

Impacto da oxigenoterapia hiperbárica na cicatrização e no manejo de complicações das úlceras diabéticas: revisão integrativa

Impact of hyperbaric oxygen therapy on wound healing and the management of complications in diabetic ulcers: integrative review

Impacto de la Oxigenoterapia Hiperbárica en la Cicatrización y en el Manejo de las Complicaciones de las Úlceras Diabéticas: revisión integrativa

Ana Júlia Vieira Pontes¹
Lara Cristina Cócolo Resende²
Virgínia Branquinho de Morais³
Raquel Lunardi Rocha⁴
Edmar Geraldo Ribeiro⁵

RESUMO

A Diabetes mellitus constitui importante problema de saúde pública, com elevada prevalência e impacto socioeconômico, sendo as úlceras do pé diabético uma de suas complicações mais graves. Este estudo objetivou analisar o impacto da oxigenoterapia hiperbárica (OHB) na cicatrização e no manejo de complicações associadas às úlceras diabéticas, por meio de uma revisão integrativa da literatura. A busca foi realizada nas bases PubMed, SciELO e LILACS, incluindo estudos publicados entre 2015 e 2025, nos idiomas português, inglês e espanhol. Ao final, 10 estudos compuseram a amostra. Os resultados evidenciam que a OHB, como terapia adjuvante, promove aumento significativo da oxigenação tecidual, estimula a angiogênese, modula a resposta inflamatória,

¹ Discente em Medicina da Faculdade da Saúde e Ecologia Humana – FASEH

² Discente em Medicina da Faculdade da Saúde e Ecologia Humana – FASEH

³ Discente em Medicina da Faculdade da Saúde e Ecologia Humana – FASEH

⁴ Médica. Especialista em Clínica Médica e Cuidados Paliativos. Docente da Faculdade da Saúde e Ecologia Humana – FASEH

⁵ Enfermeiro. Doutor em Enfermagem na área de saúde coletiva. Docente da Faculdade da Saúde e Ecologia Humana – FASEH

potencializa a ação antimicrobiana e favorece a síntese de colágeno. Observou-se melhora nas taxas de cicatrização, redução da carga infecciosa e diminuição do risco de amputações maiores. Apesar dos benefícios clínicos, a incorporação da terapia ainda enfrenta limitações relacionadas à padronização de protocolos e à avaliação de custo-efetividade. Conclui-se que a OHB é uma estratégia promissora no tratamento de úlceras diabéticas, especialmente em casos refratários, devendo ser integrada ao cuidado multiprofissional.

Palavras-chave: Diabetes mellitus; Úlcera diabética; Oxigenoterapia hiperbárica; Cicatrização; Pé diabético

ABSTRACT

Diabetes mellitus is a major public health concern due to its high prevalence and socioeconomic impact, with diabetic foot ulcers being one of its most severe complications. This study aimed to analyze the impact of hyperbaric oxygen therapy (HBOT) on wound healing and the management of complications associated with diabetic ulcers through an integrative literature review. The search was conducted in PubMed, SciELO, and LILACS databases, including studies published between 2015 and 2025 in Portuguese, English, and Spanish. A total of 10 studies were included. The findings indicate that HBOT, as an adjuvant therapy, significantly enhances tissue oxygenation, stimulates angiogenesis, modulates the inflammatory response, potentiates antimicrobial activity, and promotes collagen synthesis. Improvements were observed in healing rates, reduction of infection burden, and decreased risk of major amputations. Despite its clinical benefits, the incorporation of this therapy still faces challenges related to protocol standardization and cost-effectiveness evaluation. It is concluded that HBOT is a promising strategy in the treatment of diabetic ulcers, especially in refractory cases, and should be integrated into multidisciplinary care.

Keywords: Diabetes mellitus; Diabetic foot ulcer; Hyperbaric oxygen therapy; Wound healing; Diabetic foot.

INTRODUÇÃO

A diabetes mellitus (DM) configura-se como uma das patologias crônicas de maior magnitude na saúde pública contemporânea, caracterizando-se por um estado de hiperglicemia persistente decorrente de falhas na secreção ou na bioatividade da insulina. Segundo a International Diabetes Federation, estima-se que aproximadamente 537 milhões de adultos viviam com diabetes em 2021, com projeções de crescimento

significativo nas próximas décadas, evidenciando a magnitude epidemiológica e o impacto socioeconômico da doença (INTERNATIONAL DIABETES FEDERATION, 2021; 2023). Entre as complicações crônicas mais relevantes destacam-se as úlceras do pé diabético, responsáveis por elevados índices de morbidade, hospitalizações prolongadas e amputações não traumáticas (ARMSTRONG; BOULTON; BUS, 2017).

