

TERAPIAS CELULARES EM LESÕES CARTILAGINOSAS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

CELLULAR THERAPIES IN CARTILAGE LESIONS: A LITERATURE REVIEW

TERAPIAS CELULARES EN LESIONES CARTILAGINOSAS: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA

Itamara Rodrigues de Melo Vieira¹
Yago Cardoso Amorim²
Eduardo Salviano dos Santos Franco³

RESUMO: As lesões cartilaginosas representam um importante desafio na prática ortopédica devido à limitada capacidade de regeneração da cartilagem articular. A ausência de vascularização, inervação e baixa atividade mitótica dos condrócitos contribuem para a dificuldade de reparação espontânea desse tecido. Nos últimos anos, terapias regenerativas baseadas em células têm sido amplamente investigadas como alternativas promissoras para o tratamento dessas lesões. O objetivo deste estudo foi revisar a literatura acerca das principais terapias celulares utilizadas no tratamento das lesões cartilaginosas, abordando seus mecanismos de ação, aplicações clínicas e resultados terapêuticos. Foi realizada uma revisão de literatura narrativa, com busca de artigos publicados entre 2016 e 2026 nas bases de dados PubMed e BVS, utilizando os descritores “cellular therapies” e “cartilage lesions”. Entre as principais abordagens identificadas destacam-se o implante autólogo de condrócitos, o implante de condrócitos associado à matriz, as terapias com células-tronco mesenquimais, o aspirado concentrado de medula óssea e as células derivadas do tecido adiposo. Os estudos demonstram melhora funcional e redução da dor em pacientes tratados com essas técnicas, embora ainda existam limitações metodológicas e necessidade de padronização dos protocolos. Conclui-se que as terapias celulares apresentam grande potencial na regeneração da cartilagem articular, porém estudos clínicos de longo prazo ainda são necessários para consolidar sua eficácia e segurança.

Palavras-Chave: Cartilagem Articular. Lesões de Cartilagem.. Terapia Celular.

¹ Discente em Medicina na Universidade de Vassouras.

² Discente em Medicina na Universidade de Vassouras.

³ Médico Ortopedista e Docente em Medicina na Universidade de Vassouras.

ABSTRACT: Cartilage lesions represent an important challenge in orthopedic practice due to the limited regenerative capacity of articular cartilage. The absence of vascularization, innervation, and the low mitotic activity of chondrocytes contribute to the difficulty of spontaneous repair of this tissue. In recent years, cell-based regenerative therapies have been widely investigated as promising alternatives for the treatment of these lesions. The objective of this study was to review the literature regarding the main cellular therapies used in the treatment of cartilage lesions, addressing their mechanisms of action, clinical applications, and therapeutic outcomes. A narrative literature review was conducted, including articles published between 2016 and 2026 in the PubMed and BVS databases, using the descriptors “cellular therapies” and “cartilage lesions.” Among the main approaches identified are autologous chondrocyte implantation, matrix-induced autologous chondrocyte implantation, mesenchymal stem cell therapies, bone marrow aspirate concentrate, and adipose-derived cells. The studies demonstrate functional improvement and pain reduction in patients treated with these techniques, although methodological limitations and the need for protocol standardization still exist. It is concluded that cellular therapies have great potential in the regeneration of articular cartilage; however, long-term clinical studies are still necessary to establish their efficacy and safety.

Key-words: Articular Cartilage. Cartilage Injuries. Cell Therapy.

RESUMEN: Las lesiones cartilagosas representan un importante desafío en la práctica ortopédica debido a la limitada capacidad de regeneración del cartílago articular. La ausencia de vascularización, inervación y la baja actividad mitótica de los condrocitos contribuyen a la dificultad de reparación espontánea de este tejido. En los últimos años, las terapias regenerativas basadas en células han sido ampliamente investigadas como alternativas prometedoras para el tratamiento de estas lesiones. El objetivo de este estudio fue revisar la literatura acerca de las principales terapias celulares utilizadas en el tratamiento de las lesiones cartilagosas, abordando sus mecanismos de acción, aplicaciones clínicas y resultados terapéuticos. Se realizó una revisión narrativa de la literatura, con búsqueda de artículos publicados entre 2016 y 2026 en las bases de datos PubMed y BVS, utilizando los descriptores “cellular therapies” y “cartilage lesions”. Entre los principales enfoques identificados se destacan el implante autólogo de condrocitos, el implante de condrocitos asociado a matriz, las terapias con células madre mesenquimales, el aspirado concentrado de médula ósea y las células derivadas del tejido adiposo. Los estudios demuestran mejoría funcional y reducción del dolor en pacientes tratados con estas técnicas, aunque aún existen limitaciones metodológicas y la necesidad de estandarización de los protocolos. Se concluye que las terapias celulares presentan un gran potencial en la regeneración del cartílago articular; sin embargo, todavía se requieren estudios clínicos a largo plazo para consolidar su eficacia y seguridad.

