

Trauma, Cirurgia e Medicina Intensiva

Edição III

Capítulo 08

CURATIVO DE ALTA TECNOLOGIA NO TRATAMENTO DE LESÃO TRAUMÁTICA: INOVAÇÕES, CUIDADO INTENSIVO E CIRURGIA REPARADORA

SIRILO ANTONIO DAL CASTEL JÚNIOR¹
AMANDA TAQUARY MARIN¹
CAIO VICTOR CARVALHO¹
EDUARDA MARTINS CARVALHO¹
GABRIEL MELO TOLEDO NASCIMENTO¹
GABRIEL COSTA PAZ¹
MATHEUS HENRIQUE BARBOSA¹
THAYNNE HAYSSA FRANÇA BARBOSA²

¹Discente - Medicina na Universidade Federal de Goiás

²Discente – Residente em Cirurgia Plástica do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Goiás

Palavras-Chave: Cirurgia Plástica; Curativos; Trauma.

DOI

10.59290/978-65-6029-184-3.8

INTRODUÇÃO

Curativos de alta tecnologia representam uma evolução significativa no cuidado de feridas, especialmente na área da cirurgia plástica reparadora. Diferentemente dos curativos tradicionais, que têm como principal função a hemostasia, a proteção da ferida contra infecções e a absorção de exsudatos, os curativos avançados são projetados para promover um ambiente de cicatrização otimizado, acelerando a recuperação e minimizando cicatrizes. Eles são compostos por materiais inovadores que podem incluir agentes antimicrobianos, hidrogéis, películas semipermeáveis e sistemas de liberação controlada de medicamentos, de forma a oferecer benefícios que vão além da simples proteção da ferida (CHEN *et al.*, 2023).

Historicamente, o cuidado com feridas evoluiu de métodos rudimentares, como o uso de mel e ervas, para técnicas mais sofisticadas, de acordo com os avanços da medicina. O conceito de curativos modernos começou a se desenvolver na década de 1970, com a introdução dos curativos oclusivos, que mantinham a ferida úmida e aceleravam o processo de cicatrização. Um ambiente úmido promove o desbridamento autolítico, estimula a produção de colágeno, promove a migração de queratinócitos para a superfície da ferida e atrai fatores de crescimento para o microambiente da ferida, o que auxilia na cicatrização ao estimular a redução da dor, da inflamação e da necrose (JIANG *et al.*, 2023). Desde então, a pesquisa em biomateriais e a engenharia de tecidos têm levado ao desenvolvimento de curativos com funcionalidades específicas, como controle de infecção, estímulo à regeneração celular e manejo preciso de umidade. Como exemplos de curativos úmidos, destacam-se os hidrogéis, hidrocolóides, filmes, alginatos e espumas, que estão gradual-

mente substituindo os curativos secos, como gazes e bandagens (JIANG *et al.*, 2023).

Na cirurgia plástica reparadora, especialmente no contexto das feridas cirúrgicas complexas e das queimaduras, os curativos de alta tecnologia são valiosos por suas propriedades que ajudam a minimizar cicatrizes e complicações. Curativos com nanofibras, que oferecem uma estrutura semelhante à pele e suportam a regeneração celular, assim como os curativos de hidrogéis, que mantêm a ferida hidratada e auxiliam no alívio da dor, são exemplos de curativos de alta tecnologia de grande utilidade na cirurgia plástica reparadora. Não obstante, os curativos impregnados com prata, conhecidos por suas propriedades antimicrobianas eficazes contra uma ampla gama de patógenos, também são úteis. Outro exemplo são os sistemas de terapia por pressão negativa (TPN), que utilizam dispositivos eletrônicos para aplicar uma pressão controlada sobre a ferida, estimulando a formação de novos tecidos e promovendo uma cicatrização mais rápida e eficiente (WESTBY *et al.*, 2017).

Com isso, os curativos de alta tecnologia representam avanços para a medicina não apenas por revolucionarem o cuidado com feridas, mas também por permitirem avanços significativos na cirurgia plástica reparadora, ao oferecer aos pacientes uma recuperação mais rápida e com resultados estéticos aprimorados.

