

BAROPODOMETRIA E FOTOBIMODULAÇÃO: UMA NOVA PERSPECTIVA PARA O CONTROLE POSTURAL EM DIABETES TIPO 2

Maria Eduarda De Lima ¹, Vitor Fagundes Vieira ¹, Alessandra Fagundes ¹
Fernanda Maria Garcia Gonzaga ^{1,2}

¹ Universidade do Vale do Paraíba- UNIVAP, Faculdade de Ciências da Saúde, Laboratório de Biodinâmica, Av. Shishima Hifumi, 2911 - Urbanova, São José dos Campos - SP, 12244-390, lima.eduarda.m04@gmail.com, fagundesvtv@outlook.com, alefa@univap.br, gonzaga@univap.br.

² Universidade do Vale do Paraíba- UNIVAP, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Laboratório de Fotobiologia Aplicada à Saúde (PhotoBioS), Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, gonzaga@univap.br

Resumo

O estudo avaliou os efeitos da fotobimodulação intravascular (ILIB) sobre a pressão plantar e o equilíbrio postural em um paciente com Diabetes Mellitus tipo 2, por meio da baropodometria computadorizada. Foi realizado um estudo de caso com um participante de 63 anos, submetido a 10 sessões de ILIB e reavaliado após 42 dias. Foram analisados parâmetros como pressão máxima e média, área de contato plantar e deslocamento do centro de pressão. Os resultados mostraram melhora na simetria da pisada, com redução significativa do deslocamento e velocidade do centro de pressão. Conclui-se que a terapia ILIB associada à baropodometria apresentou efeitos positivos na biomecânica da marcha e no controle postural, sugerindo seu potencial como recurso coadjuvante na prevenção de quedas e complicações nos pés de pacientes diabéticos.

Palavras-chave: Diabetes. Baropodometria. Pressão plantar.

Área do Conhecimento: Ciências da Saúde.

Introdução

O Diabetes Mellitus (DM) é uma doença multifatorial, relacionada tanto à deficiência na secreção quanto à ação da insulina (Poznyak *et al.*, 2020). Seu desenvolvimento está fortemente ligado aos hábitos de vida, como alimentação inadequada e sedentarismo, que favorecem o aumento da incidência (Cortez *et al.*, 2015). A variante mais comum é o Diabetes Mellitus tipo 2, o qual é uma patologia crônica não transmissível, caracterizado pela incapacidade da ação da insulina, hormônio produzido pelo pâncreas, responsável por regular a concentração de glicose no sangue e fornecer energia ao organismo. Após a ingestão de alimentos, sejam eles ricos em proteínas, carboidratos ou gorduras, consequentemente, há aumento nos níveis de glicose sanguínea e esse processo estimula tecidos periféricos, como músculos e vísceras, a captarem a glicose. No entanto, quando há resistência à insulina, esse mecanismo não ocorre de forma adequada, ocasionando uma hiperglicemia, a qual modifica a homeostase do organismo.

Perante tal cenário e para uma efetividade no tratamento, torna-se importante a avaliação precisa por meio da baropodometria computadorizada, que é uma técnica não invasiva que avalia postura e marcha através de softwares que mensuram parâmetros como pressão máxima, área, tempo de contato e deslocamento do centro de pressão (Ma *et al.*, 2022; Baumfeld *et al.*, 2018). Fundamentada na terceira lei de Newton, permite analisar o equilíbrio e prevenir adaptações posturais inadequadas que podem gerar complicações musculoesqueléticas (Rosenbaum *et al.*, 2017).

Concomitantemente, a técnica ILIB (Intravascular Laser Irradiation of Blood) consiste em um tratamento sistêmico e indolor, em que ocorre a aplicação transcutânea de laser terapêutico vermelho ou infravermelho sobre a artéria radial. Seus efeitos fisiológicos primários representam a síntese de ATP (Adenosina Trifosfato), ou seja, quanto mais energia na célula, melhor seu processo de regeneração. (Silva., 2022). A fotobimodulação atua via efeitos químicos e não térmico, por meio do

Citocromo c Oxidase, que é uma enzima mitocondrial (600-810 nm), aumentando a produção de ATP, NO (Óxido Nítrico), ROS (Espécies Reativas de Oxigênio) e moléculas sinalizadoras relacionadas à reparação nervosa, favorecendo reparação celular e vasodilatação. Esses mecanismos ajudam a restaurar a sensibilidade e equilíbrio em diabéticos com neuropatia, ao melhorar a função nervosa e microcirculação (Hamblin., 2018).

Sob essa perspectiva, associar a patologia à técnica quantitativa, possibilita reduzir disfunções, preservando nervos periféricos e estruturas musculoesqueléticas. Alterações na mobilidade articular podem evoluir para a síndrome de mobilidade articular limitada, aumentando o risco de ulceração pela redução da amplitude de movimento. Assim, o estudo buscou analisar a relação entre o perfil baropodométrico e o comprometimento somatossensorial no paciente com DM2, avaliando a influência do ILIB na sensibilidade plantar e no equilíbrio postural.

