



Progressos recentes e aplicações clínicas de biomateriais avançados em cirurgia plástica

Recent progress and clinical applications of advanced biomaterials in plastic surgery

Avances recientes y aplicaciones clínicas de biomateriales avanzados en cirugía plástica

Kevin Amorim Alves¹, Emanuelle Fernandes de Paula², Iago Delagallo³, Diana Kuperchmit⁴, Ana Clara Pontes de Castro⁵, Giovanna Bartag Paiuta⁶, Sarah Brandão Domingues⁷, Luiz Guilherme Oliveira⁸, Victor Nando de Souza Mesquita⁹, Priscila de Jesus Santana¹.

RESUMO

Objetivo: Avaliar os progressos recentes e as aplicações clínicas de biomateriais avançados na cirurgia plástica, explorando os benefícios, desafios, e as implicações para a prática cirúrgica. **Métodos:** Revisão integrativa, conduzida com análise completa de 16 artigos no idioma inglês, publicados no período de 2023 a 2024, que abordam o uso de diferentes biomateriais avançados utilizados em procedimentos cirúrgicos, em busca de constatar a melhoria dos resultados clínicos e estéticos. **Resultados:** Evidenciou-se avanços na reconstrução tecidual e tratamento de feridas, com destaque para a eficácia de implantes tridimensionais, transplante de retalhos e infusão contínua de vancomicina. Materiais inovadores, como biotintas e membranas bicamadas, mostraram boa biocompatibilidade e potencial na regeneração de tecidos. Curativos inteligentes e bioimpressão 3D também se destacam, apesar de ainda enfrentarem desafios. No geral, essas inovações apontam para melhorias significativas na cirurgia reconstrutiva e na medicina regenerativa. **Considerações finais:** Essas inovações em biomateriais oferecem um benefício relevante na cirurgia plástica, em cirurgias reconstrutivas e em melhora do pós-operatório, porém é necessários mais ensaios clínicos de diversos biomateriais antes de uma aplicação abrangente.

Palavras-chave: Biomateriais, Manufatura 3D, Cirurgia plástica, Cirurgia reconstrutiva.

ABSTRACT

Objective: To evaluate recent progress and clinical applications of advanced biomaterials in plastic surgery, exploring the benefits, challenges, and implications for surgical practice. **Methods:** Integrative review conducted with a complete analysis of 16 articles in the English language, published between 2023 and 2024, which address the use of different advanced biomaterials used in surgical procedures, seeking to verify the

¹ Universidad Nacional de Rosario (UNR), Rosario - SF / Argentina.

² Centro universitário Unifacisa (UNIFACISA), Campina Grande – PB.

³ Universidade Santo Amaro (UNISA), São Paulo - SP

⁴ Universidade Cidade de São Paulo (UNICID), São Paulo - SP.

⁵ Centro Universitário de Belo Horizonte (UNIBH), Belo Horizonte - MG

⁶ Faculdade São Leopoldo Mandic (SLM), Campinas- SP.

⁷ Universidade Evangélica de Goiás (UNIEVA), Anápolis- GO.

⁸ Universidade Nove de Julho (UNINOVE), Guarulhos - SP.

⁹ Universidade Estadual de Roraima (UERR), Boa Vista - RR.

improvement of clinical and aesthetic results. **Results:** Advances in tissue reconstruction and wound treatment have been highlighted, with emphasis on the effectiveness of 3D-printed implants, flap transplantation, and continuous infusion of vancomycin. Innovative materials, such as bioinks and bilayer membranes, showed good biocompatibility and potential for tissue regeneration. Smart dressings and 3D bioprinting also stand out, despite still facing challenges. Overall, these innovations point to significant improvements in reconstructive surgery and regenerative medicine. **Final considerations:** These innovations in biomaterials offer a relevant benefit in plastic surgery, reconstructive surgery and post-operative improvement, but more clinical trials of different biomaterials are needed before a comprehensive application.

Keywords: Biomaterials, 3D manufacturing, Plastic surgery, Reconstructive surgery.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar el progreso reciente y las aplicaciones clínicas de biomateriales avanzados en cirugía plástica, explorando los beneficios, desafíos e implicaciones para la práctica quirúrgica. **Métodos:** Se trata de una revisión integradora, realizada con un análisis completo de 16 artículos en idioma inglés, publicados entre 2023 y 2024, que abordan el uso de diferentes biomateriales avanzados utilizados en procedimientos quirúrgicos, buscando verificar la mejora clínica y estética. **Resultados:** Se han evidenciado avances en la reconstrucción tisular y el tratamiento de heridas, destacando la eficacia de los implantes tridimensionales, el trasplante de colgajos y la infusión continua de vancomicina. Materiales innovadores, como las biotintas y las membranas bicapa, demostraron buena biocompatibilidad y potencial en la regeneración de tejidos. Los apósitos inteligentes y la bioimpresión 3D también se destacan, aunque aún enfrentan desafíos. En general, estas innovaciones apuntan a mejoras significativas en la cirugía reconstructiva y la medicina regenerativa. **Consideraciones finales:** Las innovaciones en biomateriales ofrecen un beneficio relevante en cirugía plástica, cirugía reconstructiva y mejora postoperatoria, pero se necesitan más ensayos clínicos de diferentes biomateriales antes de una aplicación integral.

Palabras clave: Biomateriales, Fabricación 3D, Cirugía plástica, Cirugía reconstructiva.

