

**«ИСПАНСКИЙ ЖУРНАЛ  
АРТРОСКОПИИ  
И ХИРУРГИИ СУСТАВОВ»  
(REVISTA ESPAÑOLA  
ARTROSCOPIA Y CIRURGIA  
ARTICULAR)**

Испанская ассоциация артроскопии



Том 28, выпуск 1, № 71, январь 2021 г.  
Международный стандартный номер  
периодического  
издания (ISSN): 2792-2154 (печатная версия)  
2792-2162 (электронная версия)

## Монография: Лечение изъязвлений суставного хряща

## Микрофрактурирование или стимулирование костного мозга: развитие методики

А. Рестрепо Бетанкур (A. Restrepo Betancourt)

Главный медицинский специалист, компания «ОлигоМедик Инк.» (OligoMedic Inc.), Канада<sup>1</sup>

### АННОТАЦИЯ

Микрофрактурирование является наиболее распространенным методом лечения очаговых повреждений суставных хрящей. В последние годы методику усовершенствовали путем применения артроскопии, оптимизации используемых инструментов и внедрения достижений в области тканевой инженерии. В усовершенствованном методе микрофрактурирования новейшие биоматериалы используются для заполнения дефекта и удержания кровотока для формирования сгустка крови с включенным в него биоматериалом, что приводит в большей степени к биологическому процессу восстановления и улучшению структурных результатов. Это также позволяет ткани больше соответствовать механическим нагрузкам и повышает ее долговечность. Был выполнен обзор новейших достижений, связанных с некоторыми из упомянутых методов.

**Ключевые слова:** суставной хрящ; микрофрактуры; повреждение суставного хряща; хитозан; улучшенный метод микрофрактурирования

<sup>1</sup> Для переписки - Доктор Альберто Рестрепо Бетанкур, электронная почта: [alresbet@icloud.com](mailto:alresbet@icloud.com).

<https://doi.org/10.24129/j.reacae.28171.fs2002014>



© 2021 г. Права принадлежат Испанскому фонду артроскопии. Опубликовано компанией «Имайдеа Интерактива» (Imaidea Interactiva) в Издательском фонде научных исследований «ФОНДОСАЙЕНС» (FONDOSCIENCE)® ([www.fondoscience.com](http://www.fondoscience.com)). Настоящая статья находится в открытом доступе на условиях лицензии «Криэйтив Коммонз» «С указанием авторства – Некоммерческая – Без производных» ([www.creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/](http://www.creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)).

## Введение

Техника микрофрактурирования фактически является усовершенствованным вариантом оригинальной методики, разработанной Приди в 1950-х годах <sup>(1)</sup> и улучшенной Стедманом (Steadman) в 1980-х годах. <sup>(2)</sup> С годами этот метод получал все большее распространение, пока не стал эталонным при восстановлении суставного хряща, с которым сравнивают другие методики. Во всех вариациях он остается наиболее распространенным методом лечения очаговых повреждений суставных хрящей. <sup>(3)</sup>

Поскольку в ткани суставного хряща почти по всей ее структуре отсутствует иннервация или васкуляризация, она не обладает естественной способностью вырабатывать соответствующий ответ на повреждение тканей, вызывающее изменение ее структуры, в виде локального кровотечения. Создание перфораций в субхондральной кости вызывает активное кровотечение из костного мозга и субхондральной костной пластины благодаря ее микроваскуляризации с проникновением в обызвествленный слой суставного хряща. В результате такого кровотечения образуется сгусток крови («суперсгусток» по терминологии Стедмана) в очень враждебной с механической точки зрения среде, способной привести к его отслоению прежде, чем он успеет выполнить свою функцию. <sup>(4)</sup>

Однако техника микрофрактурирования фактически включает серию техник, объединяемых термином «стимулирование костного мозга». Методики, основанные на стимулировании костного мозга, совершенствовались с течением времени. Таким образом, методология продвинулась от простого выскабливания до механических перфораций большого диаметра и немеханических шилообразных перфораций (рисунок 1) от 1,5 до 2,5 мм в диаметре, а также техник субхондрального туннелирования, где используются перфорации малого диаметра глубиной до 9 мм, которые намного меньше повреждают структуру кости и костного мозга.

В соответствии с техническим совершенствованием метода с целью улучшения результатов разработаны новые стратегии укрытия и защиты сгустка крови как базового компонента, запускающего процесс заживления. Этот метод называют «микрофрактурирование плюс», улучшенное стимулирование костного мозга, а также

усовершенствованная техника микрофрактурирования. <sup>(5, 6)</sup>

В настоящей статье описаны биологические принципы, на которых основаны указанные хирургические вмешательства, а также некоторые используемые технологии, механизм действия которых основан на принципах, расцениваемых авторами как «изысканные» с физиологической точки зрения.

