa muscular, indicando a necessidade de tecnologias complementares para uma avaliação mais precisa[17].

A subjetividade inerente aos métodos clínicos, como a EMA, tem incentivado a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias avançadas para complementar essas avaliações. Uma dessas tecnologias é a elastografia por ultrassom, que permite medir a rigidez muscular de forma objetiva e não invasiva, oferecendo dados quantitativos que podem melhorar a precisão e a confiabilidade das avaliações clínicas[19].

Além disso, a integração de tecnologias como a sEMG com ferramentas analíticas avançadas, como algoritmos de aprendizado de máquina, pode contribuir para a identificação de padrões mais complexos de espasticidade. Isso representa um avanço significativo no manejo da condição, ajudando os clínicos a personalizar as intervenções terapêuticas de maneira mais eficaz[19].

2.3 Mecanomiografia (MMG) como Método de Avaliação Quantitativa

A mecanomiografia (MMG) é uma técnica não invasiva que registra as vibrações mecânicas produzidas pela contração muscular, oferecendo uma avaliação quantitativa da função muscular. Ao detectar oscilações de baixa frequência geradas durante a ativação muscular, a MMG fornece dados objetivos sobre a atividade neuromuscular, sendo especialmente útil na análise de condições como a espasticidade muscular[20].

A MMG baseia-se na detecção de vibrações mecânicas resultantes da contração e relaxamento das fibras musculares. Sensores piezoelétricos ou acelerômetros são posicionados na superfície da pele sobre o músculo de interesse para captar essas vibrações. Na análise da espasticidade, a MMG permite quantificar a resposta muscular a estímulos passivos ou ativos, oferecendo uma medida objetiva do tônus muscular e da resistência ao alongamento[20].

Diversos estudos investigaram a correlação entre os dados da MMG e a EMA, buscando validar a MMG como ferramenta complementar ou alternativa na avaliação da espasticidade. Por exemplo, Santos (2016) demonstrou uma correlação

significativa entre os sinais mecanomiográficos e os níveis de espasticidade medidos pela EMA, sugerindo que a MMG pode fornecer uma avaliação mais objetiva do tônus muscular[20,21].

A MMG emergiu como uma alternativa promissora para a avaliação quantitativa da espasticidade, fornecendo dados objetivos sobre as vibrações musculares geradas durante a contração. Estudos como o de Santos (2016) demonstraram a viabilidade de correlacionar os sinais mecanomiográficos aos graus da EMA, validando essa abordagem como uma ferramenta complementar robusta para análise biomecânica da espasticidade. No trabalho, foi observada uma alta correlação estatística (R^2 = 0,9557 no eixo Z, grupo agonista), sugerindo que a MMG pode ser usada para substituir ou complementar a EMA em contextos clínicos e laboratoriais[21].

Apesar de suas vantagens, a MMG apresenta algumas limitações práticas que podem restringir sua aplicação clínica como a sensibilidade ao ruído, o custo elevado e a viabilidade limitada em ambientes clínicos. A MMG é suscetível a interferências de ruídos ambientais e movimentos não relacionados à contração muscular, o que pode comprometer a precisão dos dados coletados. Os equipamentos necessários para a MMG, incluindo sensores de alta sensibilidade e sistemas de aquisição de dados, podem ser onerosos, limitando sua disponibilidade em ambientes clínicos com recursos restritos. A complexidade operacional e a necessidade de treinamento especializado para a correta aplicação e interpretação dos dados da MMG podem dificultar sua implementação rotineira na prática clínica [21,22].

Essas limitações destacam a necessidade de desenvolver métodos alternativos ou complementares, como o uso de sensores inerciais (acelerômetros e giroscópios), que possam oferecer avaliações objetivas da espasticidade com maior praticidade e menor custo.

2.4 Introdução aos Sensores Inerciais

Os sensores inerciais, incluindo acelerômetros e giroscópios, desempenham um papel crucial em diversas aplicações biomédicas devido à sua capacidade de medir grandezas físicas como aceleração e velocidade angular. Essas tecnologias são amplamente utilizadas no monitoramento de movimento, avaliação muscular e

dispositivos vestíveis, apresentando vantagens como portabilidade, baixo custo e facilidade de uso quando comparadas a métodos tradicionais, como a MMG (Mecanomiografia) e a EMG (Eletromiografia)[23].

Dispositivos que medem aceleração linear em diferentes eixos. Eles operam detectando forças inerciais, geralmente usando elementos microeletromecânicos (MEMS), que convertem mudanças capacitivas em sinais elétricos, posteriormente processados para fornecer dados de movimento, chamados comumente de acelerômetros. Os giroscópios são utilizados para medir a velocidade angular, fornecem informações sobre a rotação em torno de um ou mais eixos. Assim como os acelerômetros, giroscópios MEMS convertem forças mecânicas em sinais elétricos digitais[19].

O monitoramento de movimento por sensores inerciais é integrado a dispositivos vestíveis para registrar padrões de movimento, auxiliando na reabilitação de pacientes com deficiências motoras[24].

A avaliação muscular por dispositivos baseados em sensores inerciais pode medir parâmetros como vibrações musculares e movimentos articulares, possibilitando avaliações quantitativas não invasivas. Assim, dispositivos vestíveis são frequentemente utilizados em aplicações clínicas e esportivas para análise de desempenho e monitoramento de reabilitação[20].

Comparando sensores inerciais e métodos tradicionais, o custo e portabilidade de sensores inerciais são mais acessíveis e fáceis de integrar em dispositivos compactos, ao contrário de tecnologias como a MMG e a EMG, que requerem equipamentos maiores e mais complexos. A facilidade de uso, a instalação e o uso de sensores inerciais são mais simples, enquanto métodos tradicionais frequentemente exigem configurações específicas e maior expertise técnica. Bem como, a precisão que, embora os sensores inerciais forneçam dados confiáveis, eles podem ser complementados por tecnologias tradicionais em aplicações que demandem alta sensibilidade e resolução, como a análise detalhada de tônus muscular[24,25].

2.5 Integração de Sensores Inerciais na Avaliação de Espasticidade

A utilização de sensores inerciais na avaliação da espasticidade tem ganhado destaque devido à sua capacidade de fornecer dados quantitativos e objetivos sobre o tônus muscular. Esses dispositivos, que incluem acelerômetros e giroscópios, permitem a medição de acelerações e velocidades angulares, facilitando a análise de movimentos e contrações musculares[26].

A Escala de Ashworth Modificada (EMA) é amplamente utilizada para avaliar a espasticidade de forma qualitativa. No entanto, sua subjetividade pode ser mitigada pela integração de dados de sensores inerciais. Estudos recentes propuseram a utilização de mecanomiografia (MMG) para quantificar a espasticidade, correlacionando os sinais captados com os níveis da EMA. Por exemplo, uma pesquisa desenvolveu uma escala métrica baseada em MMG para avaliar a espasticidade, demonstrando uma correlação significativa com a EMA. Essa abordagem teórica sugere que os sinais de sensores inerciais podem ser processados para fornecer uma avaliação quantitativa da espasticidade, complementando ou substituindo métodos tradicionais[27].

A incorporação de sensores inerciais na avaliação da espasticidade oferece benefícios como portabilidade por seu tamanho compacto, esses sensores podem ser facilmente integrados em dispositivos vestíveis, permitindo avaliações em ambientes clínicos e domiciliares[21].

O custo quando comparados a equipamentos tradicionais de avaliação muscular, os sensores inerciais são mais acessíveis, possibilitando uma adoção mais ampla em diferentes contextos de saúde. Bem como a integração com dispositivos vestíveis, pela capacidade de serem incorporados em roupas ou acessórios facilita o monitoramento contínuo e não invasivo da espasticidade, proporcionando dados em tempo real para profissionais de saúde[28].

Diversos estudos têm explorado a aplicação de sensores inerciais na avaliação de condições musculoesqueléticas. Uma revisão destacou o potencial desses sensores no monitoramento de movimentos humanos, enfatizando sua precisão e aplicabilidade em contextos clínicos[29].

Além disso, pesquisas demonstraram a eficácia de sensores inerciais na análise de movimentos específicos, como a cinemática do membro superior, reforçando sua utilidade na avaliação de distúrbios musculares[30].

2.6 Limitações e Oportunidades das Tecnologias

Dispositivos tecnológicos voltados para a avaliação da espasticidade enfrentam limitações importantes que precisam ser superadas para garantir sua efetividade. Apesar dos avanços na tecnologia de sensores, problemas relacionados à precisão e sensibilidade continuam a surgir, uma vez que fatores externos, como ruídos ambientais e falhas na calibração, podem comprometer os resultados. Essas variações dificultam a reprodutibilidade dos dados em diferentes contextos clínicos, reduzindo a confiabilidade dos dispositivos em situações práticas. Além disso, a comparação com métodos tradicionais, como a Escala Modificada de Ashworth (EMA), ainda apresenta desafios, pois muitos dispositivos não passam por processos robustos de validação clínica. A ausência de amostras representativas e a falta de replicação em cenários variados limitam a aceitação ampla dessas tecnologias[31].

No campo das tecnologias vestíveis, embora os sensores inerciais representem uma abordagem quantitativa promissora, ainda há uma lacuna significativa em sua integração como método de referência em comparação com a mecanomiografia (MMG) e a eletromiografia (EMG). Esse desafio está diretamente relacionado à falta de padronização nos protocolos utilizados, o que compromete a confiabilidade das medidas. Além disso, o custo elevado dos dispositivos vestíveis de alta precisão restringe sua adoção em larga escala, tanto em ambientes clínicos quanto domiciliares. A manutenção e os recursos adicionais necessários, como softwares analíticos, também contribuem para tornar essas tecnologias menos acessíveis[31].

Apesar desses desafios, o futuro apresenta possibilidades promissoras para dispositivos de avaliação de espasticidade. Tecnologias baseadas em sensores inerciais, como acelerômetros e giroscópios, têm o potencial de oferecer soluções de baixo custo que mantêm a precisão necessária para diagnósticos e monitoramento. A integração desses sensores em dispositivos vestíveis simples pode torná-los mais acessíveis a diversas realidades clínicas. Além disso, a utilização de algoritmos de aprendizado de máquina permite uma análise mais avançada dos dados coletados,

aumentando a precisão na identificação de padrões de espasticidade e contribuindo para decisões terapêuticas mais eficazes. O avanço na portabilidade e conectividade dos dispositivos também amplia seu uso para ambientes domiciliares, permitindo o monitoramento contínuo dos pacientes e reduzindo a dependência de visitas frequentes às clínicas. Essas inovações apontam para um futuro em que dispositivos tecnológicos desempenhem um papel central no manejo da espasticidade, tornando as avaliações mais acessíveis, precisas e integradas ao cotidiano dos pacientes[31].

2.7 Dispositivos Vestíveis na Saúde e Reabilitação

Os dispositivos vestíveis têm desempenhado um papel crescente na área da saúde e reabilitação, oferecendo soluções inovadoras para monitoramento e tratamento de diversas condições médicas. Os dispositivos vestíveis eram limitados a funções básicas, como monitoramento de frequência cardíaca e contagem de passos. Com o avanço da tecnologia, especialmente na miniaturização de sensores e no desenvolvimento de materiais flexíveis, esses dispositivos evoluíram para sistemas complexos capazes de monitorar múltiplos parâmetros fisiológicos em tempo real. Essa evolução permitiu aplicações mais abrangentes, incluindo a reabilitação de pacientes com distúrbios neuromusculares e o monitoramento contínuo de condições crônicas[32].

Estudos recentes demonstraram a eficácia de dispositivos vestíveis na reabilitação de pacientes com espasticidade. Por exemplo, um ensaio clínico randomizado avaliou o uso de um sistema vestível de estimulação vibrotátil para reabilitação do membro superior em pacientes com acidente vascular cerebral crônico. Os resultados indicaram melhorias significativas na função da mão e redução da espasticidade, evidenciando o potencial desses dispositivos na terapia de reabilitação[32].

A proposta deste estudo foca no desenvolvimento de um dispositivo vestível compacto que integra sensores inerciais para avaliação quantitativa da espasticidade. A utilização de acelerômetros e giroscópios permite a captura precisa de dados de movimento, que podem ser correlacionados com a Escala Modificada de Ashworth (EMA) para uma avaliação objetiva da espasticidade. Essa abordagem visa superar

as limitações dos métodos tradicionais, oferecendo uma ferramenta portátil e de fácil uso para profissionais de saúde[33].

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Desenvolver um dispositivo vestível com sensores inerciais que permita a quantificação objetiva da espasticidade em membros superiores de pacientes pós-AVC, utilizando a Escala Modificada de Ashworth (EMA) como referência, visando aprimorar o monitoramento clínico e a reabilitação.

3.2 Objetivos específicos

- Projetar e construir o dispositivo com sensores inerciais e interface intuitiva para facilitar a coleta e transmissão de dados.
- Implementar um sistema de análise de dados que correlacione parâmetros biomecânicos, como aceleração e velocidade angular, com os níveis de espasticidade.
- Realizar uma validação teórica da equivalência entre os sinais captados pelo dispositivo (aceleração e velocidade angular) e os dados mecanomiográficos previamente correlacionados com a escala modificada de Ashworth.

