



Utilização de Tecidos Biológicos e Biomateriais em Cirurgia Geral (*Use of Biological Tissues and Biomaterials in General Surgery*)

Joao Victor Araujo Tocantins¹, Jéssica Barbosa de Souza², Bianca Dória Piovezan Oliveira³, Willyam Rodrigues Alves⁴, Amanda Raissa Carvalho Santos Barreco⁵, Ana Karolina Kiyotsuka Delmondes⁶, Bruna Abrantes Bacelar⁵, Marcelo Naves Barbosa Junior⁷, Carla Marinete Negromonte Falcão⁶, Debora Cabral Viana⁸, Talita Yumi de Souza Matimoto⁶, Lucas Matos Vianna⁶, Lara Beltrame Spadoto⁹, Bruno Hugo de Barros Ramos¹⁰, Bianca Costa Rodrigues⁶, Brenda Alice Araújo de Almeida⁶, Fernanda Ferreira Kobata⁶, Juliana Julien Salvarani Borges⁶, Henrique Gomes Meireles⁶, Vivian Rodrigues Alves¹¹

1 Universidade de Rio Verde - Campus Formosa, Goiás, Brazil, ORCID: 0000-0001-9617-1397

2 Centro Universitário Estácio do Pantanal (FAPAN), Mato Grosso, Brazil

3 Centro Universitário Estácio do Pantanal (FAPAN), Mato Grosso, Brazil, ORCID: 0009-0006-0548-5678

4 Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Mato Grosso, Brazil

5 Centro Universitário das Américas (FAM), São Paulo, Brazil

6 Universidade de Rio Verde - Campus Formosa, Goiás, Brazil

7 UNINASSAU-UNESC – Vilhena, Rondônia, Brazil

8 Faculdade de Ensino Superior da Amazônia Reunida (FESAR), Pará, Brazil, ORCID: 0000-0003-4378-7651

9 Estácio de Sá Campus Città América, Rio de Janeiro, Brazil

10 Estácio de Sá Campus Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brazil

11 UBS - Santa Isabel, Várzea Grande, Mato Grosso, Brazil

Article Info

Received: 21 June 2024

Revised: 28 June 2024

Accepted: 28 June 2024

Published: 28 June 2024

Palavras-chave:

Tecidos biológicos, biomateriais, cirurgia geral.

Keywords:

Biological tissues, biomaterials, general surgery.

Corresponding author:

Joao Victor Araujo Tocantins.

Universidade de Rio Verde - Campus Formosa, Goiás, Brazil

ORCID: 0000-0001-9617-1397.

RESUMO / ABSTRACT

Os biomateriais têm um papel crucial na cirurgia geral, melhorando significativamente os resultados terapêuticos e reduzindo complicações pós-operatórias. Sua capacidade de controlar a liberação de medicamentos de forma precisa e localizada, juntamente com avanços em biomateriais programáveis e inteligentes, permite tratamentos mais eficazes e personalizados. A combinação de biomateriais naturais e sintéticos está ampliando as possibilidades na regeneração tecidual e na engenharia de órgãos, fornecendo suporte bioativo e biocompatível essencial para a proliferação e diferenciação celular. Assim, os biomateriais representam uma ponte vital entre a ciência dos materiais e a prática clínica, capacitando cirurgiões a oferecer tratamentos mais eficientes e promover uma recuperação mais rápida e segura para os pacientes. Realizou-se uma revisão sistemática de literatura por meio da plataforma pubmed, com seleção e análise criteriosa dos artigos, a fim de elucidar os aspectos dos biomateriais utilizados na cirurgia geral. Nesta revisão, foi identificado aspectos históricos importantes, onde atualmente é possível fazer programações dos biomateriais, onde otimiza a entrega, eficiência e segurança dos tratamentos necessários para cada paciente. O contínuo avanço nesta área promete expandir ainda mais os horizontes da cirurgia geral, transformando-a em uma disciplina ainda mais personalizada e orientada para resultados positivos a longo prazo.

