Vietnam Journal of Community Medicine, Vol. 67, Special Issue 14, 238-242

# CARTILAGE REGENERATION WITH STEM CELLS AND SCAFFOLDS: A 10-YEAR UPDATE

Mai Huu Luc[1], Ton That Hung Binh[2], Phan Thanh Tai[1], Nguyen Kim Vuong[1]

[1]*Vo Truong Toan University - National Highway 1A, Thanh Xuan Commune, Can Tho City, Vietnam*
[2]*Vo Truong Toan University Hospital - National Highway 1A, Thanh Xuan Commune, Can Tho City, Vietnam*

Received: 13/01/2026
Reviced: 20/03/2026; Accepted: 10/09/2026

## ABSTRACT

**Objective:** To summarize advances over the past 10 years in articular cartilage regeneration using stem cells and scaffolds, with emphasis on clinical efficacy, safety, biomaterial innovation, and translational readiness.

**Methods:** A structured narrative review was conducted using PubMed/MEDLINE, the Cochrane Library, and ClinicalTrials.gov for studies published from January 1, 2015 to October 31, 2025. Two reviewers independently screened records in two steps, with disagreements resolved by a third reviewer. Priority was given to randomized trials, cohort studies or long-term follow-up data, systematic reviews, meta-analyses, and high-quality translational reviews.

**Results:** Matrix-Induced Autologous Chondrocyte Implantation (MACI) has the strongest evidence for focal knee cartilage defects, with more durable functional and structural improvement than microfracture in appropriately selected patients. In knee osteoarthritis, intra-articular Mesenchymal Stem Cells (MSCs) may provide small-to-moderate improvements in pain and function with acceptable short-term safety, but important heterogeneity remains in cell source, dose, processing, and outcome measures. Exosome-based therapies are still supported mainly by preclinical and early clinical data. Composite hydrogels, zonal scaffolds, and 3D bioprinting are advancing rapidly but have not reached routine clinical use.

**Conclusions:** Current evidence most strongly supports MACI for focal cartilage defects; MSCs still require further standardization; exosomes, next-generation scaffolds, and 3D bioprinting remain promising translational approaches rather than routine treatments.

***Keywords:*** cartilage regeneration; mesenchymal stem cells; exosomes; MACI; hydrogel scaffold; 3D bioprinting.

*Corresponding author
**Email:** pttai@vttu.edu.vn **Phone**: (+84) 947401446 **DOI:** 10.52163/yhc.v67iCD14.6559

# LIỆU PHÁP TÁI TẠO MÔ SỤN BẰNG TẾ BÀO GỐC VÀ SCAFFOLD: CẬP NHẬT 10 NĂM GẦN ĐÂY

Mai Hữu Lực[1], Tôn Thất Hưng Bình[2], Phan Thành Tài[1], Nguyễn Kim Vượng[1]

*[1]Trường Đại học Võ Trường Toản - QL1A, xã Thạnh Xuân, thành phố Cần Thơ, Việt Nam*
*[2]Bệnh viện Đại học Võ Trường Toản - QL1A, xã Thạnh Xuân, thành phố Cần Thơ, Việt Nam*

Ngày nhận bài: 13/01/2026
Ngày chỉnh sửa: 20/03/2026; Ngày duyệt đăng: 10/09/2026

## TÓM TẮT

**Mục tiêu:** Tổng hợp tiến bộ 10 năm gần đây trong tái tạo sụn khớp bằng tế bào gốc và scaffold, nhấn mạnh hiệu quả lâm sàng, an toàn, đổi mới vật liệu sinh học và khả năng chuyển giao.

**Phương pháp:** Tổng quan tường thuật có cấu trúc trên PubMed/MEDLINE, Cochrane Library và ClinicalTrials.gov giai đoạn 01/01/2015–31/10/2025. Hai nhà nghiên cứu sàng lọc độc lập theo hai bước; bất đồng được giải quyết với nhà nghiên cứu thứ ba. Ưu tiên thử nghiệm ngẫu nhiên, nghiên cứu đoàn hệ hoặc dữ liệu theo dõi dài hạn, tổng quan hệ thống, phân tích gộp và các bài tổng quan chuyển giao chất lượng tốt.