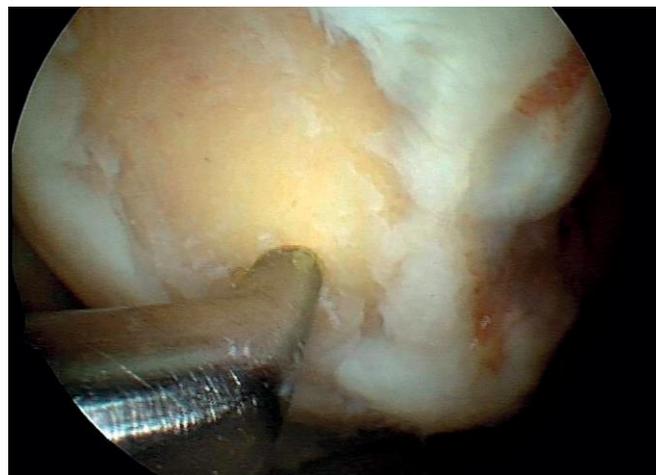


Рисунок 1. Техника микрофрактурирования с использованием щипцов Стедмана

## Биологические принципы

Указанная серия методик основывается на биологических принципах, поскольку наличие сгустка крови существенно важно для инициирования комплексного процесса заживления во всех тканях организма человека. Упомянутый сгусток крови содержит все элементы, необходимые для поэтапного запуска каскада явлений, а именно: индукции восстановительной воспалительной реакции, за которой после ее модуляции следует образование новой ткани путем созревания грануляционной ткани, - естественного и управляемого механизма, дающего в итоге начало заживляющей ткани. Последняя может быть идентична исходной ткани (полное восстановление до исходного состояния), и в этом случае может технически именоваться регенерировавшей тканью, или она может представлять собой рубец различного качества, в зависимости от степени сходства с исходной тканью, и в таком случае можно говорить о восстановленной ткани.

В подавляющем большинстве случаев реконструкция суставного хряща приводит к формированию рубцовой ткани различного качества в зависимости от увлажнения, а также наличия, ориентации и процентного

соотношения коллагеновых волокон II типа, характерных для суставного хряща. Полученный таким образом хрящ часто называется гиалиновым. Если указанный тип коллагена отсутствует или присутствует в объеме ниже нормы, речь идет о волокнистом хряще. Но авторы предпочитают использовать формулировку «суставной хрящ, в большей или меньшей степени обладающий характеристиками гиалинового хряща», поскольку она лучше отражает то, что встречается в реальности. Чем больше гиалина находится в суставном хряще, то есть чем более многослойной является ткань при наличии коллагеновых волокон II типа в достаточном объеме и соответствующей локализации в условиях достаточного увлажнения, о чем свидетельствует наличие гликозаминогликанов, и при приемлемой толщине, тем лучших и более долговременных результатов можно ожидать.

И наоборот, когда вместо коллагеновых волокон II типа увеличивается содержание коллагеновых волокон I типа, и при этом ткань не является многослойной или же она чрезмерно либо недостаточно увлажнена, в результате образуется фиброзная ткань (волокнистый хрящ) с более низкими биомеханическими характеристиками, не способная выполнять двойную физиологическую функцию в качестве скользящей поверхности и распределителя механической нагрузки, и это приводит к ускоренному износу.

Поскольку в ткани большей части структуры суставного хряща (но не всей структуры, как будет описано ниже) отсутствует иннервация и васкуляризация, она не обладает естественной способностью вырабатывать соответствующий ответ на повреждение тканей, вызывающее значительное изменение ее структурной целостности, в присутствии локального кровотечения. Создание перфораций в субхондральной кости, в результате которых среда сустава сообщается с субхондральным пространством, вызывает активное кровотечение из костного мозга и субхондральной костной пластины благодаря ее микроваскулярной сети с проникновением в обызвествленный слой суставного хряща. В результате такого кровотечения образуется сгусток крови («суперсгусток» по терминологии Стедмана) в очень враждебной с

механической точки зрения среде, способной привести к его отслоению раньше, чем он успеет надлежащим образом выполнить свою функцию.

### **Сгусток крови как первичный фактор**

Сгусток крови в процессе заживления ткани выполняет ряд функций, все из которых являются критически важными. Однако повреждение васкуляризованной ткани приводит к разрыву локальных кровеносных сосудов. Это, в свою очередь, запускает цепь безупречно согласованных явлений, первым из которых является коагуляция. Этот процесс направлен на остановку кровотечения в кратчайшие сроки, поскольку кровопотеря может угрожать жизнеспособности ткани.

Сгусток представляет собой биологически активный трехмерный барьер, состоящий из фибрина и тромбоцитов. Тромбоциты выполняют две функции: исключительно кровоостанавливающую функцию, когда они скапливаются на стенках разорванного сосуда в попытке герметизировать перфорацию, и секреторную функцию при активации, для которой характерно немедленное высвобождение элементов, содержащихся в их альфа-гранулах. Благодаря этому высвобождается ряд цитокинов, таких как тромбоцитарный фактор роста и трансформирующий фактор роста бета, которые способствуют развитию воспалительной реакции. На втором этапе другие схожие вещества, такие как фактор роста эндотелия сосудов и фактор роста фибробластов, среди прочих, модулируют реакцию и запускают репарационную активность (заживление).<sup>(7)</sup>

В зависимости от задействованной ткани, заживление включает более или менее сложные процессы, начиная от простого заживления рубцеванием и заканчивая структурным восстановлением с полным воссозданием поврежденной ткани – что и происходит в случае с костной тканью.