Biomaterials play a crucial role in general surgery, significantly improving therapeutic outcomes and reducing postoperative complications. Their ability to precisely and locally control drug release, combined with advances in programmable and smart biomaterials, allows for more effective and personalized treatments. The combination of natural and synthetic biomaterials is expanding possibilities in tissue regeneration and organ engineering, providing essential bioactive and biocompatible support for cell proliferation and differentiation. Thus, biomaterials represent a vital bridge between material science and clinical practice, enabling surgeons to offer

more efficient treatments and promote quicker and safer recovery for patients. A systematic literature review was conducted through the PubMed platform, involving careful selection and analysis of articles, to elucidate aspects of biomaterials used in general surgery. This review identified important historical aspects, showing that it is now possible to program biomaterials to optimize the delivery, efficiency, and safety of treatments needed for each patient. The continuous advancement in this area promises to further expand the horizons of general surgery, transforming it into an even more personalized discipline focused on long-term positive outcomes.

INTRODUÇÃO / INTRODUCTION

O Dr. Jonathan Cohen apresentou uma das primeiras definições de "biomaterial" em 1967, reconhecendo a ausência de uma definição científica precisa na época. Sua declaração inicial, que excluía medicamentos e suturas, mas incluía todos os materiais usados como implantes, antecipou definições posteriores da comunidade científica (1).

Como médico ortopédico, Cohen concentrou-se principalmente em aplicações específicas, propondo categorias abrangentes como metais, ossos e seus derivados para enxertos, plásticos, cerâmicas e compósitos. Embora sua lista fosse quase exaustiva para o campo ortopédico na época, ela não incluía materiais de importância histórica emergentes, como enxertos ósseos de coral Guillemain et al., (2) ou biovidro, Moore et al., (3), apud Marin, Boschetto e Pezzotti (1).

A definição de Cohen excluía explicitamente "materiais biológicos moles" como colágeno, pele ou tecidos adiposos, que se tornaram fundamentais em muitas aplicações biomédicas modernas. Ele considerava um material como "biomaterial" com base em experiências anteriores, refletindo um processo de tentativa e erro. No entanto, essa definição não abordava completamente como o material interagia ativamente com o ambiente biológico (1). Apesar de suas limitações em relação ao conceito moderno de "biomaterial", a definição de Cohen continua sendo uma ferramenta útil para distinguir entre materiais puramente estéticos e funcionais na prática biomédica (1).

Uma definição amplamente aceita de biomateriais, abrangendo substâncias inertes e ativas, foi dada pela primeira vez durante a "Declaração da Conferência de Desenvolvimento de Consenso dos Institutos Nacionais de Saúde sobre as Aplicações Clínicas de Biomateriais", realizada em Bethesda, Maryland (Estados Unidos), em 1982 d.C. (4).

Uma substância (além de um medicamento) ou combinação de substâncias, de origem sintética ou natural, que pode ser utilizada por qualquer período de tempo, como um todo ou como parte de um sistema que trata, aumenta ou substitui qualquer tecido, órgão ou função do corpo (1).

A definição é basicamente uma extensão da declaração do Dr. Cohen de 1967 d.C., com duas adições principais: o conceito de "tempo in vivo" e a explicitação da importância da função biomédica (1). Espera-se que o desempenho dos biomateriais dure ao longo do tempo e que reações adversas possíveis sejam evitadas não apenas durante sua aplicação inicial.

Deve-se considerar que, em pouco mais de dois séculos, a expectativa de vida aumentou de cerca de 30 anos para mais de 65 anos, em média globalmente (5). Ao mesmo tempo, a parcela da população mundial vivendo em absoluta pobreza caiu de

mais de 90% para menos de 10% (7). À medida que tanto a expectativa de vida quanto a riqueza cresceram, também cresceu a necessidade de biomateriais melhores, mais seguros e mais duradouros. Problemas que eram comumente resolvidos há apenas 150 anos com amputações baratas e próteses de madeira são hoje abordados com restaurações caras que não apenas reduzem o risco de infecção, mas também trazem um benefício muito maior em termos de conforto do paciente. Ao olharmos para a história da humanidade, não devemos esquecer que "sobrevivência" e não "conforto" tem sido a força motriz da sociedade por milênios e até pequenas melhorias tecnológicas podem fazer uma grande diferença em termos de sobrevivência (1).