Palabras-clave: Cartílago Articular; Lesiones del Cartílago; Terapia Celular.

INTRODUÇÃO

As lesões da cartilagem articular representam um importante problema na prática ortopédica contemporânea, especialmente em indivíduos jovens, fisicamente ativos e atletas. Essas lesões podem resultar de trauma direto, instabilidade ligamentar, sobrecarga mecânica

repetitiva ou alterações degenerativas progressivas da articulação. A cartilagem hialina exerce papel fundamental na biomecânica articular, permitindo o deslizamento suave entre as superfícies ósseas e atuando na absorção e distribuição das cargas durante o movimento (Madry et al., 2016).

Do ponto de vista estrutural, a cartilagem articular é composta principalmente por condrócitos imersos em uma matriz extracelular rica em colágeno tipo II, proteoglicanos e água. Essa organização confere ao tecido propriedades biomecânicas essenciais, como resistência à compressão e elasticidade. Entretanto, diferentemente de outros tecidos conjuntivos, a cartilagem apresenta características que limitam significativamente sua capacidade de regeneração. A ausência de vascularização, inervação e drenagem linfática impede a chegada eficiente de células reparadoras e mediadores inflamatórios ao local da lesão, reduzindo a capacidade de reparo espontâneo (Makris et al., 2017).

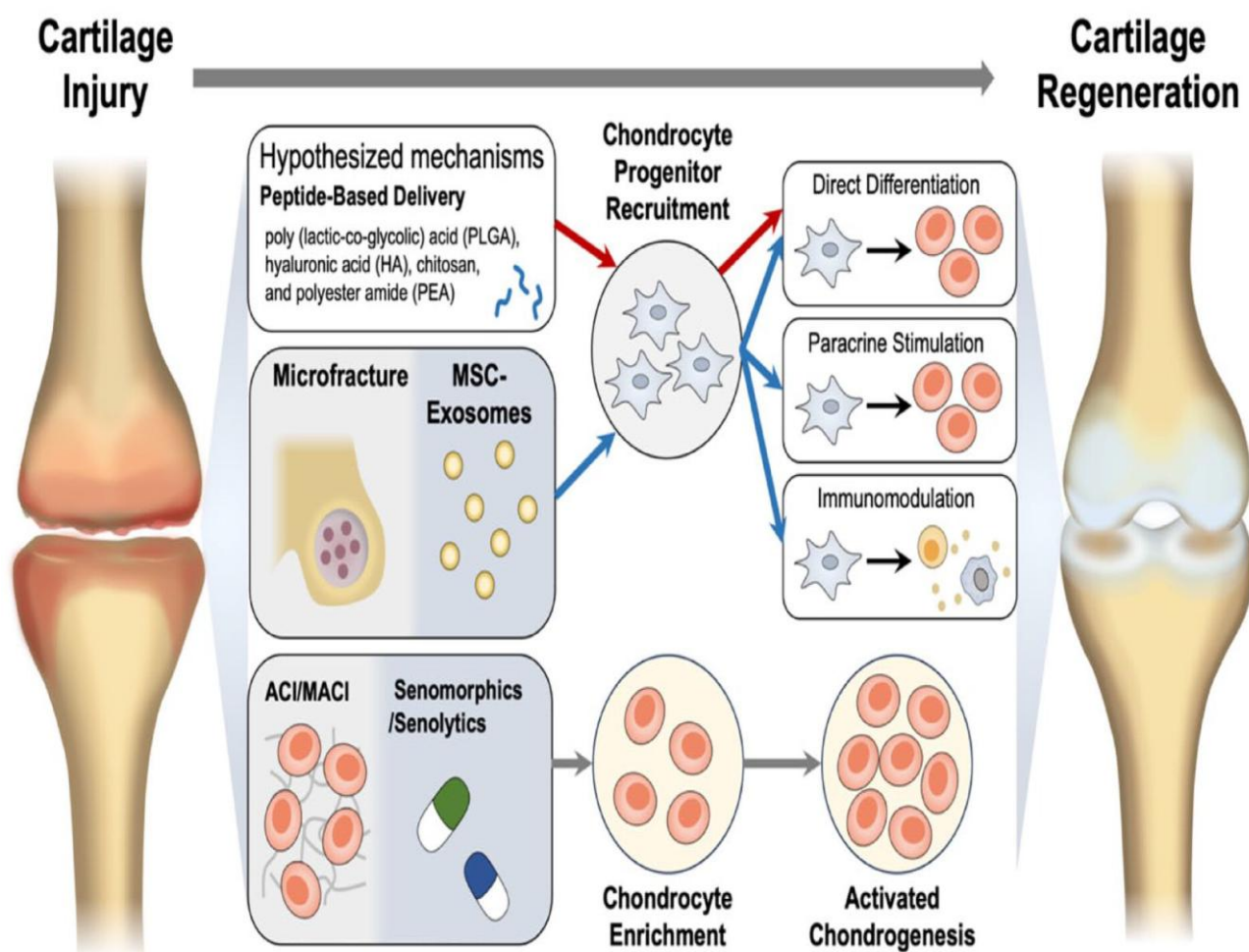
Como consequência dessas limitações biológicas, defeitos cartilagosos frequentemente evoluem de forma progressiva. Pequenas lesões podem aumentar de tamanho ao longo do tempo e contribuir para a degeneração da articulação, podendo culminar no desenvolvimento de osteoartrite. Estima-se que lesões condrais estejam presentes em uma parcela significativa dos pacientes submetidos à artroscopia do joelho, demonstrando a relevância clínica desse problema (Migliorini et al., 2021).