4 ESCOPO

Além desse capítulo, a dissertação está dividida em 8 capítulos, como segue:

Os capítulos, 1, 2 e 3, iniciais da dissertação apresentam a introdução e o contexto do projeto, destacando a problemática e a motivação para o desenvolvimento de um dispositivo vestível destinado à quantificação da espasticidade em membros superiores de pacientes pós-AVC. São descritas as definições técnicas, o contexto clínico e as justificativas para a pesquisa. Além disso, é realizada uma análise detalhada das tecnologias de sensores inerciais e de mecanomiografia (MMG), enfatizando suas características, limitações e aplicabilidades no monitoramento biomecânico. Por fim, são definidos os objetivos gerais e específicos do estudo, estabelecendo metas que orientam o desenvolvimento do projeto e permitem avaliar seu progresso;

Capítulo 5 — Expõe a revisão integrativa realizada para explorar o uso de dispositivos vestíveis com sensores inerciais na avaliação da espasticidade em membros superiores de pacientes pós-AVC. A revisão identificou e analisou publicações científicas entre 2014 e 2024, destacando os avanços tecnológicos, metodologias empregadas e desafios relacionados à utilização desses dispositivos. O estudo evidenciou o potencial dos sensores inerciais para quantificação objetiva da espasticidade, complementando a Escala Modificada de Ashworth (EMA), e contribui como base teórica para o desenvolvimento e validação do dispositivo proposto nesta dissertação;

Capítulo 6 — Apresenta os documentos técnicos, a carta de registro de software e o certificado do programa de coleta de dados. Este software é responsável por capturar e armazenar dados inerciais (aceleração) de membros superiores em formato de texto, além de gerar arquivos compatíveis com microcontroladores, facilitando o processamento dos sinais;

Capítulo 7 — Expõe o artigo de pesquisa que apresenta um dispositivo vestível que utiliza sensores inerciais, como o acelerômetro e giroscópio MPU6050, para realizar a avaliação objetiva da espasticidade em pacientes pós-AVC. Ele destaca a importância de mensurar parâmetros biomecânicos, como aceleração,

correlacionando-os com os níveis de espasticidade definidos pela Escala Modificada de Ashworth (EMA);

Capítulo 8 — Apresenta as considerações finais e as perspectivas futuras do projeto. Discute as contribuições e limitações do dispositivo, além de propor caminhos para estudos subsequentes e melhorias na tecnologia de monitoramento da espasticidade.

Ao final, são apresentadas as referências utilizadas na dissertação, incluindo trabalhos complementares nos apêndices e colaborações em artigos anexos.

5 ARTIGO DE REVISÃO INTEGRATIVA – REVISTA ELETRÔNICA - ACERVO SAÚDE

Artigo: Dispositivos vestíveis para avaliação de espasticidade pós – AVC: Uma revisão integrativa.

Autores: Silvio Rocha, Antonio Morais, Silvia Martini, Tathiane Rocha, Silvia Boschi, Tabajara Gonzalez, Terigi Scardovelli, Alessandro Silva.

Artigo submetido no periódico: Revista Eletrônica - Acervo Saúde – Qualis Engenharias IV: B1

Anexo A: Normas do periódico para o artigo submetido.

Revista Eletrônica Acervo Saúde | ISSN 2178-2091

Dispositivos vestíveis para avaliação de espasticidade pós – AVC: Uma revisão integrativa

Wearable devices for post-stroke spasticity assessment: An integrative review

Dispositivos vestibles para evaluar de la espasticidad post-ACV: Una revisión integradora

Silvio José Santos da Rocha[1], Antonio Vinícius de Morais[1], Silvia Cristina Martini[1], Tathiane Nayara de Oliveira Rocha[1], Silvia Regina Matos da Silva Boschi[1], Tabajara de Oliveira Gonzalez[1], Terigi Augusto Scardovelli[1], Alessandro Pereira da Silva[1].

RESUMO

Objetivo: Revisar evidências científicas sobre o uso de dispositivos vestíveis com sensores inerciais para quantificar a espasticidade em membros superiores de pacientes pós-AVC, utilizando a Escala Modificada de Ashworth (EMA). **Métodos:** A busca foi realizada nas bases de dados IEEE Xplore, PubMed e MDPI, com filtros para estudos em acesso aberto, ensaios clínicos randomizados e controlados, publicados entre 2014 e 2024. A qualidade metodológica dos estudos foi avaliada pela escala PEDro. **Resultados:** A busca inicial identificou 47 artigos. Após a aplicação dos filtros e análise de títulos e resumos, dois estudos foram selecionados para a revisão. Ambos demonstraram a viabilidade do uso de dispositivos vestíveis com sensores inerciais para quantificar o tônus muscular, destacando que biofeedback visual e estimulação sensorial podem melhorar o controle motor e a funcionalidade dos membros superiores em pacientes pós-AVC. **Conclusão:** Dispositivos vestíveis com sensores inerciais mostram potencial para uma avaliação objetiva e tratamento da espasticidade em membros superiores de pacientes pós-AVC. Entretanto, mais pesquisas são necessárias para confirmar sua eficácia a longo prazo, estabelecer protocolos de tratamento e avaliar seu impacto na funcionalidade e qualidade de vida.

Palavras-chave: Espasticidade, Acidente Vascular Cerebral, Dispositivos Vestíveis, Sensores Inerciais, Escala Modificada de Ashworth.

ABSTRACT

Objective: To review scientific evidence on the use of wearable devices with inertial sensors to quantify spasticity in the upper limbs of post-stroke patients, using the Modified Ashworth Scale (MAS). **Methods:** A search was conducted in the IEEE Xplore, PubMed, and MDPI databases, with filters for open-access studies, randomized controlled trials, published between 2014 and 2024. The methodological quality of the studies was assessed using the PEDro scale. **Results:** The initial search identified 47 articles. After applying filters and analyzing titles and abstracts, two studies were selected for the review. Both demonstrated the feasibility of using wearable devices with inertial sensors to quantify muscle tone, highlighting that visual biofeedback and sensory stimulation can improve motor control and upper limb functionality in post-stroke patients. **Conclusion:** Wearable devices with inertial sensors show potential for objective evaluation and treatment of spasticity in the upper limbs of post-stroke patients. However, further research is needed to confirm long-term efficacy, establish treatment protocols, and evaluate their impact on functionality and quality of life.

Key words: Spasticity, Stroke, Wearable Devices, Inertial Sensors, Modified Ashworth Scale.

RESUMEN

[1] Universidade de Mogi das Cruzes (UMC), Mogi das Cruzes, SP. E-mail: silviorocha@umc.br

SUBMETIDO EM: XX/2024 | **ACEITO EM: XX/2024** | **PUBLICADO EM: XX/2024**

Revista Eletrônica Acervo Saúde | ISSN 2178-2091

Objetivo: Revisar la evidencia científica sobre el uso de dispositivos portátiles con sensores inerciales para cuantificar la espasticidad en las extremidades superiores de pacientes post-ictus, utilizando la Escala Modificada de Ashworth (EMA). **Métodos:** Se realizó una búsqueda en las bases de datos IEEE Xplore, PubMed y MDPI, con filtros para estudios de acceso abierto, ensayos clínicos controlados aleatorizados, publicados entre 2014 y 2024. La calidad metodológica de los estudios fue evaluada mediante la escala PEDro. **Resultados:** La búsqueda inicial identificó 47 artículos. Tras aplicar los filtros y analizar títulos y resúmenes, se seleccionaron dos estudios para la revisión. Ambos demostraron la viabilidad del uso de dispositivos portátiles con sensores inerciales para cuantificar el tono muscular, destacando que la retroalimentación visual y la estimulación sensorial pueden mejorar el control motor y la funcionalidad de las extremidades superiores en pacientes post-ictus. **Conclusión:** Los dispositivos portátiles con sensores inerciales muestran potencial para la evaluación objetiva y el tratamiento de la espasticidad en las extremidades superiores de pacientes post-ictus. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para confirmar su eficacia a largo plazo, establecer protocolos de tratamiento y evaluar su impacto en la funcionalidad y la calidad de vida.

Palabras clave: Espasticidad, Accidente Cerebrovascular, Dispositivos Portátiles, Sensores Inerciales, Escala Modificada de Ashworth.

INTRODUÇÃO

A espasticidade, uma condição prevalente em indivíduos pós-Acidente Vascular Cerebral (AVC) ou Traumatismo Cranioencefálico (TCE), caracteriza-se pelo aumento anormal do tônus muscular e exacerbação dos reflexos tendinosos. Esta condição frequentemente compromete a funcionalidade dos membros superiores, impactando significativamente a qualidade de vida dos pacientes e constituindo um desafio para a saúde pública. As limitações funcionais impostas pela espasticidade podem prejudicar a realização de atividades cotidianas, como vestir-se, alimentar-se e escrever, levando à perda de autonomia e independência. Atualmente, a Escala Modificada de Ashworth (EMA) é amplamente utilizada na prática clínica para avaliar o grau de espasticidade; contudo, sua natureza subjetiva pode gerar variabilidade entre examinadores e dificultar a quantificação precisa do tônus muscular (OLCZAK, TRUSZCZYŃSKA-BASZAK, & STĘPIEŃ, 2022).

Diante da necessidade de métodos mais objetivos para avaliar a espasticidade, pesquisadores têm explorado o uso de tecnologias inovadoras, como dispositivos vestíveis com sensores inerciais. Esses dispositivos, geralmente em forma de luvas, mangas ou relógios, podem registrar dados cinemáticos durante a realização de movimentos, permitindo a análise de parâmetros como velocidade, aceleração e amplitude de movimento, que podem ser correlacionados com o grau de espasticidade (OLCZAK et al., 2020). Olczak e Truszczyńska-Baszak (2020), por exemplo, investigaram o impacto do dispositivo Tipstim®, que oferece estimulação sensorial, na coordenação motora e força de preensão em pacientes pós-AVC. Os resultados indicaram que a posição deitado, que promove a estabilização passiva do tronco e do membro superior, contribuiu para a melhora dos parâmetros avaliados, independentemente da utilização do dispositivo (TRUSZCZYŃSKA-BASZAK, 2020).

As primeiras pesquisas com dispositivos vestíveis para avaliação da espasticidade surgiram na última década, com foco no desenvolvimento de tecnologias e algoritmos para a análise dos dados coletados pelos sensores. Olczak, Truszczyńska-Baszak e Stępień (2020) demonstraram a efetividade de exercícios de estabilização do tronco na melhora da coordenação motora e força de preensão em pacientes pós-AVC, utilizando o dispositivo Armeo®Spring, que fornece biofeedback visual. O estudo ressaltou a importância da estabilidade do tronco para o controle postural e a execução de movimentos coordenados dos membros, sugerindo que a incorporação de exercícios de estabilização do tronco em programas de reabilitação pode contribuir para a melhora da função motora (STĘPIEŃ et al., 2019).

Revista Eletrônica Acervo Saúde | ISSN 2178-2091

Entretanto, a maioria dos estudos apresenta limitações, como amostras pequenas, falta de padronização nos protocolos de avaliação e ausência de validação em comparação com métodos clínicos, como a EMA. A heterogeneidade dos dispositivos utilizados e a falta de estudos longitudinais que avaliem o impacto a longo prazo dessas tecnologias na funcionalidade dos pacientes também são limitações importantes (TRUSZCZYŃSKA-BASZAK, 2020).

Diante deste cenário, a presente revisão integrativa visa investigar as evidências científicas sobre a utilização de dispositivos vestíveis com sensores inerciais para a quantificação do grau de espasticidade em membros superiores de pacientes pós-AVC, utilizando a EMA como referência. A revisão busca responder à seguinte pergunta de pesquisa: "Quais são as evidências científicas sobre a utilização de dispositivos vestíveis com sensores inerciais para a quantificação do grau de espasticidade em membros superiores de pacientes pós-AVC, utilizando a Escala Modificada de Ashworth?". A investigação dessa temática justifica-se pela necessidade de ferramentas mais objetivas para avaliar a espasticidade, contribuindo para um diagnóstico mais preciso, o desenvolvimento de tecnologias inovadoras e a otimização dos tratamentos.

MÉTODOS

A revisão integrativa foi realizada de forma descritiva a partir de consulta retrospectiva às bases de dados IEEE Xplore, Pubmed e MDPI para incluir artigos que atendessem aos critérios de elegibilidade. A coleta de artigos foi feita do dia 06 de outubro de 2024 até 26 de dezembro de 2024. A estratégia de busca foi formulada por meio do cruzamento de descritores, com o uso dos booleanos “AND e OR”, e adaptada para uso em cada base de dados, onde os descritores utilizados para a busca foram: "muscle spasticity", "upper limbs", "wearable device", “stroke” e "Modified Ashworth Scale".

Os artigos foram selecionados de acordo com os seguintes critérios de inclusão: artigos publicados entre 2014 e 2024, em língua inglesa, artigos publicados abordando estudos randomizados e controlados que correlacionassem dispositivos vestíveis com sensores inerciais utilizados para avaliação de espasticidade em membros superiores de pacientes acometidos por AVC, utilizando a Escala Modificada de Ashworth como referência. Os dispositivos deveriam fornecer pelo menos um dos seguintes recursos: biofeedback, feedback visual ou propriocepção.

Foram excluídos os artigos do tipo resenha, revisões sistemáticas, artigos de congresso, resumos, relatórios técnicos, livros, teses universitárias, trabalhos que não permitiram o acesso na íntegra, artigos em outros idiomas e artigos que não atendiam aos critérios de inclusão supracitados.

A seleção dos artigos foi realizada por dois pesquisadores independentemente. Foram analisados os textos que, efetivamente, se relacionavam à proposta de pesquisa. Quando houve discordância entre os pesquisadores, um terceiro pesquisador realizou a análise do artigo para poder incluir ou excluir nesse estudo.

