CAPÍTULO 39

UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS PARA AVALIAR E TRATAR O CONGELAMENTO DA MARCHA NA DOENÇA DE PARKINSON: UMA REVISÃO DE EVIDÊNCIAS

Ana Paula Silva Pereira¹, Maria Gislene Santos Silva², Franciso Elezior Xavier Magalhães³, Valécia Natália Carvalho da Silva⁴, Francisco Victor Costa Marinho⁵

¹Universidade Federal do Delta do Parnaíba, (anapaula.psilva96@hotmail.com)

²Universidade Federal do Delta do Parnaíba, (gislene-bj@hotmail.com)

³Universidade Federal do Delta do Parnaíba, (fisiofranciscoxavier@gmail.com)

⁴Universidade Federal do Delta do Parnaíba, (valecia_carvalho@yahoo.com)

⁵Universidade Federal do Delta do Parnaíba, (victormarinhophb@hotmail.com)

Resumo

Objetivo: Realizar uma comparação entre as diversas categorias de dispositivos utilizados para avaliar o congelamento da marcha de indivíduos com doença de Parkinson. **Método:** Foram analisados 478 artigos nas bases de dados PubMed, Medline, Scopus e ScienceDirect, do período a partir do ano de 2013 a 2020. Para realizar a busca foram usados os descritores: “freezing”, “gait”, “Parkinson disease” e “sensors”. **Resultados:** Após a leitura dos artigos e aplicação dos critérios de exclusão foram selecionados 34 artigos. Com base nos artigos selecionados, constatou-se que novas formas de avaliar e tratar especificamente o congelamento da marcha vem surgindo. A maioria dos estudos utilizou o acelerômetro em três eixos e sensores de inércia, totalizando seis e quatro artigos, respectivamente. Alguns exames que permitem uma avaliação mais aprofundada das regiões corticais durante o congelamento também foram executados, como a ressonância magnética, eletroencefalograma e neurocomputação, tendo um total de seis estudos. Além desses estudos, quatro utilizaram a computação associados *iPods*, *smartphones* e a realidade virtual, totalizando sete artigos. **Conclusão:** Os dispositivos tecnológicos são essenciais para auxiliar na detecção do congelamento da marcha e apresentar o início e o tempo de duração desse sintoma, facilitando a avaliação, além de contribuir para a elaboração do tratamento, prevenção de quedas e suas consequências, melhorando a qualidade de vida do indivíduo.

Palavras-chave: Doença de Parkinson; Marcha; Avaliação.

Área Temática: Temas transversais – Outros.

1. INTRODUÇÃO

A doença de Parkinson (DP) é um problema neurodegenerativo, acarretado pela deficiência de dopamina nos núcleos da base, na substância negra (SHINE *et al.*, 2013). A mesma apresenta diversos sintomas motores, tais como a diminuição do comprimento do passo, festinação, tremores, rigidez, diminuição da velocidade da caminhada, alteração postural, entre outros (PLOTNIK *et al.*, 2014). Dentre esses, encontra-se o congelamento da marcha, sendo uma interrupção da caminhada, em que o indivíduo tem a sensação de estar com seus pés colados ao chão, mesmo que tenha a intenção de se locomover (Ou *et al.*, 2014). É um episódio muito comum nos estágios avançados da doença de Parkinson, mas também pode ocorrer no início da doença e progredir temporalmente (DELVAL *et al.*, 2016). Além disso, pode afetar a face, as extremidades, braços e pernas, além de provocar quedas, incapacidade, redução da independência e da qualidade de vida (OKUMA *et al.*, 2017). Comumente ocorre durante a realização de tarefas, como girar, ao caminhar rápido, passar por tapetes, entre outras, desencadeando receio ao realizar essas atividades (NONNEKES *et al.*, 2014).

A fisiopatologia do congelamento da marcha ainda não é definida, porém, alguns autores sugerem algumas hipóteses que podem estar relacionadas à causa do congelamento, como Herman *et al.* (2014) descobriram em seu estudo que em regiões corticais ocorre uma redução dos volumes de matéria cinzenta, gerando atrofia das mesmas. Do mesmo modo, Pietracupa *et al.* (2017) relataram a ocorrência de atrofia de matéria cinzenta e branca, sobretudo no córtex pré-frontal dorsolateral, lobo parietal, lobo temporal e lobo occipital em indivíduo com DP que apresentam congelamento da marcha. No estudo realizado por Lenka *et al.* (2016), foi constatado que os participantes com DP apresentaram uma diminuição da conectividade funcional do córtex quando comparados com indivíduos saudáveis. Já no estudo de Fearon *et al.* (2015) revelaram que quando há degeneração no lado esquerdo nos núcleos da base provoca um aumento das anormalidades da marcha, como velocidade lenta e passos curtos, devido ao lado direito já estar comprometido.