Objetivos

Geral

Analisar a utilização de tecidos biológicos e biomateriais em cirurgia geral.

Específicos

- Analisar a biocompatibilidade, biodegradabilidade e a capacidade de regeneração tecidual.
- Analisar as vantagens e desvantagens do uso dos biomateriais
- Revisar a luz da literatura sobre os tecidos biológicos
- Discutir sobre os materiais e sua utilização.

METODOS / METHODS

Para concretizar os objetivos traçados sobre Incidência e Fatores de Risco para a síndrome do ovário policístico, essa investigação empregou uma abordagem de revisão sistemática da literatura médica. O corpus documental foi composto por uma seleção criteriosa de artigos na base de dados PubMed, além de consultas a periódicos científicos especializados.

A estratégia de busca contou com a utilização dos descritores: "Biological Tissues", "Biomaterials" e "General Surgery", através do operador booleano "AND". Desta busca, totalizaram 612 artigos, que posteriormente foram submetidos aos critérios de seleção.

Os critérios para inclusão utilizado foi a data de publicação nos últimos 5 anos e com os filtros "review" e "systematic review". A seleção foi realizada de forma independente por dois revisores, e qualquer discordância foi resolvida por consenso. A partir dos 55 artigos selecionados foram utilizados os

seguintes critérios de exclusão: artigos sem aprofundamento científico. Em seguida, após a aplicação dos critérios de seleção, com base na leitura dos títulos e objetivos dos artigos, foram selecionados 8 artigos em que os objetivos respondiam à pergunta norteadora deste trabalho, e submetidos à leitura minuciosa para coleta de dados.

De acordo com o comitê de ética 466/2012 o seguinte trabalho não apresenta o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) e não precisou de aprovação de um comitê de ética e pesquisa (CEP) para prosseguimento. Assim, os dados mencionados foram coletados dos artigos selecionados e com armazenamento correto, seguindo os requisitos éticos necessários de acordo com a lei.

RESULTADOS E DISCUSSÃO / RESULTS & DISCUSSION

Quanto a sua classificação antiga

A classificação dos biomateriais pode ser examinada de várias maneiras, sendo as duas mais comuns baseadas na estrutura química e no grau de interação com o ambiente biológico (1). No entanto, essas abordagens tradicionais podem não abranger completamente a complexidade histórica e tecnológica dos materiais biomédicos ao longo do tempo.

Uma terceira abordagem, menos convencional mas igualmente significativa, considera a origem dos materiais: se são sintéticos ou naturais. Historicamente, os materiais naturalmente ocorrentes foram os primeiros a serem utilizados como biomateriais, precedendo a síntese de materiais como cerâmicas inertes (1).

Expandindo essa perspectiva, pode-se explorar o conceito de energia como medida do nível tecnológico necessário para produzir e moldar biomateriais (1). Moldar materiais naturalmente ocorrentes, como osso, exigiria uma quantidade relativamente baixa de energia. Em contraste, a fabricação de materiais mais complexos, como aço de baixa qualidade a partir de minerais ricos em ferro, requereria uma quantidade significativamente maior de energia (1).

Essa abordagem energética abordada autores supracitados oferece insights sobre como avanços tecnológicos ao longo da história permitiram o desenvolvimento de biomateriais mais sofisticados e adaptáveis às necessidades médicas e clínicas modernas. Ao considerar a evolução dos biomateriais, essa perspectiva não apenas enriquece nosso entendimento das conquistas passadas, mas também orienta futuras inovações na engenharia biomédica e na medicina regenerativa.

Do ponto de vista histórico, uma classificação dos biomateriais em três categorias pode ser útil:

1. Primitivos: Materiais naturalmente ocorrentes que são simplesmente remodelados usando ferramentas manuais (por exemplo, ossos utilizados como implantes).

2. Artesanais: Materiais que envolvem um nível básico de refinamento ou transformação, exigindo conhecimentos específicos em áreas como tecelagem para produzir suturas de linho.