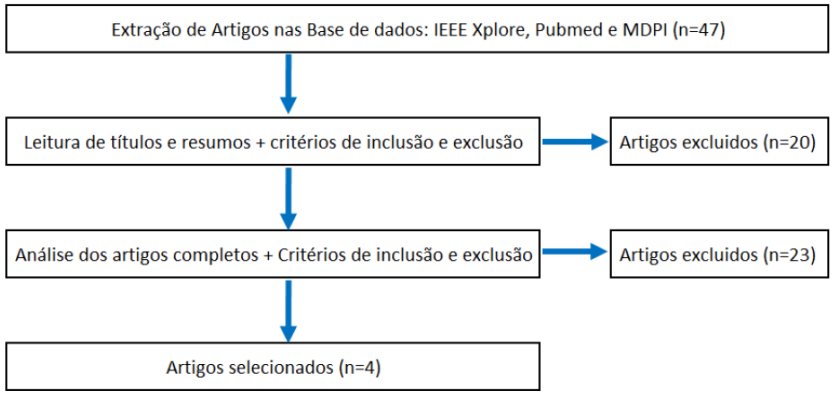
As informações relevantes foram extraídas dos artigos incluídos e apresentadas em forma de tabelas e texto narrativo, considerando-se as seguintes variáveis: autores e ano, objetivo do estudo, características da população, características do dispositivo vestível, recursos oferecidos pelo dispositivo, resultados (mudanças no tônus muscular, amplitude de movimento e funcionalidade) e pontuação na escala PEDro. A escala PEDro – Physiotherapy Evidence Database – foi utilizada para avaliar a qualidade metodológica dos estudos incluídos. Essa escala, composta por 11 itens, avalia aspectos como: critérios de elegibilidade, alocação aleatória, cegamento, análise estatística e apresentação dos resultados. Cada item recebe pontuação 1 (sim) ou 0 (não), com pontuação total variando de 0 a 11. Estudos com pontuação PEDro maior ou igual a 5 são considerados de alta qualidade metodológica (PACI *et al.*, 2022).

Revista Eletrônica Acervo Saúde | ISSN 2178-2091

RESULTADOS

A busca nas bases de dados resultou em 47 artigos. Após a aplicação dos filtros de inclusão, exclusão e a análise dos títulos e resumos, 27 artigos em texto completo foram explorados para verificar a sua possível inclusão nesta revisão. Desses artigos, 23 foram excluídos, a maioria por não atender ao critério de inclusão: Utilização de dispositivo vestível com sensores inerciais (luvas, mangas, relógio) que forneça pelo menos um dos seguintes recursos: biofeedback, feedback visual ou propriocepção (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma da seleção dos artigos



Fonte: Rocha SJS, et al., 2025.

Dessa maneira, foram elegidos oito estudos, resumidos no Quadro 1, apresentando-se os autores e ano de publicação, título do trabalho, protocolo de testes abordando a quantidade de participantes, dispositivo utilizado e recursos e, por fim, os resultados obtidos.

QUADRO 1 – Caracterização dos estudos selecionados

Autor (Ano)	Título	Protocolo	Resultados
Olczak et al., (2022)	The Use of Armeo®Spring Device to Assess the Effect of Trunk Stabilization Exercises on the Functional Capabilities of the Upper Limb – An Observational Study of Patients after Stroke.	60 pacientes pós-AVC; Dispositivo Armeo®Spring; Recurso de Biofeedback visual; Avaliação inicial com EMA.	Melhora na coordenação motora e força de preensão após exercícios de estabilização do tronco.
Olczak e Truszczyńska (2022)	Assessment of the Impact of the Tipstim® Device Application and the Study Position on Motor Coordination and Grip Strength of the Affected Upper Limb Post-Ischemic Stroke — A Randomized Parallel Crossover Trial	29 pacientes pós-AVC; Dispositivo Tipstim®; Recurso de Estimulação sensorial; Avaliação inicial com EMA.	Melhora na coordenação motora e força de preensão em posição estável (deitado)

Revista Eletrônica Acervo Saúde | ISSN 2178-2091

Adeel et al., (2020)	Prediction of spasticity through upper limb active range of motion in stroke survivors: a generalized estimating equation model.	64 participantes, sendo 42 pós AVC; Dispositivo de Luva inteligente com sensores; modelamento matemático; Avaliação com EMA	Confirmação da existência de relação inversamente proporcional entre espasticidade e amplitude de movimento
Koroleva et al., (2020)	Serum BDNF's role as a biomarker for motor training in the context of AR-based rehabilitation after ischemic stroke	50 pacientes pós-AVC; Óculos Epson Moverio bt-300; Biofeedback de realidade aumentada; Avaliação com EMA	O fator neurotrófico derivado do cérebro sérico aumentou significativamente durante a fase de reabilitação baseada em AR

Fonte: Rocha SJS, et al., 2025

DISCUSSÃO

A espasticidade em membros superiores é uma condição comum após AVC, afetando significativamente a funcionalidade e a qualidade de vida dos pacientes (SEIM CE, et al., 2022) e pode resultar em diversos prejuízos, como redução da amplitude de movimento, dificuldade na realização de atividades cotidianas, dor, deformidades e contraturas (THOMPSON A, et al., 2005). A avaliação precisa da espasticidade é crucial para o planejamento e acompanhamento do tratamento, permitindo a escolha de intervenções adequadas e a monitorização da progressão da condição (KIM J-Y, et al., 2020).

A utilização de dispositivos vestíveis com sensores inerciais no tratamento da espasticidade oferece diversas vantagens como o monitoramento contínuo ao longo do tempo, possibilitando a detecção de mudanças sutis e a avaliação da efetividade do tratamento (SEIM CE, ET AL., 2022), a possibilidade de biofeedback, que são informações apresentadas aos pacientes que possibilitam maior consciência do movimento e ajustem seus movimentos para reduzir a espasticidade (Olczak A, Truszczyńska-Baszak A, 2022), além da facilidade de Uso, devido possibilidade de utilização em diferentes contextos, como em casa ou na clínica (SEIM CE, et al., 2022).

O estudo de Adeel et al. (2020) teve como objetivo investigar a associação entre espasticidade e amplitude de movimento ativa (AROM) durante quatro tarefas funcionais repetitivas. Utilizou-se um dispositivo de luva inteligente com sensores de unidade de medida inercial (IMU) e modelos de equações de estimativa generalizada (GEE) para prever a espasticidade em pacientes pós – AVC. Os resultados mostraram que os modelos GEE previram significativamente a espasticidade para o cotovelo, polegar e dedos indicador, médio, anelar e mínimo, destacando a relação inversamente proporcional entre AROM e espasticidade em tarefas funcionais, afirmação essa corroborada pelo estudo de Vargas e Rodrigues (2022) que afirma que quanto maior o grau de espasticidade, menor será a capacidade de movimentação da mão do paciente pós – AVC.

Olczak, Truszczyńska-Baszak, Stępień e Bryll (2022) investigaram o efeito da estabilização passiva do tronco e do ombro nos movimentos da mão e na força de preensão em pacientes após diferentes tipos de AVC. Os autores descobriram que a estabilização do membro superior e a estabilização passiva do tronco melhoraram a frequência e a amplitude dos movimentos na articulação radiocarpal e nos dedos dos pacientes após o AVC, independentemente do tipo de AVC (OLCZAK A, et al., 2022). Isso sugere que a estabilização postural pode desempenhar um papel importante na recuperação da função motora da mão após o AVC, resultado este também encontrado em outras formas de recuperação por estabilização como o pilates (SILVA, 2023), reforçando ainda a importância da integridade da inervação recíproca na recuperação da função motora (MAGRI, 2003).

Outro aspecto importante relacionado ao tratamento da espasticidade é apresentado na pesquisa em andamento de Koroleva et al. (2020). Nesse trabalho é investigado o papel do fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) na reabilitação após AVC isquêmico, avaliando a dinâmica da indução de BDNF sérico pela

Revista Eletrônica Acervo Saúde | ISSN 2178-2091

estimulação do córtex motor por meio de treinamento de movimento com biofeedback de realidade aumentada (AR). Seus resultados indicaram que o BDNF sérico aumentou significativamente durante a fase de reabilitação baseada em AR e que os níveis de BDNF tendiam a diminuir na ausência de tratamento de reabilitação ativo, fornecendo indicativos promissores sobre os mecanismos subjacentes à recuperação (KOROLEVA ES, et al., 2020). Esse efeito é encontrado também na prática de exercícios físicos (MATSUDO et al., 2008; RIBEIRO et al., 2023), contudo, a condição física do paciente pode ser limitante à essa pratica, de modo que a realidade aumentada emerge como um recurso auxiliar na diminuição do BDNF.

Ainda que diante de diversos exemplos positivos, ainda existem desafios a serem superados para a ampla utilização de dispositivos vestíveis na avaliação da espasticidade. A padronização dos protocolos de avaliação, a validação dos dispositivos em comparação com a EMA, o desenvolvimento de algoritmos mais robustos para a análise dos dados e a redução do custo dos dispositivos são alguns dos desafios a serem enfrentados (DE PAULA RUBIO G, et al., 2020).

CONCLUSÃO

Os estudos analisados nesta revisão demonstram a viabilidade de utilizar dispositivos vestíveis com sensores inerciais para auxílio no tratamento e avaliação de espasticidade pós-AVC na função do membro superior (COMPAGNAT M, 2019 e ÖHBERG F, 2019). Também são destacadas a importância da estabilização postural, do treinamento orientado para tarefas e da estimulação sensorial na recuperação da função motora após o AVC (ADEEL M, 2020; OLCZAK A, 2022; e MANCUSO M, 2021). No entanto, as evidências ainda são limitadas e mais pesquisas são necessárias para confirmar a efetividade a longo prazo dessas tecnologias, determinar os protocolos de tratamento ideais e investigar o impacto na funcionalidade e qualidade de vida dos pacientes. A padronização dos protocolos de avaliação, a validação dos dispositivos em comparação com a EMA, o aumento do tamanho das amostras e a inclusão de diferentes populações, como indivíduos pós-TCE, são aspectos importantes a serem considerados em pesquisas futuras.

Assim, os dispositivos vestíveis com sensores inerciais mostram-se ferramentas promissora para auxílio no tratamento da espasticidade em membros superiores de pacientes pós-AVC, sobretudo com a possibilidade de medição objetiva, complementando a avaliação clínica tradicional realizada pela EMA. A utilização desses dispositivos, geralmente na forma de luvas, mangas ou relógios, permite a quantificação precisa do tônus muscular, a detecção de mudanças sutis ao longo do tempo e o fornecimento de biofeedback aos pacientes, auxiliando na reabilitação e no monitoramento da espasticidade. Entretanto, mais pesquisas com amostras maiores, diferentes tipos de dispositivos e protocolos de tratamento são necessários para confirmar a efetividade a longo prazo dessas tecnologias, orientando na determinação de protocolos de tratamento ideais, além de investigar o impacto na funcionalidade e qualidade de vida dos pacientes. A padronização dos protocolos de avaliação e a validação dos dispositivos em comparação com a EMA também são essenciais para a consolidação dessa tecnologia como ferramenta clínica.

REFERÊNCIAS

1. ADEEL M, et al. Prediction of spasticity through upper limb active range of motion in stroke survivors: a generalized estimating equation model. Bioengineering, 2023; 10:1273.
2. BOHANNON RW, SMITH MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. Phys. Ther, 1987; 67:206-207.
3. COMPAGNAT M, et al. Validity of the walked distance estimated by wearable devices in stroke individuals. Sensors, 2019; 19:2497.
4. CORREIA ACS, et al. Crioterapia e cinesioterapia no membro superior espástico no acidente vascular cerebral. Fisioter. Mov, 2010; 23:555-563.
5. DE PAULA RÚBIO G, et al. Evaluation of commercial ropes applied as artificial tendons in robotic rehabilitation orthoses. Appl. Sci. 2020; 10:920.

Revista Eletrônica Acervo Saúde | ISSN 2178-2091

6. KLASSEN TD, et al. "Stepping up" activity poststroke: ankle-positioned accelerometer can accurately record steps during slow walking. Phys. Ther, 2016; 96:355-360.
7. KIM JY, et al. Analysis of machine learning-based assessment for elbow spasticity using inertial sensors. Sensors. 2020; 20:1622.
8. KOROLEVA ES, et al. Serum BDNF's role as a biomarker for motor training in the context of AR-based rehabilitation after ischemic stroke. Brain Sci, 2020; 10:623.
9. KWAKKEL G, et al. Probability of regaining dexterity in the flaccid upper limb: impact of severity of paresis and time since onset in acute stroke. Stroke, 2003; 34:2181-2186.
10. MAGRI M, et al. Influência da inervação recíproca na recuperação da função motora de paciente hemiplégico por acidente vascular cerebral. Fisioterapia Brasil, 2003; 4:223-226.
11. MAHER CG, et al. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. Phys Ther, 2003; 83:713–21.
12. MANCUSO M, DI TONDO S, COSTANTINI E, DAMORA A, SALE P, ABBRUZZESE L. Action observation therapy for upper limb recovery in patients with stroke: a randomized controlled pilot study. Brain Sci., 2021; 11:290.
13. MATSUDO SM, et al. Atividade física e envelhecimento saudável. Diagn Tratamento, 2008; 13: 142-7.
14. OLCZAK A, TRUSZCZYŃSKA-BASZAK A. Assessment of the impact of the Tipstim® device application and the study position on motor coordination and grip strength of the affected upper limb post-ischemic stroke—a randomized parallel crossover trial. Appl. Sci, 2022; 12:2761.
15. OLCZAK A, TRUSZCZYŃSKA-BASZAK A. Influence of the passive stabilization of the trunk and upper limb on selected parameters of the hand motor coordination, grip strength and muscle tension in post-stroke patients. J. Clin. Med, 2021; 10:2402.
16. OLCZAK A, et al. The use of Armeo®Spring device to assess the effect of trunk stabilization exercises on the functional capabilities of the upper limb—an observational study of patients after stroke. Sensors, 2022; 22:4336.
17. OLCZAK A, et al. Effect of the trunk and upper limb passive stabilization on hand movements and grip strength following various types of strokes—an observational cohort study. Brain Sci, 2022; 12:1234.
18. ORTOLAN RL, et al. Tratamento de terapia vibratória em pacientes com espasticidade. Fisioter. Mov., 2010; 23:565-572.
19. ÖHBERG F, et al. Portable sensors add reliable kinematic measures to the assessment of upper extremity function. Sensors, 2019; 19:1241.
20. PACI M, et al. Reliability of the PEDro scale: comparison between trials published in predatory and non-predatory journals. Archives of Physiotherapy, 2022; 12:10.
21. RIBEIRO LHM, et al. O exercício físico no combate à ansiedade e seu efeito no regulador fisiológico BDNF. Brazilian Journal of Health Review, 2023; 6: 26621-26639.
22. SAITO T, et al. Predictive ability of Fahrenheit, a hand motion recording system for assessing hand motor function in patients with hemiplegia post-cerebrovascular disease—a pilot study. Appl. Sci.. 2021; 11:8153.
23. SEIM CE, et al. Design of a wearable vibrotactile stimulation device for individuals with upper-limb hemiparesis and spasticity. IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.. 2022; 30:1277-1283.
24. SEIFPOUR S, ŠATKA A. Tensor decomposition analysis of longitudinal EEG signals reveals differential oscillatory dynamics in eyes-closed and eyes-open motor imagery BCI: a case report. Brain Sci.. 2023; 13:1013.
25. SILVA AER, et al. O Pilates como método de tratamento para pacientes com acidente vascular encefálico (AVE): Relato de experiência. Revista CPAQV, 2023; 15:2.
26. THOMPSON A, et al. Clinical management of spasticity. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 2005; 76:459-463.
27. VIRUEGA H, et al. Inter-day reliability and changes of surface electromyography on two postural muscles throughout 12 weeks of hippotherapy on patients with cerebral palsy: a pilot study. Brain Sci., 2020; 10:281.
28. VARGAS IMP, et al. Correlação entre espasticidade do membro superior e movimentação da mão no pós-AVC. Fisioterapia e Pesquisa, 2022; 29:29-36.