Metodologia

O estudo foi realizado com um (1) participante do sexo masculino, 63 anos, 77,95kg, com diagnóstico médico de diabetes tipo 2, submetido ao teste de pressão plantar na plataforma de baropodometria. Foram considerados, como critérios de inclusão, participantes de ambos os gêneros, com faixa etária entre 40 e 80 anos, e portador do diabetes tipo 2. Já os critérios de exclusão, foram os pacientes portadores de Anemia Falciforme, Traço Falciforme, hemoglobinopatias C ou D, com sequelas neurológicas ou outra patologia que comprometessem a realização do teste em ortostatismo.

O presente protocolo de pesquisa foi submetido à análise do Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) por meio da Plataforma Brasil. Este estudo foi conduzido de acordo com a resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (CNS). O participante foi previamente esclarecido e orientado sobre o procedimento a que foi submetido e após concordância com a metodologia apresentada, assinou o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O presente estudo foi realizado no Laboratório de Biodinâmica, Bloco 7, da Faculdade de Ciências da Saúde da Univap, situado na Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, no município de São José dos Campos.

Inicialmente, o paciente foi submetido a uma coleta de dados, como peso, altura e idade. Antes de se posicionar, foi orientado a realizar uma marcha estacionária breve sobre a plataforma e, em seguida, parar em uma posição confortável. Além disso, durante a captação dos dados, o participante não podia cruzar as pernas ou os braços e deveria manter uma distância confortável entre os pés.

O participante foi posicionado em ortostatismo, descalço, sobre uma plataforma barossensível (BaroScan) durante 30 segundos, em apoio bipodal, com os olhos abertos e foi realizada uma única tentativa. Após a coleta inicial, o participante foi submetido a um protocolo de tratamento com terapia ILIB, composto por 10 sessões. Em cada sessão, o participante foi posicionado confortavelmente em uma maca em decúbito dorsal, utilizou óculos de proteção e recebeu a irradiação do Laser de Baixa Intensidade na artéria radial por 30 minutos (Laser Therapy EC, DMC, Brasil, 100mW) no comprimento de onda vermelho. Decorridos 30 dias, retornou para reavaliação e foi submetido ao protocolo de Baropodometria previamente aplicado.

Resultados

As tabelas a seguir apresentam os dados obtidos do paciente, mostrando essas alterações por meio da baropodometria computadorizada, um recurso que permite mensurar com precisão a pressão plantar sobre o solo. A técnica possibilitou o registro e a quantificação da distribuição de carga, da área de contato plantar, da pressão máxima e média, bem como a análise do equilíbrio anteroposterior e lateral.

Tabela 1 – Área de Contato, Pressões Máximas e Médias do participante.

Pé Esquerdo	Pré-intervenção	Pós-intervenção
Área	117,19cm ²	108,03cm ²
Pressão Máxima	1,47kgf/cm ²	1,44kgf/cm ²
Pressão Média	0,51kgf/cm ²	0,44kgf/cm ²

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Pé Direito

Área	123,29cm ²	113,53cm ²
Pressão Máxima	1,26kgf/cm ²	1,48kgf/cm ²
Pressão Média	0,40kgf/cm ²	0,47kgf/cm ²

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Tabela 2 – Distribuição das Pressões Plantares do participante.

Pé Esquerdo	Pré-intervenção	Pós-intervenção
Pressão Lateral	54,89%	47,13%
Pressão Anterior	49,32%	38,61%
Pressão Posterior	50,68%	61,39%
Pé Direito		
Pressão Lateral	45,11%	52,87%
Pressão Anterior	55,65%	44,96%
Pressão Posterior	44,35%	55,04%
Corpo		
Pressão Anterior	52,18%	41,97%
Pressão Posterior	47,82%	58,03%

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Tabela 3 – Parâmetros de Oscilação Postural e Controle do Centro de Pressão

Oscilação Látero-lateral	Pré-intervenção	Pós-intervenção
Deslocamento do centro de pressão	146,26mm	126,35mm
Velocidade média	12,99mm/s	9,44mm/s
Desvio padrão	21,04mm	17,34mm
Oscilação Anteroposterior		
Deslocamento do centro de pressão	38,43mm	19,30mm
Velocidade média	7,76mm/s	4,11mm/s
Desvio padrão	4,79mm	2,75mm
Velocidade do centro de pressão		
Velocidade quadrática média	16,82mm/s	11,30mm/s
Deslocamento do centro de pressão	502,95mm	337,75mm
Área do deslocamento	4.414,75mm ²	1.915,61mm ²
Coeficiente do deslocamento pela área (L/A)	0,11 1/mm	0,18 1/mm

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Discussão

Em indivíduos saudáveis, a sensibilidade plantar garante um adequado feedback do contato com o solo, favorecendo a propriocepção e a percepção dos estímulos táteis. A integridade dos receptores cutâneos, musculares e articulares assegura respostas rápidas e eficazes para ajustes posturais e prevenção de quedas. Nessas condições, quando há dor, o organismo tende a adotar estratégias de alívio, redistribuindo a pressão entre os pés (Machado *et al.*, 2020).