### **Значение субхондральной кости**

Как указывает ее наименование, субхондральная кость – это область, подлежащая под суставным хрящом, а точнее, под обызвествленным слоем суставного хряща,

с помощью которого она образует «функциональную единицу» с остальной частью суставного хряща.<sup>(8)</sup> Субхондральная кость является биомеханическим переходом между суставным хрящом как таковым (его функцией является обеспечение минимального трения и распределение механических нагрузок, которым он подвергается) и костью. Механические нагрузки поглощаются субхондральной костью и в свою очередь передаются на метафиз и диафиз кости.

Контактная поверхность между суставным хрящом и костью является не ровной, а, скорее, волнистой, что обеспечивает большую площадь соприкосновения и очень эффективное взаимно объединяющее образование.

С другой стороны, область субхондральной кости обладает богатой сосудистой сетью с артериовенозной микровакуляризацией и иннервацией в определенном объеме. Эти структуры пронизаны микроканалами, которые достигают обызвествленного слоя суставного хряща. Это имеет большое значение в случае травмы<sup>(9)</sup> и частично объясняет, почему полнослойные повреждения суставного хряща (соответствующие 4 баллам по шкалам Международного общества восстановления хряща (ICRS) и Аутербриджа) способны запускать спонтанный репаративный процесс, а также почему хирургические операции по стимулированию костного мозга (такие как техника микрофрактурирования) дают хорошие (хотя и не оптимальные) результаты. Кроме того, эти свойства объясняют необходимость проведения кюретажа обызвествленного слоя суставного хряща при применении указанных методов, поскольку его удаление вызывает кровотечение.<sup>(10)</sup>

### Значение синовиальной оболочки

Хондрогенному процессу, производимому синовиальной оболочкой, уделяется меньше внимания, чем связанному с субхондральной костью. Однако мезенхимальные клетки синовиальной оболочки показывают «огромный хондрогенный потенциал».<sup>(11)</sup> В сравнении с другими источниками, такими как костный мозг или подкожно-жировая клетчатка, эти клетки показывают больший потенциал с точки зрения способствования процессу образования хряща.<sup>(12)</sup> Это неудивительно, поскольку роль синовиальной оболочки в поддержании гомеостаза сустава

хорошо известна. Синовиальная оболочка богато иннервирована и васкуляризирована, а это два важных фактора для создания восстановительного воспалительного ответа. По этой причине любой имплантат, помещенный на очаговое повреждение суставного хряща, должен быть достаточно пористым, чтобы обеспечивать проникновение хондрогенных клеток и биоактивных веществ.<sup>(13)</sup>

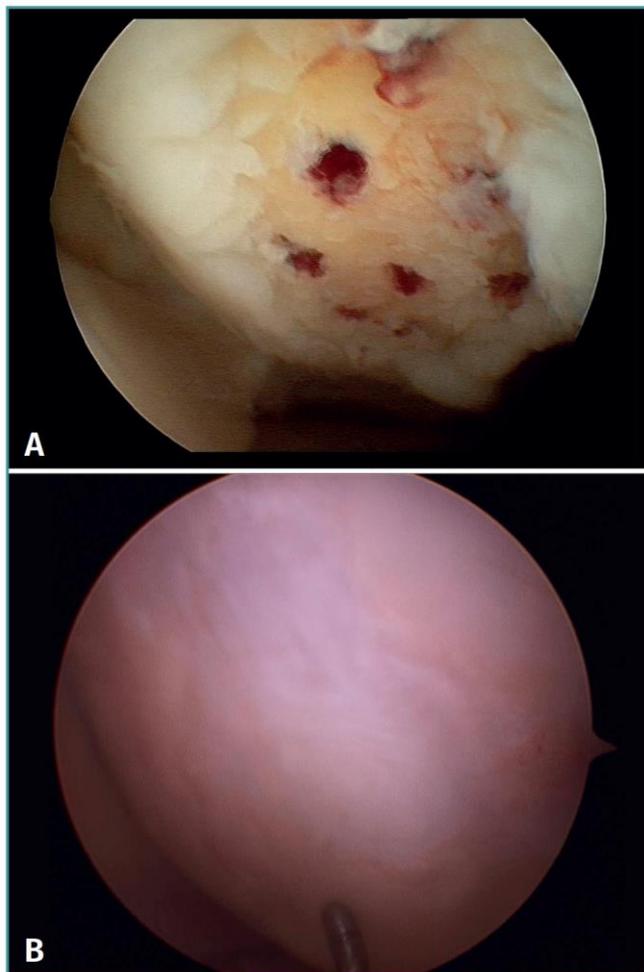
### Улучшенная техника микрофрактурирования