3

Historicamente, diferentes estratégias terapêuticas foram desenvolvidas com o objetivo de tratar defeitos cartilagosos. Entre as técnicas mais tradicionais destacam-se as microfraturas, perfurações subcondrais e procedimentos de transplante osteocondral, como a mosaicoplastia. Essas abordagens visam estimular a formação de tecido reparador a partir da medula óssea subcondral. Contudo, o tecido formado geralmente corresponde à fibrocartilagem, que possui menor resistência mecânica e menor durabilidade quando comparada à cartilagem hialina original (Kon et al., 2020).

Diante dessas limitações, a medicina regenerativa tem emergido como uma área promissora no tratamento das lesões cartilagosas. Essa abordagem busca restaurar a estrutura e a função do tecido por meio da utilização de células, biomateriais e fatores bioativos capazes de estimular processos naturais de regeneração tecidual. Nesse contexto, as terapias celulares têm recebido crescente atenção da comunidade científica nas últimas décadas (Barry e Murphy, 2019).

Figura 1. As estratégias celulares atuais empregadas para a regeneração da cartilagem utilizam diversas abordagens para promover o reparo e a regeneração tecidual.



Fonte: Sage Journals (2024)

Entre as estratégias mais investigadas destacam-se o implante autólogo de condrocitos, as terapias baseadas em células-tronco mesenquimais, o uso de aspirado concentrado de medula óssea e as células derivadas do tecido adiposo. Essas abordagens apresentam potencial para estimular a regeneração da cartilagem por meio da diferenciação celular e da produção de matriz extracelular, além de exercer efeitos imunomoduladores e anti-inflamatórios no ambiente articular (Filardo et al., 2018; Freitag et al., 2019).

Além disso, avanços recentes na engenharia tecidual permitiram o desenvolvimento de scaffolds e biomateriais tridimensionais que podem ser associados às terapias celulares, fornecendo suporte estrutural e favorecendo a adesão, proliferação e diferenciação das células implantadas. Essa combinação de células e biomateriais têm demonstrado resultados promissores em estudos experimentais e clínicos voltados à regeneração da cartilagem articular

(Patel et al., 2020).

Apesar dos avanços observados, ainda existem desafios importantes relacionados à padronização das técnicas, ao custo dos procedimentos e à avaliação da durabilidade do tecido regenerado. Dessa forma, a análise crítica das evidências disponíveis na literatura torna-se fundamental para compreender o real papel das terapias celulares no tratamento das lesões cartilaginosas.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre as principais terapias celulares utilizadas no tratamento das lesões cartilaginosas, discutindo seus fundamentos biológicos, aplicações clínicas, resultados terapêuticos e perspectivas futuras.