Dessa maneira, este capítulo tem como objetivo evidenciar os impactos dos curativos de alta tecnologia no tratamento de lesões traumáticas, com destaque para o uso de curativos com terapia de pressão negativa e curativos inteligentes. Espera-se, outrossim, demonstrar que essas tecnologias contribuem significativamente para a aceleração da cicatrização, a redução de complicações como infecções e necroses, e a melhoria da qualidade estética e funcional das cicatrizes. Por fim, espera-se que os

dados obtidos reforcem a viabilidade de adoção dessas inovações como padrão nos cuidados intensivos e em cirurgias plásticas reparadoras.

MÉTODO

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura. Durante o processo de escolha do tema foi levantada a seguinte pergunta: “Quais as inovações e impactos nos cuidados intensivos e na cirurgia plástica reparadora dos curativos de alta tecnologia no tratamento de lesões traumáticas?” Para sistematizar a busca propôs-se a estratégia PCC, um mnemônico amplamente utilizado, sendo “P” a população, “C” o conceito principal a ser estudado e “C” o contexto em que tudo estará inserido. Desse modo, a população são pacientes com lesões traumáticas tratados em unidades de terapia intensiva ou em cirurgias plásticas reparadoras, o conceito é o uso de curativos de alta tecnologia e o contexto é a cirurgia reconstrutora. Com isso, foi estruturada uma estratégia de busca para a obtenção dos artigos, sendo utilizadas bases de dados como a MEDLINE, através do PubMed, LILACS, via BVS e entre outras. Utilizaram-se os termos “*bandages*”, “*wound healing*”, “*wound management*”, “*innovations*”, “*new technique*” e “*high technology*”, unidos pelos operadores booleanos “AND” e “OR”. Foram selecionados estudos baseados em critérios de inclusão e exclusão; como incluídos ficaram os estudos que abordaram todos os termos da estratégia PCC como alicerce principal; como excluídos ficaram estudos que tangenciaram pelo menos um dos termos do mnemônico PCC.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Curativos bioativos e de liberação controlada

No contexto das queimaduras, feridas cirúrgicas e lesões traumáticas, os curativos bioati-

vos e de liberação controlada são inovações significativas que promovem a cicatrização e minimizam o dano associado. Hidrogéis, nanoe-mulsões, quitosan e até materiais autólogos conferem meios propícios para a regeneração dos tecidos e auxiliam no controle de infecções. Diante disso, a presente seção visa apresentar as principais inovações e discussões na utilização de curativos para a cicatrização de lesões traumáticas que possibilitem a prevenção de complicações.

Entre os curativos existentes, os hidrogéis são considerados ideais para lesões traumáticas, como queimaduras e úlceras profundas. Eles mantêm o leito da ferida úmido, impedindo a desidratação e minimizam a formação de crostas, acelerando, assim, a regeneração do tecido. Podendo ser associados com agentes antimicrobianos e anti-inflamatórios que são, então, liberados de forma controlada diretamente no tecido, combatendo a infecção e a proliferação subsequente. Isso é particularmente adequado em lesões expostas, com alto risco de contaminação, como queimaduras de grau II e III. No entanto, para queimaduras mais profundas, com tecido esfacelado, a absorção pode ser reduzida. Para esses tipos de ferida, estratégias adicionais podem ser usadas entre elas estão nanopartículas e hidrogéis sensíveis ao pH ou temperatura, que são exploradas para melhorar a liberação de medicamentos e adaptar o tratamento ao ambiente da ferida, promovendo uma cicatrização mais eficaz (GOHA *et al.*, 2024; MARKIEWICZ-GOSPODAREK *et al.*, 2022).