INTRODUÇÃO

Os avanços no desenvolvimento de biomateriais transformaram fundamentalmente o domínio da cirurgia plástica, produzindo metodologias inovadoras para procedimentos estéticos e reconstrutivos. Nos últimos anos, a utilização de substâncias biocompatíveis, abrangendo polímeros, metais e cerâmicas, proliferou para melhorar os resultados clínicos e estéticos, facilitando a cicatrização rápida e eficaz e diminuindo as complicações pós-operatórias. A incorporação de tecnologias inovadoras, como a bioimpressão tridimensional, aumentou ainda mais essas aplicações, permitindo a fabricação de implantes e andaimes personalizados para regeneração de tecidos, particularmente em procedimentos cirúrgicos complexos, como cirurgia craniomaxilofacial e reconstrutiva (SINGH JR TS, et al., 2023).

A manufatura assistida por computador, em conjunto com a manufatura aditiva, provou ser particularmente vantajosa para a criação de dispositivos específicos para pacientes, produzindo durações operacionais reduzidas e maior eficiência (SLAVIN BV, et al., 2023). Biomateriais avançados apresentam uma ampla variedade de aplicações clínicas, desde preenchimentos dérmicos até estruturas projetadas para regeneração óssea. No campo da cirurgia plástica, esses materiais experimentaram aprimoramentos progressivos com o objetivo de facilitar a regeneração dos tecidos, minimizando as complicações e maximizando a biocompatibilidade. Novas tecnologias, incluindo hidrogéis e polímeros biodegradáveis, são parte integrante dos processos de cicatrização de feridas e reparo de tecidos.

Esses materiais foram projetados para se integrarem perfeitamente aos tecidos biológicos, mitigando assim o risco de rejeição e acelerando a recuperação. Os hidrogéis, por exemplo, se distinguem por sua capacidade superior de retenção de água e adaptabilidade a feridas, apresentando várias vantagens em relação aos curativos convencionais (WANG P, et al., 2024). Além disso, a aplicação de biomateriais que modulam a autofagia demonstrou potencial na promoção da regeneração tecidual, afetando diretamente mecanismos celulares vitais, como proliferação e diferenciação (WU Y, et al., 2024). Recentemente, o

emprego de biomateriais no campo da engenharia de tecidos nasais tem despertado cada vez mais interesse, com a tecnologia de impressão tridimensional facilitando a fabricação de andaimes caracterizados por microarquiteturas tridimensionais que emulam tecidos humanos.

Os diversos novos materiais usados para aumento craniofacial, embora os materiais aloplásticos sejam preferidos devido às limitações dos enxertos autólogos, apresentam suas vantagens e desvantagens. Implantes de PEEK (Poliéter-éter-cetona) mostraram sucesso com baixas complicações, mas podem favorecer a adesão bacteriana, enquanto os implantes de silicone são amplamente utilizados, mas têm taxas mais altas de complicações. Os enxertos de cartilagem alogênica são considerados uma opção segura para rinoplastia (KAUKE - NAVARRO M, et al., 2024). Esses avanços levaram a resultados clínicos mais favoráveis, proporcionando maior controle sobre a arquitetura do tecido (FARAHANI PK, 2023).

No entanto, apesar de seu potencial promissor, investigações adicionais são necessárias para verificar a segurança, a biodegradabilidade e a assimilação efetiva desses biomateriais nos tecidos receptores. A cirurgia plástica reconstrutiva representa um domínio em crescimento substancial, marcado por avanços científicos significativos nas últimas décadas. Historicamente, a cirurgia reconstrutiva era limitada por uma gama limitada de ferramentas destinadas a restaurar a forma e a função das estruturas anatômicas, como enxertos de pele e retalhos locais.

No entanto, os avanços contemporâneos estão ampliando as alternativas terapêuticas para vários dados demográficos de pacientes, exemplificados pelo emprego de biomateriais derivados de técnicas de impressão tridimensional (JESSOP ZM, et al., 2015). As discussões sobre as aplicações da impressão tridimensional nas áreas médicas começaram no final dos anos 1980. O método inaugural de impressão tridimensional, a estereolitografia (SLA), foi desenvolvido em 1994, e a cirurgia oral e maxilofacial surgiu como a primeira especialidade médica a adotar essa tecnologia, o que permite a criação de modelos personalizados para pacientes individuais (SINGH JR TS, et al., 2023). A qualidade dos biomateriais é extremamente importante para alcançar resultados cirúrgicos satisfatórios. A qualidade do biomaterial é de suma importância para a obtenção de resultados cirúrgicos ideais.

O biomaterial por excelência adequado para aplicações cirúrgicas deve apresentar características que incluem: efeitos duradouros, segurança, capacidade de degradação, facilitação da regeneração tecidual sem incorrer no risco de rejeição, facilidade de remodelação e equilíbrio harmonioso entre degradação e regeneração. No entanto, certas implicações de longo prazo sobre esses biomateriais e seus efeitos na saúde requerem mais investigações, particularmente em relação à sua interação com os tecidos do hospedeiro, biocompatibilidade, segurança e biodegradabilidade. Consequentemente, existem lacunas cruciais no conhecimento que justificam pesquisas adicionais (LI H, et al., 2023). À luz das considerações acima mencionadas, este estudo busca avaliar os avanços contemporâneos e as aplicações clínicas de biomateriais sofisticados em cirurgia plástica, investigando as vantagens, desafios e ramificações para a prática cirúrgica.

MÉTODOS

Esta revisão integrativa foi desenvolvida seguindo os critérios da estratégia PVO, que representa: População ou Problema, Variáveis e Desfecho. Analisou-se a pacientes submetidos a procedimentos de cirurgia plástica estética ou reconstrutiva, exposta à biomateriais avançados utilizados em procedimentos cirúrgicos, em busca de constatar a melhoria dos resultados clínicos e estéticos, bem como a redução de complicações associadas aos procedimentos, através da pergunta de pesquisa “Quais são os progressos recentes no desenvolvimento de biomateriais avançados para cirurgia plástica, e como essas inovações estão sendo aplicadas clinicamente para melhorar os resultados em procedimentos estéticos e reconstrutivos?”.