No tratamento da DP são utilizados fármacos, sobretudo a Levodopa, a qual se destaca como medicamento mais eficaz, quando comparados com os demais (FIETZEK *et al.*, 2013). Entretanto, o congelamento é um sintoma resistente a Levodopa, principalmente na fase mais avançada da doença (FUKADA *et al.*, 2013). Apesar disso, aparece com mais frequência durante o estado “off”, ou seja, quando o indivíduo não está medicado (PLOTNIK *et al.*, 2014). Outras formas de tratamento também são executadas, como no estudo de Fietzek *et al.* (2014) a fisioterapia neurofuncional mostrou-se eficiente, logo após duas semanas de exercícios

repetidos houve uma redução da gravidade do congelamento da marcha. A estimulação transcraniana também pode ser executada nesses casos, além do uso de estímulos auditivos e visuais. Porém, essas formas de tratamento possuem focos na marcha e não especificamente no congelamento (VERCRUYSSSE *et al.*, 2014).

Dessa forma, vários estudos vêm sendo realizados, com intuito de revelar novos avanços na avaliação e tratamento do congelamento da marcha, devido ser um sintoma difícil para ser avaliado com precisão, por meio da observação, visto que os resultados obtidos acabam sendo subjetivos, apenas com base em relatos dos pacientes (MANCINI *et al.*, 2017). Além disso, é um sintoma episódico e pode desaparecer durante a avaliação clínica devido a portador estar atento na sua marcha (BARTHEL *et al.*, 2016). Então, o profissional promove situações de provocação como aumento da carga cognitiva, realização de tarefas enquanto caminha, girar e passar por obstáculos, por exemplo, tapetes e portas (KILLANE *et al.*, 2015).

Neste contexto, para facilitar a avaliação e tratamento do congelamento da marcha são utilizados aparelhos e dispositivos com sensores que auxiliam na detecção do início e duração do congelamento, isso possibilitará ao profissional da saúde e ao próprio portador da doença, identificar o momento da ocorrência do congelamento e prevenir quedas. Segundo Ahlrichs *et al.* (2016) o uso de dispositivos para avaliar, auxilia na detecção do congelamento, oferecendo novas informações sobre a doença, além de favorecer o tratamento. No estudo de Zach *et al.* (2015) foi empregado o acelerômetro triaxial, o qual pode ser montado em uma haste e fixado a perna do participante. O mesmo permite detectar e registrar a aceleração linear em três eixos, além de disponibilizar o índice de congelamento. Os sensores são de grande utilidade, podendo ser colocados em sapatos, isso permite que o portador da doença não sinta incômodo e nem carga sobre si (KNOW *et al.*, 2014). Diante disso, o objetivo desta revisão é realizar uma comparação entre as diversas categorias de dispositivos utilizados para avaliar o congelamento da marcha em indivíduos com doença de Parkinson.

2. MÉTODO

Este estudo trata-se de uma revisão integrativa sobre a utilização de dispositivos para avaliar e tratar o congelamento da marcha. A busca foi realizada nas bases de dados PubMed, Scopus e ScienceDirect, no período a partir do ano de 2013 a 2020, utilizando os descritores: (“Parkinson disease” AND “freezing” AND “gait” AND “sensors”). Os critérios de inclusão empregados foram: artigos originais e relatos de caso, que usaram dispositivos e sensores para avaliar e tratar congelamento da marcha, a amostra constituída por pessoas com diagnóstico de