Revista Eletrônica Acervo Saúde | ISSN 2178-2091

29. VITAL IPdA, MACHADO WCA. Aplicativos móveis para reabilitação motora de pacientes com déficits motores dimidiados: revisão integrativa da literatura. Braz. J. Health Ver, 2021; 4:27741-27753.
30. WATKINS CL, et al. Prevalence of spasticity post stroke. Clin. Rehabil., 2002; 16:515-522.

6 CARTA DE REGISTRO, CERTIFICADO E PRODUÇÃO TÉCNICA - COLETA DE DADOS DO ACELERÔMETRO MPU6050

Software: O software desenvolvido foi implementado em linguagem C++ na IDE do Arduino e projetado para coletar dados provenientes dos sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio) nos três eixos de movimento. Este sistema foi integrado a uma interface gráfica acessível e intuitiva, que possibilita a visualização dos dados em tempo real, bem como a correlação direta com os níveis de espasticidade estabelecidos pela Escala Modificada de Ashworth (EMA).

Principais funcionalidades

Dados em tempo real: Exibição das informações de aceleração no display do dispositivo.

Histórico de dados: Quando utilizado com app e transmissão bluetooth, é gerado um arquivo com o resumo de parâmetros biomecânicos registrados durante cada teste.

Resultados finais: Quantificação dos níveis de espasticidade conforme a EMA, apresentados diretamente no display do dispositivo e exportáveis para plataformas externas quando utilizado com bluetooth.

O programa organiza os dados coletados em formato texto sequencial no bloco de notas, permitindo a exportação para planilha, para análises posteriores. Adicionalmente, o sistema foi projetado para proporcionar confiabilidade e eficiência durante a coleta e análise de dados em ambiente clínico ou laboratorial.

Compatibilidade e Portabilidade: O programa é compatível com microcontroladores, otimizando seu uso em dispositivos vestíveis e garantindo portabilidade, o que possibilita sua aplicação em ambientes variados. Isso torna o sistema adequado tanto para clínicas quanto para estudos realizados em campo, permitindo um monitoramento contínuo e objetivo.

Certificação e Registro: Anexo a este capítulo encontram-se a carta de registro, o certificado de produção técnica e as especificações detalhadas do programa de coleta de dados. Esses documentos formalizam a aplicação prática do software,

assegurando sua conformidade com padrões técnicos e legais, além de registrar oficialmente a propriedade intelectual.

Impacto e Finalidade do Software: O principal objetivo do programa é facilitar a vida de pesquisadores e profissionais de saúde ao permitir a coleta, análise e armazenamento de dados biomecânicos de maneira organizada e eficiente. Ele também se apresenta como uma ferramenta complementar ao diagnóstico e ao acompanhamento da espasticidade em pacientes pós-AVC, contribuindo para avaliações mais precisas e intervenções terapêuticas personalizadas.

Anexo B: Carta de registro, certificado e produção técnica referente ao programa de coleta de dados do acelerômetro MPU6050.

7 ARTIGO DE PESQUISA – BIOMEDICAL PHYSICS & ENGINEERING EXPRESS

Artigo: Wearable Device for Quantifying Spasticity in Upper Limbs of Post-Stroke Patients Using Inertial Sensors and the Modified Ashworth Scale.

Autores: Silvio Rocha, Silvia Boschi, Antonio Morais, Silvia Martini, Tathiane Rocha, Tabajara Gonzalez, Terigi Scardovelli, Alessandro Silva.

Artigo submetido no periódico: Biomedical Physics & Engineering Express – Qualis Engenharias IV: A4

Anexo C: Normas do periódico para o artigo submetido.

IOP Publishing Journal Title
Journal **XX** (XXXX) XXXXXX https://doi.org/XXXX/XXXX

Wearable Device for Quantifying Spasticity in Upper Limbs of Post-Stroke Patients Using Inertial Sensors and the Modified Ashworth Scale

Silvio Rocha[1], Silvia Boschi[1], Antonio Morais[1], Silvia Martini[1], Tathiane Rocha[1], Tabajara Gonzalez[1], Terigi Scardovelli[1], Alessandro Silva[1]

[1] Universidade de Mogi das Cruzes (UMC), Mogi das Cruzes, SP, Brazil

E-mail: silviorocha@umc.br

Received xxxxxx
Accepted for publication xxxxxx
Published xxxxxx

Abstract. Spasticity in post-stroke patients significantly affects their quality of life, particularly when it affects the upper limbs. This paper presents the development of a wearable device using inertial sensors for objective spasticity assessment. The device, based on the T-Display-S3 development board and an MPU6050 accelerometer/gyroscope module, collects data through a program developed in the Arduino IDE, with interface elements designed in SquareLine Studio. Preliminary results indicate a high correlation (r = 0.92) between biomechanical parameters such as acceleration and angular velocity and the Modified Ashworth Scale (MAS) spasticity levels. The device demonstrated 91% learning ease, 95% efficiency, and 90% user satisfaction based on usability assessments. This wearable device provides a promising solution for real-time spasticity assessment, with the potential to improve the clinical monitoring and treatment of post-stroke patients.

Conflict of Interest declaration: The authors declare that they have no affiliations with or involvement in any organization or entity with any financial interest in the subject matter or materials discussed in this manuscript

Keywords: Spasticity, Stroke, Wearable Devices, Inertial Sensors, Modified Ashworth Scale

1. Introduction

The upper limbs play an essential role in daily activities, enabling functions such as reaching, grasping, and object manipulation [1]. These abilities allow people to perform tasks such as eating, dressing, and writing, which are crucial for their autonomy and quality of life. When impaired, these skills significantly impact an individual's daily functionality [2,3].

Spasticity, which is often present in post-stroke patients, directly affects the upper limbs. This neuromuscular condition, characterized by involuntary increases in muscle tone, makes movements stiff and difficult to control [4,5]. Between 30% and 60% of stroke survivors develop spasticity, making it one of the leading causes of prolonged motor disability [6].

Managing spasticity is essential for conducting a thorough clinical evaluation. Effective clinical assessment of spasticity should rely on validated evaluation systems. Commonly used clinical methods refer to specific tools such as the Modified Tardieu Scale (MTS) and the Modified Ashworth Scale (MAS). The Tardieu Scale and its modified version are assessment tools designed to evaluate resistance to passive movement at both slow and rapid speeds. These tools measure the quality of muscle response to passive motion and determine the

 © xxxx IOP Publishing Ltd

angle at which resistance occurs during the fastest movements. Studies have indicated that the MTS is a reliable tool for quantifying lower-limb spasticity owing to its high inter-rater reliability.[7–10]

The Ashworth Scale and its modified version are commonly used in clinical practice. These scales assess the resistance and spasticity (or catch) of the joints during passive movements. Resistance was scored on a scale from 0 to 4 on the Ashworth Scale, and from 0 to 5 on the Modified Ashworth Scale. The scoring system is based on the specific classifications and descriptions outlined in Table 1. The MAS demonstrates greater inter-rater reliability than the MTS for assessing upper limb spasticity [3,11,12].

Despite their widespread use, these tools have some limitations. They rely heavily on subjective assessments, depending on the therapists' perception of spasticity during passive movement. Previous research has highlighted that spasticity scales often fail to provide sufficient detail regarding the muscles involved in spastic movements, and their reliability and validity in clinical practice have been questioned. Incorporating quantitative measurements based on MAS could address these shortcomings and improve the precision of spasticity evaluations.[13,14]

In summary, the clinical assessment of spasticity is commonly performed using the Modified Ashworth Scale (MAS). Despite its widespread use, this approach has significant limitations owing to its subjectivity, as it depends on the evaluator's perception. This characteristic can lead to variations in the results, making it difficult to obtain consistent and precise data [1,4]. Thus, the search for more objective methods for improving muscle tone measurements has become a priority.

Table 1 : Modified Ashworth Scale (MAS) Scoring System

Grade	Description
0	No increase in muscle tone
1	Slight increase in muscle tone, manifested by a catch and release or by minimal resistance at the end of the range of motion when the affected part(s) is moved in flexion or extension
1+	Slight increase in muscle tone, with minimal resistance in less than half of the movement.
2	More marked increase in muscle tone in most of the movement, but passive mobilization is performed easily.
3	Considerable increase in muscle tone, passive movement difficult
4	Affected part(s) rigid in flexion or extension

Technological advancements have led to the development of wearable devices equipped with inertial sensors such as accelerometers and gyroscopes, which allow for more precise and objective assessments [4,15]. These devices capture kinematic data such as acceleration and movement amplitude, enabling a correlation with the observed spasticity levels [2,16].

Additionally, they offer the advantage of real-time patient monitoring during daily activities, providing a broader perspective on the impact of spasticity on routine [2,17].

Therefore, the development of wearable devices based on MAS represents a significant advancement in the field. These devices not only offer greater diagnostic precision but also contribute to rehabilitation and continuous clinical monitoring, providing more reliable data and aiding decision-making to improve patients' quality of life.

2. Materials and Methods

The study was divided into four main stages: device specification, software configuration, data analysis, and validation. First, we address the selection and configuration of the hardware components, which are fundamental for accurately capturing motion data. Next, we present the software environment and libraries essential for data collection, processing, and display. The methods for analyzing and processing biomechanical data are detailed with the aim of correlating acceleration with spasticity levels according to the Modified Ashworth Scale. Finally, five professionals assessed the usability using the SUS scale.

2.1 Device Specifications

Hardware Components: The main device was a T-Display-S3 ESP32-S3 board with a 1.9-inch LCD touchscreen, powered by a 3.7V 350mAh Li-Po battery. The MPU6050 module provides accelerometer and gyroscope functionalities, allowing detailed motion data capture.

Device Positioning: The device is secured to the patient's upper arm with an adjustable Velcro strap, ensuring stable data capture during movement.

2.2 Software and Data Collection

An Arduino IDE: Used to program the ESP32 T-Display-S3 microcontroller for motion data collection, integrating libraries such as lvgl and TFT_eSPI for the display, TouchLib for touchscreen functionality, and MPU6050_6Axis_MotionAPPS612 for communication with the MPU6050 sensor.

SquareLine Studio: Used to create the graphical interface of the device, offering an intuitive layout for real-time data display and recording of the maximum detected spasticity level during evaluation.

2.3 Data Analysis

Acceleration data, both real-time and maximum recorded values, appeared on the device display with pre-correlated values based on the Modified Ashworth Scale. The data can also be transmitted via Bluetooth to a mobile application (Serial Bluetooth Terminal) for verification. The analysis focused on correlating these parameters with spasticity levels as defined by the Modified Ashworth Scale, processing raw sensor data from the MPU6050 to extract relevant biomechanical indicators.

2.4 Device Specifications

To validate the relationship between device-generated values and spasticity levels assessed by the Modified Ashworth Scale (MAS), a study was conducted involving five physiotherapists specialized in neurological rehabilitation, duly registered with their professional board. The analysis focused on comparing the data displayed on the device with traditional clinical evaluation, ensuring methodological rigor.

Following Nielsen and Landauer's (1993) proposal, sample size was deemed adequate for identifying potential usability issues. [18]

This study complies with Resolution No. 510/16 of the Brazilian National Health Council, which exempts research involving unidentified participants from ethical board registration, as they are classified as public opinion research. Thus, the validation was conducted in a controlled environment to ensure reliability and identify potential device improvements.[19]

Based on the obtained responses, Table 2 presents the device characteristics according to the SUS Scale.[19]

Table 2 : Characteristics achieved by the device according to the SUS scale

CHARACTERISTIC	SCORE
Ease of Learning	91%
Efficiency	95%
Ease of Memorization	94%

Error Minimization	92%
Satisfaction	90%

Professionals reported 90% satisfaction with the device, highlighting 91% ease of learning and over 90% efficiency, memorization, and error minimization. These results indicate that the device is intuitive, efficient, and suitable for clinical use in physiotherapy practice.

The device uses the MPU6050 accelerometer to capture acceleration values (g) based on Gross Micro-Movements (MMG) signals in millivolts (mV). This process involved three main steps. First, the Analog-to-Digital Converter (ADC) of MPU6050, with a resolution of 16 bits, converts analog signals into precise digital values.

Next, the MMG (mV) is converted to Least Significant Bit (LSB), translating the signals into a minimal digital unit essential for detecting subtle muscle movements. Finally, the LSB values were converted into gravitational acceleration (g), enabling standardized measurements, where 1g is equals 9.81 m/s^2.