**Kết quả:** Cấy ghép tế bào sụn tự thân có khung nền (MACI) có bằng chứng mạnh nhất cho khuyết sụn khu trú ở gối, với cải thiện chức năng và cấu trúc bền vững hơn khoan vi phẫu ở người bệnh chọn lọc phù hợp. Ở thoái hóa khớp gối, Tế bào gốc trung mô (MSC) nội khớp có thể cải thiện đau và chức năng mức nhỏ đến trung bình, với an toàn ngắn hạn chấp nhận được, nhưng còn dị biệt lớn về nguồn tế bào, liều, quy trình và chỉ số đánh giá. Exosome hiện chủ yếu được nâng đỡ bởi dữ liệu tiền lâm sàng và lâm sàng sớm. Hydrogel composite, scaffold mô phỏng cấu trúc vùng và in sinh học 3D phát triển nhanh nhưng chưa đạt mức ứng dụng thường quy.

**Kết luận:** Bằng chứng hiện ủng hộ rõ nhất MACI cho khuyết sụn khu trú; MSC còn cần chuẩn hóa thêm; exosome, scaffold thế hệ mới và in sinh học 3D hiện chủ yếu là các hướng chuyển giao triển vọng.

***Từ khóa:*** tái tạo sụn; tế bào gốc trung mô; exosome; MACI; scaffold hydrogel; in sinh học 3D.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tổn thương sụn khớp và thoái hóa khớp gối là nguyên nhân thường gặp gây đau, hạn chế vận động, giảm chất lượng sống và làm tăng chi phí y tế lâu dài. Do sụn hyaline gần như không có mạch máu, mật độ tế bào thấp và khả năng tự sửa chữa hạn chế, các tổn thương sụn toàn bề dày thường khó phục hồi tự nhiên. Các kỹ thuật kích thích tủy xương như microfracture có thể cải thiện triệu chứng trong ngắn hạn, nhưng mô tân tạo thường giàu sụn sợi, khả năng chịu tải và độ bền sinh học kém hơn sụn hyaline.

Trong 10 năm gần đây, chiến lược tái tạo sụn đã chuyển từ cách tiếp cận đơn lẻ sang mô hình tích hợp giữa thành phần sinh học và nền tảng vật liệu. Ở bình diện lâm sàng, cấy ghép tế bào sụn tự thân gắn nền và tiêm nội khớp tế bào gốc trung mô là hai hướng được quan tâm nhiều nhất. Ở bình diện chuyển giao, exosome, hydrogel composite, scaffold mô phỏng cấu trúc vùng, scaffold sụn - xương dưới sụn và in sinh học 3D đang được phát triển nhằm tái lập vi môi trường cơ học - sinh học thuận lợi cho tái tạo mô [1-4],[10].

Chính sự phát triển song hành của liệu pháp tế bào và vật liệu sinh học làm nảy sinh nhu cầu về một bài tổng quan tích hợp, không chỉ liệt kê hiệu quả của từng công nghệ mà còn phải phân biệt mức độ trưởng thành của bằng chứng, vị trí chỉ định hiện tại và các rào cản dịch chuyển sang thực hành thường quy. Vì vậy, bài viết này nhằm: (1) cập nhật chứng cứ lâm sàng về MACI, MSC nội khớp và exosome; (2) tổng hợp các đổi mới nổi bật của scaffold, hydrogel và in sinh học 3D; và (3) xác định khoảng trống nghiên cứu, đồng thời gợi ý cách diễn giải thận trọng trong thực hành.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Đây là tổng quan tường thuật có cấu trúc. Nguồn dữ liệu bao gồm PubMed/MEDLINE, Cochrane Library và ClinicalTrials.gov. Chiến lược tìm kiếm bao phủ giai đoạn từ ngày 01/01/2015 đến ngày 31/10/2025; lần cập nhật tìm kiếm cuối cùng được thực hiện ngày 31/10/2025. Các cụm từ khóa chính gồm: "cartilage defect", "articular cartilage", "osteoarthritis", "matrix-induced autologous chondrocyte implantation", "MACI", "mesenchymal stem cells", "exosomes", "hydrogel", "scaffold", "osteochondral scaffold", "3D bioprinting", kết hợp bằng toán tử Boolean phù hợp theo từng cơ sở dữ liệu.