doença de Parkinson, artigos publicados nos anos de 2013 a 2020 com idiomas em inglês. Contudo, os critérios de exclusão foram revisões bibliográficas, metanálises, dissertações, revisões de livros, anais de congressos, conferências e editoriais, além dos artigos que não abordam o tema proposto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do levantamento, ao utilizar os descritores citados anteriormente e submeter ao filtro, foram encontrados 476 artigos, após a leitura dos títulos e resumos foram selecionados 56. Logo após a leitura destes selecionados e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão foram excluídos 22 artigos, totalizando 34 artigos selecionados. A partir da análise detalhada dos artigos selecionados fica evidente a eficácia do uso de sensores e dispositivos que podem ser usados na avaliação clínica da doença de Parkinson para detectar o início e a duração dos episódios de congelamento da marcha. Dentre eles, seis estudos relataram o uso do acelerômetro triaxial, o qual possui um sensor que pode ser montado na cintura dos pacientes com doença de Parkinson, para detecção do congelamento da marcha, sem gerar incômodo e sobrecarga. No entanto, dois estudos combinaram o acelerômetro com um dispositivo *wearable*, com intuito de potencializar sua ação e gerar resultados fidedignos, entretanto, um desses acrescentou um método de aprendizado profundo. Além desses estudos, dois estudos usaram acelerômetro triaxial para detectar o congelamento integrado ao uso de laser em sapatos, onde uma linha laser foi implantada transversalmente, a qual é ativada durante a fase de apoio da marcha.

Ademais, outros dispositivos que também podem ser utilizados para detectar o congelamento são o giroscópio e os sensores de inércia, os quais foram verificados em quatro estudos, dos quais, dois usaram sensores de inércia sem fio, montado em uma haste com giroscópio, colocado na perna do indivíduo. Já em outro se agregou os sensores de inércia ao *biofeedback* vibrotátil e um estudo usou os sensores de inércia e uma câmera de vídeo para gravar a marcha do paciente, e comparar os resultados obtidos no vídeo com os dos sensores. Com a preocupação de diminuir ou anular a sobrecarga dos dispositivos sobre o participante, dois estudos criaram sistemas simples para avaliar a marcha e o congelamento. Desses, um estudo descreveu a criação de um sistema de monitoramento, composto por sensores sem fios e indicadores de recebimento de força, com objetivo de avaliar a mobilidade do portador de doença de Parkinson em sua própria residência. Já o outro instalou o acelerômetro e um microprocessador em sapatos.

Outrossim, a eletroencefalografia foi executada em quatro estudos, pois a mesma possui a capacidade de rastrear o processo fisiológico dinâmico do cérebro e do congelamento da marcha, possibilitando o estudo da atividade cortical. Um estudo fez uso de ressonância magnética associada à realidade virtual e ao uso de pedais com objetivo de analisar a funcionalidade subcortical durante o congelamento da marcha. Um modelo de neuro computação foi verificado em um estudo para registrar o efeito da carga cognitiva sobre o congelamento da marcha. A realidade virtual foi executada em dois estudos, os quais utilizaram computadores e pedais para avaliar o congelamento da marcha.

O uso da computação também se mostra eficaz para avaliar e tratar a marcha. Como foi verificado em quatro estudos, no qual, um utilizou animações de computadores 3D associados a sensores de inércia anexados ao corpo do indivíduo. Porém, três estudos utilizaram smartphones com sensores e computação não sendo necessário *hardware* adicional para avaliar o congelamento da marcha. Já, outro associou o *iPod* a sensores de movimento, fixados no corpo do participante. Apenas um estudo verificou a utilização de bengala, laser, música e metrônomo vibratório para tratar o congelamento da marcha, e a bengala e o laser mostraram ter efeitos funcionais imediatos. Outro analisou a transformação da onda contínua com intuito de detectar o congelamento de curta duração.

A avaliação é o início e a parte fundamental de qualquer tratamento, mas para isso deve o profissional esteja habilitado e capacitado para identificar os sinais, sintomas, alterações e anormalidades de cada doença. Não é difícil identificar os sintomas da doença de Parkinson, porém na literatura, o congelamento da marcha é apontado como o sintoma de difícil avaliação precisa, pois o profissional apresenta dificuldades de identificar o início e a duração do evento, por vários motivos, um deles é pelo fato de o paciente estar atento a sua marcha durante a aplicação dos testes, dessa forma a atenção pode ocultar ou fazer com que o episódio não ocorra. Para mudar isso, dispositivos são desenvolvidos e estudados para aprimorar a avaliação clínica e não para substituí-la.

