УДК 617-089.844
DOI: https://doi.org/10.35693/SIM553365

This work is licensed under CC BY 4.0
© Authors, 2024

Оперативное лечение хондральных дефектов коленного сустава и новый взгляд на роль и место мозаичной аутохондропластики

Г.П. Котельников, Д.С. Кудашев, Ю.В. Ларцев, С.Д. Зуев-Ратников, Д.А. Долгушкин, В.Г. Асатрян, Н.Д. Щербатов

ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России (Самара, Российская Федерация)

Аннотация

В статье представлен аналитический обзор применяющихся в настоящее время способов органосохраняющего оперативного лечения хондральных дефектов коленного сустава с позиций их патогенетической направленности. Представлена систематизация и даны сравнительные характеристики методов суставосберегающего хирургического лечения пациентов данной категории с критическим анализом различных вариантов операций, применяющихся при полнослойных и пенетрирующих дефектах гиалинового хряща. Детально рассмотрен один из основных способов оперативного лечения дефектов III и IV степеней (по ICRS) – мозаичная хондропластика. Дана аналитическая оценка показаний, противопоказаний и условий для выполнения мозаичной аутопластики суставных поверхностей коленного сустава в аспекте исторической ретроспективы и результатов исследований настоящего времени. Сформулированы дискуссионные положения и проблемы использования классического варианта мозаичной хондропластики при ее применении в случае деструктивно-дистрофического генеза остеохондрального дефекта. Вынесены для обсуждения догматические установки в отношении мозаичной хондропластики, требующие по отношению к себе критического пересмотра.

Авторами представлены и подробно описаны разработанные новые способы мозаичной хондропластики, основанные на полученных в настоящее время представлениях о патогенезе остеоартроза и остеонекроза коленного сустава, а также роли субхондральной кости в развитии как указанных заболеваний, так и ассоциированных с ними дефектах суставного хряща. Описаны разработанные авторами хирургические инструменты для реализации новых способов хондропластики.

Ключевые слова: остеоартроз, гиалиновый хрящ, дефект хряща, коленный сустав, хондропластика, мозаичная хондропластика.

Конфликт интересов: не заявлен.

Для цитирования:
Котельников Г.П., Кудашев Д.С., Ларцев Ю.В., Зуев-Ратников С.Д., Долгушкин Д.А., Асатрян В.Г., Щербатов Н.Д. **Оперативное лечение хондральных дефектов коленного сустава и новый взгляд на роль и место мозаичной аутохондропластики.** *Наука и инновации в медицине.* 2024;9(3):222-230. https://doi.org/10.35693/SIM553365

Сведения об авторах
Котельников Г.П. – академик РАН, д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии имени академика РАН А.Ф. Краснова.
https://orcid.org/0000-0001-7456-6160
E-mail: g.p.kotelnikov@samsmu.ru
Кудашев Д.С. – канд. мед. наук, доцент, заведующий травматолого-ортопедическим отделением №2 Клиник СамГМУ, доцент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии имени академика РАН А.Ф. Краснова.
https://orcid.org/0000-0001-8002-7294
E-mail: d.s.kudashev@samsmu.ru
Ларцев Ю.В. – д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии имени академика РАН А.Ф. Краснова.
https://orcid.org/0000-0003-4450-2486
E-mail: yu.v.lartsev@samsmu.ru
Зуев-Ратников С.Д. – канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии имени академика РАН А.Ф. Краснова, врач травматолог-ортопед травматолого-ортопедического отделения №2 Клиник СамГМУ.
https://orcid.org/0000-0001-6471-123X
E-mail: s.d.zuev-ratnikov@samsmu.ru
Долгушкин Д.А. – канд. мед. наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии имени академика РАН А.Ф. Краснова.
https://orcid.org/0000-0003-3681-5044
E-mail: d.a.dolgushkin@samsmu.ru
Асатрян В.Г. – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии имени академика РАН А.Ф. Краснова, врач травматолог-ортопед травматолого-ортопедического отделения №2 Клиник СамГМУ.
https://orcid.org/0009-0009-1751-700X
E-mail: v.g.asatryan@samsmu.ru
Щербатов Н.Д. – клинический ординатор кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии имени академика РАН А.Ф. Краснова.
https://orcid.org/0009-0007-7202-7471
E-mail: niksherbatov@mail.ru