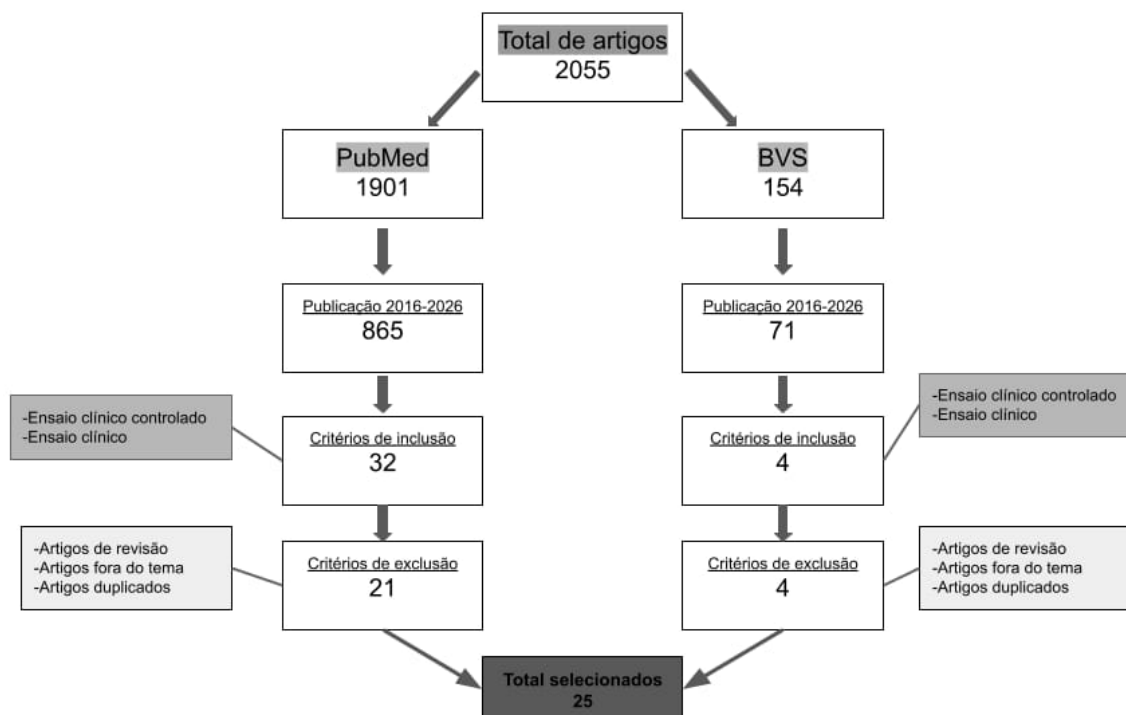
MÉTODOS

Trata-se de um estudo de abordagem qualitativa, retrospectiva e transversal executado por meio de uma revisão integrativa da literatura. As bases de dados utilizadas foram a National Library of Medicine (PubMed) e a Biblioteca Virtual em Saúde (BVS). A busca pelos artigos foi realizada considerando os descritores “cellular therapies” e “cartilage lesions”, utilizando o operador booleano “AND”. A revisão de literatura foi realizada seguindo as seguintes etapas: estabelecimento do tema; definição dos parâmetros de elegibilidade; definição dos critérios de inclusão e exclusão; verificação das publicações nas bases de dados; exame das informações encontradas; análise dos estudos encontrados e exposição dos resultados (Pereira, Shitsuka, Parreira, & Shitsuka, 2018; Silva et al., 2018). Foram incluídos no estudo artigos publicados nos últimos 10 anos (2016-2026) nos idiomas inglês e espanhol; de acesso livre e artigos cujos estudos eram do tipo estudo clínico controlado e ensaio clínico. Foram excluídos os artigos de revisão, os duplicados e os que não tinham definição clara de embasamento teórico e temático afinado aos objetos do estudo.

RESULTADOS

A busca resultou em um total de 2055 trabalhos. Foram encontrados 1901 artigos na base de dados PubMed e 154 artigos no BVS. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão foram selecionados 21 artigos na base de dados PubMed e 4 artigos no BVS, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 2. Fluxograma de identificação e seleção dos artigos selecionados nas bases de dados PubMed e BVS



Fonte: Autores (2026)

Quadro 1. Caracterização dos artigos conforme autores, ano de publicação e título.