Já na área da nanobiotecnologia, as nanoe-mulsões são eficazes porque viabilizam a profunda penetração no tecido lesado e a longa liberação de drogas. As nanoemulsões com propriedades antimicrobianas e anti-inflamatórias são fundamentais para evitar infecções bacterianas comuns em feridas traumáticas ou pós-operatórias. Esse sistema de liberação de longo

prazo é mais adequado para lesões do trauma, como lacerantes profundas, avulsões e esmagamento. Seu alto nível de biodisponibilidade incita uma rápida regeneração tecidual e formação do tecido de granulação e consequente epitelização. Como resultado, o curativo pode permanecer por períodos prolongados, reduzindo traumas secundários e riscos de infecção (JIANG *et al.*, 2022; CHHABRA *et al.*, 2023.).

Uma alternativa é a terapia de oxigênio tópico – uma inovação no tratamento de feridas traumáticas. É eficaz sobretudo nas lesões com hipóxia, como grandes lacerações e feridas perforativas profundas. O oxigênio é vital para várias etapas do processo de cicatrização, incluindo a proliferação celular e a angiogênese, necessárias para a reconstrução do tecido. Durante a terapia de oxigênio tópico, ele é fornecido diretamente à ferida, criando condições ideais para a regeneração e para o processo de cicatrização. Além disso, o oxigênio singlete, altamente reativo, é um dos métodos propostos para aumentar a atividade antimicrobiana e alcançar camadas mais profundas do tecido. Esse método pode ser extremamente útil em lesões profundas e grandes com hipóxia tecidual, uma vez que a necrose e a infecção são desafios frequentemente associados a este tipo de feridas. É particularmente benéfico em feridas traumáticas graves (SÝKOROVÁ *et al.*, 2024).

Além dos métodos mencionados, o quitosano, um biopolímero derivado da quitina, tem demonstrado grande potencial tanto na engenharia de tecidos quanto no tratamento de lesões traumáticas. Suas propriedades antimicrobianas e hemostáticas o tornam ideal para feridas abertas, pois ajudam a manter a umidade, promovem rápida coagulação e, assim, limitam a perda de sangue e o risco de infecção. Além disso, os curativos de quitosano permitem a liberação controlada de moléculas bioativas, como fatores de crescimento e antimicrobianos, me-

lhorando a regeneração de tecidos profundos e facilitando a cicatrização de feridas complexas, como as causadas por traumas de esmagamento ou lacerações extensas. Suas propriedades imunomoduladoras equilibram a resposta inflamatória, essencial para evitar complicações no processo de recuperação (PRAMANIK *et al.*, 2024).

Uma alternativa de curativo se dá com o uso da impressão 3D e biomateriais de alvo de integrinas. Devido ao nível avançado da personalização que a impressão 3D permite, é possível criar arcabouços ajustáveis a traumas específicos. Suportes para curativos podem ser feitos para lesões com formatos não lineares, como lacerações profundas e queimaduras, que se assemelham a tecidos permeáveis nativos e promovem a regeneração. Os arcabouços 3D assim fabricados com biomateriais envolvidos em conjunto com integrinas podem facilitar a adesão e a proliferação celular de uma forma eficaz de modo que seja essencial para a regeneração de feridas complexas. Portanto, a impressão 3D parece ser um método valioso de tratamento para traumas de grande escala, para serem usados em feridas que demandam um suporte 3D fabricados à imagem da área atingida (TRIPATHI *et al.*, 2023; DHAVALIKAR *et al.*, 2020).

Por fim, os coágulos sanguíneos autólogos têm sido pesquisados como um material promissor para tratar feridas traumáticas, sendo um arcabouço natural que suporta o tecido lesado. No coágulo, a matriz favorece a coagulação e estabiliza o tecido lesado e previne infecções, enquanto estimula a regeneração tecidual. O uso de coágulos sanguíneos é particularmente benéfico para feridas traumáticas profundas, como fraturas expostas ou lacerações extensivas, uma vez que utiliza o próprio sangue do paciente e seus fatores de crescimento para acelerar a cicatrização e minimizar as complica-

ções em cenários com poucos recursos (VANZWEDEN *et al.*, 2022).