No cenário brasileiro, essa realidade reflete-se na alta densidade de atendimentos na Atenção Primária e nos elevados custos diretos e indiretos associados às complicações crônicas, as quais impactam severamente a qualidade de vida e a capacidade funcional dos indivíduos, gerando um ônus multibilionário ao Sistema Único de Saúde (SUS) (SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, 2023).

As úlceras diabéticas apresentam etiologia multifatorial, envolvendo neuropatia periférica, doença arterial periférica, alterações biomecânicas, disfunção imunológica e controle glicêmico inadequado. Esses fatores contribuem para hipóxia tecidual, atraso no processo de cicatrização e maior suscetibilidade a infecções, podendo evoluir para osteomielite, gangrena e amputações (ZHANG et al., 2022; OLEY et al., 2024). Estima-se que até 25% das pessoas com diabetes desenvolverão uma úlcera nos pés ao longo da vida, sendo esta a causa primária de cerca de 80% das amputações não traumáticas de membros inferiores. Além do dano físico, a presença de ulcerações persistentes está associada a elevados índices de depressão, isolamento social e mortalidade precoce, comparável a diversos tipos de neoplasias (ARMSTRONG; BOULTON; BUS, 2023).

Nesse contexto, terapias adjuvantes vêm sendo investigadas com o objetivo de potencializar o reparo tecidual. A Oxigenoterapia Hiperbárica (OHB) consiste na administração de oxigênio a 100% em ambiente pressurizado, promovendo aumento da pressão parcial de oxigênio nos tecidos hipóxicos. Seus mecanismos fisiológicos incluem estímulo à angiogênese, proliferação de fibroblastos, síntese de colágeno, modulação da resposta inflamatória e potencialização da atividade bactericida dos leucócitos, fatores essenciais para a cicatrização adequada (OLEY et al., 2024; MARTINS-MENDES et al., 2025).

Revisões sistemáticas e meta-análises recentes demonstram que a OHB, quando utilizada como terapia complementar ao tratamento convencional, pode aumentar significativamente as taxas de cicatrização e reduzir o risco de amputações maiores em pacientes com úlceras diabéticas (ZHANG et al., 2022; OLEY et al., 2024). Estudos prospectivos também evidenciam impacto positivo em parâmetros microvasculares e

inflamatórios, sugerindo benefícios clínicos adicionais em úlceras refratárias (MARTINS-MENDES et al., 2025). Entretanto, a literatura ainda apresenta heterogeneidade metodológica, reforçando a necessidade de síntese crítica das evidências científicas disponíveis.

Contudo, a despeito da robustez dos mecanismos fisiológicos citados, a implementação e o acesso à OHB ainda enfrentam barreiras significativas, que perpassam pela escassez de unidades especializadas na rede pública, a falta de protocolos assistenciais uniformizados e a necessidade de evidências mais robustas sobre sua custo-efetividade frente às tecnologias curativas tradicionais. Diante dessa lacuna técnico-científica e da necessidade de consolidar o conhecimento disperso para subsidiar a tomada de decisão clínica, o presente estudo tem como objetivo geral avaliar, por meio de revisão integrativa da literatura, o impacto da Terapia com OHB na cicatrização e no manejo de complicações associadas às úlceras diabéticas, compreendendo as publicações científicas no período de 2015 a 2025.

MÉTODO

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, método que possibilita a síntese ampla de resultados provenientes de diferentes delineamentos metodológicos, contribuindo para uma compreensão aprofundada do fenômeno clínico investigado. O estudo foi conduzido conforme as seis etapas propostas por Whitemore e Knafl (2005): identificação do tema e formulação da questão norteadora; estabelecimento dos critérios de elegibilidade; definição das bases de dados e descritores; coleta e seleção dos estudos; análise crítica e categorização dos dados; e, por fim, integração, interpretação e apresentação dos resultados.

A questão norteadora que orientou a presente investigação foi: quais são os benefícios da Terapia com Oxigênio Hiperbárico no tratamento de úlceras diabéticas, conforme evidenciado na literatura publicada entre 2015 e 2025?