Việc sàng lọc được thực hiện theo hai bước. Ở bước 1, tiêu đề và tóm tắt được rà soát để loại các bài không phù hợp chủ đề, bài trùng lặp, báo cáo ca đơn lẻ, thư tòa soạn và nghiên cứu không liên quan trực tiếp đến tái tạo sụn khớp. Ở bước 2, toàn văn được đánh giá theo tiêu chí xác định trước. Hai nhà nghiên cứu sàng lọc độc lập; bất đồng được giải quyết bằng thảo luận và đối chiếu với nhà nghiên cứu thứ ba. Các bài được ưu tiên khi thỏa ít nhất một trong các đặc điểm sau: thử nghiệm ngẫu nhiên có

*Tác giả liên hệ
**Email:** pttai@vttu.edu.vn **Điện thoại**: (+84) 947401446 **DOI:** 10.52163/yhc.v67iCD14.6559

đối chứng; đoàn hệ hoặc dữ liệu đăng ký theo dõi dài hạn; tổng quan hệ thống hoặc phân tích gộp; hoặc bài tổng quan chuyển giao có giá trị tổng hợp cao đối với hydrogel, scaffold, exosome hay in sinh học 3D.

Tiêu chí đưa vào gồm: (1) đối với MACI, ưu tiên RCT và nghiên cứu theo dõi ít nhất 24 tháng ở khuyết sụn khu trú gối; (2) đối với MSC nội khớp trong thoái hóa khớp gối, ưu tiên RCT, tổng quan hệ thống và phân tích gộp; (3) đối với exosome, chấp nhận bằng chứng tiền lâm sàng mạnh và dữ liệu lâm sàng sớm có liên quan trực tiếp đến bệnh lý sụn - khớp; (4) đối với hydrogel, scaffold và in sinh học 3D, ưu tiên các bài tổng quan cập nhật, có mô tả rõ nền tảng vật liệu và tiềm năng chuyển giao. Tiêu chí loại trừ gồm: nghiên cứu không tập trung vào mô sụn khớp, can thiệp không có thành phần tế bào hoặc scaffold liên quan, nghiên cứu động vật thuần túy không gắn với hướng dịch chuyển lâm sàng, bài báo trùng lặp dữ liệu, và bài không cung cấp thông tin đủ để tổng hợp.

Từ 379 bản ghi ban đầu, sau loại trùng và sàng lọc tiêu đề/tóm tắt còn 37 bài toàn văn được đánh giá. Trong số này, 12 bài bị loại vì không đúng quần thể hoặc không đúng can thiệp chính, 7 bài bị loại do trùng lặp nội dung với tổng quan mới hơn hoặc không bổ sung thông tin cốt lõi, và 8 bài bị loại do không cung cấp dữ liệu phù hợp cho mục tiêu tổng hợp. Cuối cùng, 10 tài liệu nòng cốt được sử dụng để xây dựng phần kết quả và bàn luận. Vì đây không phải là tổng quan hệ thống, nhóm tác giả không thực hiện thang điểm nguy cơ sai lệch chính thức cho từng nghiên cứu; thay vào đó, bằng chứng được diễn giải theo loại thiết kế, thời gian theo dõi, tính nhất quán của kết quả và mức độ sẵn sàng chuyển giao.

## 3. KẾT QUẢ

Mười tài liệu nòng cốt sau sàng lọc cho thấy bức tranh bằng chứng phân tầng khá rõ giữa các chiến lược. MACI là nhóm có dữ liệu lâm sàng trưởng thành nhất; MSC nội khớp có số lượng nghiên cứu lâm sàng đáng kể nhưng còn rất không đồng nhất; exosome mới ở giai đoạn lâm sàng sớm; còn hydrogel, scaffold mô phỏng cấu trúc vùng và in sinh học 3D chủ yếu phản ánh tiến bộ công nghệ và chuyển giao [1-10].