To interpret the captured data, fuzzy logic was applied, which modeled the uncertainty and smooth transitions between the evaluated levels, making the system more realistic and robust. Using overlapping triangular functions and linguistic terms (EMA) based on the Modified Ashworth Scale (MAS), the device provides precise analyses of spasticity. The range of analyzed values varies from 0.03 mg to 28.80 mg, ensuring high sensitivity and reliability in the measurements.[20]

2.5 Fuzzy Logic

Fuzzy logic was implemented as an essential mathematical tool in the project, with the following main objectives:

- Modeling Data Uncertainty: Fuzzy logic was employed to reflect the imprecise nature associated with spasticity, enabling the adequate representation of inherent ambiguities in the collected data.
- Representation of Acceleration Values with Gradual Relevance: The concept of degrees of relevance was used, allowing each acceleration value to be partially classified into two adjacent levels. This ensures greater flexibility in the model and avoids abrupt or unrealistic classification.
- Gradual and Continuous Transition Between Levels: Fuzzy logic promotes a more realistic and robust transition between analysis levels, creating a system that better reflects actual observed conditions.

2.5.1 Methodology and Tools Used

To implement fuzzy logic, InFuzzy software was used, a free tool developed by the postgraduate program in Systems and Industrial Processes at the Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). This software was chosen because of its ability to easily and accurately model systems based on uncertainties.[21]

2.5.2 Fuzzy System Configuration

The following parameters were defined for the input data:

- Universe of Discourse: The range of analyzed values was set between 0.03mg and 28.80mg, covering the range of interest in the study of spasticity.
- Membership Function: Triangular functions with overlapping were utilized to ensure a smooth transition between different relevance levels.
- Linguistic Terms: The EMA levels (Modified Ashworth Scale) were defined as the linguistic terms of the system, facilitating association with clinical results and allowing for a more intuitive analysis.

This configuration enabled the fuzzy system to efficiently correlate the measured acceleration data with the levels of the Modified Ashworth Scale, providing a robust tool for quantifying and characterizing upper-limb spasticity.

Clarifying for MAS = 1+, the acceleration range of 0.16g to 0.25g is defined as belonging or having high pertinence. For 0.15g , the pertinence is shared between MAS = 1 (60%) and MAS = 1+ (40%), applied similarly across all MAS levels. Defuzzification is performed by assigning a single final value based on pertinent rules [20].

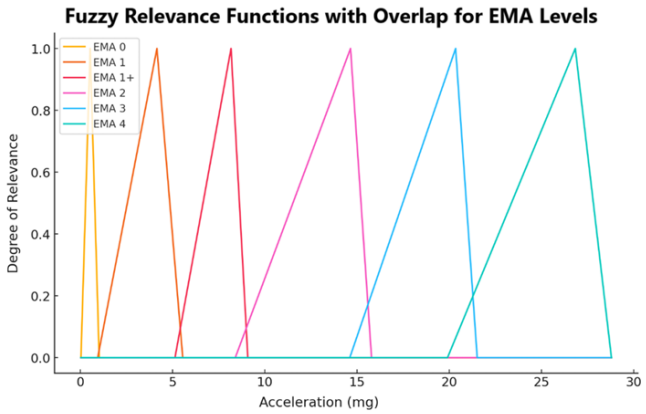


Figure 1 - Fuzzy Relevance Functions with Overlap for EMA Levels. The input universe ranges from acceleration values of 0.03 mg to 28.80 mg, using triangular functions with overlap. Linguistic terms represent MAS levels (EMA), enabling a smooth transition between levels and greater precision in spasticity analysis.

3. Results

In the study conducted by dos Santos et al. (2024), the analysis of mechanomyographic (MMG) signals correlated with the levels of spasticity defined by the Modified Ashworth Scale (MAS) was carried out. The study was approved by the Ethics Committee and included 22 volunteers, with a total of 34 limbs. During the experiments, triaxial sensors captured the MMG signals and acceleration from the participants' limbs while performing passive movements. In Table 3, the MMG signals are recorded in millivolts (mV) and correlated with the MAS [22].

Table 3 : Equivalence between EMA and |MMG| of the agonist muscle group.

EMA	MMG (mV)
0	0,03 - 0,94
1	2,55 - 5,13
1+	6,72 - 8,40
2	12,50 - 14,61
3	17,73 - 19,91
4	24,63 - 28,79

3.1 Device Construction

The developed device is wearable, compact, and functional for assessing spasticity, integrating hardware and software components as specified in the methods. The device, built using the T-Display-S3 ESP32-S3 board, features a 1.9-inch LCD touchscreen that displays results in real-time. The MPU6050 module was adequately integrated into the board, allowing for precise capture of acceleration and angular velocity data. The device is powered by a 3.7V, 350mAh Li-Po battery, providing sufficient autonomy for clinical evaluations. It was secured to the patient's arm using an adjustable Velcro strap, ensuring stability during data collection.

Figure 2 shows the fully assembled device, demonstrating its application to the patient's arm.



Figure 2: Developed device, graphical representation of attachment to the arm using an adjustable Velcro strap.

3.2 Software Configuration and Graphical Interface

The device's software was programmed in the Arduino IDE, using specific libraries such as lvgl and TFT_eSPI for the display, TouchLib for touchscreen functionality, and MPU6050_6Axis_MotionAPPS612 for communication with the MPU6050 sensor. SquareLine Studio was used to develop an intuitive graphical interface displayed on the device screen. This interface allows for real-time visualization of the captured motion data and correlates with the levels of the Modified Ashworth Scale.

Figure 3 shows a flowchart of the conditions, initialization, and data reading.

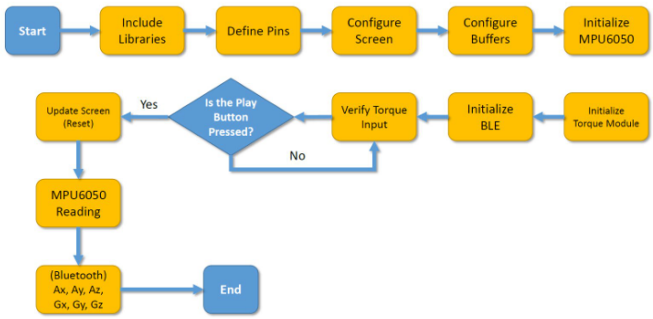


Figure 3: Software operation flowchart.

Figure 4 shows the graphical interface displayed on the device, highlighting its clear and functional layout. The motion data appeared alongside the corresponding grade from the spasticity scale, facilitating interpretation by healthcare professionals.

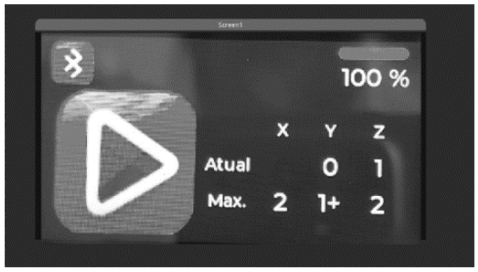


Figure 4: Device's graphical interface displaying acceleration data and the corresponding grade on the Modified Ashworth Scale.

3.3 Data Analysis and Correlation

The biomechanical data captured by the MPU6050 sensor were processed and correlated with the grades of the Modified Ashworth Scale as described in the Methods section. The analysis revealed a direct relationship between the acceleration values captured by the device and spasticity grades defined by the scale. These data are displayed in real time on the screen od the device and can be transmitted via Bluetooth for storage and subsequent consultation in a mobile application.

Table 4 presents the results of the correlation between the spasticity levels and the captured acceleration values. This correlation was theoretically validated, confirming that the data obtained by the device accurately reflect the grades of the Modified Ashworth Scale.

After adjustment, the calculated acceleration (g) intervals were consistent with the values in the table:

Table 4 : EMA Correlation with Acceleration Sensor MPU-6050.

EMA	MMG (mV)	Acceleration (g) (MPU6050)
0	0,03 to 0,94	~ 0,03 to ~ 1,02
1	2,55 to 5,13	~ 2,76 to ~ 5,55
1+	6,72 to 8,40	~ 7,26 to ~ 9,08
2	12,50 to 14,61	~13,51 to ~ 15,79
3	17,73 to 19,91	~ 19,17 to ~ 21,52
4	24,63 to 28,79	~ 24,89 to ~ 28,80

4. Discussion

The results obtained with the wearable device reinforce the potential of technologies based on inertial sensors to quantify spasticity objectively and reliably. The correlation between the captured acceleration data and MAS levels validates the device as a promising alternative to traditional clinical methods that rely on subjective assessments. Previous studies (Olczak et al., 2022; dos Santos et al., 2016) have highlighted the need for more precise approaches to monitor spasticity, especially in post-stroke patients, where subjectivity can compromise treatment [23,24].

Significant challenges persist in the widespread adoption of wearable devices for spasticity assessments. Among them is the need for standardization of evaluation protocols, validation of devices in relation to the Modified Ashworth Scale (MAS), development of more advanced and precise algorithms for data analysis, and reduction of associated costs [25,26].

Olczak, Truszczyńska-Baszak, Stępień, and Bryll (2022) conducted a study on the impact of passive trunk and shoulder stabilization on hand movements and grip strength in patients who suffered different types of strokes. The results indicated that upper limb stabilization, combined with passive trunk stabilization, contributed to improved frequency and amplitude of movements in the radiocarpal joint and fingers of patients, regardless of stroke type (OLCZAK A, et al., 2022). These findings reinforce the importance of postural stabilization as a relevant factor in functional motor recovery of the hands after stroke [24,27,28].

The use of fuzzy logic to smooth the transitions between MAS levels proved effective, allowing for a more robust interpretation of the collected data. This approach is particularly relevant in clinical contexts, where the boundaries between spasticity levels are not strictly defined. The continuous monitoring capability of the device represents a significant advancement over point-in-time evaluations performed in clinics, offering real-time data that can inform therapeutic decisions more dynamically and adaptively [20].

Although the results demonstrate progress, challenges remain. Steps such as the standardization of usage protocols and validation in larger samples are crucial for consolidating this technology as a clinical tool. Future studies could explore integrating the device with artificial intelligence to improve data analysis and prediction of spasticity patterns over time.

5. Conclusion

This study presented the development and theoretical validation of a wearable device for quantifying spasticity in the upper-limbs of post-stroke patients using inertial sensors and correlating the captured data with the Modified Ashworth Scale (MAS). The device construction and software configuration were carried out to ensure portability, precision, and ease of use, enabling real-time monitoring of spasticity levels.

The results showed a consistent correlation between the acceleration values captured by the MPU6050 sensor and the spasticity levels defined by MAS, thus validating the proposed device as an objective alternative to traditional clinical methods. The implementation of an intuitive interface system, combined with Bluetooth data transmission, provides a practical tool for healthcare professionals, facilitating continuous patient monitoring and contributing to personalized therapeutic interventions.

Although promising, the device still faces challenges, such as the need for clinical validation in larger populations and standardization of usage protocols for broader applications. Future studies could explore integrating the device with artificial intelligence algorithms, thereby expanding its capacity for the analysis and

prediction of spasticity patterns over time. This study lays a foundation for the use of wearable devices in the objective evaluation of spasticity, with the potential to transform the monitoring and clinical management of this condition.

References

1. Adeel, M.; Peng, C.-W.; Lee, I.-J.; Lin, B.-S. Prediction of Spasticity through Upper Limb Active Range of Motion in Stroke Survivors: A Generalized Estimating Equation Model. *Bioengineering* **2023**, *10*, 1273, doi:10.3390/bioengineering10111273.
2. Mancuso, M.; Tondo, S.D.; Costantini, E.; Damora, A.; Sale, P.; Abbruzzese, L. Action Observation Therapy for Upper Limb Recovery in Patients with Stroke: A Randomized Controlled Pilot Study. *Brain Sci.* **2021**, *11*, 290, doi:10.3390/brainsci11030290.
3. Bohannon, R.W.; Smith, M.B. Interrater Reliability of a Modified Ashworth Scale of Muscle Spasticity. *Phys. Ther.* **1987**, *67*, 206–207, doi:10.1093/ptj/67.2.206.
4. Yang, Y.-S.; Emzain, Z.F.; Huang, S.-C. Biomechanical Evaluation of Dynamic Splint Based on Pulley Rotation Design for Management of Hand Spasticity. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* **2021**, *29*, 683–689, doi:10.1109/TNSRE.2021.3068453.
5. Correia, A. de C.S.; Silva, J.D.S.; Silva, L.V.C. da; Oliveira, D.A. de; Cabral, E.D. Crioterapia e cinesioterapia no membro superior espástico no acidente vascular cerebral. *Fisioter. Em Mov.* **2010**, *23*, 555–563, doi:https://doi.org/10.1590/S0103-51502010000400006.
6. Turcu-Stiolica, A.; Subtirelu, M.-S.; Bumbea, A.-M. Can Incobotulinumtoxin-A Treatment Improve Quality of Life Better Than Conventional Therapy in Spastic Muscle Post-Stroke Patients? Results from a Pilot Study from a Single Center. *Brain Sci.* **2021**, *11*, 934, doi:10.3390/brainsci11070934.
7. Tardieu, G.; Shentoub, S.; Delarue, R. [Research on a technic for measurement of spasticity]. *Rev. Neurol. (Paris)* **1954**, *91*, 143–144.
8. Mehrholz, J.; Wagner, K.; Meissner, D.; Grundmann, K.; Zange, C.; Koch, R.; Pohl, M. Reliability of the Modified Tardieu Scale and the Modified Ashworth Scale in Adult Patients with Severe Brain Injury: A Comparison Study. *Clin. Rehabil.* **2005**, *19*, 751–759, doi:10.1191/0269215505cr889oa.
9. Ahmad Puzi, A.; Sidek, S.N.; Mat Rosly, H.; Daud, N.; Md Yusof, H. Modified Ashworth Scale (MAS) Model Based on Clinical Data Measurement towards Quantitative Evaluation of Upper Limb Spasticity. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **2017**, *260*, 012024, doi:10.1088/1757-899X/260/1/012024.
10. Ansari, N.N.; Naghdi, S.; Hasson, S.; Rastgoo, M.; Amini, M.; Forogh, B. Clinical Assessment of Ankle Plantarflexor Spasticity in Adult Patients after Stroke: Inter-and Intra-Rater Reliability of the Modified Tardieu Scale. *Brain Inj.* **2013**, *27*, 605–612, doi:10.3109/02699052.2012.750744.
11. Ashworth, B. PRELIMINARY TRIAL OF CARISOPRODOL IN MULTIPLE SCLEROSIS. *The Practitioner* **1964**, *192*, 540–542.
12. Li, F.; Wu, Y.; Li, X. Test-Retest Reliability and Inter-Rater Reliability of the Modified Tardieu Scale and the Modified Ashworth Scale in Hemiplegic Patients with Stroke. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* **2014**, *50*, 9–15.
13. Malhotra, S.; Pandyan, A.D.; Day, C.R.; Jones, P.W.; Hermens, H. Spasticity, an Impairment That Is Poorly Defined and Poorly Measured. *Clin. Rehabil.* **2009**, *23*, 651–658, doi:10.1177/0269215508101747.