Curativos de pressão negativa

O uso de curativos de pressão negativa (NPWT, do inglês *Negative Pressure Wound Therapy*) no tratamento de feridas complexas representa uma abordagem inovadora e amplamente difundida, capaz de transformar a prática clínica em ambientes de cuidados intensivos e na cirurgia plástica reparadora. Desde a introdução desta tecnologia nos anos 1990, diversos estudos evidenciam sua eficácia no manejo de feridas de difícil cicatrização, tais como úlceras crônicas, lesões traumáticas extensas e feridas cirúrgicas complicadas (SINGH *et al.*, 2020).

A terapia com pressão negativa atua através da aplicação de uma pressão subatmosférica sobre o leito da ferida, promovendo um ambiente de cicatrização favorável, que inclui a remoção de exsudatos, o estímulo à formação de tecido de granulação e a redução de contaminação bacteriana (ENESCU *et al.*, 2020; SCHLOSSER *et al.*, 2019).

A adoção de curativos de pressão negativa na cirurgia plástica reparadora tem mostrado benefícios específicos na reconstrução de defeitos complexos, especialmente em casos em que enxertos de pele e retalhos são necessários. A terapia auxilia na preparação do leito da ferida, proporcionando um ambiente ideal para a aderência dos enxertos e a integração dos retalhos, além de reduzir a necessidade de trocas frequentes de curativos, o que é particularmente vantajoso em pediatria, onde o manejo de dor e o desconforto dos pacientes representam um desafio adicional (ENESCU *et al.*, 2020).

Ademais, a remoção ativa de exsudatos pela pressão negativa desempenha um papel crucial na criação de um ambiente cicatricial propício. A drenagem contínua de fluidos ajuda a evitar a maceração do tecido periférico e a formação

de biofilmes, reduzindo a probabilidade de infecção. Em feridas com alto risco de colonização, a combinação com instilação de soluções antimicrobianas pode potencializar os efeitos de descontaminação e preparar o leito para uma reconstrução definitiva.

Um estudo mostrou que a aplicação de NPWT resulta em uma redução significativa na contagem bacteriana e no tempo de cicatrização de feridas quando comparado a métodos convencionais, como curativos úmidos (KANAPATHY *et al.*, 2020).

Além disso, em uma revisão de ensaios clínicos randomizados, foi observado que o uso profilático de iNPWT em incisões cirúrgicas diminuiu a incidência de infecção de sítio cirúrgico em até 50%, dependendo do tipo de cirurgia e da presença de comorbidades (SCHLOSSER *et al.*, 2019).

Outrossim, os benefícios dos curativos de pressão negativa vão além da redução da incidência de infecções. Singh *et al.* demonstraram que essa tecnologia também pode influenciar mecanismos biológicos complexos, tais como a modulação do microambiente inflamatório, a indução de angiogênese e a reorganização do tecido cicatricial.

A aplicação de pressão subatmosférica gera um estresse mecânico no tecido, que pode desencadear vias de sinalização celular importantes para a proliferação celular e a formação de novos vasos sanguíneos (SCHLOSSER *et al.*, 2019). Esse processo, conhecido como macro e microdeformação, contribui para o fechamento das bordas da ferida e para a redução do tempo de cicatrização, especialmente em feridas que apresentam estagnação no estágio inflamatório ou que sofrem com déficit de perfusão (SINGH *et al.*, 2020).

A microdeformação resulta na aproximação das bordas da ferida, enquanto a microdeformação estimula a proliferação celular e a an-

giogênese através da tensão mecânica aplicada ao citoesqueleto das células (SINGH *et al.*, 2020). Esses efeitos são críticos para o sucesso do processo de cicatrização, especialmente em feridas crônicas que apresentam barreiras biológicas ao reparo, como a presença de biofilmes bacterianos e mediadores inflamatórios.