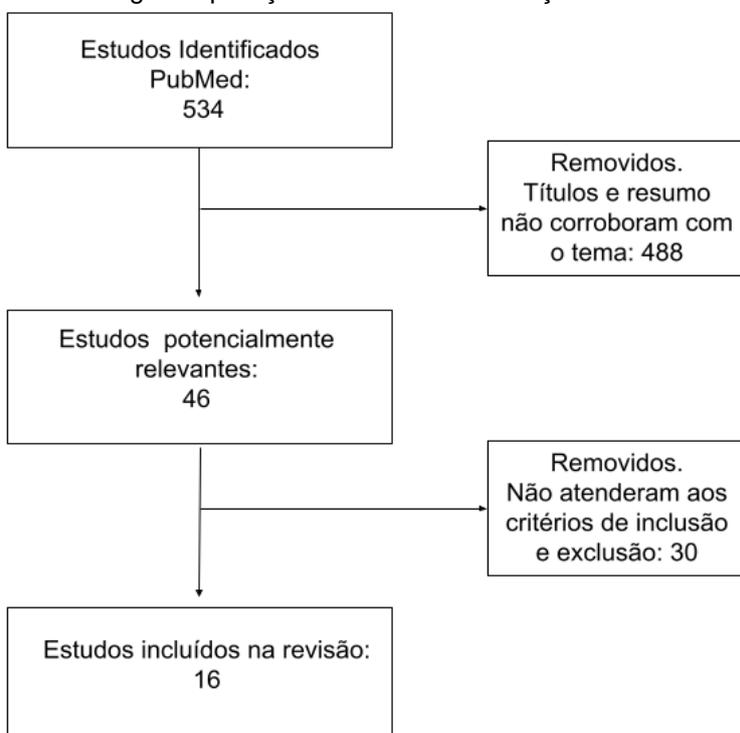
As buscas foram realizadas na base de dados PubMed Central (PMC). Foram utilizados os seguintes termos de pesquisa em combinação com os operadores booleanos AND e OR, através da seguinte estratégia de pesquisa: (biomaterials) OR (3D manufacturing) AND (plastic surgery) OR (reconstructive surgery). A busca inicial resultou em 354 artigos, que foram posteriormente submetidos aos critérios de seleção. Os critérios de inclusão foram: artigos no idioma inglês; publicados no período de 2022 a 2024; que abordavam as temáticas

propostas para esta pesquisa; estudos do tipo revisão e meta-análise; e que estavam disponibilizados na íntegra. Os critérios de exclusão incluíram: artigos duplicados, artigos disponibilizados apenas na forma de resumo, estudos que não abordavam diretamente a proposta estudada e aqueles que não atendiam aos demais critérios de inclusão. Após a aplicação dos critérios de seleção, foram selecionados 16 artigos para compor o presente estudo.

RESULTADOS

Após a aplicação da estratégia de pesquisa foram encontrados um total de 354 artigos. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão foram selecionados 46, sendo removidos 30 artigos após análise secundária, totalizando para análise completa 16 artigos, conforme apresentado na (**Figura 1**). Os resultados foram apresentados no (**Quadro 1**) e de forma descritiva.

Figura 1 - Fluxograma de estratégia e aplicação de critérios de seleção de estudos.



Fonte: Alves KA, et al., 2024.

Quadro 1 - Síntese dos principais achados sobre determinado tema.

N	Local de Publicação	Autores (Ano)	Principais achados
1	iScience	Wang L, et al. (2024)	Estudo retrospectivo que avaliou a sobrevivência de pacientes com sarcomas da parede torácica após receberem excisão ampla e reconstrução da parede torácica usando implantes impressos tridimensionais; Tendo como conclusão a existência de um grau elevado de segurança e eficácia do uso dos implantes.
2	Cells	Francesco DF, et al. (2023)	O estudo revisa o conceito tradicional da escada reconstrutiva em cirurgia plástica, que utiliza técnicas progressivas de reconstrução tecidual, destacando o avanço da escada reconstrutiva, incorporando inovações tecnológicas e biológicas, para uma abordagem mais personalizada e eficiente na reconstrução de tecidos.
3	Int Wound J	Song L e Liu X (2024)	Estudo de coorte que analisou a eficácia de técnicas de transplante de retalho no tratamento de deficiências de tecido nasal pós-