14. Fleuren, J.F.M.; Voerman, G.E.; Erren-Wolters, C.V.; Snoek, G.J.; Rietman, J.S.; Hermens, H.J.; Nene, A.V. Stop Using the Ashworth Scale for the Assessment of Spasticity. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* **2010**, *81*, 46–52, doi:10.1136/jnnp.2009.177071.
15. Klassen, T.D.; Simpson, L.A.; Lim, S.B.; Louie, D.R.; Parappilly, B.; Sakakibara, B.M.; Zbogar, D.; Eng, J.J. "Stepping Up" Activity Poststroke: Ankle-Positioned Accelerometer Can Accurately Record Steps During Slow Walking. *Phys. Ther.* **2016**, *96*, 355–360, doi:10.2522/ptj.20140611.
16. Kim, J.-Y.; Park, G.; Lee, S.-A.; Nam, Y. Analysis of Machine Learning-Based Assessment for Elbow Spasticity Using Inertial Sensors. *Sensors* **2020**, *20*, 1622, doi:10.3390/s20061622.
17. Aprile, I.; Cruciani, A.; Germanotta, M.; Gower, V.; Pecchioli, C.; Cattaneo, D.; Vannetti, F.; Padua, L.; Gramatica, F. Upper Limb Robotics in Rehabilitation: An Approach to Select the Devices, Based on Rehabilitation Aims, and Their Evaluation in a Feasibility Study. *Appl. Sci.* **2019**, *9*, 3920, doi:10.3390/app9183920.
18. Nielsen, J.; Landauer, T.K. A Mathematical Model of the Finding of Usability Problems. In Proceedings of the Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '93; ACM Press: Amsterdam, The Netherlands, 1993; pp. 206–213.
19. Guerriero, I.C.Z.; Minayo, M.C. The Approval of Resolution CNS No. 510/2016 Is a Progress for Brazilian Science. *Saúde E Soc.* **2019**, *28*, 299–310, doi:https://doi.org/10.1590/S0104-12902019190232.
20. Saatchi, R. Fuzzy Logic Concepts, Developments and Implementation. *Information* **2024**, *15*, 656, doi:10.3390/info15100656.
21. Posselt, E.L. InFuzzy - Ferramenta para desenvolvimento de aplicações de sistemas difusos. **2011**.
22. dos Santos, E.L.; Scheeren, E.M.; Nogueira-Neto, G.N.; Krueger, E.; Peixoto, N.; Nohama, P. Mechanomyography-Based Metric Scale for Spasticity: A Pilot Descriptive Observational Study. *Sensors* **2024**, *24*, 5276, doi:10.3390/s24165276.
23. dos Santos, E.L.; Scheeren, E.M.; Nogueira-Neto, G.N.; Krueger, E.; Peixoto, N.; Nohama, P. Mechanomyography-Based Metric Scale for Spasticity: A Pilot Descriptive Observational Study. *Sensors* **2024**, *24*, 5276, doi:10.3390/s24165276.
24. Olczak, A.; Truszczyńska-Baszak, A.; Stępień, A.; Bryll, K. Effect of the Trunk and Upper Limb Passive Stabilization on Hand Movements and Grip Strength Following Various Types of Strokes—An Observational Cohort Study. *Brain Sci.* **2022**, *12*, 1234, doi:10.3390/brainsci12091234.
25. Rúbio, G. de P.; Martins Ferreira, F.M.R.; Brandão, F.H. de L.; Machado, V.F.; Tonelli, L.G.; Martins, J.S.R.; Kozan, R.F.; Vimieiro, C.B.S. Evaluation of Commercial Ropes Applied as Artificial Tendons in Robotic Rehabilitation Orthoses. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 920, doi:10.3390/app10030920.
26. Koroleva, E.S.; Tolmachev, I.V.; Alifirova, V.M.; Boiko, A.S.; Levchuk, L.A.; Loonen, A.J.M.; Ivanova, S.A. Serum BDNF's Role as a Biomarker for Motor Training in the Context of AR-Based Rehabilitation after Ischemic Stroke. *Brain Sci.* **2020**, *10*, 623, doi:10.3390/brainsci10090623.
27. Olczak, A.; Truszczyńska-Baszak, A.; Stępień, A. The Use of Armeo®Spring Device to Assess the Effect of Trunk Stabilization Exercises on the Functional Capabilities of the Upper Limb—An Observational Study of Patients after Stroke. *Sensors* **2022**, *22*, 4336, doi:10.3390/s22124336.

28. Olczak, A.; Truszczyńska-Baszak, A. Assessment of the Impact of the Tipstim® Device Application and the Study Position on Motor Coordination and Grip Strength of the Affected Upper Limb Post-Ischemic Stroke—A Randomized Parallel Crossover Trial. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 2761, doi:10.3390/app12062761.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um dispositivo vestível capaz de quantificar o grau de espasticidade em membros superiores utilizando sensores inerciais, como acelerômetros e giroscópios, e correlacionando os dados obtidos com a Escala Modificada de Ashworth (EMA). O dispositivo foi projetado para ser portátil, de baixo custo e de fácil uso, visando aplicações clínicas e laboratoriais no monitoramento biomecânico de pacientes com espasticidade em membro superior, especialmente em decorrência de Acidente Vascular Cerebral (AVC).

O desenvolvimento do dispositivo incluiu a integração de hardware e software para a coleta e exibição de dados biomecânicos em tempo real. O sistema apresentou resultados promissores, possibilitando a coleta de dados de aceleração, os quais foram correlacionados com os níveis de espasticidade estabelecidos pela EMA. A interface gráfica implementada demonstrou ser intuitiva e acessível, facilitando a interpretação dos resultados tanto por profissionais de saúde quanto por pesquisadores.

A validação preliminar do dispositivo demonstrou sua eficácia em medir os parâmetros biomecânicos relevantes e apresentá-los de forma clara e compreensível. Além disso, o dispositivo se mostrou capaz de exportar os dados coletados via BLE (Bluetooth Low Energy), permitindo análises detalhadas em plataformas externas.

Apesar dos avanços alcançados, este trabalho enfrenta algumas limitações, incluindo a necessidade de estudos clínicos mais abrangentes para validar os resultados em diferentes contextos e populações. Além disso, futuros aprimoramentos podem incluir, melhorias no design ergonômico e a integração de algoritmos avançados para análise preditiva dos dados coletados.

As perspectivas futuras para este dispositivo incluem sua aplicação como uma ferramenta complementar na reabilitação de pacientes com espasticidade, bem como sua utilização em estudos científicos para aprofundar a compreensão sobre as características biomecânicas dessa condição. Adicionalmente, o dispositivo pode ser adaptado para outras aplicações no campo da saúde, como o monitoramento de distúrbios neuromusculares e o controle de próteses.

Em conclusão, o dispositivo desenvolvido neste estudo representa uma contribuição significativa para a avaliação objetiva da espasticidade, oferecendo uma alternativa prática e acessível aos métodos tradicionais de avaliação. Seu impacto na reabilitação e na pesquisa biomédica reforça a relevância deste trabalho e aponta para futuras inovações na área de dispositivos vestíveis e tecnologias assistivas.

REFERÊNCIAS

1. Adeel, M.; Peng, C.-W.; Lee, I.-J.; Lin, B.-S. Prediction of Spasticity through Upper Limb Active Range of Motion in Stroke Survivors: A Generalized Estimating Equation Model. *Bioengineering* **2023**, *10*, 1273, doi:10.3390/bioengineering10111273.
2. Mancuso, M.; Tondo, S.D.; Costantini, E.; Damora, A.; Sale, P.; Abbruzzese, L. Action Observation Therapy for Upper Limb Recovery in Patients with Stroke: A Randomized Controlled Pilot Study. *Brain Sci.* **2021**, *11*, 290, doi:10.3390/brainsci11030290.
3. Yang, Y.-S.; Emzain, Z.F.; Huang, S.-C. Biomechanical Evaluation of Dynamic Splint Based on Pulley Rotation Design for Management of Hand Spasticity. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* **2021**, *29*, 683–689, doi:10.1109/TNSRE.2021.3068453.
4. Turcu-Stiolica, A.; Subtirelu, M.-S.; Bumbea, A.-M. Can Incobotulinumtoxin-A Treatment Improve Quality of Life Better Than Conventional Therapy in Spastic Muscle Post-Stroke Patients? Results from a Pilot Study from a Single Center. *Brain Sci.* **2021**, *11*, 934, doi:10.3390/brainsci11070934.
5. Aprile, I.; Cruciani, A.; Germanotta, M.; Gower, V.; Pecchioli, C.; Cattaneo, D.; Vannetti, F.; Padua, L.; Gramatica, F. Upper Limb Robotics in Rehabilitation: An Approach to Select the Devices, Based on Rehabilitation Aims, and Their Evaluation in a Feasibility Study. *Appl. Sci.* **2019**, *9*, 3920, doi:10.3390/app9183920.
6. Sommerfeld, D.K.; Eek, E.U.-B.; Svensson, A.-K.; Holmqvist, L.W.; Von Arbin, M.H. Spasticity After Stroke: Its Occurrence and Association With Motor Impairments and Activity Limitations. *Stroke* **2004**, *35*, 134–139, doi:10.1161/01.STR.0000105386.05173.5E.
7. Gomez-Cuaresma, L.; Lucena-Anton, D.; Gonzalez-Medina, G.; Martin-Vega, F.J.; Galan-Mercant, A.; Luque-Moreno, C. Effectiveness of Stretching in Post-Stroke Spasticity and Range of Motion: Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Pers. Med.* **2021**, *11*, 1074, doi:10.3390/jpm11111074.
8. Plaza, A.; Hernandez, M.; Puyuelo, G.; Garces, E.; Garcia, E. Lower-Limb Medical and Rehabilitation Exoskeletons: A Review of the Current Designs. *IEEE Rev. Biomed. Eng.* **2023**, *16*, 278–291, doi:10.1109/RBME.2021.3078001.
9. Cacho, R. de O.; Cacho, E.W.A.; Loureiro, A.B.; Cirne, G.N. de M.; Pereira, S.A.; Freitas, R.P. de A.; Lima, N.M.F.V.; Borges, G. A espasticidade no comprometimento motor e funcional de hemiparéticos pós acidente vascular cerebral.
10. Adams, M.M.; Hicks, A.L. Spasticity after Spinal Cord Injury. *Spinal Cord* **2005**, *43*, 577–586, doi:10.1038/sj.sc.3101757.
11. Cruz, E.C. Espasticidade: atualização sobre fisiopatologia e tratamento. masterThesis, 2023.

12. Glinsky, J. Tardieu Scale. *J. Physiother.* **2016**, *62*, 229, doi:10.1016/j.jphys.2016.07.007.
13. Yoo, M.; Ahn, J.H.; Rha, D.; Park, E.S. Reliability of the Modified Ashworth and Modified Tardieu Scales with Standardized Movement Speeds in Children with Spastic Cerebral Palsy. *Children* **2022**, *9*, 827, doi:10.3390/children9060827.
14. Araujo, E.A.T.; Filho, B.F. de L.; Silva, A.C.M.B. da; Melo, M.C.S. de; Gazzola, J.M.; Cavalcanti, F.A. da C. A utilização do Índice de Barthel em idosos brasileiros: uma revisão de literatura. *Rev. Kairós-Gerontol.* **2020**, *23*, 217–231, doi:10.23925/2176-901X.2020v23i2p217-231.
15. Minosso, J.S.M.; Amendola, F.; Alvarenga, M.R.M.; Oliveira, M.A. de C. Validação, no Brasil, do Índice de Barthel em idosos atendidos em ambulatórios. *Acta Paul. Enferm.* **2010**, *23*, 218–223, doi:https://doi.org/10.1590/S0103-21002010000200011.
16. Ribeiro, D.K. de M.N.; Lenardt, M.H.; Lourenço, T.M.; Betiolli, S.E.; Seima, M.D.; Guimarães, C.A. O emprego da medida de independência funcional em idosos. *Rev. Gaúcha Enferm.* **2018**, *38*, doi:https://doi.org/10.1590/1983-1447.2017.04.66496.
17. Tancredo, J.R.; Maria, R.M.; Azevedo, E.R.F.B.M. de; Alonso, K.C.; Varoto, R.; Cliquet Junior, A. Análise clinica da espasticidade em indivíduos com lesão medular. *Acta Ortopédica Bras.* **2013**, *21*, 310–314, doi:https://doi.org/10.1590/S1413-78522013000600002.
18. Bohannon, R.W.; Smith, M.B. Interrater Reliability of a Modified Ashworth Scale of Muscle Spasticity. *Phys. Ther.* **1987**, *67*, 206–207, doi:10.1093/ptj/67.2.206.
19. Cè, M.; D'Amico, N.C.; Danesini, G.M.; Foschini, C.; Oliva, G.; Martinenghi, C.; Cellina, M. Ultrasound Elastography: Basic Principles and Examples of Clinical Applications with Artificial Intelligence—A Review. *BioMedInformatics* **2023**, *3*, 17–43, doi:10.3390/biomedinformatics3010002.
20. Krueger, E.; Scheeren, E.M.; Nogueira-Neto, G.N.; Button, V.L. da S.N.; Nohama, P. A New Approach to Assess the Spasticity in Hamstrings Muscles Using Mechanomyography Antagonist Muscular Group. *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. Annu. Int. Conf.* **2012**, *2012*, 2060–2063, doi:10.1109/EMBC.2012.6346364.
21. dos Santos, E.L.; Scheeren, E.M.; Nogueira-Neto, G.N.; Krueger, E.; Peixoto, N.; Nohama, P. Mechanomyography-Based Metric Scale for Spasticity: A Pilot Descriptive Observational Study. *Sensors* **2024**, *24*, 5276, doi:10.3390/s24165276.
22. Cha, Y.; Arami, A. Quantitative Modeling of Spasticity for Clinical Assessment, Treatment and Rehabilitation. *Sensors* **2020**, *20*, 5046, doi:10.3390/s20185046.
23. Öhberg, F.; Bäcklund, T.; Sundström, N.; Grip, H. Portable Sensors Add Reliable Kinematic Measures to the Assessment of Upper Extremity Function. *Sensors* **2019**, *19*, 1241, doi:10.3390/s19051241.
24. Iandolo, R.; Marini, F.; Semprini, M.; Laffranchi, M.; Mugnosso, M.; Cherif, A.; De Michieli, L.; Chiappalone, M.; Zenzeri, J. Perspectives and Challenges in Robotic Neurorehabilitation. *Appl. Sci.* **2019**, *9*, 3183, doi:10.3390/app9153183.