**Bảng 1. Phân tầng chiến lược tái tạo sụn theo mức độ chứng cứ và mức sẵn sàng chuyển giao**

| Chiến lược | Mức chứng cứ | Chỉ định hiện tại | Điểm mạnh | Hạn chế chính | Sẵn sàng chuyển giao |
|---|---|---|---|---|---|
| MACI | Lâm sàng tương đối vững | Khuyết sụn khu trú gối | Dữ liệu RCT và theo dõi dài hạn; hiệu quả cấu trúc - chức năng tốt | Đòi hỏi chọn bệnh nghiêm ngặt; chi phí và kỹ thuật cao | Cao |
| MSC nội khớp | Lâm sàng mức vừa, dị biệt cao | Thoái hóa khớp gối có triệu chứng | Có tín hiệu giảm đau, cải thiện chức năng; an toàn ngắn hạn chấp nhận được | Khác biệt nguồn tế bào, liều, xử lý và outcome; hiệu quả cấu trúc chưa nhất quán | Trung bình |
| Exosome từ MSC | Lâm sàng sớm / chuyển giao | Chưa có chỉ định thường quy | Tiềm năng điều hòa viêm, tránh một số bất lợi của tế bào sống | Thiếu chuẩn hóa sản phẩm, liều và phép thử hiệu lực | Thấp - trung bình |
| Hydrogel / scaffold composite | Chủ yếu tiền lâm sàng - công nghệ | Nền tảng hỗ trợ tái tạo mô | Tùy biến cơ - sinh học, dẫn truyền tế bào và yếu tố tăng trưởng | Độ bền cơ học, phân hủy, tích hợp mô và sản xuất lặp lại còn thách thức | Thấp |
| Scaffold sụn - xương dưới sụn, cấu trúc vùng | Tiền lâm sàng / chuyển giao sớm | Tổn thương osteochondral chọn lọc | Tiếp cận gần hơn đơn vị chức năng chịu lực | Thiếu dữ liệu lâm sàng chuẩn hóa, quy trình phức tạp | Thấp |
| In sinh học 3D | Chủ yếu công nghệ chuyển giao | Chưa thường quy | Cá thể hóa hình học và phân bố vật liệu - tế bào theo không gian | Khó đạt đồng thời tính sinh học, cơ học và chuẩn sản xuất | Thấp |

**Bảng 2. Tài liệu nòng cốt được sử dụng để xây dựng phần kết quả và bàn luận**

| STT | Tác giả/Tài liệu | Năm | Thiết kế | Giá trị sử dụng trong tổng quan |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Tang D, et al. | 2025 | Tổng quan hệ thống | Tóm tắt hướng phát triển hydrogel composite trong sửa chữa khuyết sụn gối. |
| 2 | Li A, et al. | 2025 | Tổng quan | Phân tích chiến lược hydrogel chức năng trong kỹ thuật mô sụn. |
| 3 | Mirsky NA, et al. | 2024 | Tổng quan | Cập nhật nền tảng và triển vọng của in sinh học 3D. |
| 4 | Tan F, et al. | 2024 | Tổng quan | Khung tham chiếu về ứng dụng lâm sàng của exosome từ tế bào gốc. |
| 5 | Cao M, et al. | 2025 | Phân tích gộp RCT | Đánh giá hiệu quả và an toàn của MSC nội khớp trong thoái hóa khớp gối. |
| 6 | Tian X, et al. | 2024 | Tổng quan hệ thống/MA | Bổ sung so sánh tương đối hiệu quả và an toàn của MSC trong OA. |
| 7 | Wang Y, et al. | 2025 | Tiền lâm sàng + lâm sàng sớm | Cho thấy tín hiệu an toàn và hiệu quả ban đầu của exosome UC-MSC trong OA. |
| 8 | Saris DBF, et al. | 2014 | RCT | Nghiên cứu nền tảng so sánh MACI với microfracture. |
| 9 | Wang AS, et al. | 2024 | Theo dõi dài hạn | Củng cố tính bền vững tối thiểu 10 năm của MACI. |
| 10 | Hashemi-Afzal F, et al. | 2025 | Tổng quan | Tổng hợp thiết kế hydrogel thế hệ mới cho tái tạo sụn khớp. |

### 3.1. MACI trong khuyết sụn khu trú

Nhóm bằng chứng về MACI tập trung ở tổn thương sụn khu trú gối, thường là khuyết sụn đơn ổ, diện tích vừa phải, độ thoái hóa nền thấp và trục chi tương đối bảo tồn. Các thử nghiệm ngẫu nhiên và theo dõi dài hạn cho thấy MACI cải thiện tốt hơn microfracture về đau, chức năng và một số chỉ số cấu trúc trên cộng hưởng từ khi người bệnh được chọn lọc phù hợp. Điểm quan trọng là lợi ích của MACI không chỉ xuất hiện ở giai đoạn sớm mà còn được duy trì sau nhiều năm, qua đó củng cố vai trò của kỹ thuật này

như một lựa chọn tái tạo sụn tương đối vững cho khuyết sụn khu trú đã thất bại điều trị bảo tồn.