Результаты применения техник микрофрактурирования разнятся в зависимости от изучаемого литературного источника. Это связано с разными гиалиновыми характеристиками восстановленного суставного хряща. В некоторых случаях наблюдается высокое процентное соотношение волокнистого хряща (рисунок 2) вследствие наличия большого количества коллагеновых волокон I типа и отсутствия коллагеновых волокон II типа в дополнение к отсутствию многослойной ткани суставного хряща. Для гиалинового хряща характерно наличие коллагеновых волокон I типа на поверхности скольжения, тогда как коллагеновые волокна II типа преобладают в остальной части ткани, распределенные между тремя основными зонами многослойной структуры. Указанные структурные характеристики придают ткани биомеханические свойства, обеспечивающие длительное функционирование.<sup>(13)</sup>

В экспериментальных исследованиях, включающих различные улучшенные техники микрофрактурирования, а также в клинических исследованиях неоднократно отмечаются разные степени улучшения количества и качества (гиалиновых характеристик) новой ткани, которые должны способствовать повышению ее долговечности, а также получению лучших клинических результатов.<sup>(14)</sup>

Основные биологические принципы аналогичны упомянутым в отношении микрофрактур. Обеспечивается защита структуры, отвечающей за сгусток крови, но при этом используются другие натуральные биоматериалы (коллагеновые волокна, альгинаты, фибрины, гиалуроновая кислота, гидроксиапатит, хитозан) и синтетические материалы (полигликолиевая и полимолочная

кислоты в разных вариациях), имплантируемые в разных форматах (в виде твердых матриц, мембран, гелей). Это способствует репаративному процессу.



**Рисунок 2.** А: вид через артроскоп на изъязвление с кровотокающими отверстиями в результате микрофрактурирования; В: вид на ту же область, закрытую волокнистым хрящом, 8 месяцев спустя.

Как отмечалось Бриттбергом (Brittberg)<sup>(15)</sup>, одним из основоположников технологии культивирования хондроцитов, для восстановления поврежденной ткани биологическими средствами всегда требуются клетки. Что меняется, так это способ их использования. Одним вариантом является привлечение клеток к поврежденному участку посредством того, что усиливает физиологическую реакцию. Такой способ Бриттберг называет «внутренним» использованием клеток (в этом случае это «хондроиндукция на месте»). Другим вариантом является выращивание клеток в культуральной среде с последующей имплантацией («внешнее» использование). Оба варианта, разумеется, применимы, но могут быть показания, когда один из них подходит лучше, чем другой, в зависимости от таких

аспектов, как возраст, активность и рост пациента, а также глубина или локализация повреждения. К тому же, при выборе одного из вариантов следует учитывать такие аспекты, как затратноэффективность и опыт хирурга.

Этот клеточный субстрат, не являющийся предметом настоящего обзора, имеет несколько названий. Самым распространенным является термин «мезенхимальные стволовые клетки».<sup>(16)</sup> Они были переименованы Капланом (Caplan)<sup>(17)</sup>, который изначально описывал их в конце 1980-х годов как «лечебные сигнальные клетки», поскольку этот термин лучше отражает их природу и действие. Группа исследователей под руководством Каплана решила проанализировать сложности, возникающие при хондрогенной дифференцировке этой клеточной линии, в частности, связанные с убежденностью в том, что эти клетки способны самостоятельно образовать гиалиновый хрящ.<sup>(18)</sup> Действия авторов как хирургов-ортопедов должны быть направлены на содействие и упрощение функционирования этой системы, но ни в коем случае не на попытки изменить ее, поскольку в этом случае можно столкнуться с более серьезными проблемами.

Цель улучшенной техники микрофрактурирования – образовать популяцию клеток и остальные биоактивные компоненты, вовлеченные в хондрогенез, создавая оптимальную среду в «синовиальном органе» (так следует воспринимать синовиальный сустав – во всех подразумеваемых этим термином аспектах) для наилучшего развития процесса и противодействуя отрицательному влиянию, связанному с враждебной микросредой, которую представляет собой сустав.

### Использованные материалы

В намерения авторов не входит проведение исчерпывающего обзора различных видов материалов и некоторых доступных продуктов, способных повысить эффективность техники микрофрактурирования. Ключевым является понимание обоснования основного механизма действия. Выбор той или иной технологии зависит от хирурга. Все технологии, основанные на указанных принципах, имеют свои преимущества, если рассматривать их с точки зрения описанных биологических принципов при правильном применении

последних. Нижеприведенная классификация является произвольной.

### **Использование мембран по технологии аутологичного хондрогенеза, индуцированного коллагеновым матриксом (AMIC)**

Аббревиатура AMIC расшифровывается как «аутологичный хондрогенез, индуцированный коллагеновым матриксом». Изначально этот термин применялся только в отношении использования специального двухслойного матрикса свиного происхождения, состоящего из коллагеновых волокон I и III типа (ChondroGide<sup>®</sup>, «Гайстлих Биоматериалз АГ» (Geistlich Biomaterials AG), Вольхузен, Швейцария).<sup>(19, 20)</sup> В действительности, технология AMIC<sup>®</sup> является зарегистрированным товарным знаком компании «Гайстлих», и термин теоретически следует употреблять только в отношении хирургических операций, в которых используется именно указанный матрикс. Однако так стали называть и другие техники, и теперь подобные операции обозначают «типа AMIC». Термин даже используется применительно к имплантации аутологичных хондроцитов, предназначенной для введения взвеси хондроцитов в поврежденную область с последующей герметизацией последней.<sup>(21)</sup>

Как и во всех усовершенствованных техниках микрофрактурирования, подобранный имплантат (в этом случае мембрана) предназначен для защиты структурной и функциональной целостности сгустка крови, полученного в результате операции по стимулированию костного мозга, и, по возможности, обеспечения его действия. Чтобы стабилизировать мембрану, по ее краям, соприкасающимся с окружающим суставным хрящом, наносят фибриновый клей.