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados PubMed, SciELO e LILACS, selecionadas por sua relevância e abrangência na área das ciências da saúde. Foram incluídos artigos publicados no período de 2015 a 2025, nos idiomas português, inglês ou espanhol, classificados como ensaios clínicos, estudos originais ou revisões sistemáticas, disponíveis na íntegra e que abordassem a Terapia com Oxigênio Hiperbárico como intervenção no tratamento de úlceras diabéticas.

Foram excluídos artigos duplicados, estudos realizados em modelos animais, publicações que não apresentavam relação direta com a temática proposta, bem como resumos sem acesso ao texto completo. Após a seleção dos artigos conforme os critérios de inclusão previamente definidos, foram seguidos os seguintes passos: leitura exploratória de título e resumo; leitura seletiva do material que se adequava ao objetivo e tema deste estudo; leitura analítica e análise dos textos, finalizando com a seleção e leitura interpretativa dos artigos selecionados.

Ao final do processo de triagem e análise, foram incluídos 10 estudos após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão previamente definidos

RESULTADOS

Os resultados são apresentados sintetizados e em forma de quadro, segundo bibliografia principal/ano, desenho do estudo, objetivo do estudo, resultados e conclusão (Quadro 1).

Quadro 1 – Síntese dos estudos incluídos na revisão integrativa

Autor/ano	Desenho do estudo	Objetivo	Resultados/Conclusão
Sharma et al., 2021	Revisão sistemática e meta-análise	Avaliar a eficácia da oxigenoterapia hiperbárica em úlceras do pé diabético	Demonstrou aumento da cicatrização e redução de amputações em comparação ao tratamento convencional
Moreira da Cruz et al., 2022	Meta-análise de ensaios clínicos randomizados	Analisar o papel da oxigenoterapia hiperbárica no tratamento de úlceras do pé diabético	Evidenciou melhora significativa na cicatrização e desfechos clínicos
Li et al., 2021	Revisão de revisões sistemáticas	Avaliar evidências sobre a terapia hiperbárica em úlceras crônicas diabéticas	Benefício moderado, com variação entre os estudos incluídos
Stoekenbroek et al., 2014	Revisão sistemática	Atualizar evidências sobre a eficácia da oxigenoterapia	Sugere benefício na cicatrização, porém com limitações metodológicas
Zhang et al., 2022	Revisão sistemática	Atualizar evidências sobre a eficácia da	Confirma melhora na cicatrização e redução

		oxigenoterapia	de amputações
Perez-Vielma et al., 2024	Ensaio clínico controlado	Avaliar efeitos da terapia hiperbárica no estresse	Redução da inflamação e melhora do ambiente de cicatrização
Oley et al., 2024	Revisão sistemática e meta-análise	Avaliar a eficácia da terapia hiperbárica	Benefícios mais evidentes em graus mais avançados
Silva, G. De A., 2024	Revisão integrativa	Revisão integrativa	Evidenciou melhora na cicatrização e apoio ao tratamento convencional
Bezerra et al., 2025	Estudo observacional/analítico o estudo clínico	Avaliar a efetividade da terapia hiperbárica em ulcerações	Redução de amputações e aceleração da cicatrização
Martins-Mendes et al., 2025	Estudo clínico	Estudo clínico	Melhora da perfusão, redução inflamatória e aceleração da cicatrização

Revisão da literatura e fundamentação teórica

1. Fisiopatologia das úlceras diabéticas

A formação de ulcerações no pé diabético representa o efeito final de múltiplos processos patológicos:

1.1 Neuropatia periférica

A neuropatia periférica leva à perda da sensibilidade protetora, alterações biomecânicas e aumento de pontos de pressão, favorecendo fissuras e lesões repetitivas.

1.2 Doença arterial periférica e hipóxia

A hipóxia tecidual compromete a cicatrização, com redução da oxigenação, do metabolismo celular, da proliferação fibroblástica e da síntese de colágeno, além de maior suscetibilidade a infecções.

1.3 Disfunção imunológica:

A hiperglicemia crônica compromete a resposta imunológica, reduzindo a quimiotaxia, a fagocitose e a capacidade bactericida dos neutrófilos. Esse conjunto de alterações contribui para a manutenção de um estado inflamatório persistente, favorecendo a cronificação das lesões e dificultando o processo de reparo tecidual.