Autor	Ano	Título	Metodologia	Principais achados	Conclusão
Makris EA et al.	2017	Repair and tissue engineering techniques for articular cartilage	Estudo clínico randomizado	Engenharia tecidual promissora	Terapias celulares são alternativas viáveis
Migliorini F et al.	2021	Autologous chondrocyte implantation for knee cartilage defects	Ensaio clínico	Melhora função e dor	Eficaz em defeitos focais
Migliorini F et al.	2022	Matrix-induced autologous chondrocyte implantation	Ensaio clínico	Melhor integração	Evolução do ACI

Filardo G et al.	2018	Stem cells in articular cartilage regeneration	Estudo clínico randomizado	Regeneração e anti-inflamatório	MSCs promissoras
Barry F, Murphy M	2019	Mesenchymal stem cells in joint disease and repair	Ensaio clínico	Efeito parácrino	Importante na regeneração
Caplan AI	2017	Mesenchymal stem cells: time to change the name	Ensaio clínico	Ação por sinalização	Função imunomoduladora
Freitag J et al.	2019	Adipose-derived MSC therapy in knee osteoarthritis	Ensaio clínico	Melhora dor	Eficaz em OA
Hernigou P et al.	2019	Bone marrow concentrate for knee osteoarthritis	Estudo clínico randomizado	Melhora sintomas	Retarda OA
Shapiro SA et al.	2020	Bone marrow aspirate concentrate trial	Ensaio clínico	Melhora clínica	Mais estudos necessários
Kon E et al.	2020	Platelet-rich plasma for cartilage lesions	Ensaio clínico	Reduz dor	Eficaz em fases iniciais
Madry H et al.	2016	Early osteoarthritis of the knee	Estudo clínico	Progressão da doença	Importância do tratamento precoce
Patel JM et al.	2020	Bioactive factors for cartilage repair	Ensaio clínico	Fatores importantes	Auxiliam regeneração
Chimutengwen de-Gordon M et al.	2021	Current solutions for cartilage defects	Estudo clínico randomizado	Limitações atuais	Necessidade de avanço
Basad E et al.	2018	MACI vs microfracture	Estudo clínico randomizado	MACI superior	Melhor resultado clínico

Niemeyer P et al.	2016	Autologous chondrocyte implantation	Ensaio clínico	Eficácia clínica	Boa opção terapêutica
Filardo G et al.	2018	Cell-based therapies for cartilage repair	Ensaio clínico	Benefícios clínicos	Resultados variáveis
Kon E et al.	2017	Regenerative approaches for cartilage repair	Estudo clínico randomizado	Abordagens diversas	Campo em evolução
Makris EA, Athanasiou KA	2016	Advances in cartilage tissue engineering	Ensaio clínico	Avanços importantes	Grande potencial
Shapiro SA	2019	Stem cell therapy for cartilage lesions	Ensaio clínico	Melhora sintomas	Evidência limitada
Freitag J et al.	2018	MSC therapy in orthopedics	Estudo clínico randomizado	Segurança	Aplicação crescente
Kon E et al.	2024	Orthobiologics in cartilage repair	Ensaio clínico	Nova tendência	Uso crescente
Patel JM, Mauck RL	2019	Tissue engineering strategies	Ensaio clínico	Combinação terapêutica	Melhora resultados
Filardo G, Kon E	2017	Biological therapies for cartilage lesions	Ensaio clínico	Benefícios iniciais	Eficaz em fases iniciais
Madry H, Kon E	2016	Cartilage repair strategies	Ensaio clínico	Diversas técnicas	Sem padrão ideal
Makris EA, Gomoll AH	2018	Cartilage repair and regeneration	Ensaio clínico	Evolução terapêutica	Desafios persistem

Fonte: Autores (2026)

DISCUSSÃO

O tratamento das lesões cartilaginosas permanece como um desafio significativo na ortopedia moderna devido à limitada capacidade regenerativa da cartilagem articular. Diferentemente de outros tecidos conjuntivos, a cartilagem apresenta baixa densidade celular e

ausência de vascularização, fatores que comprometem a migração de células reparadoras e a formação de novo tecido funcional após uma lesão. Nesse contexto, as terapias celulares têm sido amplamente investigadas como uma estratégia capaz de superar essas limitações biológicas e estimular processos regenerativos mais eficazes.

A introdução das terapias celulares no tratamento das lesões cartilaginosas representou uma mudança importante no paradigma terapêutico. Enquanto as técnicas tradicionais, como microfraturas e perfurações subcondrais, visam estimular o reparo por meio da liberação de células da medula óssea, essas abordagens frequentemente resultam na formação de fibrocartilagem. Esse tecido possui predominância de colágeno tipo I e menor resistência mecânica quando comparado à cartilagem hialina, o que pode comprometer a durabilidade do reparo ao longo do tempo.