3. Transformados: Materiais que requerem um processo físico ou químico mais avançado para sua fabricação, como a produção de aço através da redução de óxidos de ferro e métodos avançados de metalurgia.

Essa classificação histórica destaca como a complexidade e a sofisticação dos biomateriais evoluíram ao longo do tempo, refletindo não apenas o aumento do conhecimento tecnológico, mas também o crescimento na capacidade de manipular materiais para aplicações biomédicas específicas.

Como é feito hoje

De acordo com Wang et al., (7) as estratégias convencionais para promover a cicatrização de feridas evoluíram para duas abordagens principais: uma visa criar um ambiente microscópico ideal para o processo de cicatrização, enquanto a outra concentra-se na regulação dos processos celulares para facilitar o fechamento eficaz da ferida. Curativos avançados, que incorporam fatores de crescimento, citocinas e agentes imunomoduladores, têm demonstrado eficácia em melhorar o ambiente da ferida, estimulando a migração celular e reduzindo o risco de infecção bacteriana. No entanto, desregulações nos processos celulares podem resultar em atrasos no fechamento da ferida e no desenvolvimento de cicatrizes hipertróficas, onde os fibroblastos produzem excesso de colágeno, resultando em cicatrizes elevadas e espessas que podem limitar a mobilidade e causar desconforto (7).

Assim, Wang et al., (7) fala sobre os esforços para regular as atividades celulares através da introdução de fatores de crescimento, como o fator de crescimento endotelial vascular (VEGF) e o fator de crescimento derivado de plaquetas (PDGF), têm mostrado potencial para acelerar a cicatrização. No entanto, o uso desses fatores de crescimento pode ter custos significativos e está associado a um aumento na susceptibilidade ao câncer. Wang et al., (7) fala sobre a aplicação tópica do gel REGRANEX contendo becaplermina, um PDGF-BB humano recombinante, inicialmente mostrou um aumento na taxa de mortalidade por câncer em um estudo retrospectivo envolvendo o tratamento de úlceras neuropáticas diabéticas nos membros inferiores.

Estudos abordados por Wang et al., (7) que investigam a administração de fatores de crescimento específicos, como o VEGF, têm demonstrado efeitos significativos na promoção da angiogênese e na regeneração tecidual, resultando em cicatrização mais rápida de feridas Yang et al., (8) apud Wang et al., (7). No entanto, a estimulação descontrolada da proliferação celular por esses fatores de crescimento também levanta preocupações sobre seu potencial para contribuir para a formação de lesões semelhantes a hemangiomas Alshoubaki et al., (9) e Han, Ceilley (10) apud Wang et al., (7), destacando a complexidade envolvida em equilibrar seu potencial terapêutico.

Biomateriais na Cirurgia.

Na prática da cirurgia geral, os biomateriais desempenham um papel essencial em diversas aplicações clínicas, que vão desde suturas até implantes e sistemas de liberação de medicamentos.

A eficácia e segurança desses materiais dependem da sua capacidade de integrar-se aos tecidos humanos e de desempenhar suas funções de maneira eficaz no ambiente clínico (11).

Os biomateriais oferecem um controle refinado sobre a farmacocinética, permitindo que médicos e cientistas manipulem o "onde", "quando" e "quanto" da administração de medicamentos. A atual geração de biomateriais para entrega de medicamentos inclui proteínas conjugadas a polímeros, polímeros biomiméticos e depósitos de medicamentos como hidrogéis, partículas ou andaimes. Embora essa abordagem tenha resultado no desenvolvimento de muitos medicamentos aprovados pela FDA dos Estados Unidos, alcançar uma entrega ainda mais precisa e específica no local requer biomateriais programáveis que possam responder a sinais ambientais ou biológicos, ou à intervenção do usuário (11).

Nos últimos anos, surgiram biomateriais programáveis e "inteligentes". Esses biomateriais demonstram capacidade de resposta a informações ambientais e até mesmo realizam operações booleanas. A necessidade de biomateriais "inteligentes" surgiu das limitações naturais dos sistemas tradicionais de biomateriais. Uma vez introduzidos em um sistema biológico, os biomateriais tradicionais interagem com as células circundantes sem oportunidade de modulação ou intervenção, podendo resultar em resposta inflamatória e liberação de carga em tecidos fora do alvo. Os biomateriais responsivos não apenas prometem superar essas limitações, mas também expandir suas capacidades. Essas propriedades imitam muitos dos pontos fortes da biologia sintética, evidenciando a clara necessidade de programabilidade em aplicações de biomateriais (11).