Автор для переписки
Кудашев Дмитрий Сергеевич
Адрес: ул. Стара-Загора, 68, кв. 19, г. Самара, Россия, 443081.
E-mail: d.s.kudashev@samsmu.ru

Список сокращений
СККМ – стромальная клетка костного мозга; ММСК – мультипотентная мезенхимальная стромальная клетка.

Получено: 17.07.2023
Одобрено: 20.09.2023
Опубликовано: 07.02.2024

Surgical treatment of the knee joint for chondral defects and a new approach to the role and place of mosaic autochondroplasty

Gennadii P. Kotelnikov, Dmitrii S. Kudashev, Yurii V. Lartsev, Sergei D. Zuev-Ratnikov, Dmitrii A. Dolgushkin, Vardan G. Asatryan, Nikita D. Shcherbatov

Samara State Medical University (Samara, Russian Federation)

Abstract

The review article presents the analysis of current organ-preserving surgical treatment methods for chondral defects of the knee joint from the standpoint of their pathogenesis. We systematized and provided comparative characteristics of the methods of joint-preserving surgical treatment of patients of this category with a critical analysis of various types of operations used for full-thickness and penetrating hyaline cartilage defects. Mosaic chondroplasty, one of the leading methods of surgical treatment for III- and IV-degrees defects (according to the ICRS classification), was considered in detail. The indications, contraindications and conditions for performing mosaic autoplasty of the articular surfaces of the knee joint were analyzed using the historical retrospective and the results of current research. We outlined several debatable provisions and problems of using the classical version of mosaic chondroplasty in case of destructive-dystrophic genesis of the osteochondral defect. The dogmatic approaches to chondroplasty were raised for discussion, as we consider them requiring critical revision.

The authors presented a detailed description of the developed new methods of mosaic chondroplasty relying on the current understanding of the pathogenesis of the knee osteoarthritis and osteonecrosis, as well as the role of the subchondral bone in the development of both these conditions and associated articular cartilage defects. The surgical instruments developed by the authors for the new methods of chondroplasty were described.

Keywords: osteoarthritis, hyaline cartilage, cartilage defect, knee joint, chondroplasty, mosaic chondroplasty.

Conflict of interest: nothing to disclose.

Citation

Kotelnikov GP, Kudashev DS, Lartsev YuV, Zuev-Ratnikov SD, Dolgushkin DA, Asatryan VG, Shcherbatov ND. **Surgical treatment of the knee joint for chondral defects and a new approach to the role and place of mosaic autochondroplasty.** *Science and Innovations in Medicine*. 2024;9(3):222-230.
https://doi.org/10.35693/SIM553365

Information about authors

Gennadii P. Kotelnikov – Academician of the RAS, PhD, Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Surgery n.a. Academician of RAS A.F. Krasnov.
https://orcid.org/0000-0001-7456-6160
E-mail: g.p.kotelnikov@samsmu.ru

Dmitrii S. Kudashev – PhD, Associate professor, Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Surgery n.a. Academician of RAS A.F. Krasnov, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics No.2 of SamSMU Clinics.
https://orcid.org/0000-0001-8002-7294
E-mail: d.s.kudashev@samsmu.ru

Yurii V. Lartsev – PhD, Professor, Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Surgery n.a. Academician of RAS A.F. Krasnov.
https://orcid.org/0000-0003-4450-2486
E-mail: yu.v.lartsev@samsmu.ru