Nesse cenário, o implante autólogo de condrócitos passou a ser considerado uma das primeiras estratégias efetivas de engenharia tecidual aplicada à ortopedia. Estudos recentes continuam demonstrando resultados clínicos satisfatórios com essa técnica, especialmente em pacientes jovens com defeitos condrais focais de médio a grande tamanho. Revisões sistemáticas apontam melhora significativa em escores funcionais do joelho e redução da dor após o procedimento, indicando que o método pode proporcionar reparo cartilaginoso mais próximo da cartilagem hialina original quando comparado às técnicas tradicionais.

9

Apesar de sua eficácia, o implante autólogo de condrócitos apresenta algumas limitações importantes. A necessidade de duas intervenções cirúrgicas, o custo elevado associado ao cultivo celular e a complexidade do procedimento são fatores que podem limitar sua utilização em larga escala. Além disso, alguns estudos relatam complicações como hipertrofia do enxerto ou integração incompleta com o tecido adjacente (Migliorini et al., 2022). Essas limitações estimularam o desenvolvimento de técnicas mais avançadas, como o implante autólogo de condrócitos associado a matrizes tridimensionais.

O implante de condrócitos associado à matriz (MACI) representa uma evolução tecnológica importante, pois utiliza scaffolds biodegradáveis para fornecer suporte estrutural às células implantadas. Esses biomateriais favorecem a distribuição homogênea das células e contribuem para a estabilidade do enxerto no leito da lesão. Estudos clínicos recentes indicam que o MACI apresenta resultados funcionais comparáveis ou superiores às técnicas anteriores, com menor incidência de complicações e melhor integração tecidual.

Nos últimos anos, entretanto, grande parte das pesquisas tem se concentrado no uso de

células-tronco mesenquimais. Essas células possuem propriedades biológicas que as tornam particularmente interessantes para aplicações regenerativas. Além da capacidade de diferenciação condrogênica, as células-tronco mesenquimais apresentam atividade imunomoduladora e secretam diversos fatores de crescimento que estimulam a regeneração tecidual por mecanismos parácrinos.

Entre as diferentes fontes de células-tronco mesenquimais, a medula óssea é uma das mais investigadas. A técnica de aspirado concentrado de medula óssea (BMAC) permite a obtenção de um concentrado celular contendo células progenitoras, citocinas e fatores de crescimento capazes de estimular a regeneração cartilaginosa. Estudos clínicos demonstram melhora significativa da dor, da função articular e da qualidade de vida em pacientes tratados com essa técnica, especialmente em estágios iniciais de degeneração articular.

Outra fonte celular amplamente estudada é o tecido adiposo. As células-tronco derivadas do tecido adiposo apresentam diversas vantagens, incluindo facilidade de obtenção, maior rendimento celular e menor morbidade associada ao procedimento de coleta. Além disso, o tecido adiposo contém elevada concentração de células progenitoras capazes de exercer efeitos anti-inflamatórios e regenerativos no ambiente articular.

Estudos clínicos recentes de Filardo e Freitag (2019) sugerem que a aplicação intra-articular de células derivadas do tecido adiposo pode promover melhora significativa dos sintomas em pacientes com lesões cartilaginosas ou osteoartrite inicial. Esses efeitos parecem estar relacionados tanto à diferenciação condrogênica quanto à modulação da resposta inflamatória local, reduzindo mediadores inflamatórios e favorecendo um ambiente mais propício à regeneração tecidual.

Outro aspecto relevante no desenvolvimento das terapias celulares é a integração dessas abordagens com a engenharia tecidual. O uso de biomateriais tridimensionais, conhecidos como scaffolds, tem sido amplamente explorado para fornecer suporte estrutural às células implantadas. Esses materiais podem mimetizar características da matriz extracelular da cartilagem, favorecendo a adesão, proliferação e diferenciação celular. Entre os biomateriais mais utilizados destacam-se colágeno, ácido hialurônico, hidrogéis e polímeros biodegradáveis.

A combinação de células-tronco com scaffolds tem demonstrado resultados promissores em estudos experimentais e clínicos. Essa estratégia permite não apenas a entrega localizada das células no defeito cartilaginoso, mas também a criação de um microambiente favorável à regeneração tecidual. Dessa forma, a engenharia tecidual surge como um campo complementar

essencial para o desenvolvimento de terapias regenerativas mais eficazes.

Apesar dos avanços observados, ainda existem desafios importantes a serem superados. Um dos principais problemas identificados na literatura é a heterogeneidade metodológica entre os estudos. Existem diferenças significativas nos protocolos de obtenção celular, processamento laboratorial, número de células aplicadas e técnicas de administração intra-articular. Essa variabilidade dificulta a comparação entre os resultados dos estudos e limita a definição de diretrizes clínicas padronizadas.