A biologia sintética defende a programabilidade como seu principal ponto forte, possibilitando o controle de circuitos genéticos sintéticos compostos por portas lógicas booleanas em camadas, regulados por entradas como medicamentos de moléculas pequenas, biomarcadores, luz e outros sinais. Inicialmente desenvolvidos em bactérias, esses sistemas estão agora otimizados para células de mamíferos, abrindo caminho para aplicações da biologia sintética na terapia celular (11). Um exemplo notável são as células T CAR, que expressam um receptor sintético capaz de ativar vias naturais das células T ao se ligarem a um antígeno específico. Em 2022, a FDA aprovou seis terapias com células T CAR para tratamento de leucemia, linfoma e mieloma múltiplo, destacando seu potencial além do câncer para incluir doenças endócrinas, metabólicas, autoimunes e infecciosas (11).

Com algumas exceções, as terapias baseadas em células exigem um substrato para ativação, reconhecimento ou encapsulamento para eficácia terapêutica. Enquanto materiais naturais ou autólogos podem ser úteis, os biomateriais oferecem uma alternativa de baixo custo e amplamente disponível (11). Um exemplo significativo é a ativação de células T usando esferas magnéticas revestidas com sinais de ativação, que substituem células apresentadoras de抗ígenos (11). Outro avanço em desenvolvimento são os materiais de encapsulamento semipermeáveis para produção *in situ* de peptídeos biologicamente ativos derivados de células (como insulina de células β pancreáticas) (11).

Casos recentes de integração bem-sucedida entre biomateriais e sistemas de biologia sintética demonstram o potencial de ampliação dos sistemas terapêuticos existentes (11). As seções seguintes exploram tecnologias específicas e discutem como esses campos podem aproveitar essas inovações para alcançar objetivos mais amplos e abrangentes no espaço terapêutico (11).

Qi et al. (12) aborda sobre os recentes progressos em biomateriais e biofabricação estão revolucionando o desenvolvimento de sistemas biológicos, integrando a tecnologia de organoides com a ciência e engenharia de materiais. Esta abordagem inovadora busca criar modelos mais eficazes para aplicações terapêuticas e regeneração de tecidos.

Qi et al., (12) traz tópicos abordando os materiais baseados em polietilenoglicol (PEG) onde têm sido explorado, com géis de PEG enriquecidos com componentes chave da ECM, como fibronectina, laminina-111, colágeno IV, ácido hialurônico e perlecan, melhorando a sobrevivência e proliferação de células-tronco intestinais. Cruz-Acuña e colaboradores apud Qi et al., (12) sintetizaram um hidrogel de PEG de quatro braços, terminado em maleimida, com peptídeos adesivos e degradáveis por protease. Este sistema de hidrogel demonstrou suporte robusto e altamente reprodutível para o crescimento *in vitro* e expansão de organoides derivados de células-tronco pluripotentes induzidas (iPSC). Mais importante, o hidrogel serviu como um veículo injetável para organoides, podendo ser entregue na mucosa intestinal lesionada, resultando em enxerto de organoides e melhor reparo de feridas no cólon.

Técnicas de biofabricação, como descelularização de tecidos ou órgãos, eletrofiação, tecnologias de biotêxteis e impressão 3D, podem ser usadas para melhor imitar a ECM e a arquitetura do tecido intestinal em termos de componentes, estrutura e propriedades mecânicas, apoio ao crescimento e diferenciação de organoides (12). O intestino delgado, com sua estrutura complexa, exigiria o desenvolvimento de estruturas intrincadas, possivelmente através da combinação de várias abordagens de biofabricação ou da padronização de diversos tipos de células com impressão 3D de alta resolução. Além disso, a descelularização e a impressão 3D podem ser aplicadas para melhorar a vascularização e inervação de organoides e tecidos (12).