Sergei D. Zuev-Ratnikov – PhD, Associate professor, Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Surgery n.a. Academician of RAS A.F. Krasnov, traumatologist-orthopedist, Department of Traumatology and Orthopedics No.2 of SamSMU Clinics.
https://orcid.org/0000-0001-6471-123X
E-mail: s.d.zuev-ratnikov@samsmu.ru

Dmitrii A. Dolgushkin – PhD, Associate professor, Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Surgery n.a. Academician of RAS A.F. Krasnov.
https://orcid.org/0000-0003-3681-5044
E-mail: d.a.dolgushkin@samsmu.ru

Vardan G. Asatryan – a postgraduate student of the Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Surgery n.a. Academician of RAS A.F. Krasnov, traumatologist-orthopedist, Department of Traumatology and Orthopedics No.2 of SamSMU Clinics.
https://orcid.org/0009-0009-1751-700X
E-mail: v.g.asatryan@samsmu.ru

Nikita D. Shcherbatov – clinical resident of the Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Surgery n.a. Academician of RAS A.F. Krasnov.
https://orcid.org/0009-0007-7202-7471
E-mail: niksherbatov@mail.ru

Corresponding Author

Dmitrii S. Kudashev
Address: 68 Stara Zagora st., apt. 19, Samara, Russia, 443081.
E-mail: d.s.kudashev@samsmu.ru

Received: 17.07.2023
Accepted: 20.09.2023
Published: 07.02.2024

АКТУАЛЬНОСТЬ

Медицинская помощь пациентам, страдающим деструктивно-дистрофической патологией коленного сустава, продолжает оставаться актуальной проблемой современной ортопедии, а хирургическая коррекция сопутствующих им локальных повреждений суставных поверхностей представляет собой труднейшую задачу для врача. Это обусловлено тем, что любой случай, представленный даже небольшим по площади повреждением хрящевой и костной тканей, рассматривают как тяжелое поражение сустава с высоким риском развития или прогрессирования вторичных деструктивно-дистрофических изменений и выраженных функциональных нарушений [1–3].

Рассматривая способы оперативного лечения пациентов с локальными поражениями суставных поверхностей, развивающимися при остеоартрозе, остеонекрозе и рассекающем остеохондрите коленного сустава, следует отметить, что они, как правило, представлены полнослойными и пенетрирующими дефектами III и IV степеней по ICRS (International Cartilage Repare Society) и патогенетически представляют собой конечное проявление деструктивно-дистрофических изменений непосредственно хрящевой ткани и, что имеет важнейшее значение, субхондральной кости [4–7].

Несмотря на широкое развитие органозамещающих хирургических технологий в виде одномыщелкового и тотального эндопротезирования коленного сустава, применяемых в том числе при локальных хондральных дефектах, в настоящее время все большую актуальность приобретают органосохраняющие способы хирургических реконструкций, которые становятся реальной альтернативой суставозамещающим операциям. Это связано как со значительным числом осложнений эндопротезирования, так и с известной проблемой ожиданий и удовлетворенностью пациентов реальными клиническими результатами парциальной и тотальной замены сустава, которая составляет, по разным данным, не более 60% [8–10].

Рост числа выполняемых органосохраняющих реконструкций суставных поверхностей коленного сустава у пациентов с полнослойными дефектами объясняется также и тем, что поражения гиалинового хряща I и II степеней (по ICRS) при остеоартрозе и рассекающем остеохондрите не имеют клинических проявлений и соответственно не вынуждают пациентов обращаться за медицинской помощью, а ранние стадии остеонекроза, которые еще не сопровождаются формированием локального анатомического субстрата заболевания, дают выраженный положительный ответ на комплексное консервативное лечение [11, 12].

Важнейшим фактором, который значительно усугубляет проблему оперативного лечения пациентов с ограниченными поражениями суставных поверхностей коленного сустава, является узкий спектр возможностей отечественных ортопедов в части реконструктивной хирургии. Это обусловлено тем, что в текущей исторической перспективе существуют значительные ограничения, а в большинстве случаев – недоступность использования ряда биотехнологий и необходимого высокотехнологичного специализированного оборудования и хирургического инструментария. А высокая стоимость представленных на сегодняшний день биологических и синтетических материалов зарубежного

производства, равно как и хирургических инструментов и их наборов, определяет переакцентирование научной, практической и производственной составляющей российского профессионального ортопедического сообщества на продукты и технологии отечественной генерации.