### 3.2. MSC nội khớp trong thoái hóa khớp gối

So với MACI, bằng chứng về MSC nội khớp trong thoái hóa khớp gối có phạm vi lâm sàng rộng hơn nhưng dị biệt lớn hơn. Các phân tích gộp gần đây cho thấy MSC có thể cải thiện đau và chức năng ở mức nhỏ đến trung bình trong ngắn và trung hạn, với biến cố bất lợi nghiêm trọng hiếm gặp [5,6]. Tuy nhiên, hiệu quả không hoàn toàn đồng nhất giữa các nghiên cứu vì khác nhau về nguồn tế bào, quy trình nuôi cấy hoặc xử lý, số lượng tế bào tiêm, số lần tiêm, mức độ thoái hóa khớp nền, cũng như việc có phối hợp với arthroscopy, hyaluronic acid hay huyết tương giàu tiểu cầu hay không. Dữ liệu về thay đổi cấu trúc sụn trên cộng hưởng từ hoặc các chỉ dấu sinh học còn chưa nhất quán, vì vậy hiện nay cần diễn giải MSC chủ yếu như một can thiệp có tín hiệu cải thiện triệu chứng hơn là đã chứng minh chắc chắn khả năng phục hồi cấu trúc.

### 3.3. Exosome từ MSC

Liệu pháp "không tế bào" bằng exosome hoặc các túi ngoại bào có nguồn gốc từ MSC được quan tâm nhờ khả năng giảm một số khó khăn của tế bào sống, như bảo quản, biến thiên chất lượng và kiểm soát sản phẩm. Dữ liệu hiện tại gợi ý exosome có thể điều hòa viêm, thúc đẩy tổng hợp chất nền và ảnh hưởng thuận lợi đến tương tác giữa tế bào sụn, màng hoạt dịch và đại thực bào [4,7]. Tuy nhiên, phần lớn dữ liệu vẫn xuất phát từ mô hình tiền lâm sàng hoặc nghiên cứu lâm sàng sớm với cỡ mẫu nhỏ. Do đó, exosome nên được xem là nền tảng có tiềm năng cao nhưng chưa đủ dữ liệu để suy rộng sang thực hành thường quy.

### 3.4. Hydrogel, scaffold mô phỏng cấu trúc vùng và in sinh học 3D

Nhóm vật liệu sinh học cho thấy tốc độ phát triển nhanh nhất trong giai đoạn gần đây. Các hydrogel composite phối hợp collagen, hyaluronic acid, gelatin methacrylate và vật liệu vô cơ gia cường được thiết kế nhằm tối ưu đồng thời khả năng bám dính, tính tương hợp sinh học, khả năng phân phối tế bào hoặc yếu tố tăng trưởng, và đặc tính cơ học [1-3,10]. Các scaffold mô phỏng cấu trúc vùng hướng đến tái tạo khác biệt giữa lớp bề mặt, lớp chuyển tiếp và lớp vôi hóa của sụn; trong khi scaffold sụn - xương dưới sụn cố gắng giải quyết đồng thời đơn vị chức năng chịu lực của tổn thương osteochondral. In sinh học 3D cho phép tạo cấu trúc cá thể hóa theo hình dạng khuyết sụn và phân bố vật liệu - tế bào theo không gian. Dù vậy, hầu hết nền tảng này hiện vẫn ở mức tiền lâm sàng hoặc lâm sàng rất sớm; các thách thức quan trọng gồm độ bền cơ học dài hạn, tiêu chuẩn sản xuất, phép thử hiệu lực và khung pháp lý cho sản phẩm kết hợp.