В новейшем обзоре, затрагивающем эту технику<sup>(22)</sup>, выполнен анализ результатов 12 исследований очаговых повреждений суставного хряща коленного сустава. Одно из этих исследований рандомизированного и сравнительного дизайна включало 375 пациентов. В исследовании описываются положительные результаты за период средней продолжительности (до 5 лет) с точки зрения клинической картины и структуры новой ткани. У шестидесяти шести процентов пациентов наблюдалось хорошее качество регенерации, которое определялось с помощью

полуколичественных методов, например, магнитно-резонансного наблюдения восстанавливающейся ткани суставного хряща (MOCART). Эта техника также используется при восстановлении и других суставов, помимо коленного, и дает положительные результаты.

В продаже имеются и другие мембраны, например, широко используемая мембрана Hyalofast<sup>®</sup> («Аника Терапьютикс» (Anika Therapeutics), Падуя, Италия) на основе эфира гиалуроновой кислоты. Также доступны более твердые трехмерные имплантаты, например, MaioRegen<sup>®</sup> («Финкерамика» (Finceramica), Фаэнца, Италия), изготовленный из коллагеновых волокон I типа и гидроксиапатита, с многослойной структурой, что полезно и для регенерации костной ткани, как у пациентов с повреждениями, отличительным признаком которых является важный костно-хрящевой компонент. Следующий вариант – имплантат Agili-CTM («КартиХил Лтд.» (CartiHeal Ltd.), Ариэль, Израиль), изготовленный из арагонита (карбоната кальция, получаемого из морских кораллов). В настоящий момент в США проводится рандомизированное исследование, где этот продукт сравнивается со стандартным лечением, для предоставления результатов в Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) с целью получения одобрения.

### **Гели и подобные продукты**

Этот раздел включает гидрогель GelrinC<sup>®</sup> («Регентис Биоматериалз» (Regentis Biomaterials), Ор-Акива, Израиль) на основе смеси диакрилата полиэтиленгликоля и денатурированного фибриногена, который под воздействием ультрафиолетового излучения преобразуется в полутвердый гель. В настоящее время в США также проводится исследование по сравнению этого продукта с отдельным применением метода микрофрактурирования с целью получения одобрения продукта. Еще одним вариантом среди гидрогелей является CartiFill<sup>®</sup> («Севон Келлонтех» (Sewon Cellontech), Южная Корея) на основе атероколлагена, который уже несколько лет применяется в разных странах (рисунок 3).

Одним из наиболее широко известных и изученных материалов, единственным, на сегодняшний день включаемым в

рандомизированные клинические исследования, является хитозан.



**Рисунок 3.** Заполнение изъявления блокового сустава бедренной кости гидрогелем CartiFill® при проведении артроскопии

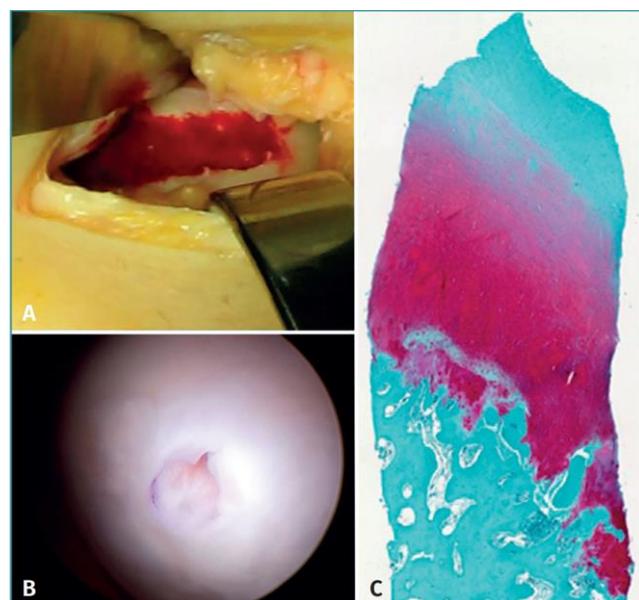
### Хитозан

Хитозан – это природный полисахарид, получаемый из хитина; это второй по распространенности в природе биологический материал после целлюлозы. Хитозан хорошо известен своими лечебными свойствами, помимо прочего, его применяют для стимулирования заживления, а также в качестве противомикробного и кровоостанавливающего средства. Поэтому его рассматривали как перспективный материал для использования в тканевой инженерии. Однако в ортопедии он применяется сравнительно недавно.