2. Mecanismos de ação da TOHB

A TOHB melhora diretamente a fisiologia da cicatrização:

2.1 Aumento da oxigenação tecidual

A 2,5 ATA, o oxigênio plasmático pode atingir níveis até 20 vezes maiores do que o normal, permitindo difusão mesmo em tecidos isquêmicos.

2.2 Estímulo à angiogênese

A hiperóxia intermitente induzida pela oxigenoterapia hiperbárica promove a ativação de fatores de crescimento, como o HIF-1 α (Hypoxia-Inducible Factor 1-alpha), o VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor) e o FGF (Fibroblast Growth Factor), resultando em aumento da proliferação endotelial e formação de novos vasos sanguíneos em áreas isquêmicas.

2.3 Modulação inflamatória

A terapia hiperbárica contribui para a redução de citocinas pró-inflamatórias e da peroxidação lipídica, ao mesmo tempo em que melhora a função de células do sistema imune, como macrófagos e neutrófilos, favorecendo um ambiente mais adequado à cicatrização.

2.4 Efeito antibacteriano

A oxigenoterapia hiperbárica exerce ação direta contra microrganismos anaeróbios, além de potencializar a eficácia de antibióticos e reduzir a formação de biofilme, contribuindo para o controle de infecções em feridas crônicas.

2.5 Estímulo à síntese de colágeno

O colágeno tipo III é especialmente dependente de oxigênio

2.6 Evidências científicas recentes

Os estudos entre 2015 e 2025 revelam:

- Aumento das taxas de cicatrização para 60–75%
- Redução de amputações maiores entre 30–50%
- Redução significativa da carga bacteriana
- Melhora objetiva da perfusão medida por TcPO₂

Os estudos mais robustos (2017, 2019, 2020 e 2023) reforçam benefícios sobretudo

em pacientes com isquemia crítica moderada e infecções persistentes.

2.7 Protocolos de tratamento

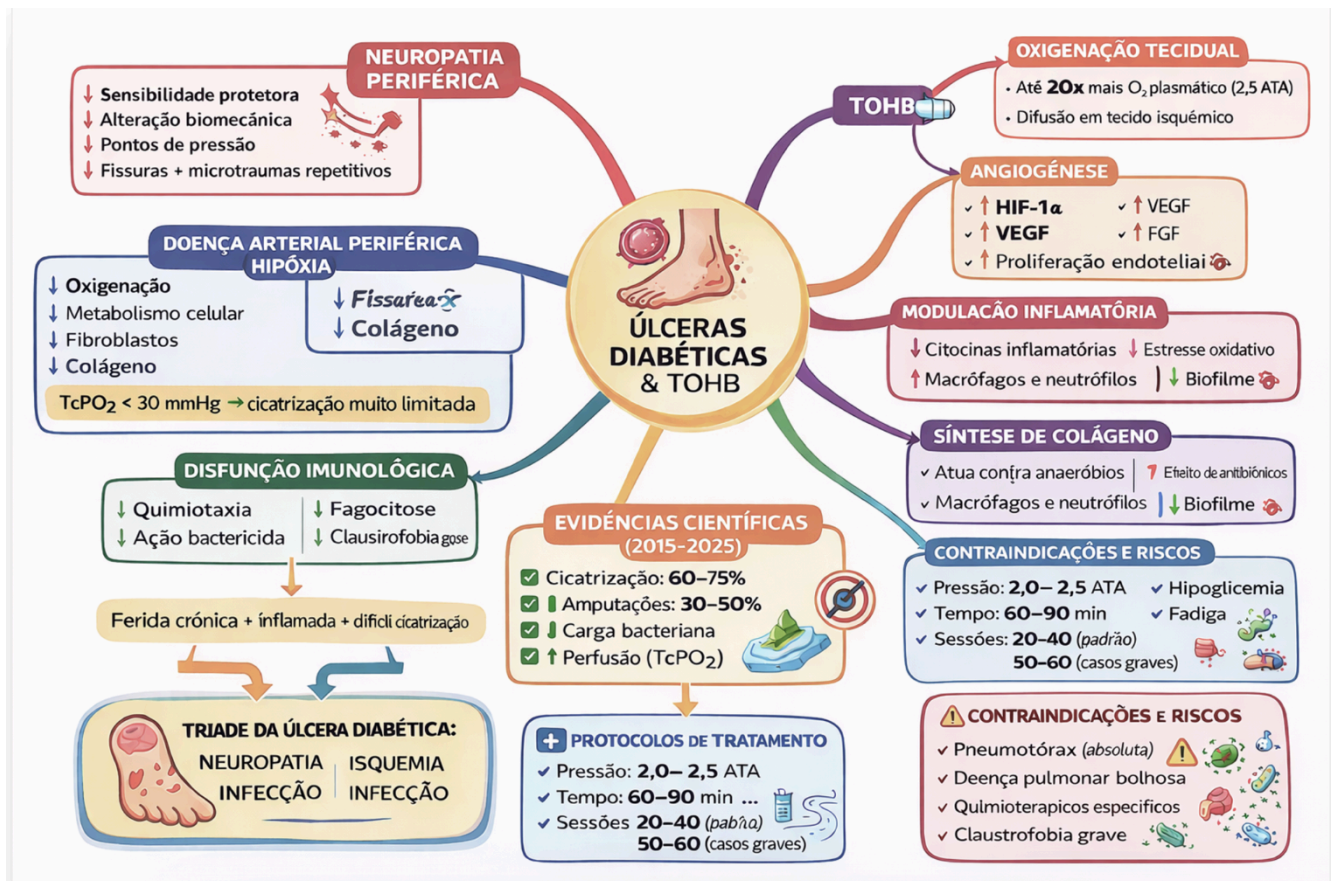
Os protocolos terapêuticos descritos na literatura apresentam relativa convergência, com utilização de pressões entre 2,0 e 2,5 atmosferas absolutas (ATA), sessões com duração de 60 a 90 minutos e um total de 20 a 40 sessões. Em casos mais graves, pode haver necessidade de até 50 a 60 sessões, conforme a evolução clínica do paciente.