A categoria de instrumento mais utilizada é o acelerômetro em três eixos, que pode ser utilizado com outros dispositivos. No estudo de Moore *et al.* (2013) com vinte e cinco pacientes com doença de Parkinson, foram testados os sensores e acelerômetro. As informações geradas nos sensores eram transmitidas a um computador sendo comparadas a vídeos da marcha de cada participante. Seus resultados mostraram que houve detecção da quantidade de congelamentos, a duração dos episódios e a sensibilidade dos sensores. O que corrobora com o estudo de Rodríguez-Martin *et al.* (2017) que destacaram a importância de o acelerômetro ser fixo na

cintura, segundo ele o acelerômetro ficaria localizado mais próximo ao centro de gravidade, logo teria uma melhor representação do movimento. Porém, como esse aparelho é montado ao corpo do paciente, alguns autores pensaram em uma maneira de diminuir a sua carga, então eles colocaram o acelerômetro em sapatos, como mostrou, Kwon *et al.* (2014) em seu estudo, em que um microprocessador foi inserido em um buraco esculpido na sola de um sapato, de maneira que o acelerômetro ficasse bem encaixado. As informações eram transmitidas e salvas em um computador.

Os sensores de movimento, também chamados sensores de inércia são bastante utilizados para avaliar a marcha. No estudo de Djurić-Jovičić *et al.* (2014) foram utilizados sensores, acelerômetros e giroscópios, anexados a perna do participante, os mesmos foram convidados a realizar tarefas que provocam congelamento da marcha. Porém, os sensores não são usados isoladamente, mas sim associados a outros instrumentos, proporcionando a criação de sistemas de detecção da mobilidade. No estudo desenvolvido Chomiack *et al.* (2015) o *iPod* foi utilizado com sensores, acelerômetros e giroscópios, o aparelho foi fixo na coxa do indivíduo acima da patela, dessa forma foi possível analisar as fases de apoio e balanço da marcha, além da força gerada.

Os sensores de inércia também podem ser usados com computadores, através do uso de animações em três dimensões. No estudo de Morris *et al.* (2013) a utilização de animações em três dimensões com sensores de movimento e acelerômetros os movimentos foram gravados por câmera de vídeo e os dados obtidos foram enviados a um computador. Entretanto, alguns estudos utilizam *smartphones* visando à substituição dos computadores, por serem equipamentos grandes e de difícil locomoção. Segundo, Kim *et al.* (2015) os *smartphones* são instrumentos de fácil acesso e manuseio, além de compartilharem as informações obtidas, se comunicaram com os profissionais e poderem detectar o congelamento na sua própria residência. No estudo de Capecci *et al.* (2016), foi desenvolvido um aplicativo no *smartphone* que permite pacientes com DP monitorarem a ocorrência do congelamento da marcha, apenas apertando um botão. O aparelho era anexado próximo à articulação do quadril por um cinto, o que permitia a detecção através dos sensores e o participante não sentia incômodo.

A realidade virtual também é usada para compreender como ocorre o início e cessação do passo durante o congelamento. Como foi verificado no estudo de Georgiades *et al.* (2016), em que a realidade virtual era apresentada por computador, na tela era possível visualizar um corredor por onde o participante teria que andar virtualmente, por pedais colocados nos pés que detectavam os movimentos dos membros inferiores. A realidade virtual promoveu medidas

objetivas e resultados seguros. Outro estudo semelhante concluiu que os participantes que obtiveram resposta aumentada durante a realização das tarefas apresentaram congelamento (MATAR *et al.*, 2013).

O laser também é importante para detectar o congelamento, o que foi visto no estudo de Barthel *et al.* (2018) em que foi implantada uma linha laser em sapatos normais, a linha era ativada durante a fase de apoio por um interruptor localizado na sola do sapato contralateral a linha laser. Logo após foram executadas atividades provocativas de congelamento e foi destacado que o laser pode auxiliar tanto na avaliação como pode ser utilizado como treinamento para tratar a marcha. Egerton *et al.* (2015) descreveram que a dificuldade de iniciar a marcha na doença de Parkinson, não pode ser eliminada, porém o laser tem demonstrado auxiliar na execução da marcha e melhorar o congelamento. McCandless *et al.* (2016) compararam a bengala, laser, música e o metrônomo vibratório, a linha laser foi projetada no chão, onde os participantes teriam que caminhar com uma placa de força em cada pé. Em seus resultados foram constatados que o laser apresentou efeitos superiores ao da bengala para aumentar o comprimento do passo.