25. Compagnat, M.; Batcho, C.S.; David, R.; Vuillerme, N.; Salle, J.Y.; Daviet, J.C.; Mandigout, S. Validity of the Walked Distance Estimated by Wearable Devices in Stroke Individuals. *Sensors* **2019**, *19*, 2497, doi:10.3390/s19112497.
26. Kim, J.-Y.; Park, G.; Lee, S.-A.; Nam, Y. Analysis of Machine Learning-Based Assessment for Elbow Spasticity Using Inertial Sensors. *Sensors* **2020**, *20*, 1622, doi:10.3390/s20061622.
27. Prediction of Spasticity through Upper Limb Active Range of Motion in Stroke Survivors: A Generalized Estimating Equation Model Available online: https://www.mdpi.com/2306-5354/10/11/1273 (accessed on 11 December 2024).
28. Seim, C.E.; Ritter, B.; Starner, T.E.; Flavin, K.; Lansberg, M.G.; Okamura, A.M. Design of a Wearable Vibrotactile Stimulation Device for Individuals With Upper-Limb Hemiparesis and Spasticity. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng. Publ. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* **2022**, *30*, 1277–1287, doi:10.1109/TNSRE.2022.3174808.
29. López-Nava, I.H.; Muñoz-Meléndez, A. Wearable Inertial Sensors for Human Motion Analysis: A Review. *IEEE Sens. J.* **2016**, *16*, 7821–7834, doi:10.1109/JSEN.2016.2609392.
30. Upper Limb Kinematics Using Inertial and Magnetic Sensors: Comparison of Sensor-to-Segment Calibrations Available online: https://www.mdpi.com/1424-8220/15/8/18813 (accessed on 21 November 2024).
31. Olczak, A.; Truszczyńska-Baszak, A.; Stępień, A. The Use of Armeo®Spring Device to Assess the Effect of Trunk Stabilization Exercises on the Functional Capabilities of the Upper Limb—An Observational Study of Patients after Stroke. *Sensors* **2022**, *22*, 4336, doi:10.3390/s22124336.
32. Guk, K.; Han, G.; Lim, J.; Jeong, K.; Kang, T.; Lim, E.-K.; Jung, J. Evolution of Wearable Devices with Real-Time Disease Monitoring for Personalized Healthcare. *Nanomaterials* **2019**, *9*, 813, doi:10.3390/nano9060813.
33. Al-Ayyad, M.; Owida, H.A.; De Fazio, R.; Al-Naami, B.; Visconti, P. Electromyography Monitoring Systems in Rehabilitation: A Review of Clinical Applications, Wearable Devices and Signal Acquisition Methodologies. *Electronics* **2023**, *12*, 1520, doi:10.3390/electronics12071520.

APÊNDICE A – ARTIGO – REVISTA CIENTÍFICA UMC (SUMMIT)

1º SUMMIT UMC
PESQUISA, INOVAÇÃO E EXTENSÃO

Revista Científica UMC | RCUMC | ISSN: 2525-5150
DOI:

Tratamento interdisciplinar na disfunção temporomandibular: uma revisão integrativa com abordagem fisioterapêutica e odontológica

Interdisciplinary treatment for temporomandibular disorders: an integrative review with a physiotherapeutic and dental approach

Tratamiento interdisciplinario de los trastornos temporomandibulares: una revisión integradora con un enfoque fisioterapéutico y odontológico

Ludimila Ribeiro Fialho da Silva [1]
Tathiane Nayara de Oliveira Rocha[1]
Silvio José Santos da Rocha[1]
Silvia Regina Matos da Silva Boschi[1]
Terigi Augusto Scardovelli[1]
Caio Junji Tanaka[1]

Tipo de Publicação: Artigo Completo
Área do Conhecimento: Área Saúde

1 Núcleo de Pesquisa e Tecnologia (NPT), Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, SP, Brasil.

SUBMETIDO EM: 11/2023 | **ACEITO EM: 12/2023** | **PUBLICADO EM: 12/2023**

ANEXO A – NORMAS DO PERIÓDICO ACERVO SAÚDE

Normas e Diretrizes de Publicação – Acervo Saúde.

A Revista Acervo Saúde segue as seguintes diretrizes e padrões para seus periódicos de Revisão Integrativa:

Definição: Tem o propósito analítico-observacional dedicado à relevância e ao impacto de temas de interesse científico. Deve objetivar responder a uma pergunta específica e de relevância. Descreve o processo e os critérios utilizados para a pesquisa e seleção dos estudos originais incluídos na revisão e os procedimentos empregados na avaliação e categorização dos artigos. Para que a pesquisa tenha abrangência é necessário que se utilize de metodologia de busca com o uso de bases de periódicos científicos de qualidade como: Acervo+ Index base, Scielo, PubMed, MEDLINE, entre outras.

Estrutura: Introdução, Métodos, Resultados, Discussão, Considerações finais e Referências. *Resultados e Discussão podem ser apresentados juntos.

Tamanho: Mínimo 3.000 e máximo de 3.500 palavras (excluindo títulos, resumos, palavras-chave, figuras, quadros, tabelas, legendas e lista de referências).

Ética: Não é permitida a prática de cópia de textos e nem a veiculação de imagens de terceiros, respeitando as leis de Direitos Autorais vigentes (LEI Nº 9.610/1988 e Nº 10.695/2003). Todas as referências devem ser citadas de forma correta..

ANEXO B – CARTA DE REGISTRO, CERTIFICADO E PRODUÇÃO TÉCNICA -

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

870240105615
11/12/2024 14:32
29409192330515160

Pedido de Registro de Programa de Computador - RPC

Número do Processo: 512024004893-6

Dados do Titular

Titular 1 de 2

Nome ou Razão Social: MARIANA DA PALMA VALÉRIO
Tipo de Pessoa: Pessoa Fisica
CPF/CNPJ: 36714841876
Nacionalidade: Brasileira
Qualificação Física: Doutorando
Endereço: Rua Cônego José Francisco Monteiro
Cidade: São José dos Campos
Estado: SP
CEP: 12216180
País: Brasil
Telefone:
Fax:
Email: marianavalerio566@gmail.com

Titular 2 de 2

Nome ou Razão Social: SILVIO JOSÉ SANTOS DA ROCHA
Tipo de Pessoa: Pessoa Fisica
CPF/CNPJ: 38075169808
Nacionalidade: Brasileira
Qualificação Física: Engenheiro, arquiteto e afins
Endereço: Rua Francisco Gouveia Reis Jr
Cidade: Mogi das Cruzes
Estado: SP
CEP: 08725-190
País: BRASIL
Telefone:
Fax:
Email: silvio.emec@gmail.com

Dados do Programa

Data de Publicação: 27/11/2024
Data de Criação: 01/10/2024

- § 2º do art. 2º da Lei 9.609/98: "Fica assegurada a tutela dos direitos relativos a programa de computador pelo prazo de cinquenta anos contados a partir de 1º de janeiro do ano subsequente ao da sua publicação ou, na ausência desta, da sua criação"

Título: DISPOSITIVO PARA QUANTIFICAR O GRAU DE ESPASTICIDADE EM MEMBROS SUPERIORES UTILIZANDO A ESCALA MODIFICADA DE ASHWORTH

Algorítimo hash: Outros
Nome do Algorítmo: SHA
Resumo digital hash: dec000933246144d7e37b07effb4ca290eb1bac7

§1º e Incisos VI e VII do §2º do Art. 2º da Instrução Normativa: O titular é o responsável único pela transformação, em resumo digital hash, dos trechos do programa de computador e demais dados considerados suficientes para identificação e caracterização, que serão motivo do registro. O titular terá a inteira responsabilidade pela guarda da informação sigilosa definida no inciso III, § 1º, art. 3º da Lei 9.609 de 19 de fevereiro de 1998.

Linguagem: C++

Campo de Aplicação: SD09-ENGENHARIA BIOMÉDICA, CIÊNCIAS PARAMÉDICAS (BIOENGENHARIA, BIOTECNOLOGIA, ENFERMAGEM, OPTOMETRIA, FONOAUDIOLOGIA)

Tipo de Programa: IT02 - INSTRUMENTAÇÃO DE TESTE E MEDIÇÃO

IT01 - INSTRUMENTAÇÃO

Dados do Autor

Autor 1 de 2

Nome: SILVIO ROCHA

CPF: 38075169808

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Engenheiro, arquiteto e afins

Endereço: Rua Francisco Gouveira Reis Jr.

Cidade: Mogi das Cruzes

Estado: SP

CEP: 08725-190

País: BRASIL

Telefone: (11) 980 159171

Fax:

Email: silvio.emec@gmail.com

Autor 2 de 2

Nome: ALESSANDRO PEREIRA DA SILVA

CPF: 29731667806

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Pesquisador

Endereço: Av. Dr. Candido X. de Almeida e Souza

Cidade: Mogi das Cruzes

Estado: SP

CEP: 08780-911

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Declaração de Veracidade - DV

Nome: declaracaoVeracidade-assinado.pdf

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: **BR512024004893-6**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1° de janeiro subsequente à data de 27/11/2024, em conformidade com o §2°, art. 2° da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: DISPOSITIVO PARA QUANTIFICAR O GRAU DE ESPASTICIDADE EM MEMBROS SUPERIORES UTILIZANDO A ESCALA MODIFICADA DE ASHWORTH

Data de publicação: 27/11/2024

Data de criação: 01/10/2024

Titular(es): MARIANA DA PALMA VALÉRIO; SILVIO JOSÉ SANTOS DA ROCHA

Autor(es): ALESSANDRO PEREIRA DA SILVA; SILVIO ROCHA

Linguagem: C++

Campo de aplicação: SD-09

Tipo de programa: IT-01; IT-02

Algoritmo hash: OUTROS

Resumo digital hash: dec000933246144d7e37b07effb4ca290eb1bac7

Expedido em: 17/12/2024

Aprovado por:
Joelson Gomes Pequeno
Chefe Substituto da DIPTO - PORTARIA/INPI/DIRPA Nº 02, DE 10 DE FEVEREIRO DE 2021

PRODUÇÃO TÉCNICA

SOFTWARE/APLICATIVO - PROGRAMA DE COMPUTADOR

Campos descritivos obrigatórios*:

Descrição da finalidade do software:

O software desenvolvido quantifica a espasticidade em membros superiores utilizando dados do acelerômetro MPU6050 e correlaciona-os com a Escala Modificada de Ashworth (EMA). Ele fornece análises em tempo real e exportáveis, auxiliando no monitoramento clínico de pacientes pós-AVC, oferecendo uma interface intuitiva diretamente no display do dispositivo vestível.

Avanços tecnológicos/grau de novidade:

O software integra sensores inerciais para análise biomecânica e correlaciona dados cinemáticos com a EMA em tempo real. Conta com interface gráfica intuitiva, exportação de dados para plataformas externas e portabilidade para otimizar a reabilitação clínica. Seu diferencial está na combinação de análise objetiva e acessibilidade ao paciente e profissionais da saúde.

( ) Produção com alto teor inovativo: Desenvolvimento com base em conhecimento inédito;
(X) Produção com médio teor inovativo: Combinação de conhecimentos pré-estabelecidos;
( ) Produção com baixo teor inovativo: Adaptação de conhecimento existente;
( ) Produção sem inovação aparente: Produção técnica.

Definir se a produção é resultado do trabalho realizado pelo programa de pós-graduação ou se é resultado do trabalho individual do docente, o qual seria realizado independentemente do mesmo se docente de um programa ou não:

Docentes Autores:
Nome: Alessandro Pereira da Silva CPF: 297.316.678-06 (X) Permanente; ( ) Colaborador

Discentes Autores:
Nome: Silvio José Santos da Rocha ___ CPF: 380.751.698-08 _ (X) Mest Acad; ( ) Doutorado
Nome: Mariana Da Palma Valério ____ CPF:_ 36714841876 ___ ( ) Mest Acad; (X) Doutorado
Nome: _____CPF:_____ ( ) Mest Acad; ( ) Doutorado
Nome: _____CPF:_____ ( ) Mest Acad; ( ) Doutorado
Nome: _____CPF:_____ ( ) Mest Acad; ( ) Doutorado

Demais Autores:
Nome: _____CPF:_____Organização:_____
Nome: _____CPF:_____Organização:_____
Nome: _____CPF:_____Organização:_____
Nome: _____CPF:_____Organização:_____

Conexão com a Pesquisa
Projeto de Pesquisa vinculado à produção: Protótipo de dispositivo para quantificar grau de espasticidade em membro superior.