As malhas de polipropileno são amplamente utilizadas nas reconstruções de tecidos moles e no reparo de hérnias devido à sua capacidade de fornecer suporte estrutural enquanto permitem o crescimento do tecido. Isso resulta em um reparo durável e biocompatível (13). Esses materiais garantem uma integração eficiente com o tecido biológico, promovendo uma recuperação eficaz e minimizando complicações.

Fazendo um apanhado geral do artigo de Wang et al., (7) e de Zanré et al., (14) é visto que os adesivos de fibrina ou então os géis de fibrina com trombina de forma geral, que simulam o processo natural de coagulação, são usados para promover hemostasia e cicatrização tecidual, oferecendo uma alternativa eficaz às suturas tradicionais, por exemplo, no campo da reparação de cartilagem. Além de facilitar a hemostasia, esses adesivos reduzem os riscos de vazamentos e fistulas pós-operatórias, melhorando os resultados cirúrgicos e acelerando a recuperação dos pacientes. Adjuvante a isso, vê-se também em

ambos artigos abordando sobre os colágenos tipo I para produção de géis de colágeno.

Concordando com os estudos supracitados sobre as fibrinas e colágenos, no estudo abordado por Cao et al., (15), inclusive traz uma menção sobre o estudo de Wang et al. (7) relatando que ele desenvolveu um colágeno tipo III humano recombinante especializado (rhCol III) e construiu um sistema de hidrogel multifuncional e responsivo ao microambiente integrando este rhCol III personalizado e nanopartículas antimicrobianas multifuncionais (PDA@Ag NPs). O que reforça a ideia supracitada, o que torna e cria um amplo potencial de aplicação do colágeno recombinante.

Estudos recentes abordados por Vanzweden et al., (16) fala sobre os coágulos sanguíneos onde são biomateriais versáteis, pois podem ser conjugados com diversos agentes terapêuticos, de acordo com a função desejada e o tecido alvo. Por exemplo, eles têm sido usados como suporte para administrar vacinas contra o câncer e agentes quimioterapêuticos, demonstrando a capacidade de modular o ambiente das células imunológicas para promover a destruição das células cancerígenas. Além disso, a estrutura da fibrina dentro de um coágulo sanguíneo cria um ambiente que favorece a liberação prolongada de agentes terapêuticos. Em combinação com hidrogéis de fibrina farmacológica, o antibiótico cefazolina apresentou uma liberação prolongada in vitro.

Fatores de crescimento, como VEGF, FGF-2 e BMP-2, que promovem a angiogênese e o reparo tecidual, possuem meia-vida curta, e a injeção direta não alcança concentrações adequadas para impactar a cicatrização tecidual (16). Esta é uma área promissora de pesquisa, pois os coágulos sanguíneos têm o potencial de proporcionar uma liberação prolongada desses fatores, atingindo concentrações terapêuticas que podem melhorar a regeneração dos tecidos. Além disso, células-tronco, amplamente utilizadas na medicina regenerativa, também podem ser conjugadas com coágulos sanguíneos para criar um método de entrega inovador (16). Vanzweden et al., (16) fala que possui poucos estudos onde tenham combinado células-tronco com coágulos sanguíneos, foi demonstrado que uma estrutura de hidrogel de fibrina permite a diferenciação estável de células-tronco mesenquimais derivadas do tecido adiposo e melhora a inflamação do tecido neural in vivo.

Outros polímeros naturais, como alginato, gelatina, quitosana, fibrina, ácido hialurônico e matrizes descelularizadas, são biocompatíveis e capazes de replicar tipos específicos de matriz extracelular (MEC). No entanto, muitas vezes apresentam limitações de integridade mecânica, o que exige sua combinação com outros polímeros para melhorar suas propriedades físicas. Essas limitações têm motivado a busca por alternativas sintéticas mais robustas (17).