Nas últimas décadas, a tecnologia evoluiu significativamente, resultando em novas modalidades, como a terapia com instilação e tempo de permanência (NPWTi-d), na qual soluções tópicas são aplicadas ciclicamente sobre o leito da ferida, permanecendo por um período antes de serem removidas pela ação de pressão negativa. Esse avanço proporciona benefícios adicionais, pois a instilação permite a limpeza contínua do leito da ferida e a diluição de contaminantes, o que pode facilitar a reepitelização e a preparação para o fechamento definitivo (DI-EHM *et al.*, 2020). Kanapathy *et al.* indicaram que o NPWTi-d é capaz de acelerar a cicatrização e melhorar os desfechos cirúrgicos em uma variedade de feridas, incluindo aquelas de origem traumática, cirúrgica e crônica.

As lesões traumáticas extensas, especialmente aquelas que envolvem perda de substância significativa e exposição de estruturas nobres, como tendões e ossos, também se beneficiam enormemente do uso de NPWT. O tratamento dessas feridas geralmente requer múltiplas intervenções cirúrgicas para debridamento e cobertura, e o uso de pressão negativa pode reduzir o número de procedimentos necessários, acelerando a formação de tecido de granulação e permitindo a cobertura definitiva mais precoce (ENESCU *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que, em crianças, onde a regeneração tecidual é mais rápida, mas os riscos de complicações e o estresse psicológico são maiores, os curativos de pressão negativa oferecem uma solução que reduz a frequência de trocas de curativos e a exposição a anestésias

repetidas, melhorando a experiência terapêutica geral (ENESCU *et al.*, 2020).

Dessa forma, o uso de NPWT em combinação com outras modalidades terapêuticas, como oxigenoterapia hiperbárica e terapia fotodinâmica, está sendo explorado como uma forma de melhorar ainda mais os desfechos de cicatrização. Esses tratamentos complementares podem potencializar os efeitos benéficos do NPWT, aumentando a oxigenação tecidual e reduzindo a carga microbiana. No entanto, ainda hoje há uma necessidade contínua de ensaios clínicos randomizados multicêntricos de alta qualidade para definir melhor as indicações e os protocolos ideais para essas combinações terapêuticas (SINGH *et al.*, 2020).

Curativos inteligentes com sensores para monitoramento

Os curativos inteligentes, também conhecidos como curativos para feridas ou bandagens inteligentes, são considerados uma inovação importante no tratamento de feridas crônicas e traumáticas. Eles têm aplicações relevantes na cirurgia plástica, nos cuidados intensivos, e em ambientes de cuidados avançados de feridas. Esses curativos utilizam sensores sofisticados e sistemas de monitoramento integrados para coletar dados em tempo real sobre o ambiente da ferida, permitindo intervenções direcionadas e otimizando o processo de cicatrização. Além de reduzir a necessidade de trocas frequentes de curativos, essa tecnologia auxilia na personalização do tratamento e no monitoramento contínuo de indicadores-chave, como temperatura e pH, fundamentais para a identificação precoce de infecções e outras complicações.

Gestão de feridas crônicas

Curativos inteligentes são especialmente vantajosos para o manejo de feridas crônicas, que frequentemente apresentam processos de

cicatrização prolongados devido a uma fase inflamatória persistente. Em feridas crônicas, como úlceras diabéticas e escaras, o monitoramento contínuo de biomarcadores, incluindo temperatura, pH e níveis de oxigênio, é fundamental. Esse monitoramento oferece uma visão precisa e detalhada do estado da ferida, possibilitando a detecção precoce de alterações que poderiam indicar uma piora no quadro, como inflamação exacerbada ou início de uma infecção. Dessa forma, a coleta de dados em tempo real permite que profissionais de saúde façam ajustes rápidos no plano de tratamento, adaptando o uso de antimicrobianos ou alterando a frequência de trocas de curativos conforme necessário. Além disso, essa tecnologia auxilia na redução da duração da fase inflamatória, promovendo um ambiente favorável para o avanço das fases de proliferação e remodelação tecidual, que são essenciais para a cicatrização completa da ferida (TANG *et al.*, 2021).