			rinoplastia em 38 pacientes, comparando um grupo que recebeu tratamento anti-infeccioso padrão com outro submetido a enxerto de retalho; O transplante de retalho demonstrou superioridade terapêutica e reconstrutiva, proporcionando melhores resultados estéticos e funcionais em comparação ao tratamento padrão.
4	Gland Surgery	Bushong EE, et al. (2024)	Estudo de coorte que analisou a matriz dérmica acelular tem sido o biomaterial de escolha na reconstrução mamária pós-mastectomia. Efeitos positivos na contratatura capsular, controle da bolsa e aumento do tecido mole.
5	Molecules	Jamal M, et al. (2024)	Estudo experimental e in vitro, focado no desenvolvimento e caracterização de membranas para engenharia de tecidos da pele, com testes de citotoxicidade e proliferação celular utilizando a linha celular MC3T3. Desenvolveu-se fibras eletrofiadas bicamadas para aplicações em engenharia de tecidos da pele, utilizando diferentes proporções de PHBV-PLLA (70:30, 80:20 e 90:10 w/w). Essas fibras foram caracterizadas com FTIR, que confirmou os picos característicos do PHBV e PLLA. A análise morfológica por SEM mostrou fibras aleatórias com morfologia porosa, diâmetro de $0,7 \pm 0,1 \mu\text{m}$ e tamanho de poro de $1,9 \pm 0,2 \mu\text{m}$. As bicamadas apresentaram maior alongamento na ruptura (44,45%) e maior resistência à tração (7,940 MPa) em comparação com as monocamadas. Em testes in vitro, as membranas mostraram biocompatibilidade, com boa proliferação celular e adesão, sendo indicadas para potenciais aplicações como substitutos de pele.
6	Regenerative Biomaterials	Song Y, et al., (2023)	Estudo observacional retrospectivo teve como objetivo avaliar a necessidade do uso de matriz dérmica acelular (ADM) na reconstrução mamária pré-peitoral após mastectomia poupadora de mamilo. Foram analisadas 115 reconstruções em 66 pacientes, comparando mamas com e sem ADM. Os principais achados indicaram que mamas com ADM apresentaram maior taxa de necrose do mamilo (28% vs. 10%), enquanto a reconstrução direta ao implante (DTI) foi associada a menos complicações, como menor necrose, perda de implante e necessidade de cirurgias adicionais, em comparação com o uso de expansores de tecido (TE). A conclusão sugere que o uso de ADM não oferece benefícios significativos na redução de complicações, podendo não ser necessário em reconstruções mamárias pré-peitorais.
7	Advanced Healthcare Materials	Cianciosi A, et al., (2023)	O estudo experimental desenvolveu uma resina fotoclick flexível à base de gelatina modificada (gelAGE) para bioimpressão volumétrica (VBP), permitindo a criação rápida e precisa de estruturas celulares complexas em segundos. A resina demonstrou ser eficaz na diferenciação de células estromais adiposas e na impressão de adipócitos, mostrando grande potencial para aplicações em engenharia de tecidos moles.
8	Frontiers in Chemistry	Liu Y, et al., (2024)	O estudo revisa o uso de novas tecnologias e materiais para melhorar o tratamento de cicatrizes patológicas (PS), incluindo cicatrizes hipertróficas e queloides, que são complicações comuns de cicatrização inadequada. Os tratamentos atuais, como cirurgia e terapias medicamentosas, enfrentam desafios como baixa eficácia e alto risco de recorrência. Novas tecnologias, como microagulhas (MN) e terapia fotodinâmica (PDT), junto com materiais inovadores como fotosensibilizadores e exossomos (Exos), oferecem alternativas mais seguras e eficazes, com menos efeitos colaterais e menor rejeição imunológica, potencialmente melhorando os resultados no tratamento de PS.

9	Heliyon	Cheng L, et al. (2024)	<p>Estudo experimental que desenvolveu hidrogéis a partir de carboximetilcelulose (CMC), álcool polivinílico (PVA) e gelatina, mimetizando a matriz extracelular natural. A caracterização dos hidrogéis incluiu análise estrutural, morfológica e de molhabilidade, além de testes de degradação e inchaço em diferentes meios, como solução salina tamponada e meio aquoso, onde apresentaram maior capacidade de inchaço. A liberação de Neomicina demonstrou comportamento responsivo ao pH, e os testes in vitro com fibroblastos e células renais embrionárias humanas (HEK 293) indicaram boa citocompatibilidade, promovendo vascularização e angiogênese. Os resultados sugerem que esses hidrogéis são promissores para uso como curativos em cicatrização de feridas.</p>
10	Bioengineering	Mirsky NA, et al. (2024)	<p>O estudo revisa os avanços da bioimpressão 3D em diversas disciplinas cirúrgicas nos últimos cinco anos, destacando a criação de estruturas complexas e personalizadas que imitam as características dos tecidos naturais, essenciais para intervenções cirúrgicas e tratamentos específicos para pacientes. Embora a bioimpressão tenha trazido inovações significativas, desafios como a vascularização dos tecidos impressos, integração com o tecido hospedeiro e viabilidade a longo prazo ainda persistem. A revisão conclui que, apesar do grande potencial da bioimpressão 3D para transformar a prática cirúrgica, mais pesquisas, desenvolvimento e um marco regulatório claro são necessários para sua plena aplicação clínica no futuro.</p>
11	Frontiers in Bioengineering and Biotechnology	Grandjean T, et al., (2024)	<p>O estudo utilizou a bioimpressão 3D baseada em extrusão para criar uma nova biotinta de hidrogel de alginato/celulose carregada com concentrado de plaquetas. Os testes demonstraram alta fidelidade de forma, excelente biocompatibilidade e liberação de fatores de crescimento pró-angiogênicos. A biotinta mostrou viabilidade e proliferação celular adequadas em ensaios com células HUVECS e potencial pró-angiogênico em experimentos in vivo. Conclui-se que esta abordagem pode ser adequada para tratar defeitos fisiológicos e anatômicos desafiadores quando aplicada clinicamente.</p>
12	Biomaterials Research	Li M, et al., (2023)	<p>O estudo revisa o impacto dos curativos inteligentes no tratamento de feridas cutâneas, destacando que, apesar dos avanços nos resultados da cicatrização, os curativos convencionais ainda são insuficientes devido à complexidade do processo de cicatrização. Curativos inteligentes, que reagem a mudanças nas condições da ferida ou do ambiente, surgem como plataformas terapêuticas promissoras. O artigo aborda o processo de cicatrização, os mecanismos dos materiais responsivos e as inovações recentes nesses curativos. Também discute os avanços clínicos, desafios e perspectivas futuras, ressaltando o potencial de desenvolvimento e tradução clínica dos curativos inteligentes.</p>
13	Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery	Systemans S, et al., (2024)	<p>Estudo de coolimplantes MyBone Custom® de hidroxiapatita porosa foram usados com sucesso em 13 pacientes para reconstrução óssea maxilofacial, mostrando sinais de osteointegração, sem complicações pós-operatórias significativas. Os implantes MBCI oferecem novas possibilidades para reconstrução óssea maxilofacial, com baixo risco de complicações e alto potencial de osteointegração, sendo uma alternativa promissora a materiais como titânio e PEEK.</p>
14	Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials	Bergamo ETP, et al., (2023)	<p>O estudo avaliou a resposta celular e a regeneração óssea usando duas membranas diferentes em um modelo de regeneração óssea guiada (GBR) em cães: uma membrana de pele de peixe (Kerecis Oral®) e uma membrana de colágeno derivada de porco</p>