Outros meios de ter uma avaliação da causa do congelamento são através de exames como a eletroencefalografia e ressonâncias magnéticas. No estudo de Shine *et al.* (2014) para descobrir a dinâmica espaciotemporal durante o congelamento da marcha, foi realizada a eletroencefalografia, colocando eletrodos em quatro regiões, são elas: occipital, parietal, central e frontal e realizando caminhada. Nos resultados obtidos notou-se que durante o congelamento houve aumento da frequência teta na região central. Handojoseno *et al.* (2014) constatou através da eletroencefalografia que a região frontal está envolvida na hipersincronização ligada ao congelamento, confirmando a hipótese de que o congelamento está relacionado à disfunção da região frontal e visuoespacial. No estudo de Shine *et al.* (2013) verificou a disfunção subcortical no congelamento da marcha em pacientes com DP, por imagens obtidas em ressonância magnética e constatou que a DP está relacionada a diminuição do processamento das informações no tálamo e no tronco encefálico, devido a disfunção dos núcleos da base.

4. CONCLUSÃO

A elaboração de um bom tratamento é realizada por meio de uma boa avaliação clínica. Com a finalidade de facilitar e promover uma avaliação evidente são produzidos novos meios de obter dados com mais eficiência. Vários estudos demonstram como dispositivos com sensores, exames de imagem, computadores, *smartphones* podem auxiliar na detecção do

congelamento da marcha e contribuir para a elaboração de novas formas de tratar especificamente o congelamento, logo o mesmo é um sintoma que acarreta muitos danos a pessoa com doença de Parkinson. A avaliação clínica bem feita e o tratamento precoce podem retardar os efeitos da doença. Diante disso conclui-se que os novos meios tecnológicos contribuem positivamente para a avaliação clínica e permite a visualização de mínimos detalhes que podem ser muito relevantes.

REFERÊNCIAS

- AHLRICH, C. et al. Detecting freezing of gait with a tri-axial accelerometer in Parkinson's disease patients. **Medical & Biological engineering & computing**, v.54, n. 1, p. 223-233, 2016.
- BARTHEL, C. et al. A new ambulatory device to alleviate freezing of gait in Parkinson disease. **Neurology**, v. 90, n. 2, p. e164-e171, 2018.
- BARTHEL, C. et al. The Practicalities of Assessing Freezing of Gait. *Journal of Parkinson's Disease*, **Gait & posture**, v. 6, n. 4, p. 667-674, 2016.
- CAPECCI, M. et al. A smartphone-based architecture to detect and quantify freezing of gait in Parkinson's disease. **Gait & Posture**, v. 50, p. 28-33, 2016.
- CHOMIAK, T. et al. A new quantitative method for evaluating freezing of gait and dual-attention task deficits in Parkinson's disease. **Journal of Neural Transmission**, v.122, n. 11, p. 1523-1531, 2015.
- DEVAL, A. et al. Freezing/Festination During Motor Tasks in Early-Stage Parkinson's Disease: A Prospective Study. **Movement Disorders**, v. 31, n. 12, p. 1837-1845, 2016.
- DJURIĆ-JOVIČIĆ, M. D. et al. Automatic identification and classification of freezing of gait episodes in Parkinson's disease patients. **IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering**, v. 22, n. 3, p. 685-694, 2014.
- EGERTON, C. J. et al. Laserlight visual cueing device for freezing of gait in Parkinson's disease: a case study of the biomechanics involved. **Physiotherapy Theory and Practice**, v. 31, n.7, p. 518-526, 2015.
- FEARON, C. et al. Audiovisual Processing is Abnormal in Parkinson's Disease and Correlates with Freezing of Gait and Disease Duration . **Journal of Parkinson's Disease**, v.5, p. 925-936, 2015.
- FIETZEK, U. M. et al., Randomized cross-over trial to investigate the efficacy of a two-week physiotherapy programme with repetitive exercises of cueing to reduce the severity of freezing of gait in patients with Parkinson's disease. **Clinical Rehabilitation**, v. 28, n. 9, p. 902-911, 2014.

FUKADA, K. et al. L-threo-3,4-dihydroxyphenylserine (L-DOPS) co-administered with entacapone improves freezing of gait in Parkinson's disease. **Medical Hypotheses**, v. 80, p. 209–212, 2013.

GEORGIADES, M. J. et al. Investigating motor initiation and inhibition deficits in patients with Parkinson's disease and freezing of gait using a virtual reality paradigm. **Neuroscience**, v. 337, p. 153-162, 2016.