Biomateriais sintéticos, como polietilenoglicol (PEG) e seus copolímeros como poli(L-lactídeo) (PLLA), poli(D,L-lactídeo-co-glicólido) (PLGA) e poli(ε-caprolactona) (PCL), surgem como alternativas aos biomateriais naturais. Apesar de suas vantagens, os polímeros sintéticos também possuem limitações devido à sua natureza bioinerte (17). Sem modificações, frequentemente não conseguem suportar os comportamentos celulares desejados e a formação de tecidos. No entanto, esses polímeros podem ser quimicamente modificados ou

combinados com biomateriais naturais para criar modelos in vitro que permitem estudar interações célula-célula e célula-MEC (17).

Os biomateriais sintéticos modificados são biocompatíveis, biodegradáveis e reprodutíveis, oferecendo maior controle experimental sobre as propriedades da matriz extracelular (MEC) no microambiente (17). Por exemplo, o PEG é um dos polímeros sintéticos mais pesquisados e utilizados devido à sua biocompatibilidade e versatilidade. Esse biomaterial pode ser modificado quimicamente e é hidrofílico, o que facilita o encapsulamento celular (17).

A combinação de biomateriais naturais e sintéticos pode resultar na criação de modelos in vitro avançados que se assemelham aos tecidos in vivo, proporcionando uma ferramenta valiosa para a pesquisa biomédica e o desenvolvimento de novas terapias (17).

Sintetizando e conectando todos os pontos à cirurgia geral vê-se com todas as informações coletadas, que a aplicação de biomateriais na liberação controlada de medicamentos representa um avanço significativo na cirurgia geral, com sistemas de entrega desenvolvidos para melhorar a eficácia terapêutica e minimizar os efeitos colaterais. Esses sistemas permitem a liberação localizada e sustentada de fármacos, o que é particularmente vantajoso em contextos pós-operatórios, onde a concentração do medicamento no local de ação é crucial. Biomateriais como polímeros bioabsorvíveis podem ser carregados com agentes antimicrobianos ou anti-inflamatórios, os quais são gradualmente liberados no local da cirurgia, reduzindo assim o risco de infecções e promovendo uma recuperação mais rápida e eficiente. Os estudos abrangem aplicações que incluem o uso de filmes e revestimentos bioativos para prevenir aderências pós-operatórias, além de materiais hidrogeis que podem ser utilizados para preencher defeitos teciduais ou como suportes para cultivo de células em estratégias de engenharia tecidual. A adaptabilidade e a funcionalidade dos biomateriais são fundamentais para o sucesso nessas aplicações, exigindo um cuidadoso equilíbrio entre estabilidade mecânica e biocompatibilidade.

CONCLUSÃO / CONCLUSION

Para concluir de forma eficaz sobre o papel dos biomateriais na cirurgia geral e suas implicações clínicas avançadas, é essencial destacar que esses materiais representam uma ferramenta fundamental para melhorar os resultados terapêuticos e reduzir complicações pós-operatórias. A capacidade dos biomateriais em controlar a liberação de medicamentos de maneira precisa e localizada tem revolucionado as práticas cirúrgicas, oferecendo uma resposta terapêutica mais eficaz e personalizada para cada paciente.

Os avanços recentes, como os biomateriais programáveis e inteligentes, destacam-se por sua capacidade de responder a sinais biológicos e ambientais, otimizando ainda mais a eficiência e segurança dos tratamentos. Esses materiais não só permitem a administração controlada de fármacos, mas também oferecem suporte estrutural e funcional em procedimentos que vão desde a reparação de tecidos até a terapia celular avançada.

A combinação de biomateriais naturais e sintéticos tem ampliado significativamente as possibilidades na regeneração tecidual e na engenharia de órgãos, fornecendo substratos bioativos e biocompatíveis que promovem a proliferação celular e a diferenciação em modelos in vitro cada vez mais sofisticados.

Em suma, os biomateriais representam uma ponte crucial entre a ciência dos materiais e a prática clínica, capacitando cirurgiões a oferecer tratamentos mais eficazes, minimizando riscos e promovendo uma recuperação mais rápida e completa para os pacientes. Quanto às limitações, vê-se ao realizar a metodologia a falta de artigos sobre tecidos biológicos e biomateriais voltados para a área da cirurgia geral. O que torna necessário o contínuo avanço nesta área, pois promete expandir ainda mais os horizontes da cirurgia geral, transformando-a em uma disciplina ainda mais personalizada e orientada para resultados positivos a longo prazo.