			(Mucograft®). Ambas as membranas demonstraram biocompatibilidade, sem efeitos citotóxicos, e promoveram a proliferação celular. A Kerecis Oral® mostrou maior expressão de ALPL e COL1A1 nos primeiros dias, enquanto ambas as membranas apresentaram expressões semelhantes de BMP2 e RUNX2. Nos experimentos com cães, houve aumento significativo na formação óssea ao longo de 90 dias, sem diferenças significativas entre as duas membranas. A análise volumétrica indicou uma reabsorção gradual do material de enxerto e regeneração óssea ao longo do tempo, com ambas as membranas permitindo a restauração da forma mandibular.
15	Journal of Hand and Microsurgery	Wu SS, et al., (2022)	Estudo retrospectivo que comparou os resultados da reconstrução de feridas na extremidade superior usando Novosorb Biodegradable TempORIZING Matrix (BTM) e Integra. Foram incluídos 48 pacientes, com características demográficas e etiologias de feridas semelhantes entre os grupos. Complicações de infecção e deiscência foram comparáveis entre BTM e Integra, mas menos complicações com enxertos de pele ocorreram no grupo Integra. BTM apresentou um tempo de cicatrização mais longo, porém exigiu menos procedimentos secundários e enxertos de pele. O BTM também se mostrou uma opção mais econômica, com um custo significativamente menor que o Integra, oferecendo resultados comparáveis em termos de cicatrização e complicações.
16	Elsevier	Wang Z, et al., (2024)	O estudo investigou o impacto de enxertos à base de tropoelastina (TE) na cicatrização de feridas cutâneas em camundongos, comparando-os ao padrão ouro Integra e ao poliglicerol sebacato (PGS). A inclusão de TE nos enxertos resultou em uma resposta inflamatória mais favorável, com aumento de macrófagos anti-inflamatórios e células T reguladoras no local da ferida, além de níveis elevados de IL-10 no plasma. Em contraste, enxertos de PGS sem TE apresentaram inflamação prolongada. Concluiu-se que os enxertos com TE criam um ambiente pró-cura ao modular respostas inflamatórias locais e sistêmicas.

Fonte: Alves KA, et al., 2024.

DISCUSSÃO

Avanços recentes no desenvolvimento de biomateriais avançados para cirurgia plástica aprimoraram significativamente os procedimentos estéticos e reconstrutivos, integrando tecnologias inovadoras e moléculas biologicamente ativas. Uma das principais inovações é o uso da bioimpressão 3D, que permite a criação de implantes personalizados com alta biocompatibilidade e imunogenicidade reduzida em comparação com os biomateriais tradicionais. Essa tecnologia é particularmente benéfica em cirurgia reconstrutiva para pacientes com queimaduras graves, úlceras diabéticas e defeitos cutâneos traumáticos, onde pode ser combinada com células-tronco mesenquimais para promover a cicatrização de feridas e a regeneração tecidual (FRANCESCO DF, et al., 2023).

Foi demonstrado também, que a incorporação de substâncias bioativas, como vesículas extracelulares e fatores de crescimento em biotintas, aumenta as capacidades regenerativas de construções bioimpressas, facilitando a angiogênese e melhorando a proliferação celular (FRANCESCO DF, et al., 2023). No campo da cicatrização de feridas, curativos inteligentes feitos de materiais biorresponsivos estão sendo desenvolvidos para interagir com o ambiente da ferida, promovendo a hemostasia, regulando a inflamação e controlando a infecção, promovendo processos de cicatrização mais eficazes (LI M, et al., 2023).

Esses curativos são projetados para responder a estímulos endógenos e exógenos, fornecendo uma abordagem personalizada para o tratamento de feridas que pode ser adaptada a vários tipos de feridas (LI M, et al., 2023). Os andaimes sintéticos, embora ofereçam soluções potenciais, geralmente sofrem de menor

afinidade celular, levando à exploração de construções híbridas que combinam materiais sintéticos e biológicos para melhorar os resultados (MIRSKY NA, et al., 2024). Somado a isso, o desenvolvimento de membranas poliméricas eletrofiadas biocompatíveis, como as bicamadas PHBV-PLLA, mostrou-se promissor em aumentar a fixação e proliferação celular, que são essenciais para aplicações de engenharia de tecidos cutâneos.

Essas membranas apresentam alta resistência mecânica e biocompatibilidade, tornando-as adequadas para uso como substitutos da pele (JAMAL M, et al., 2024). O uso de polímeros e hidrogéis biodegradáveis na bioimpressão foi explorado para melhorar a integridade e a biocompatibilidade do enxerto, com técnicas como impressão baseada em extrusão e processamento digital de luz sendo empregadas para fabricar construções teciduais complexas (MIRSKY NA, et al., 2024; GRANDJEAN T, et al., 2024). Esses avanços não apenas aprimoram as propriedades mecânicas e a capacidade regenerativa das construções, mas também orientam a organização celular e mantêm as características fenotípicas, que são cruciais para o sucesso da integração e função dos tecidos (GRANDJEAN T, et al., 2024).