Pessoas com diabetes, especialmente aquelas com neuropatia periférica, enfrentam alterações significativas na distribuição da pressão plantar devido à ausência do reflexo protetor, o que favorece a sobrecarga em áreas lesionadas, como regiões de calosidades, fissuras ou pontos dolorosos inespecíficos, situações comuns nessa população. A neuropatia periférica, uma complicação crônica do diabetes mellitus (DM) decorrente da hiperglicemia prolongada, provoca alterações metabólicas e bioquímicas que danificam os nervos periféricos, resultando em sintomas que variam desde dor neuropática persistente até déficits motores e autonômicos, com risco de evoluir para amputações, principalmente nos membros inferiores (Corrente; Gomes e Pimazoni., 2018).

Na avaliação dinâmica, o equilíbrio é normalmente mantido pela integração dos sistemas sensoriais, com oscilações posturais discretas durante o apoio bipodal. No entanto, em diabéticos com neuropatia, observa-se instabilidade postural, que compromete o equilíbrio. Em contrapartida, no caso do paciente analisado, foi constatada uma melhora significativa na distribuição da pressão plantar, com maior simetria e proporcionalidade na pisada. Essa melhora foi acompanhada por maior estabilidade postural, com a base de apoio concentrada na região do calcanhar, ponto inicial de contato com o solo durante a marcha, onde tendões e ligamentos contribuem para o suporte corporal. Além disso, verificou-se uma redução significativa no deslocamento do centro de pressão nos eixos látero-lateral e anteroposterior, bem como na área total de deslocamento, indicando uma melhora no controle postural e na biomecânica da marcha.

O equilíbrio postural é responsável por promover o alinhamento adequado dos segmentos corporais em relação à gravidade (Ivanenko; Gurfinkel, 2018). É parte componente do sistema de controle postural e envolve ações coordenadas dos componentes biomecânicos, sensoriais e neuromotores (Asslander; Peterka, 2014; Duarte; Freitas, 2010; Horak, 2006; Pollock *et al.*, 2000). Dessa forma, pequenos movimentos oscilatórios são definidos como oscilações posturais que podem ser mensuráveis (Mochizuki; Amadio, 2003) por meio da estabilometria, uma técnica de avaliação do equilíbrio na postura ortostática que quantifica o deslocamento do centro de pressão anteroposterior (CPAP) e centro de pressão mediolateral (CPML). A avaliação é realizada com o indivíduo em pé sobre a plataforma de força, e, com base no seu deslocamento e nas oscilações posturais do centro de pressão (CP), é possível verificar o equilíbrio postural do corpo em busca de controle.

O presente estudo demonstrou a relevância da baropodometria computadorizada como uma ferramenta precisa e não invasiva para avaliar o perfil biomecânico do paciente referido com Diabetes Mellitus tipo 2, com ênfase na distribuição da pressão plantar e no equilíbrio postural. Na comparação das duas avaliações, foi mostrado que os resultados obtidos evidenciaram melhora na simetria da pisada, na distribuição da pressão plantar e no equilíbrio postural, após a aplicação técnica de ILIB. A estabilidade postural apresentou avanço expressivo, com redução tanto no deslocamento quanto na velocidade do centro de pressão, e são alterações significativas que refletem o impacto da neuropatia periférica e da rigidez articular características da doença. Esses achados estão em concordância com estudos prévios que demonstraram que pacientes com DM 2, apresentam alterações significativas na pressão plantar e no controle postural, fatores que aumentam o risco de quedas e ulcerações (Huang *et al.*, 2010). A melhora observada pode estar relacionada aos efeitos da fotobiomodulação intravascular, que atua na microcirculação e na modulação de processos inflamatórios, favorecendo a sensibilidade plantar e a resposta motora (Franco *et al.*, 2018). Além disso, a redução do deslocamento e da velocidade do centro de pressão sugere que o ILIB contribuiu para um melhor controle da postura estática, corroborando achados de estudos que apontam essa técnica como uma ferramenta potencial adjuvante na reabilitação de pacientes diabéticos e neuropatia periférica (Korada *et al.*, 2023).