## 4. BÀN LUẬN

Kết quả tổng hợp cho thấy không nên đặt tất cả chiến lược tái tạo sụn trên cùng một mặt bằng bằng chứng. MACI hiện có nền tảng lâm sàng vững nhất, nhưng chỉ phù hợp với một quần thể chọn lọc, chủ yếu là khuyết sụn khu trú ở khớp gối, trong bối cảnh cơ học khớp đã được tối ưu tương đối [8,9]. Nói cách khác, thành công của MACI không chỉ phụ thuộc vào vật liệu hoặc tế bào mà còn gắn với chỉnh trục chi, xử trí bất ổn dây chằng, tình trạng sụn chêm và chương trình phục hồi chức năng sau mổ.

Ngược lại, MSC nội khớp được nghiên cứu nhiều trong thoái hóa khớp gối có triệu chứng, tức một bệnh cảnh rộng, dị hợp và chịu ảnh hưởng đồng thời của viêm hoạt mạc, tổn thương xương dưới sụn, béo phì, rối loạn cơ học và mức độ mất sụn khác nhau. Đây là lý do giải thích vì sao cùng là "MSC" nhưng kết quả giữa các thử nghiệm không hoàn toàn tương đồng. Ở thời điểm hiện tại, cách diễn giải thận trọng nhất là MSC có khả năng cải thiện triệu chứng ở một số nhóm người bệnh, song ảnh hưởng lên tái tạo cấu trúc sụn vẫn chưa đủ nhất quán để xem là đã xác lập [5,6].

Exosome, scaffold thế hệ mới và in sinh học 3D có giá trị lớn ở góc nhìn đổi mới công nghệ, nhưng mức trưởng thành lâm sàng còn thấp hơn rõ rệt. Với exosome, vấn đề trung tâm không chỉ là hiệu quả sinh học mà còn là chuẩn hóa sản phẩm: nguồn tế bào gốc ban đầu, quy trình tách chiết, hồ sơ tải protein - RNA, kích thước hạt, tiêu chí giải phóng lô và phép thử hiệu lực chức năng [4,7]. Với scaffold và hydrogel, thách thức nằm ở việc đạt được cân bằng giữa tính tương hợp sinh học, tính chất cơ học, tốc độ phân hủy, tính tích hợp với mô nhận và khả năng sản xuất lặp lại ở quy mô lâm sàng [1-3,10]. Với in sinh học 3D, triển vọng là rõ ràng nhưng từ một nền tảng kỹ thuật đầy hứa hẹn đến một sản phẩm điều trị thường quy vẫn còn khoảng cách đáng kể.

Bảng phân tầng mức độ bằng chứng trong bài này gợi ý một thông điệp thực hành quan trọng. Thứ nhất, khuyết sụn khu trú và thoái hóa khớp lan tỏa là hai thực thể không nên gộp chung khi suy luận về hiệu quả tái tạo sụn. Thứ hai, kết quả do người bệnh báo cáo là cần thiết nhưng chưa đủ; tương lai của lĩnh vực này cần các thử nghiệm kết hợp PROs với cộng hưởng từ định lượng, chỉ dấu sinh học dịch khớp và thậm chí đánh giá kinh tế y tế. Thứ ba, chuẩn hóa sản phẩm và chỉ định theo kiểu hình người bệnh có lẽ quan trọng không kém bản thân công nghệ điều trị.

### Hạn chế của nghiên cứu

Bài viết này là tổng quan tường thuật có cấu trúc, do đó tồn tại nguy cơ thiên lệch chọn lọc tài liệu và không thể đạt mức bao phủ như một tổng quan hệ thống đầy đủ. Số lượng tài liệu nòng cốt được đưa vào phần tổng hợp cuối cùng tương đối ít so với phạm vi chủ đề rộng, dù đã ưu tiên những nghiên cứu có giá trị đại diện cao. Ngoài ra, dị biệt lớn giữa các quần thể bệnh, chỉ định điều trị, nguồn và quy trình sản xuất MSC, loại scaffold, chỉ số đánh giá và thời gian theo dõi làm hạn chế khả năng so sánh trực tiếp giữa các chiến lược. Bài viết cũng phải đặt chung trong một khung phân tích các bằng chứng có độ trưởng thành rất khác nhau, từ RCT lâm sàng đến dữ liệu tiền lâm sàng hoặc công nghệ, nên mọi kết luận đều cần được hiểu theo mức độ chắc chắn tương ứng.