Wang Z, et al., (2024) investigou os efeitos de diferentes enxertos (TE-PGS, PGS e Integra) na cicatrização de feridas, com foco nas respostas imunes, especialmente o papel dos macrófagos e células T reguladoras. Os enxertos TE-PGS demonstraram melhores resultados ao promover a cicatrização, aumentando o recrutamento de macrófagos M2, produção de colágeno e angiogênese, além de reduzirem a inflamação sistêmica e local. Em comparação, o PGS resultou em inflamação prolongada. O estudo concluiu que a tropoelastina (TE) nos enxertos melhora a cicatrização ao modular as respostas imunes, superando outros tratamentos como PGS e Integra.

Mirsky NA, et al. (2024), analisa os avanços na tecnologia de bioimpressão tridimensional (3D), enfatizando suas aplicações em engenharia de tecidos e medicina regenerativa nos últimos cinco anos, destacando a criação de construções complexas e personalizadas de vários tecidos que imitam de perto os tecidos naturais, que são essenciais para intervenções cirúrgicas. Li M, et al., (2023) também enfatiza que o desenvolvimento de biomateriais inteligentes para cicatrização de feridas cutâneas, destacando sua capacidade de resposta a vários estímulos endógenos e exógenos, como pH, luz e ultrassom.

Esses materiais são projetados para melhorar a cicatrização por meio de mecanismos como hemostasia, propriedades antibacterianas e pró-vascularização. A pesquisa destaca o potencial dos curativos inteligentes para monitorar a cicatrização em tempo real e administrar medicamentos de forma eficaz, embora muitos ainda não tenham atingido os estágios de ensaios clínicos, defendendo modelos pré-clínicos padronizados para facilitar a aprovação e aplicação desses materiais inovadores.

A aplicação e o progresso de novas tecnologias e materiais no tratamento de cicatrizes patológicas, frente às limitações dos tratamentos tradicionais, como cirurgia e medicamentos, devido a efeitos colaterais e recaídas, destaca também o potencial das microagulhas (MNs), da terapia fotodinâmica (PDT) e dos exossomos para aumentar a eficácia do tratamento e minimizar os efeitos colaterais. Os mecanismos dessas tecnologias na inibição da formação de cicatrizes e sugere que a combinação de novos materiais com agentes terapêuticos pode melhorar os resultados do tratamento (LIU Y, et al., 2024). A evolução da cirurgia plástica reconstrutiva demanda a integração da medicina translacional para melhorar os resultados cirúrgicos.

O uso de tecnologias avançadas, como bioimpressão 3D e andaimes inteligentes, é explorado por seu potencial na regeneração de tecidos e tratamento personalizado (FRANCESCO DF, et al., 2023). Em Grandjean T, et al., (2024), constatou que, uma nova biotinta imprimível em 3D composta por hidrogel de alginato/celulose carregado com concentrado autólogo de plaquetas (PRF), apresentou alta fidelidade de forma, excelente biocompatibilidade e propriedades pró-angiogênicas significativas, promovendo a viabilidade e proliferação celular. As construções exibiram liberação sustentada de fatores de crescimento pró-angiogênicos, particularmente VEGF, que é crucial para a formação de novos vasos sanguíneos.

Mesmo com resultados alentadores, tal estudo apresentou algumas limitações que incluem, a ausência de estudos in vivo e análises de longo prazo, destacando a necessidade de mais pesquisas para validar os resultados. O desenvolvimento de membranas compostas de bicamada PHBV-PLLA eletrofiadas

biocompatíveis para aplicações de engenharia de tecidos cutâneos por Jamal M, et al. (2024), destaca o potencial dessas membranas como substitutos eficazes da pele, abordando as limitações dos modelos atuais em engenharia de tecidos. Diferentes proporções de misturas PHBV-PLLA (70:30, 80:20 e 90:10 w/w) foram fabricadas, mostrando propriedades mecânicas e biocompatibilidade aprimoradas.

As membranas de bicamada exibiram maior resistência à tração e alongamento na ruptura em comparação às monocamadas, com significativa proliferação celular observada *in vitro*. Cianciosi A, et al., (2023), apresenta uma resina fotoclick flexível à base de gelatina alil-modificada (GelAge) projetada para bioimpressão volumétrica (VBP) voltada para a engenharia de tecidos moles. Essa resina permite a fabricação rápida de estruturas complexas carregadas de células com propriedades mecânicas que variam de 0,2 a 1,0 kPa, adequadas para células estromais derivadas do tecido adiposo (ASC) e adipócitos diferenciados.

A pesquisa demonstrou sucesso da diferenciação adipogênica do ASC e a viabilidade dos adipócitos impressos, abrindo caminho para modelos avançados de tecidos e aplicações na medicina regenerativa. Cheng L, et al. (2024), se concentrou na fabricação de hidrogéis bioativos usando carboximetilcelulose (CMC), álcool polivinílico (PVA) e gelatina, que apresentam excelentes propriedades para aplicações de cicatrização de feridas. Os hidrogéis demonstram inchaço significativo em meio aquoso, particularmente em pH neutro, e mostram comportamento de liberação de drogas responsivo ao pH, especificamente para a neomicina. Os estudos *in vitro* indicaram boa citocompatibilidade com as linhas celulares de fibroblastos (3T3) e HEK-293, promovendo a viabilidade e proliferação celular. E no geral, os hidrogéis desenvolvidos possuem características desejáveis, tornando-os candidatos promissores para curativos eficazes.