Monitoramento em tempo real

A integração de sensores microeletrônicos nos curativos inteligentes representa um avanço significativo na capacidade de monitoramento contínuo do ambiente da ferida. Em cenários clínicos agudos e crônicos, essa funcionalidade é essencial para detectar precocemente sinais de infecção, alterações de temperatura e flutuações de umidade, que podem impactar o processo de cicatrização. Curativos inteligentes equipados com sensores de temperatura e umidade oferecem a vantagem de ajustar a terapia em tempo real, ajudando a prevenir infecções ao sinalizar mudanças no microambiente da ferida. Por exemplo, em feridas cirúrgicas ou traumáticas expostas, a presença de uma temperatura elevada pode indicar uma infecção iminente, permitindo que o médico intervenha rapidamente com medidas apropriadas, como a aplicação de antimicrobianos tópicos. Esses sensores tam-

bém auxiliam na adaptação do tratamento a diferentes tipos de feridas, garantindo um monitoramento preciso e minimizando as chances de complicações, o que é particularmente valioso em pacientes com risco elevado, como diabéticos e idosos (FARAHANI & SHAFIEE, 2021).

Funções teranósticas

Curativos inteligentes de última geração incorporam funções teranósticas, que combinam diagnóstico e terapia em uma plataforma integrada, proporcionando uma abordagem avançada para o cuidado de feridas. Esses curativos são capazes de liberar medicamentos em resposta a condições específicas da ferida, como alterações de pH, temperatura ou até mesmo umidade, o que possibilita uma terapia mais precisa e eficaz. Por exemplo, se o sensor detectar uma elevação de pH associada a um processo infeccioso, o curativo pode liberar automaticamente agentes antimicrobianos para combater a infecção de forma localizada. Essa capacidade de resposta adaptativa não só melhora a biodisponibilidade dos medicamentos aplicados, como também reduz a necessidade de administração sistêmica, minimizando potenciais efeitos adversos. Além disso, a resposta imediata aos biomarcadores da ferida evita o avanço de complicações e otimiza o processo de cicatrização. Assim, a função teranóstica dos curativos inteligentes não apenas monitora o estado da ferida em tempo real, mas também atua terapêuticamente, adaptando-se dinamicamente ao microambiente da ferida e acelerando a cicatrização (DARGAVILLE *et al.*, 2013).

Sistemas sem fio e de circuito fechado

Uma das inovações mais promissoras nos curativos inteligentes é a utilização de sistemas sem fio e de circuito fechado, que proporcionam monitoramento e tratamento contínuos, mesmo à distância. Esses sistemas são equipa-

dos com recursos que permitem a monitoração de parâmetros como impedância da pele e temperatura, além de fornecerem estímulos elétricos controlados, que promovem a regeneração tecidual e aceleram o processo de cicatrização. Estudos mostram que a estimulação elétrica aplicada por esses curativos pode acelerar a cicatrização em até 25% e melhorar a remodelação dérmica em aproximadamente 50%, tornando-se uma opção eficaz para o tratamento de feridas complexas e de difícil cicatrização. Esses sistemas de circuito fechado também permitem o controle remoto do tratamento, oferecendo aos profissionais de saúde uma ferramenta para ajustar a intensidade da estimulação elétrica conforme a necessidade do paciente, sem que haja necessidade de intervenções constantes. Esse tipo de sistema é particularmente útil em contextos em que o acompanhamento regular do paciente é desafiador, como em unidades de cuidados intensivos e em pacientes com mobilidade limitada (TANG *et al.*, 2021).

Integração com inteligência artificial

A incorporação de inteligência artificial (IA) nos curativos inteligentes abre novas possibilidades para a análise preditiva e o suporte à decisão no cuidado de feridas. Sensores habilitados para IA podem classificar de maneira automática e precisa os estágios de cicatrização e fornecer orientações baseadas em dados para as decisões de tratamento. Esse suporte oferece uma camada adicional de precisão no cuidado com feridas, permitindo a detecção de potenciais complicações antes que se tornem graves, como infecções ou estagnações no processo de cicatrização. A IA pode identificar padrões em biomarcadores, como variações de pH e temperatura, e prever o curso de cicatrização, oferecendo recomendações específicas para cada caso. Além disso, algoritmos de aprendizado de máquina integrados aos sensores permitem uma análise contínua dos dados coletados, facilitan-

do a adaptação de tratamentos personalizados de forma rápida e eficiente. Com essas capacidades, os curativos inteligentes com IA possibilitam uma abordagem proativa, onde intervenções podem ser feitas com antecedência, reduzindo o risco de complicações e melhorando o tempo de recuperação do paciente (FARAHANI & SHAFIEE, 2021).