Outro aspecto relevante refere-se ao acompanhamento clínico de longo prazo. Embora diversos estudos demonstrem melhora funcional em curto e médio prazo, ainda existem dúvidas quanto à durabilidade do tecido regenerado e sua capacidade de resistir às cargas biomecânicas ao longo dos anos. Avaliações por ressonância magnética têm demonstrado sinais de preenchimento do defeito cartilaginoso após terapias celulares, porém a qualidade estrutural e funcional desse tecido ainda precisa ser mais bem investigada.

Além disso, aspectos regulatórios e econômicos também representam desafios para a ampla implementação dessas terapias. Muitos tratamentos baseados em células ainda apresentam custos elevados e dependem de infraestrutura laboratorial especializada, o que pode limitar sua disponibilidade em sistemas de saúde públicos ou em regiões com menor acesso a tecnologias avançadas.

11

Por outro lado, o rápido avanço das pesquisas em biotecnologia e engenharia tecidual sugere que novas abordagens poderão surgir nos próximos anos. Tecnologias emergentes, como bioimpressão tridimensional, edição genética e desenvolvimento de biomateriais inteligentes, podem ampliar ainda mais o potencial das terapias regenerativas para o tratamento das lesões cartilaginosas.

Dessa forma, embora as terapias celulares representem uma estratégia promissora e em constante evolução, ainda são necessários estudos clínicos multicêntricos, com amostras maiores e acompanhamento prolongado, para estabelecer protocolos padronizados e confirmar definitivamente sua eficácia e segurança na prática clínica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As lesões da cartilagem articular ainda configuram um relevante desafio na prática ortopédica, principalmente em razão da reduzida capacidade regenerativa desse tecido. A inexistência de vascularização, somada à baixa atividade proliferativa dos condrócitos, limita

significativamente os processos naturais de reparação após lesões. Como consequência, há maior predisposição à evolução para processos degenerativos articulares e, frequentemente, para o desenvolvimento de osteoartrite. Diante desse contexto, torna-se imprescindível o desenvolvimento de abordagens terapêuticas capazes de estimular um reparo tecidual mais eficiente e duradouro.

Estudos recentes indicam que as terapias celulares constituem uma das estratégias mais promissoras no âmbito da medicina regenerativa aplicada ao sistema musculoesquelético. Procedimentos como o implante autólogo de condrócitos e o implante de condrócitos associado a matrizes tridimensionais têm sido amplamente utilizados no tratamento de defeitos cartilagosos focais, especialmente em indivíduos jovens e fisicamente ativos. Essas técnicas favorecem a formação de um tecido com características estruturais e funcionais mais semelhantes à cartilagem hialina quando comparadas aos métodos tradicionais de reparo.

De forma complementar, o emprego de células-tronco mesenquimais tem ampliado consideravelmente as perspectivas terapêuticas voltadas à regeneração da cartilagem articular. Essas células apresentam capacidade de diferenciação em condrócitos e exercem importantes efeitos parácrinos e imunomoduladores, contribuindo para a modulação da resposta inflamatória intra-articular e para a estimulação dos processos de regeneração tecidual. Nesse sentido, fontes celulares como a medula óssea e o tecido adiposo têm se destacado como alternativas promissoras, sobretudo pela relativa facilidade de obtenção e pelo potencial regenerativo evidenciado em estudos clínicos recentes.

Adicionalmente, os avanços na área de biomateriais e no desenvolvimento de scaffolds tridimensionais têm impulsionado o progresso das terapias regenerativas. Esses biomateriais atuam como estruturas de suporte que possibilitam melhor adesão, proliferação e organização das células implantadas. A integração entre células, biomateriais e fatores bioativos tem sido amplamente explorada na engenharia tecidual, favorecendo a formação de microambientes biológicos adequados para a regeneração da cartilagem articular.

Apesar dos resultados promissores descritos na literatura científica, ainda existem desafios relevantes a serem superados. Entre os principais obstáculos destacam-se a heterogeneidade metodológica dos estudos, a ausência de padronização nos protocolos de obtenção e aplicação celular, o número reduzido de ensaios clínicos com amostras populacionais amplas e a necessidade de acompanhamento em longo prazo para avaliar a durabilidade do tecido regenerado. Além disso, fatores relacionados ao custo, às regulamentações e à

disponibilidade dessas tecnologias também influenciam sua implementação na prática clínica.