Химическая структура хитозана очень схожа с гликозаминогликанами (хондроитинсульфатом и кератансульфатом), которые играют очень важную роль в структуре гиалинового хряща и являются ключевыми элементами для понимания его биомеханических свойств. Кроме того, хитозан способен взаимодействовать с этими веществами и способствовать выработке агрекана и коллагена II типа. Это делает его очень перспективным материалом при восстановлении суставного хряща.<sup>(23)</sup> С другой стороны, хитозан прилипает к поверхности, поэтому отсутствует необходимость дополнительного использования клея или адгезива.

Однако несмотря на эти неоспоримые и подтвержденные преимущества, хитозан очень нестабилен, поэтому при разработке содержащих его продуктов возникают большие сложности. Очень интересным свойством этого

биополимера является то, что в жидком состоянии он преобразуется в полутвердый гель при достижении температуры человеческого тела.<sup>(24)</sup> Это открытие оказалось очень полезным при поиске состава, который можно ввести в сустав, например, коленный, в ходе артроскопии, способного затвердевать на месте всего за несколько минут. Соответственно, было принято решение использовать его в качестве вспомогательного вещества при операциях по стимулированию костного мозга. В 2005 году биоортопедический отдел канадской компании «БиоСинтек» (BioSyntech) – впоследствии переименованной в «Пирамал Хэлскэа (Канада)» (Piramal Healthcare (Canada)) – начал международное рандомизированное сравнительное клиническое исследование, где сравнивалось отдельное применение усовершенствованной техники микрофрактурирования с использованием производимого ими продукта BST-CarGel® (в настоящее время: «Смит энд Нефью» (Smith & Nephew), Уотфорд, Великобритания). Результаты после 12 месяцев и 5 лет последующего наблюдения свидетельствовали о сохранении преимущества продукта BST-CarGel® над отдельным применением техники микрофрактурирования с течением времени. Это преимущество отражалось в более высоком гиалиновом качестве и объеме сформированной ткани при объективном измерении с помощью методик количественного определения при проведении магнитно-резонансной томографии (МРТ)<sup>(25, 26)</sup> (рисунок 4).



**Рисунок 4.** А: обширное повреждение хрящевой ткани внутреннего мыщелка, закрытое суставом в результате

проведения микрофрактурирования по улучшенной методике в сочетании с гидрогелем на основе хитозана; В: вид через артроскоп на полностью закрытую область и отверстие для забора материала на биопсию через 13 месяцев; С: гистограмма области, из которой производился забор материала на биопсию. Следует отметить «гиалиновый» внешний вид ткани и хорошую интердигитацию с субхондральной костью. Изображение из рандомизированного исследования продукта BST-CarGel.

Более поздняя модификация этой технологии, разработанная той же группой, появилась в 2013 году в виде продукта JointRep® («Олигомедик Инк.» (Oligomedic Inc.), Лаваль, Канада). Состав этой улучшенной версии имеет более плотную консистенцию и достигает гелеобразного состояния в течение менее двух минут, тем самым облегчая имплантацию методом артроскопии и сокращая продолжительность оперативного вмешательства. В сравнительном исследовании техники микрофрактурирования с участием 69 пациентов с двухлетним периодом последующего наблюдения отмечалось значительное клиническое улучшение в экспериментальной группе при измерении по шкале оценки индекса выраженности остеоартроза университетов Западного Онтарио и Макмастера, по сравнению с контрольной группой. <sup>(27)</sup> Международное рандомизированное сравнительное многоцентровое исследование, проводимое в Австралии, Новой Зеландии и Канаде, находилось на подготовительном этапе в конце 2020 г.

## Выводы

Такая простая и широко применяемая в медицинской практике на протяжении многих лет процедура, как создание поврежденной области, чтобы спровоцировать кровотечение, используемая при проведении операций, основанных на методе стимулирования костного мозга, может быть дополнена средствами тканевой инженерии с точки зрения способствования или даже усиления биологической реакции, необходимой для восстановления ткани гиалинового суставного хряща, там самым обеспечивая лучшие результаты при более согласованном подходе. Этого можно достичь с помощью улучшенной техники микрофрактурирования. Учитывая доступные варианты увеличения процентного соотношения успешного осуществления процессов улучшенной стимуляции костного мозга, регулярное применение некоторых подобных стратегий является полностью

*Испанский журнал артроскопии и хирургии суставов. 2021 г.; 28 (1):10–16*

обоснованным для получения более высоких результатов и их сохранения на протяжении более длительного периода времени. В связи с этим у авторов возникает последний вопрос: учитывая имеющиеся свидетельства, является ли отдельное применение техники микрофрактурирования предпочтительной стратегией?

## Этические принципы

**Конфликт интересов.** Автор Альберто Рестрепо является главным медицинским специалистом в компании «ОлигоМедик Инк.».

**Финансовая поддержка.** Исследование никем не финансировалось.

**Защита людей и животных.** Авторы заявляют, что настоящая научная работа не связана с исследованиями на людях или животных.

**Конфиденциальность данных.** Авторы заявляют о соблюдении протоколов центра в отношении публикации информации о пациенте.