Aplicações na cirurgia plástica e nos cuidados críticos

Em ambientes de cirurgia plástica e cuidados críticos, os curativos inteligentes demonstram grande potencial para melhorar os resultados em feridas cirúrgicas e traumáticas. Esses curativos permitem o monitoramento contínuo de locais de incisão e feridas traumáticas, garantindo que os parâmetros ideais de cicatrização sejam mantidos e reduzindo o risco de infecções. A capacidade de monitoramento em tempo real, combinada com a possibilidade de ajustar o tratamento dinamicamente com base nos dados coletados, é de extrema importância nesses contextos. Por exemplo, em feridas pós-cirúrgicas, um aumento de temperatura detectado pelos sensores pode ser um sinal precoce de infecção, permitindo intervenções rápidas que evitam complicações maiores. Em pacientes críticos, os curativos inteligentes também minimizam a necessidade de manipulação frequente da ferida, reduzindo o desconforto e o risco de contaminação. Essas características tornam os curativos inteligentes uma ferramenta essencial em contextos de alta complexidade, como na cirurgia plástica reparadora, onde o controle rigoroso do ambiente da ferida é fundamental para garantir o sucesso dos enxertos e a recuperação estética (TANG *et al.*, 2021).

CONCLUSÃO

A utilização de curativos de alta tecnologia no tratamento de lesões traumáticas tem revo-

lucionado o cuidado de feridas complexas, especialmente em ambientes de cuidados intensivos e na cirurgia plástica reparadora. Esses avanços, como os curativos bioativos, a terapia com pressão negativa, e as aplicações de nanobiotecnologia, têm demonstrado eficácia na aceleração do processo de cicatrização, redução do risco de infecções e minimização de complicações. As tecnologias mencionadas, incluindo hidrogéis, nanoemulsões e quitosan, além do uso de biomateriais personalizados via impressão 3D, oferecem alternativas inovadoras que não apenas promovem a regeneração tecidual

mais rápida e eficaz, mas também permitem uma abordagem de tratamento mais individualizada e menos invasiva para os pacientes.