Conclusão

Conclui-se que a intervenção com ILIB demonstrou eficácia na otimização da biomecânica da pisada e no aprimoramento do controle postural, reduzindo de forma relevante o risco de quedas e complicações nos pés. A baropodometria foi crucial para avaliar o comprometimento somatossensorial no paciente com DM2, quantificando pressão plantar e equilíbrio. Seu uso é essencial para prevenir complicações musculoesqueléticas e melhorar a qualidade de vida. Pesquisas futuras com amostras maiores são recomendadas para consolidar ambas as técnicas e reduzir impactos da neuropatia diabética.

Referências

- ASSLÄNDER, Lorenz; PETERKA, Robert J. Sensory reweighting dynamics in human postural control. **Journal of neurophysiology**, v. 111, n. 9, p. 1852-1864, 2014.
- BAUMFELD, Thiago et al. Advances of Baropodometry in Human Health. *Annals of Musculoskeletal Disorders*, p. -, 4 out. 2018.
- CORRENTE, G.; GOMES; PIMAZONI-NETTO. Neuropatia diabética: uma revisão abrangente da etiologia, fisiopatologia e manifestações clínicas. **Revista Fisioterapia e Terapia**, 2008.
- CORTEZ, Daniel Nogueira et al. Complicações e o tempo de diagnóstico do diabetes mellitus na atenção primária. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 28, n. 3, p. 250-255, 2015.
- DUARTE, Marcos; FREITAS, Sandra MSF. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. **Brazilian Journal of physical therapy**, v. 14, p. 183-192, 2010.
- FRANCO, D. M.; BRUNO, J. S. A.; ZANCHIN, A. L.; CIOL, H.; BAGNATO, V. S.; AQUINO JUNIOR, A. E. Therapeutic ultrasound and photobiomodulation applied on the palmo f hands: a new treatment for fibromyalgia: a man case study. **Journal of Novel Physiotherapy**, v. 8, n. 6, p. 402, 2018.
- HAMBLIN, Michael R. Mechanisms and mitochondrial redox signaling in photobiomodulation. *Photochemistry and photobiology*, v. 94, n. 2, p. 199-212, 2018.
- HORAK, Fay B. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls?. **Age and ageing**, v. 35, n. suppl_2, p. ii7-ii11, 2006.
- HUANG, E. S.; KARTER, A. J.; DANIELSON, K. K.; WARTON, E. M.; AHMED, A. T. The association between the number of prescription medications and incident falls in a multi-ethnic population of adult type-2 diabetes patients: the diabetes and aging study. **Journal of General Internal Medicine**, v. 25, n. 2, p. 141-146, fev. 2010.
- IVANENKO, Yury; GURFINKEL, Victor S. Human postural control. **Frontiers in neuroscience**, v. 12, p. 171, 2018.
- KORADA, Hrishikesh Yadav; ARORA, Esha; MAIYA, Gundmi Arun; et al. Eficácia da terapia de fotobiomodulação na dor neuropática, condução nervosa e distribuição da pressão plantar na neuropatia periférica diabética: uma revisão sistemática. **Revisões Atuais sobre Diabetes**, v. 19, n. 9, 2023.
- MA, Lin et al. Gait variability is sensitive to detect Parkinson's disease patients at high fall risk. **International Journal of Neuroscience**, v. 132, n. 9, p. 888-893, 2022.
- MACHADO, Á. S. et al. Differences in foot sensitivity and plantar pressure between young adults and elderly. **Archives of Gerontology and Geriatrics**, v. 63, p. 67-71, mar. 2016.
- MOCHIZUKI, Luis; AMADIO, Alberto C. Aspectos biomecânicos da postura ereta: a relação entre o centro de massa e o centro de pressão. **Rev Port Cien Desp**, v. 3, n. 3, p. 77-83, 2003.
- POLLOCK, Alexandra S. et al. What is balance?. **Clinical rehabilitation**, v. 14, n. 4, p. 402-406, 2000.

POZNYAK, A.; GRECHKO, A. V.; POGGIO, P.; MYASOEDOVA, V. A.; ALFIERI, V.; OREKHOV, A. N. The Diabetes Mellitus–Atherosclerosis Connection: The Role of Lipid and Glucose Metabolism and Chronic Inflammation. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 5, p. 1835, 2020.

ROSENBAUM, D.; BECKER, H.-P. Medidas de distribuição de pressão plantar: contexto técnico e aplicações clínicas. **Foot and Ankle Surgery**, v. 3, p. 1–14, 2017.

SILVA, Gabriela et al. Infrared photobiomodulation (PBM) therapy improves glucose metabolism and intracellular insulin pathway in adipose tissue of high-fat fed mice. **Lasers in medical science**, v. 33, n. 3, p. 559-571, 2022.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPESP, pelo apoio financeiro e institucional. Processo nº 2023/15999-5; DMC Equipamentos e ao Laboratório de Fotobiologia Aplicada à Saúde (PhotoBioS), pelo apoio técnico à pesquisa.