Linha de Pesquisa vinculada à produção: Desenvolvimento de Software e Dispositivos Biomédicos.

( ) Projeto isolado, sem vínculo com o Programa de Pós-graduação

Conexão com a Produção Científica:

Relacione os artigos publicados apenas em periódicos que estão co-relacionados a esta produção:
a) Título: *Wearable Device for Quantifying Spasticity in Upper Limbs of Post-Stroke Patients Using Inertial Sensors and the Modified Ashworth Scale.*
Periódico: IOPScience - *Biomedical Physics & Engineering Express* (Submetido)
Outros dados: Ano: 2025 | Qualis Engenharias IV: A4

Campos descritivos opcionais*:

Situação atual da Produção:

( ) Piloto/Protótipo
( ) Em teste
(X) Finalizado/implantado
( ) Pedido de registro depositado no INPI, nº _____
(X) Registro concedido no INPI, nº **BR512024004893-6**_____
( ) Licenciado para empresa/organização
Dados da Entrega/Implantação (se licenciado)
Data da entrega: __/___/____
Nome da Empresa/Organização cliente: _____
Endereço:_____ Cidade: _____ Estado____
Contato na Empresa/Organização cliente:
Nome:_____Cargo:_____ email:_____Tel ( ) _____
( ) Registro em repositório específico

Recursos e vínculos da Produção Tecnológica
Data início: 23/10/2023
Data término: 02/08/2024
Total investido: R$ 775,00
Fonte do Financiamento: Recursos próprios

Descrição da Abrangência realizada:
O software foi implementado em um dispositivo vestível para avaliação clínica da espasticidade. Sua validação foi realizada em ambiente acadêmico e laboratorial, onde cinco profissionais da área da saúde avaliaram a usabilidade do sistema por meio da Escala SUS (System Usability Scale). Os testes permitiram verificar a interface, funcionalidade e aplicabilidade do dispositivo, contribuindo para a pesquisa na área de reabilitação neuromuscular e demonstrando seu potencial para futuras aplicações clínicas.

Descrição da Abrangência potencial:
O software pode ser utilizado em clínicas de reabilitação e hospitais, auxiliando fisioterapeutas no acompanhamento inicialmente de pacientes pós-AVC. Ele pode ser expandido para outras patologias neuromusculares, sendo integrado a aplicativos mobile para monitoramento remoto da espasticidade e personalização de terapias.

Descrição da Replicabilidade:
O software pode ser replicado para outros dispositivos vestíveis que utilizam sensores inerciais para análise biomecânica. Ele pode ser adaptado para diferentes condições motoras, como Paralisia Cerebral e Esclerose Múltipla, através da calibração dos parâmetros de movimento para novos perfis de pacientes.

Natureza: Computacional
Finalidade: Avaliação biomecânica e reabilitação
Plataforma: Microcontroladores ESP32-T-Display S3 com interface para aplicativos móveis
Ambiente: Clínico e laboratorial
Disponibilidade: Restrita
Instituição Financiadora: Recursos próprios
Cidade: Mogi das Cruzes
País: Brasil
Divulgação: Meio digital e científico
URL:
https://github.com/Silvi0Rocha/Spasticity/commit/dec000933246144d7e37b07effb4ca290eb1bac7

A produção necessita estar no repositório?
Documentos Anexados (em PDF)
( ) Declaração emitida pela organização cliente
(X) Outros documentos emitidos por órgãos públicos ou privados (registro INPI, Fundações Estaduais de Apoio, laboratórios de testes, Inmetro, repositórios de software....)
( ) Código fonte do programa

ANEXO C – NORMAS DO PERIÓDICO BPEX- BIOMEDICAL PHYSICS & ENGINEERING EXPRESS

Normas e Diretrizes de Publicação - BPEX

ICMJE:

Os artigos submetidos ao **BPEX** devem seguir as recomendações do Comitê Internacional de Editores de Periódicos Médicos, cobrindo todos os aspectos da edição e revisão por pares. Isso inclui também o tratamento de reclamações e a transparência em práticas editoriais.

Declaração de Helsinque:

Pesquisas que envolvem participantes humanos devem seguir os princípios da Declaração de Helsinque e os requisitos legais locais. Ensaios clínicos devem ser acompanhados por registros apropriados.

Conformidade Ética:

A pesquisa envolvendo humanos ou animais deve ser conduzida em conformidade com as diretrizes éticas aplicáveis. Autores devem fornecer declarações de aprovação ética ou justificativas para isenções.

Processo de Revisão por Pares:

Todos os manuscritos passam por uma revisão rigorosa, garantindo qualidade e relevância científica. Autores podem optar entre revisão simples-cega ou dupla-cega.

Normas para Declaração de Conflitos de Interesse:

Os autores devem divulgar quaisquer conflitos de interesse potenciais relacionados à pesquisa, incluindo apoio financeiro, vínculos institucionais ou patentes relacionadas ao estudo.

Normas de Acesso Aberto:

O periódico adota políticas de acesso aberto, permitindo que os artigos publicados estejam amplamente disponíveis para a comunidade científica.

Plágio e Originalidade:

Manuscritos submetidos ao BPEX são avaliados por ferramentas de detecção de plágio, como o iThenticate, para garantir a originalidade e evitar má conduta científica.

Requisitos para Dados de Pesquisa:

Os autores são incentivados a disponibilizar seus dados de pesquisa em repositórios apropriados para promover a transparência e a reprodutibilidade.

ANEXO D – COLABORAÇÃO EM ARTIGOS – CUADERNOS DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO

CUADERNOS DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO
Europub European Publications
ISSN: 1989-4155

DOI: 10.55905/cuadv16n13-018

Receipt of originals: 10/18/2024
Acceptance for publication: 11/08/2024

Mocks fluido-mecânicos de simulação do sistema cardiovascular: uma revisão de literatura

Computational fluid dynamics models for simulating the cardiovascular system: a literature review

Modelos de dinámica de fluidos computacional para simular el sistema cardiovascular: una revisión de la literatura

Fausto Mori Viana
Doutorando em Engenharia Biomédica
Instituição: Núcleo de Pesquisas Tecnológicas, Universidade de Mogi das Cruzes (UMC)
Endereço: Avenida Dr. Cândido Xavier de Almeida e Souza, 200, Mogi das Cruzes - SP, Brasil, CEP: 08780-911
E-mail: faustoviana@umc.br

Matheus Leonardo Alves de Camargo
Doutorando em Engenharia Biomédica
Instituição: Núcleo de Pesquisas Tecnológicas, Universidade de Mogi das Cruzes (UMC)
Endereço: Avenida Dr. Cândido Xavier de Almeida e Souza, 200, Mogi das Cruzes - SP, Brasil, CEP: 08780-911
E-mail: matheus.leonardo675@gmail.com

Silvio José Santos da Rocha
Mestrando em Engenharia Biomédica
Instituição: Núcleo de Pesquisas Tecnológicas, Universidade de Mogi das Cruzes (UMC)
Endereço: Avenida Dr. Cândido Xavier de Almeida e Souza, 200, Mogi das Cruzes - SP, Brasil, CEP: 08780-911
E-mail: silvio.emec@gmail.com

Alessandro Pereira da Silva
Doutor em Engenharia Biomédica
Instituição: Núcleo de Pesquisas Tecnológicas, Universidade de Mogi das Cruzes (UMC)
Endereço: Avenida Dr. Cândido Xavier de Almeida e Souza, 200, Mogi das Cruzes - SP, Brasil, CEP: 08780-911
E-mail: alessandrops@umc.br

ANEXO E – COLABORAÇÃO EM ARTIGOS – MATERIALS - MDPI

materials

MDPI

Artigo

Instrumento de Liberação Miofascial Vestível em Impressão 3D Projetado e Personalizado

Tathiane Nayara de Oliveira Rocha *, Silvia Regina Matos da Silva Boschi, Silvio José Santos da Rocha, Alessandro Pereira da Silva, Silvia Cristina Martini, Terigi Augusto Scardovelli e Tabajara de Oliveira Gonzalez

Universidade de Mogi das Cruzes (UMC), Núcleo de Pesquisa e Tecnologia (NPT), Mogi das Cruzes, SP, Brasil; silviojoserocha@gmail.com (S.J.S.R.); boschi@umc.br (S.R.M.S.B.); alessandrops@umc.br (A.P.S.); silviac@umc.br (S.C.M.); terigiscardovelli@umc.br (T.A.S.); tabajaragonzalez@umc.br (T.O.G.)

* Correspondência: tathianenayara@gmail.com; Tel.: +55 11 98015-9272

Resumo: A técnica de liberação miofascial é utilizada na prática clínica dos fisioterapeutas e o uso de Instrumentos de Mobilização Assistida de Tecidos Moles "IASTM" permite aos fisioterapeutas atingirem a profundidade desejada no tecido mole sem que haja um aumento no esforço físico, protegendo secundariamente a articulação da mão. A indústria médica é aquela que se beneficiou muito com o advento da tecnologia de manufatura aditiva, conhecida como impressão tridimensional (3D). Sendo assim, o objetivo deste estudo é desenvolver um instrumento de liberação miofascial vestível aos fisioterapeutas, que seja de baixo custo, confeccionada através de impressão 3D. O presente estudo se divide basicamente em quatro etapas: elaboração de molde em massa de modelar; aferição da antropometria da mão de um profissional como base referencial; construção do protótipo em software de design assistido por computador (CAD); e a manufatura aditiva. Desenvolvida em material PLA e TPU, obtivemos uma peça com custo de material em PLA de aproximadamente $0.45, e em TPU de aproximadamente $ 0,74. Com o estudo tem-se que a fabricação de um instrumento de liberação miofascial vestível com a impressão 3D é viável e os próximos passos será sua validação através do teste de usabilidade dentre outros.

Palavras-chave: manufatura aditiva; liberação miofascial; mobilização de tecidos moles assistida por instrumento

Citação: A ser adicionada pela equipe editorial durante a produção.

Editor Acadêmico: Nome Sobrenome

Recebido: data
Revisado: data
Aceito: data
Publicado: data

Copyright: © 2024 pelos autores. Enviado para possível publicação de acesso aberto sob os termos e condições da licença Creative Commons Attribution (CC BY) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introdução

Os Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT), anteriormente conhecidos apenas como Lesões por Esforços Repetitivos (LER), tornaram-se um grave problema de saúde, afetando cerca de 30% da população mundial com mais de 25 anos, e são as principais causas de afastamento do trabalho [1]. Para os fisioterapeutas, essa é uma preocupação significativa, uma vez que dependem da biomecânica do corpo para realizar técnicas de tratamento, e utilizam suas mãos como principal instrumento de trabalho [2, 3].

Estas lesões musculoesqueléticas estão diretamente associadas aos profissionais que atuam utilizando a técnica de liberação miofascial. E com isso, a utilização de instrumentos foi inserida nessa prática para poder auxiliar os terapeutas e diminuir seus esforços físicos[4].

Estudos recentes mostraram que o uso de Instrumentos de Mobilização Assistida de Tecidos Moles "IASTM" permite aos fisioterapeutas atingirem a profundidade desejada no tecido mole sem que haja um aumento no esforço físico, protegendo secundariamente a articulação da mão. Entretanto o custo desse instrumento é um pouco elevado por ser confeccionado em aço inoxidável[5].

Com a intenção de desenvolver um produto personalizado e de baixo custo, a indústria médica é aquela que se beneficiou muito com o advento da tecnologia de prototipagem rápida ou manufatura aditiva, conhecida como impressão tridimensional (3D) [6].

ANEXO F – COLABORAÇÃO EM ARTIGOS – CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES

REVISTA CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES

Validação de dispositivo auxiliar para a mão do terapeuta na realização de técnicas de liberação miofascial

Validation of an auxiliary device for the therapist's hand in performing myofascial release techniques

Validación de un dispositivo auxiliar para la mano del terapeuta en la realización de técnicas de liberación miofascial

DOI: 10.55905/revconv.XXn.X-

Originals received: 01/18/2024
Acceptance for publication: 02/21/2024

Tathiane Nayara de Oliveira Rocha
Mestranda em Engenharia Biomédica
Instituição: Universidade de Mogi das Cruzes (UMC), Núcleo de Pesquisa e Tecnologia (NPT)
Endereço: Mogi das Cruzes – São Paulo, Brasil
E-mail: tathianenayara@gmail.com

Silvia Regina Matos da Silva Boschi
Pós-doutorado em Engenharia Biomédica
Instituição: Pontificia Universidade Católica de São Paulo
Endereço: Mogi das Cruzes – São Paulo, Brasil
E-mail: boschi@umc.br

Silvio José Santos da Rocha
Mestrando em Engenharia Biomédica
Instituição: Universidade de Mogi das Cruzes (UMC), Núcleo de Pesquisa e Tecnologia (NPT)
Endereço: Mogi das Cruzes – São Paulo, Brasil
E-mail: silviojoserocha@gmail.com

Alessandro Pereira da Silva
Pós-doutorado em Engenharia Biomédica
Instituição: Pontificia Universidade Católica de São Paulo
Endereço: Mogi das Cruzes – São Paulo, Brasil
E-mail: alessandrops@umc.br

Silvia Cristina Martini
Pós-doutorado em Engenharia Elétrica
Instituição: Universidade de São Paulo (USP)
Endereço: Mogi das Cruzes – São Paulo, Brasil
E-mail: silviac@umc.br

Terigi Augusto Scardovelli
Pós-doutorado em Engenharia Biomédica