HANDOJOSENO, A. M. A. et al. Prediction of Freezing of Gait Using Analysis of Brain Effective Connectivity. **Annual International Conference of the IEEE Engineering in medicine and Biology Society**, p. 4119-22, 2014.

HERMAM, T. et al. Gray Matter Atrophy and Freezing of Gait in Parkinson's Disease: Is the Evidence Black-on-White? **Movement Disorders**, v. 29, n. 1, p. 134 – 139, 2014.

KILLANE, I. et al. Dual Motor-Cognitive Virtual Reality Training Impacts Dual-Task Performance in Freezing of Gait. **Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 19, n. 6, p. 1855-1861 2015.

KIM, M. S. et al. Efficacy of cumulative high-frequency rTMS on freezing of gait in Parkinson's disease. **Restorative Neurology and Neuroscience**, v. 33, p. 521–530, 2015.

KNOW, Y. et al. A practical method for the detection of freezing of gait in patients with Parkinson's disease. **Clinical Interventions in Aging**, v.9, p.1709, 2014.

LENKA, A. et al. Freezing of gait in Parkinson's disease is associated with altered functional brain connectivity. **Parkinsonism and Related Disorders**, v. 24, p. 100-106, 2016.

MANCINI, M. et al. The Clinical Significance Of Freezing While Turning in Parkinson's Disease. **Neuroscience**, v. 343, p. 222-228, 2017.

MATAR, E. et al. Using virtual reality to explore the role of conflict resolution and environmental salience in Freezing of Gait in Parkinson's disease. **Parkinsonism and Related Disorders**, v. 19, n. 11, p.937-942, 2013.

MCCANDLESS, P. J. et al. Effect of Three Cueing Devices for People with Parkinson's disease with Gait Initiation Difficulties. **Gait & Posture**, v. 44, p. 7–11, 2016.

MOORE, S. T. Autonomous identification of freezing of gait in Parkinson's disease from lower-body segmental accelerometry. **Gait & posture**, v. 38, n. 2, p. 326-329, 2013.

MORRIS, T. R. et al. Clinical assessment of freezing of gait in Parkinson's disease from computer-generated animation. **Gait & posture**, v. 38, n.2, p. 326-329, 2013.

NONNEKES, J. et al. Short rapid steps to provoke freezing of gait in Parkinson's disease. **Journal of Neurology**, v. 261, n. 9, p. 1763–1767, 2014.

OKUMA, Y. et al. A prospective study of falls in relation to freezing of gait and response fluctuations in Parkinson's disease. **Parkinsonism and Related Disorders**, v. 46, p. 30-35,

2017.

OU, R. et al. Freezing of gait in Chinese patients with Parkinson Disease. **Journal of the Neurological Science**, v. 345, n. 1-2, p.56-60, 2014.

PIETRACUPA, S. et al. Freezing of gait in Parkinson's disease: gray and white matter abnormalities. **Journal of neurology**, v. 265, n. 1, p. 52-62, 2017.

PLOTNIK, M. et al. A motor learning-based intervention to ameliorate freezing of gait in subjects with Parkinson's disease. **Journal of neurology**, v. 261, n. 7, p. 1329-1339, 2014.

RODRÍGUEZ-MARTIN, D. R. et al. Home detection of freezing of gait using support vector machines through a single waist-worn triaxial accelerometer. **PLoS ONE**, v. 12, n. 2, p. e0171764, 2017.

SHINE, J. M. et al. Abnormal patterns of theta frequency oscillations during the temporal evolution of freezing of gait in Parkinson's disease. **Clinical Neurophysiology**, v. 125, n. 3, p. 569-576, 2014.

SHINE, J. M. et al. Modeling freezing of gait in Parkinson's disease with a virtual reality paradigm. **Gait & posture**, v. 38, n.1, p. 104-108, 2013.

VERCRUYSSSE, S. et al. Effects of deep brain stimulation of the subthalamic nucleus on freezing of gait in Parkinson's disease: a prospective controlled study. **Journal of Neurology Neurosurg Psychiatry**, v. 85, p. 872-878, 2014.

ZACH, H. et al. Identifying freezing of gait in Parkinson's disease during freezing provoking tasks using waist-mounted accelerometry. **Parkinsonism & related disorders**, v. 21, n. 11, p. 1362-1366, 2015.