**Право на конфиденциальность и информированное согласие.** Авторы заявляют об отсутствии данных о пациентах в настоящей статье.

## Библиография

1. Инсалл Дж. Н. (Insall JN). Внутрисуставная хирургия при дегенеративном артрите коленного сустава. Отчет о работе покойного К. Х. Приди. *Журнал костной и суставной хирургии (британский) (J Bone Joint Surg (Br))*. 1967 г.; 49-B: 211–28.
2. Стедман Дж. Р., Родки В. Г., Родриго Х. Х. (Steadman JR, Rodkey WG, Rodrigo JJ). Микрофрактурирование: хирургическая техника и реабилитация при лечении хрящевых дефектов. *Клиническая ортопедия и научные исследования в этой области (Clin Orthop Relat Res)*. 2001 г.; 391 (Приложение): с. 362–9.
3. Маккормик Ф., Харрис Дж. Д., Абрамс Г. Д., Фрэнк Р., Гупта А., Хасси К. (McCormick F, Harris JD, Abrams GD, Frank R, Gupta A, Hussey K) и соавт. Тенденции в хирургическом лечении повреждений суставного хряща в США: анализ обширной платной базы данных за 8-летний период. *Артроскопия (Arthroscopy)*. 2014 г.; 30: 222–6.
4. Стедман Дж. Р., Родки В. Г., Бриггс К. К. (Steadman JR, Rodkey WG, Briggs KK). Микрофрактурирование: история и опыт начинающего хирурга. *Суставной хрящ (Cartilage)*. 2010 г.; 1:78–86.
5. Арши А., Фэбрикант П. Д., Го Д. Э., Уильямс Р. Дж., Макаллистер Д. Р., Джоунс К. Дж. (Arshi A, Fabricant PD, Go DE, Williams RJ, McAllister DR, Jones KJ). Может ли биологическая аугментация улучшить клинические результаты после лечения симптоматических дефектов суставного хряща коленного сустава методом микрофрактурирования? Систематический обзор. *Суставной хрящ*. 2018 г.; 9: 146–55.
6. Гомолл А. Х. (Gomoll AH). Микрофрактурирование и аугментация. *Журнал хирургии коленного сустава (J Knee Surg)*. 2012 г.; 25: 9–16.