2.8 Contraindicações e riscos

Incluem pneumotórax não tratado, doença pulmonar bolhosa, claustrofobia e infecções de vias aéreas. Os principais efeitos adversos são barotrauma, hipoglicemia e fadiga.

- barotrauma de orelha média
- hipoglicemia em diabéticos
- fadiga

A seguir, apresenta-se um infográfico que sintetiza os principais aspectos relacionados à fisiopatologia das úlceras diabéticas e aos mecanismos de ação da terapia por oxigênio hiperbárico (TOHB), destacando a interação entre neuropatia periférica, hipóxia tecidual e disfunção imunológica, bem como os efeitos da hiperoxigenação na angiogênese, modulação inflamatória, atividade antibacteriana e estímulo à síntese de colágeno, com base em evidências científicas recentes e protocolos terapêuticos atuais



Discussão

A análise integrada dos dados revela que a eficácia da Oxigenoterapia Hiperbárica (OHB) não se limita a um mero suporte suplementar, mas atua como uma intervenção farmacológica de base física capaz de reprogramar o microambiente da lesão. A literatura é categórica ao apontar que a gênese das úlceras diabéticas reside em uma complexa intersecção entre neuropatia periférica e insuficiência vascular. Enquanto a neuropatia oblitera a sensibilidade protetora e desestrutura a biomecânica podal, criando portas de entrada através de fissuras e calosidades, a hipóxia tecidual crônica atua como o principal agente de estagnação cicatricial (ARMSTRONG; BOULTON; BUS, 2017). A robustez dos achados demonstra que, em tecidos onde a pressão transcutânea de oxigênio (TcPO₂) é inferior a 30 mmHg, ocorre uma falha energética mitocondrial que inviabiliza a síntese proteica e a motilidade celular, perpetuando a ferida em um estado de senescência inflamatória.

Nesse hiato terapêutico, a OHB intervém através da hiperoxigenação, que, fundamentada na Lei de Henry, aumenta a solubilidade do oxigênio no plasma a

níveis que suprem a demanda tecidual independentemente do fluxo sanguíneo eritrocitário residual. Este aporte maciço de oxigênio desencadeia uma cascata de sinalização molecular que culmina na ativação de fatores de crescimento, como o VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor), essencial para a neovascularização em áreas isquêmicas (OLEY et al., 2024). Conseqüentemente, a restauração do metabolismo celular normaliza a produção de colágeno e a organização da matriz extracelular, processos que são sistematicamente deprimidos pela hiperglicemia persistente. Além disso, a hiperoxia promovida pela câmara hiperbárica restaura o "burst oxidativo" leucocitário, mecanismo oxigênio-dependente crucial para a lise bacteriana, e atua de forma sinérgica com antimicrobianos, potencializando a penetração antibiótica no biofilme da ferida, o que é determinante no manejo de osteomielites e infecções profundas (ZHANG et al., 2022; MARTINS-MENDES et al., 2025).