## 5. KẾT LUẬN

Trong 10 năm gần đây, MACI là chiến lược có bằng chứng lâm sàng vững nhất cho khuyết sụn khu trú ở khớp gối, với lợi ích chức năng và cấu trúc tương đối bền vững khi chọn bệnh đúng [8,9]. Đối với thoái hóa khớp gối, MSC nội khớp cho thấy tín hiệu cải thiện triệu chứng, nhưng hiệu quả chủ yếu vẫn được ghi nhận trên đau và chức năng; bằng chứng về tái tạo cấu trúc còn chưa nhất quán và bị ảnh hưởng bởi mức độ dị biệt cao của sản phẩm cũng như chỉ định [5,6]. Exosome, scaffold thế hệ mới và in sinh học

3D là các hướng chuyển giao triển vọng, song hiện chưa đủ bằng chứng để suy rộng thành lựa chọn điều trị thường quy [1-4,7,10]. Bước tiến tiếp theo của lĩnh vực này cần gắn với chuẩn hóa sản phẩm tế bào và vật liệu, chỉ định theo kiểu hình người bệnh, tiêu chí đánh giá đa tầng và các thử nghiệm thực dụng có thời gian theo dõi đủ dài.

**Lời cảm ơn**

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Trường và Bệnh viện Đại học Võ Trường Toản đã hỗ trợ định hướng học thuật cho chuyên đề tổng quan này.

## 6. TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Tang D, Song H, Yan C, Luo Y, Su X, Ruan S. Hydrogel composite scaffold repairs knee cartilage defects: a systematic review. RSC Advances. 2025;15(13):10337-10364. doi:10.1039/D5RA01031D.

[2] Li A, Huang X, Wei Q, và cộng sự. Evolving functional hydrogel strategies for cartilage engineering: from bioinspiration to biomimicry. Burns & Trauma. 2025;13:tkaf041. doi:10.1093/burnst/tkaf041.

[3] Mirsky NA, Gupta A, Parsons M, Lee M, Leucht P. Three-dimensional bioprinting: a comprehensive review and future perspectives. Bioengineering. 2024;11(8):777. doi:10.3390/bioengineering11080777.

[4] Tan F, Li X, Wang Z, Li J, Shahzad K, Zheng J. Clinical applications of stem cell-derived exosomes. Signal Transduction and Targeted Therapy. 2024;9(1):17. doi:10.1038/s41392-023-01704-0.

[5] Cao M, Li Z, Fan Y, và cộng sự. Efficacy and safety of mesenchymal stem cells in knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Stem Cell Research & Therapy. 2025;16:147. doi:10.1186/s13287-025-04252-2.

[6] Tian X, Qu Z, Cao Y, Zhang B. Relative efficacy and safety of mesenchymal stem cells for osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Frontiers in Endocrinology. 2024;15:1366297. doi:10.3389/fendo.2024.1366297.

[7] Wang Y, Liu H, Lin H, và cộng sự. Human umbilical cord mesenchymal stem cell-derived exosomes for osteoarthritis: preclinical and early clinical evidence. Journal of Translational Medicine. 2025;23:548. doi:10.1186/s12967-025-06623-y.

[8] Saris DBF, Vanlauwe J, Victor J, Haspl M, Bohnsack M, Fortems Y, et al. Matrix-induced autologous chondrocyte implantation versus microfracture in the treatment of symptomatic cartilage defects of the knee: two-year follow-up of a prospective randomized trial. The American Journal of Sports Medicine. 2014;42(6):1384-1394. doi:10.1177/0363546514528093.

[9] Wang AS, Nagelli C, Mithoefer K, Williams RJ 3rd. Minimum 10-year outcomes of matrix-induced autologous chondrocyte implantation in the knee. The American Journal of Sports Medicine. 2024;52(3):653-662. doi:10.1177/03635465231205309.

[10] Hashemi-Afzal F, Moshtaghian A, Gholamali I, và cộng sự. Advancements in hydrogel design for articular cartilage regeneration: a comprehensive review. Bioactive Materials. 2025;43:1-31. doi:10.1016/j.bioactmat.2024.09.005.