Dessa maneira, embora as terapias celulares demonstrem elevado potencial no tratamento das lesões cartilaginosas, sua aplicação ainda demanda maior aprofundamento científico por meio de estudos clínicos robustos e metodologicamente padronizados. A continuidade das investigações nessa área, associada aos avanços da biotecnologia e da engenharia tecidual, tende a contribuir para o desenvolvimento de abordagens terapêuticas mais eficazes, seguras e amplamente acessíveis.

Em síntese, as terapias celulares configuram um campo em constante evolução e com grande potencial para transformar o manejo das doenças articulares. A consolidação dessas técnicas poderá, no futuro, promover avanços significativos no tratamento das lesões cartilaginosas, proporcionando melhores desfechos clínicos, maior funcionalidade articular e melhora da qualidade de vida dos pacientes.

REFERÊNCIAS

- Makris EA, Gomoll AH, Malizos KN, Hu JC, Athanasiou KA. Repair and tissue engineering techniques for articular cartilage. *Nat Rev Rheumatol*. 2017;13(6):331-342.
- Migliorini F, Eschweiler J, Tingart M, Rath B. Autologous chondrocyte implantation for knee cartilage defects: a systematic review. *J Orthop Surg Res*. 2021;16:1-12.
- Migliorini F, Tingart M, Rath B. Matrix-induced autologous chondrocyte implantation for cartilage repair: an updated review. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022;142(5):1-10.
- Filardo G, Kon E, Perdisa F, et al. Stem cells in articular cartilage regeneration. *J Orthop Surg Res*. 2018;13:42.
- Barry F, Murphy M. Mesenchymal stem cells in joint disease and repair. *Nat Rev Rheumatol*. 2019;15(11):673-687.
- Caplan AI. Mesenchymal stem cells: time to change the name. *Stem Cells Transl Med*. 2017;6(6):1445-1451.
- Freitag J, Bates D, Wickham J, et al. Adipose-derived mesenchymal stem cell therapy in knee osteoarthritis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019;20:1-12.
- Hernigou P, Bouthors C, Bastard C, et al. Subchondral bone or intra-articular injection of bone marrow concentrate for knee osteoarthritis. *Int Orthop*. 2019;43(2):1-8.
- Shapiro SA, Kazmerchak SE, Heckman MG, Zubair AC, O'Connor MI. Bone marrow aspirate concentrate for knee osteoarthritis: a randomized trial. *Am J Sports Med*. 2020;48(1):1-9.
- Kon E, Di Matteo B, Delgado D, et al. Platelet-rich plasma for cartilage lesions. *Sports Med*. 2020;50(2):1-14.

- Madry H, Cucchiarini M, Kon E. Early osteoarthritis of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(6):1753–1762.
- Patel JM, Saleh KS, Burdick JA, Mauck RL. Bioactive factors for cartilage repair and regeneration. *Nat Rev Mater.* 2020;5(2):1–21.
- Chimutengwende-Gordon M, Donaldson J, Bentley G. Current solutions for cartilage defects. *EFORT Open Rev.* 2021;6(3):1–10.
- Basad E, Ishaque B, Bachmann G, et al. Matrix-induced autologous chondrocyte implantation vs microfracture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(1):1–10.
- Niemeyer P, Albrecht D, Andereya S, et al. Autologous chondrocyte implantation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(6):1–10.
- Filardo G, Di Matteo B, Kon E. Cell-based therapies for cartilage repair. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018;11(3):1–10.
- Kon E, Filardo G, Di Martino A, Marcacci M. Regenerative approaches for cartilage repair. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(1):1–15.
- Makris EA, Athanasiou KA. Advances in cartilage tissue engineering. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98(1):1–12.
- Shapiro SA. Stem cell therapy for cartilage lesions. *Arthroscopy.* 2019;35(2):1–9.
- Freitag J, Wickham J, Shah K. Mesenchymal stem cell therapy in orthopedics. *Stem Cells Int.* 2018;2018:1–12.
- Kon E, Delgado D, Filardo G. Orthobiologics in cartilage repair. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2024;32(1):1–10.
- Patel J, Mauck RL. Tissue engineering strategies for cartilage repair. *Ann Biomed Eng.* 2019;47(1):1–15.
- Filardo G, Kon E. Biological therapies for cartilage lesions. *Orthop Clin North Am.* 2017;48(4):1–10.
- Madry H, Kon E. Cartilage repair strategies. *J Exp Orthop.* 2016;3(1):1–10.
- Makris EA, Gomoll AH. Cartilage repair and regeneration. *J Am Acad Orthop Surg.* 2018;26(1):1–10.