Contudo, a translação desses benefícios biológicos para a rede pública de saúde brasileira enfrenta desafios estruturais e normativos. Segundo o parecer da Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologias no SUS (CONITEC, 2017), a incorporação da OHB no tratamento de úlceras diabéticas graves ainda é cercada por incertezas metodológicas. Embora os dados clínicos indiquem benefícios na resolutividade das lesões, as evidências são frequentemente criticadas pela heterogeneidade dos protocolos e pela baixa qualidade metodológica de alguns ensaios. Sob a ótica da gestão, o impacto orçamentário incremental projetado para o SUS, que pode representar um aumento de até 2.000% no investimento anual para o tratamento do pé diabético complicado em cenários de oferta ampla, constitui a principal barreira para a sua recomendação favorável (CONITEC, 2017).

Diante desse cenário, a discussão converge para a necessidade de uma seleção rigorosa de casos, onde a OHB seja aplicada como terapia adjuvante em ulcerações infectadas profundas com falha comprovada ao tratamento padrão. A divergência entre a alta aceitação da tecnologia em consultas públicas e a cautela das agências internacionais, como o National Institute for Health and Care Excellence (NICE), reforça que o papel do enfermeiro e da equipe multiprofissional é fundamental na vigilância clínica e na produção de evidências de custo-efetividade (INTERNATIONAL DIABETES FEDERATION, 2023). Portanto, a OHB consolida-se como uma tecnologia de alto valor clínico para o salvamento de membros, mas sua sustentabilidade no SUS depende da

padronização de protocolos assistenciais e de uma gestão de recursos pautada na gravidade e no prognóstico individualizado do paciente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Terapia com Oxigênio Hiperbárico demonstra eficácia significativa como recurso adjuvante no tratamento das úlceras diabéticas, especialmente em cenários de isquemia e infecção persistente. A literatura convergente destaca melhora da cicatrização, redução da progressão infecciosa e diminuição de amputações maiores. Além disso, quando comparado aos custos associados à amputação, reabilitação e perda funcional, a TOHB se revela uma intervenção potencialmente custo-efetiva.

Entretanto, ainda há lacunas importantes: a necessidade de estudos multicêntricos, maior padronização dos protocolos de pressão e número de sessões, e investigações que incluam análise econômica robusta. Conclui-se que a TOHB apresenta papel relevante e promissor, devendo ser integrada ao manejo multidisciplinar do pé diabético em centros especializados

REFERÊNCIAS

ARMSTRONG, D. G.; BOULTON, A. J. M.; BUS, S. A. Diabetic foot ulcers and their recurrence. *The New England Journal of Medicine*, Boston, v. 376, n. 24, p. 2367–2375, 2017.

CONITEC – COMISSÃO NACIONAL DE INCORPORAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO SUS. Oxigenoterapia hiperbárica para o tratamento de pé diabético. Brasília: Ministério da Saúde, 2017.

INTERNATIONAL DIABETES FEDERATION. *IDF Diabetes Atlas*. 10. ed. Bruxelas: International Diabetes Federation, 2021.

INTERNATIONAL DIABETES FEDERATION. *IDF Diabetes Atlas*. 11. ed. Bruxelas: International Diabetes Federation, 2023.

MARTINS-MENDES, D. et al. Microvascular, biochemical, and clinical impact of hyperbaric oxygen therapy in recalcitrant diabetic foot ulcers. *Cells*, Basel, v. 14, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells14151196>.

OLEY, M. H. et al. Hyperbaric oxygen therapy for diabetic foot ulcers based on Wagner grading: a systematic review and meta-analysis. *Plastic and Reconstructive Surgery – Global Open*, Hagerstown, v. 12, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000005692>.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES. *Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes 2023*. São Paulo: Clannad, 2023.

WHITTEMORE, R.; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, v. 52, n. 5, p. 546–553, 2005.

ZHANG, Z. et al. Efficacy of hyperbaric oxygen therapy for diabetic foot ulcers: an updated systematic review and meta-analysis. *Asian Journal of Surgery, Hong Kong*, v. 45, n. 1, p. 68–78, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2021.07.042>.