8. Вакеро Х, Форриоль Ф. (Vaquero J, Forriol F). Хрящевые повреждения коленного сустава: стратегии и экспериментальные модели клинического лечения. *Травма (Injury)*. 2012 г.; 43: 694–705.
9. Имхоф Х., Зульцбагер И., Грамп С., Черны Ц., Юссефзадех С., Кайнбергер Ф. (Imhof H, Sulzbacher I, Grampp S, Czerny C, Youssefzadeh S, Kainberger F). Субхондральная кость и заболевания суставного хряща: заново обнаруженная функциональная единица. *Исследовательская радиология (Invest Radiol)*. 2000 г.; 35: 581–8.
10. Мадри Х., ван Дейк К. Н., Мюэллер-Гербл М. (Madry H, van Dijk CN, Mueller-Gerbl M). Фундаментальная наука о субхондральной кости. *Хирургия коленного сустава, спортивная травматология и артроскопия (Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc)*. 2010 г.; 18: 419–33.
11. Фрисби Д. Д., Мориссет С., Хо К. П., Родки В. Г., Стедман Дж. Р., Макилрейт К. В. (Frisbie DD, Morissette S, Ho CP, Rodkey WG, Steadman JR, McIlwraith CW). Влияние обывзвествленного хряща на заживление хрящевых дефектов, пролеченных методом микрофрактурирования, у лошадей. *Американский журнал спортивной медицины (Am J Sports Med)*. 2006 г.; 34: 1824–31.
12. Хунцикер Э. Б. (Hunziker EB). Восстановление суставного хряща: фундаментальная наука и клиническое развитие. Обзор. *Остеоартрит и суставной хрящ (Osteoarthritis Cartilage)*. 2001 г.; 10: 432–63.
13. Сакагучи И., Секия И., Ягишита К., Мунета Т. (Sakaguchi Y, Sekiya I, Yagishita K, Muneta T). Сравнение человеческих стволовых клеток, полученных из различных мезенхимальных тканей: преобладание синовиальной оболочки в качестве источника клеток. *Артрит и ревматология (Arthritis Rheum)*. 2005 г.; 52: 2521–9.
14. Браво Б., Гисасола М. К., Вакеро Х., Тирадо И., Гортасар А. Р., Форриоль Ф. (Bravo B, Guisasola MC, Vaquero J, Tirado I, Gortazar AR, Forriol F). Экспрессия генов, профилирование белков и хемотактическая активность мезенхимальных стволовых клеток поднадколенниковой жировой подушки при патологиях коленного сустава. *Журнал клеточной физиологии (J Cell Physiol)*. 2019 г.; 234: 18917–27.
15. Штраусс Э. Й., Баркер Ю., Кергер Й. С., Коле Б. Й., Митёфер К. (Strauss EJ, Barker JU, Kercher JS, Cole BJ, Mithoefer K). Стратегии аугментации после применения техники микрофрактурирования для лечения очаговых хрящевых дефектов. *Суставной хрящ*. 2010 г.; 1: 145–52.
16. Бриттберг М. (Brittberg M). Подходы к восстановлению суставного хряща на клеточном и неклеточном уровнях: философский анализ. *Суставной хрящ*. 2015 г.; 6 (Приложение 2): с. 4–с. 12.
17. Каплан А. И. (Caplan AI). Мезенхимальные стволовые клетки: прошлое, настоящее и будущее. *Суставной хрящ*. 2010 г.; 1: 6–9.
18. Каплан А. И. Мезенхимальные стволовые клетки: время сменить название! *Стволовые клетки в трансляционной медицине (Stem Cells Trans Med)*. 2017 г.; 6: 1445–51.
19. Сомоза Р. А., Велтер Дж. Ф., Корреа Д., Каплан А. И. (Somoza RA, Welter JF, Correia D, Caplan AI). Дифференциация хондроцитов мезенхимальных стволовых клеток: сложности и неоправданные ожидания. *Тканевая инженерия: часть В (Tissue Eng Part B)*. 2014 г.; 20: 596–608.
20. Бентин ЙП, Беренс П. (Benthien JP, Behrens P). Аутологичный хондрогенез, индуцированный коллагеновым матриксом (AMIC). Сочетание техники микрофрактурирования и использования матрикса коллагена I/III типа при поверхностном протезировании суставного хряща. *Суставной хрящ*. 2010 г.; 1: 65–8.
21. Ли И. Х. Д., Зуцер Ф., Терман Х. (Lee YH, Suzer F, Therman N). Аутологичный хондрогенез, индуцированный коллагеновым матриксом: обзор. *Суставной хрящ*. 2014 г.; 5: 145–53.
22. Штайнвакс М. Р., Кройц П. К. (Steinwachs MR, Kreuz PC). Имплантация аутологичных хондроцитов в дефекты суставного хряща коленного сустава с помощью коллагеновой мембраны I/III типа; проспективное исследование с 3-летним последующим наблюдением. *Артроскопия*. 2007 г.; 23: 381–7.
23. Штайнвакс М. Р., Гилле Й., Фольц М., Андерс С., Якоб Р., Де Гиrolамо Л. (Steinwachs MR, Gille J, Volz M, Anders S, Jakob R, De Girolamo L) и соавт. Систематический обзор и метаанализ клинических свидетельств применения технологии аутологичного хондрогенеза, индуцированного коллагеновым матриксом, при лечении коленного сустава. *Суставной хрящ*. Сентябрь 2019 г.; 11: 1947603519870846.
24. Армьенто А. Р., Стоддарт М. Й., Алини М., Эльин Д. (Armiento AR, Stoddart MJ, Alini M, Eglin D). Биоматериалы для тканевой инженерии суставного хряща: перенимание опыта из биологии. *Акта Биоматериалиа (Acta Biomaterialia)*. 2018 г.; 65: 1–20.
25. Ченит А., Шапью К., Ван Д., Комб К., Бушман М. Д., Хёман К. Д. (Chenite A, Chaput C, Wang D, Combes C, Buschmann MD, Noemann CD) и соавт. Новейшие инъекционные нейтральные растворы хитозана образуют биоразлагаемые гели in situ. *Биоматериалы (Biomaterials)*. 2000 г.; 21: 55–61.
26. Стэниш В. Д., Маккормак Р., Форриоль Ф., Мотади Н., Пелет С., Деснойерс Й. (Stanish WD, McCormack R, Forriol F, Mohtadi N, Pelet S, Desnoyers J) и соавт. Сравнение результатов лечения полнослойных повреждений суставного хряща с помощью новейшего скаффолда с гидрогелем BST-CarGel и техники микрофрактурирования в рандомизированном контролируемом исследовании. *Американский журнал костной и суставной хирургии (J Bone Joint Surg Am)*. 2013 г.; 95: 1640–50.
27. Шайв М. С., Стэниш В. Д., Маккормак Р., Форриоль Ф., Мотади Н., Пелет С. (Shive MS, Stanish WD, McCormack R, Forriol F, Mohtadi N, Pelet S) и соавт. Преимущество лечения по восстановлению суставного хряща с помощью гидрогеля BST-CarGel®, в сравнении с техникой микрофрактурирования, сохраняется в течение 5 лет в многоцентровом рандомизированном контролируемом исследовании. *Суставной хрящ*. 2015 г.; 6: 62–72.
28. Пирино Дж., Ризитано С., Альвиано Ф., У Э. Дж., Бонси Л., Ваккариси Д. К. (Pipino G, Risitano S, Alviano F, Wu EJ, Bonsi L, Vaccarisi DC) и соавт. Микрофрактурирование и гидрогелевые скаффолды при лечении костно-хрящевых дефектов коленного сустава: клиническая и гистологическая оценки. *Журнал клинической ортопедии и травматологии (J Clin Orthop Trauma)*. 2019 г.; 10: 67–75.