Modelos experimentais com enxertos para potencializar a cicatrização de feridas, como o estudo de Wu SS, et al., (2022), tem apresentado também excelentes resultados. Este estudo investigou os efeitos da tropoelastina (TE) incorporada aos enxertos de sebacato de poliglicerol (PGS) na cicatrização de feridas em um modelo de camundongo. Os enxertos TE-PGS aceleraram significativamente o fechamento da ferida em comparação com os enxertos PGS e Integra, alcançando uma cicatrização quase completa no dia 14.

O tratamento promoveu um ambiente anti-inflamatório, aumentou as populações de macrófagos M2 e aumentou a angiogênese, contribuindo para melhorar a regeneração tecidual. A análise histológica confirmou uma melhor organização do colágeno e integridade tecidual em feridas tratadas com TE-PGS, destacando seu potencial para aplicações clínicas em engenharia de tecidos e medicina regenerativa.

Assim como para Wu SS, et al., (2022), Bergamo ETP, et al., (2023), comparou os resultados da Matriz Temporizadora Biodegradável Novosorb (BTM) e do silicone de colágeno-condroitina Integra para fins de reconstrução de cicatrização. O estudo comparou os resultados da Matriz Temporizadora Biodegradável Novosorb (BTM) e do silicone de colágeno-condroitina integra para reconstrução de feridas nas extremidades superiores em 48 pacientes adultos. O BTM demonstrou taxas de cicatrização e complicações de feridas comparáveis às do Integra, com menos procedimentos secundários e enxertos de pele necessários.

O tempo médio de cura foi significativamente maior para BTM (4,1 meses) em comparação com integra (2,6 meses). O BTM é uma opção mais econômica, custando 850 por 100 cm² versus 3.150 para integra, tornando-o uma alternativa viável para feridas nas extremidades superiores. Bushong EE, et al. (2024) buscou analisar a necessidade do uso de Matriz Dérmica Acelular (ADM) na reconstrução mamária pré-peitoral após mastectomia poupadora de mamilo. Foram realizadas 115 reconstruções em 66 pacientes, e os resultados mostraram que o uso de ADM foi associado a maior taxa de necrose do complexo areolar mamilar (28% versus 10%). Além disso, reconstruções diretas ao implante resultaram em menos complicações comparadas ao uso de expansores de tecido.

O estudo concluiu que o uso de ADM não reduziu complicações como infecção ou perda do implante, e introduziu maiores riscos sem benefícios superiores, sugerindo que o ADM pode não ser necessário nesse contexto. Wang L, et al. (2024), em outra abordagem, avalia os resultados de sobrevivência em pacientes com sarcomas da parede torácica (CWS) que foram submetidos a ampla excisão e reconstrução usando implantes impressos tridimensionais (3DP). A pesquisa destaca a eficácia dos implantes 3DP em combinar estruturas anatômicas e melhorar os resultados cirúrgicos. Também introduz novos critérios de classificação com base no tamanho e na área do tumor para prever o prognóstico.

O uso de implantes MyBone Custom (r) (MBCIs), feitos de hidroxiapatita porosa, foi analisado por Systemans S, et al., (2024), várias aplicações incluíram genioplastia, reconstruções zigomáticas, mandibulares e do assoalho orbital, com um acompanhamento médio de 9 meses. Nenhuma infecção ou complicação significativa foi relatada, e sinais de osseointegração foram observados aos 6 meses e 1 ano de pós-operatório. Evidenciando vantagens dos MBCIs, incluindo redução do tempo de cirurgia e potencial para uso extensivo em futuras aplicações maxilofaciais

Clinicamente, essas inovações estão sendo aplicadas para melhorar os resultados, reduzindo complicações como infecção e rejeição, que são comuns com biomateriais convencionais, e minimizando a morbidade do local do doador associada ao transplante autólogo de tecido (FRANCESCO DF, et al., 2023). No geral, a integração de biomateriais avançados e tecnologias de bioimpressão em cirurgia plástica representa um salto significativo na obtenção de resultados de tratamento mais eficazes e personalizados, abordando os desafios da disponibilidade e compatibilidade de tecidos e melhorando a qualidade geral do atendimento ao paciente.

Song L e Liu X (2024), avaliou a eficácia das técnicas de transplante de retalho em comparação com tratamentos anti-infecciosos padrão para deficiências de tecido nasal após rinoplastia, demonstrando que o transplante de retalho oferece melhores resultados em estética, função nasal e satisfação do paciente. Com base em uma análise de 38 pacientes, o grupo que recebeu o transplante de retalho apresentou escores significativamente maiores em uma escala de 10 pontos, além de maior satisfação relatada pelos pacientes. O estudo conclui que o transplante de retalho pode ser uma abordagem mais eficaz no tratamento de complicações pós-operatórias de rinoplastia, apesar das limitações como o pequeno tamanho da amostra, sugerindo a necessidade de pesquisas adicionais.