CC BY License

This is an open access article under the CC BY license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). 

REFERENCIA / REFERENCES

1. Marin E, Boschetto F, Pezzotti G. Biomaterials and biocompatibility: An historical overview. *J Biomed Mater Res A*. 2020;108(8):1617-1633. doi:10.1002/jbm.a.36930
2. Guillemain G, Pataat JL, Fournie J, Chetail M. The use of coral as a bone graft substitute. *J Biomed Mater Res*. 1987;21(5):557-567. doi:10.1002/jbm.820210503
3. Moore WR, Graves SE, Bain GI. Synthetic bone graft substitutes. *ANZ J Surg*. 2001;71(6):354-361.
4. Patel NR, Gohil PP. A review on biomaterials: scope, applications & human anatomy significance. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2012;2:91-101.
5. Riley JC. Rising life expectancy: A global history. Cambridge, England: Cambridge University Press. 2021.
6. Roser M, Ortiz-Ospina E. Our world in data (pp. 1-38). Retrieved from: <https://ourworldindata.org/literacy> [Online Resource]. 2017
7. Wang Y, Vizely K, Li CY, et al. Biomaterials for immunomodulation in wound healing. *Regen Biomater*. 2024;11:rbae032. doi:10.1093/rb/rbae032
8. Yang X, Mo W, Shi Y, et al. Fumaria officinalis-loaded chitosan nanoparticles dispersed in an alginate hydrogel promote diabetic wounds healing by upregulating VEGF, TGF-β, and b-FGF genes: A preclinical investigation [published correction appears in Heliyon. 2023 Nov 23;10(1):e22626. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e22626]. *Heliyon*. 2023;9(7):e17704. Published 2023 Jun 29. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e17704
9. Alshoubaki YK, Lu YZ, Legrand JMD, et al. A superior extracellular matrix binding motif to enhance the regenerative activity and safety of therapeutic proteins. *NPJ Regen Med*. 2023;8(1):25. Published 2023 May 22. doi:10.1038/s41536-023-00297-0
10. Han G, Ceilley R. Chronic Wound Healing: A Review of Current Management and Treatments. *Adv Ther*. 2017;34(3):599-610. doi:10.1007/s12325-017-0478-y
11. Bressler EM, Adams S, Liu R, Colson YL, Wong WW, Grinstaff MW. Boolean logic in synthetic biology and biomaterials: Towards living materials in mammalian cell therapeutics. *Clin Transl Med*. 2023;13(7):e1244. doi:10.1002/ctm2.1244
12. Qi D, Shi W, Black AR, et al. Repair and regeneration of small intestine: A review of current engineering approaches. *Biomaterials*. 2020;240:119832. doi:10.1016/j.biomaterials.2020.119832
13. Conze J, Junge K, Weiss C, et al. New polymer for intra-abdominal meshes--PVDF copolymer. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2008;87(2):321-328. doi:10.1002/jbm.b.31106
14. Zanrè E, Dalla Valle E, D'Angelo E, Sensi F, Agostini M, Cimetta E. Recent Advancements in Hydrogel Biomedical Research in Italy. *Gels*. 2024;10(4):248.. doi:10.3390/gels10040248
15. Cao L, Zhang Z, Yuan D, Yu M, Min J. Tissue engineering applications of recombinant human collagen: a review of recent progress. *Front Bioeng Biotechnol*. 2024;12:1358246. Published 2024 Feb 14. doi:10.3389/fbioe.2024.1358246
16. VanZweden E, Tolsma R, Hung V, Awad P, Sawyer R, Li Y. The advances of blood clots used as biomaterials in regenerative medicine. *Regen Med*. 2022;17(12):957-969. doi:10.2217/rme-2022-0035
17. Cadena I, Chen A, Arvidson A, Fogg KC. Biomaterial strategies to replicate gynecological tissue. *Biomater Sci*. 2021;9(4):1117-1134. doi:10.1039/d0bm01240h