Com isso, os curativos de alta tecnologia representam um importante avanço para a medicina moderna, proporcionando uma recuperação mais segura e com menor sofrimento para os pacientes. A evolução dessas tecnologias continua sendo essencial para otimizar os resultados clínicos e transformar práticas em diversas áreas médicas, apontando para um futuro promissor na gestão de lesões traumáticas e de feridas cirúrgicas complexas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHEN, Y. *et al.* Research advances in smart responsive-hydrogel dressings with potential clinical diabetic wound healing properties. *Military Medical Research*, v. 10, n. 37, 2023. doi: 10.1186/s40779-023-00473-9.
- CHHABRA, J. *et al.* Potential of nanoemulsions for accelerated wound healing: innovative strategies. *International Journal of Surgery*, v. 109, p. 2365, 2023. doi: 10.1097/JS9.0000000000000460.
- DARGAVILLE, T.R. *et al.* Sensors and imaging for wound healing: a review. *Biosensors & bioelectronics*, v. 41, p. 30, 2012. doi: 10.1016/j.bios.2012.09.029.
- DHAVALIKAR, P.S. *et al.* Review of Integrin-targeting Biomaterials in Tissue Engineering. *Advanced Healthcare Materials*, v. 9, n. 23, p. e2000795, 2020. doi: 10.1002/adhm.202000795.
- DIEHM, Y.F. *et al.* Negative pressure wound therapy with instillation and dwell time (NPWTi-d) with V. A. C. VeraFlo in traumatic, surgical, and chronic wounds—A helpful tool for decontamination and to prepare successful reconstruction. *International Wound Journal*, v. 17, n. 6, p. 1740, 2020. doi: 10.1111/iwj.13462.
- ENESCU, D.M. *et al.* Management of lower extremity traumatic injuries with negative pressure wound therapy: Experience of a pediatric plastic surgery department. *Injury*, v. 51, Suppl 4, p. S9, 2020. doi: 10.1016/j.injury.2020.03.027.
- FARAHANI, M. & SHAFIEE, A. Wound healing: From passive to smart dressings. *Advanced Healthcare Materials*, v. 10, n. 16, p. e2100477, 2021. doi: 10.1002/adhm.202100477.
- GOHA, M. *et al.* Advancing burn wound treatment: exploring hydrogel as a transdermal drug delivery system. *Drug Delivery*, v. 31, n. 1, p. 2300945, 2024. doi: 10.1080/10717544.2023.2300945.
- JIANG, P. *et al.* Current status and progress in research on dressing management for diabetic foot ulcer. *Frontiers in Endocrinology*. v. 14, n. 1221705, 2023. doi: 10.3389/fendo.2023.1221705.
- JIANG, T. *et al.* Nanobiotechnology: Applications in Chronic Wound Healing. *International Journal of Nanomedicine*, v. 17, p. 3125, 2022. doi: 10.2147/IJN.S372211.
- JIANG, Y. *et al.* Wireless, closed-loop, smart bandage with integrated sensors and stimulators for advanced wound care and accelerated healing. *Nature biotechnology*, v. 41, n. 5, p. 652, 2022. doi: 10.1038/s41587-022-01528-3.
- KANAPATHY, M. *et al.* Clinical application and efficacy of negative pressure wound therapy with instillation and dwell time (NPWTi-d): A systematic review and meta-analysis. *International Wound Journal*, v. 17, n. 6, p. 1948, 2020. doi: 10.1111/iwj.13487.
- MARKIEWICZ-GOSPODAREK, A. *et al.* Burn Wound Healing: Clinical Complications, Medical Care, Treatment, and Dressing Types. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 3, p. 1338, 2022. doi: 10.3390/ijerph19031338.
- PRAMANIK, S. *et al.* Chitosan alchemy: transforming tissue engineering and wound healing. *The Royal Society of Chemistry Advances*, v. 14, p. 19219, 2024. doi: 10.1039/d4ra01594k.
- SCHLOSSER, K.A. *et al.* Management of Surgical Incisions Using Incisional Negative-Pressure Therapy. *Plastic and Reconstructive Surgery*, v. 143, p. 15S, 2019. doi: 10.1097/PRS.00000000000005307.
- SINGH, D. *et al.* Practical Things You Should Know about Wound Healing and Vacuum-Assisted Closure Management. *Plastic and Reconstructive Surgery*, v. 145, n. 4, p. 839e, 2020. doi: 10.1097/PRS.00000000000006652.
- SÝKOROVÁ, M. *et al.* Topical oxygen therapy and singlet oxygen in wound healing: A scoping review. *International Wound Journal*, v. 21, p. e14846, 2024. doi: 10.1111/iwj.14846.
- TANG, N. *et al.* Multifunctional dressing for wound diagnosis and rehabilitation. *Advanced Healthcare Materials*, v. 10, n. 22, p. e2101292, 2021. doi: 10.1002/adhm.202101292.

TRIPATHI, S. *et al.* 3D bioprinting and its innovative approach for biomedical applications. *MedComm*, v. 4, p. e194, 2023. doi: 10.1002/mco2.194.

VANZWEDEN, E. *et al.* The Advances of Blood Clots Used as Biomaterials in Regenerative Medicine. *Regenerative Medicine*, v. 17, n. 12, p. 957, 2022. doi: 10.2217/rme-2022-0035.

WESTBY, M. *et al.* Dressings and topical agents for treating pressure ulcer. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, n. 6, 2017. doi: 10.1002/14651858.CD011947.pub2.