Apesar desses avanços, a tradução clínica dessas tecnologias enfrenta obstáculos, incluindo a necessidade de padronização e gerenciamento de custos, bem como a complexidade de integrar biomateriais com células-tronco e substâncias bioativas para obter ótimos efeitos terapêuticos (SONG Y, et al., 2023). As implicações para a prática cirúrgica são profundas, pois essas tecnologias não apenas expandem as opções reconstrutivas disponíveis para os cirurgiões, mas também exigem uma mudança para abordagens mais personalizadas e regenerativas. Em conclusão, embora um progresso significativo tenha sido feito no desenvolvimento e aplicação de biomateriais avançados em cirurgia plástica, pesquisas e refinamentos contínuos são necessários para superar os desafios existentes e realizar plenamente seu potencial em ambientes clínicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os grandes avanços de técnicas e biomateriais na cirurgia plástica trazem uma área de enorme potencial e várias possibilidades para uma abordagem ampla e inovadora em reconstruções plásticas. Materiais inovadores, como membranas bicamadas e biotintas, apresentaram bons resultados em cicatrização e regeneração tecidual. Além disso, novas abordagens como curativos inteligentes e bioimpressão 3D continuam a evoluir, embora ainda apresentem desafios técnicos. Os estudos também destacaram o sucesso dos implantes de hidroxiapatita porosa e da tropoelastina em promover cicatrização e modulação inflamatória. Os diversos tipos de biomateriais evidenciam uma evolução em cirurgia reconstrutiva, com objetivos funcionais e fenotípicos consideráveis. Todavia, em relação a diversos novos biomateriais não há uma base de pesquisa adequada, com vários deles, até este momento, sem uso clínico adequado ou indicações suficientes para observar uma eficácia considerável, apesar de resultados favoráveis em contextos experimentais. Em conjunto, esses achados sugerem que as inovações tecnológicas e biomateriais têm potencial para transformar a cirurgia reconstrutiva e o tratamento de feridas, mas mais pesquisas são necessárias para aprimorar suas aplicações clínicas.

REFERÊNCIAS

1. BERGAMO ETP, et al. Osteogenic differentiation and reconstruction of mandible defects using a novel resorbable membrane: An in vitro and in vivo experimental study. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 2023; 111(11): 1966-1978.
2. BUSHONG EE, et al. To acellular dermal matrix or not to acellular dermal matrix? — outcomes of pre-pectoral prosthetic reconstruction after nipple-sparing mastectomy with and without acellular dermal matrix. *Gland Surg*, 2024;13(6): 885-896.

3. CHENG L, et al. Fabrication of pH-stimuli hydrogel as bioactive materials for wound healing applications. *Heliyon*, 2024; 1: 1-13.
4. CIANCIOSI A, et al. Flexible Allyl-Modified Gelatin Photoclick Resin Tailored for Volumetric Bioprinting of
5. FARAHANI PK. Application of Tissue Engineering and Biomaterials in Nose Surgery. *JPRAS Open*. 2023; 40: 262-272.
6. FRANCESCO DF, et al. The evolution of current concept of the reconstructive ladder in plastic surgery: the emerging role of translational medicine. *Cells MDPI*, 2023; 12: 2567.
7. GRANDJEAN T, et al. Towards optimized tissue regeneration: a new 3D printable bioink of alginate/cellulose hydrogel loaded with thrombocyte concentrate. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2024; 12: 1363380.
8. JAMAL M, et al. Development of Biocompatible Electrospun PHBV-PLLA Polymeric Bilayer Composite Membranes for Skin Tissue Engineering Applications *Molecules*, 2024; 29: 2049.
9. JESSOP ZM, et al. The challenge for reconstructive surgeons in the twenty-first century: manufacturing tissue-engineered solutions. *Frontiers in Surgery*, 2015; 2(52).
10. KAUKE-NAVARRO M, et al. Balancing beauty and science: a review of facial implant materials in craniofacial surgery. *Frontiers in Surgery*, 2024; 11: 1348140.
11. LI H, et al. Recent progress and clinical applications of advanced biomaterials in cosmetic surgery. *Regenerative biomaterials*, 2023; 10: 5.
12. LI M, et al. Smart and versatile biomaterials for cutaneous wound healing. *Biomaterials Research*, 2023; 27: 87.
13. LIU Y, et al. Application and progress of new technologies and new materials in the treatment of pathological scar. *Frontiers in Chemistry*, 2024; 1(12): 1389399.
14. Matrices for Soft Tissue Engineering. *Advanced Healthcare Materials*, 2023; 12: 2300977.
15. MIRSKY NA, et al. Three-Dimensional Bioprinting: A Comprehensive Review for Applications in Tissue Engineering and Regenerative Medicine. *Bioengineering*, 2024; 1: 1-41.
16. SINGH TS, et al. The Utility of 3D Printing for Surgical Planning and Patient-Specific Implant Design in Maxillofacial Surgery: A Narrative Review. *Cureus*, 2023; 15(11): 48242.
17. SLAVIN BV, et al. 3D Printing Applications for Craniomaxillofacial Reconstruction: A Sweeping Review. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 2023; 9(12): 6586-6609.
18. SONG L, LIU X. Evaluating the therapeutic and reconstructive efficacy of flap transplantation techniques in managing nasal tissue deficiency resulting from post-rhinoplasty surgical infections. *Int Wound J*. 2024; 21(2): 14566.
19. SONG Y, et al. Biomaterials combined with ADSCs for bone tissue engineering: current advances and applications. *Regenerative Biomaterials*, 2023; 10: 83.
20. SYSTERMANS S, et al. An innovative 3D hydroxyapatite patient-specific implant for maxillofacial bone reconstruction: A case series of 13 patients. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, 2024; 52: 420-431.
21. WANG L, et al. Outcomes following the excision of sarcoma and wall reconstruction using 3D printed implant. *iScience*, 2024; 27: 108757.
22. WANG P, et al. Emerging trends in the application of hydrogel-based biomaterials for enhanced wound healing: A literature review. *International journal of biological macromolecules*, 2023; 261(1): 129300.
23. WANG Z, et al. Tropoelastin modulates systemic and local tissue responses to enhance wound healing. *Elsevier*, 2024; 184: 54-67.
24. WU SS, et al. Upper Extremity Wounds Treated with Biodegradable Temporizing Matrix versus Collagen-Chondroitin Silicone Bilayer. *Journal of Hand and Microsurgery*, 2022; 9743227.
25. WU Y, et al. Autophagy-modulating biomaterials: multifunctional weapons to promote tissue regeneration. *Cell Commun Signal*, 2024; 22(124).