ЦЕЛЬ

Провести аналитический обзор способов органосохраняющего оперативного лечения хондральных дефектов коленного сустава с позиций их патогенетической направленности и представить собственные разработанные способы мозаичной хондропластики.

МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ

Для поиска литературы использовались базы данных NCBI, PubMed, eLIBRARY, Cochrane Library. Ключевыми словами для поиска являлись: «остеоартроз», «остеоартрит», «остеохондральный дефект», «дефект хряща», «субхондральная кость», «гиалиновый хрящ», «мозаичная хондропластика» (на русском и английском языках). Условия отбора для журнальных статей и других материалов были следующие: год публикации – не ранее 2010 года, а также акцент на издания, имеющие следующую направленность: патологическая анатомия, клиническая медицина, экспериментальная медицина, артропластика, видеоартроскопия, реконструктивная ортопедия.

ПАРАДИГМЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ СУСТАВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассматривая основные способы органосохраняющего оперативного лечения, применяемые в настоящее время при локальных формах полнослойных поражений гиалинового хряща и костно-хрящевых дефектах коленного сустава, необходимо выделить три основные парадигмы хирургического восстановления суставной поверхности.

Первая парадигма заключается в том или ином варианте выполнения локального хирургического доступа через дно дефекта к костному мозгу метаэпифиза с обеспечением выхода его содержимого в область поражения. Это приводит к последующему образованию сгустков крови, представляющих по сути каркас для стволовых клеток костного мозга, и формированию фиброзно-хрящевой ткани, анатомически заполняющей дефект. Реализация указанной парадигмы в историческом аспекте конвертировалась в развитие трех различающихся техническими нюансами, но близких по патогенетической направленности способов оперативного лечения – абразивной хондропластики, микрофрактуринга и туннелизации, обозначаемых общим термином «мезенхимальная стимуляция» [13, 14].

Вторая парадигма основана на односессионном перемещении в зону дефекта хряща аутологичной ткани в виде костно-хрящевых трансплантатов из малонагружаемой области суставной поверхности этого же сустава или структурных костно-хрящевых аллотрансплантатов (аллографтов). Данное направление включает в себя два ключевых способа хирургического лечения – мозаичную костно-хрящевую аутотрансплантацию (мозаичная аутохондропластика; OAT – osteochondral autograft transplantation) и мозаичную костно-хрящевую аллотрансплантацию (мозаичная аллохондропластика; OCA – osteochondral allograft transplantation) [15, 16].

Особое место в данном разделе занимает хирургическое лечение пациентов с большими остеохондральными дефектами мыщелков бедренной кости в виде использования структурных костно-хрящевых трансплантатов, сформированных из задних отделов мыщелка бедренной кости (MegaOATS – the technique of large osteochondral autogenous transplantation system), и применения трансплантации ультрасвежего остеохондрального аллотрансплантата (ultrafresh osteochondral allograft (OCA) transplantation) [9, 10].

Третья парадигма – применение клеточных технологий, реализуемое в виде использования культивированных *in vitro* аутохондроцитов, стромальных клеток костного мозга (СККМ), мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток (ММСК) жировой ткани, синовиальной оболочки и др., в том числе совместно с матрицами-носителями указанных клеточных культур, роль которых могут выполнять биологические и синтетические гидрогели, естественные и синтетические мембраны и т.д. [3, 6, 17, 18].

Кроме этого, отдельной группой органосохраняющего хирургического лечения полнослойных и пенетрирующих остеохондральных дефектов коленного сустава следует выделить так называемые комбинированные способы, содержательно сочетающие различные варианты и техники предыдущих групп.

Систематизация указанных групп и способов суставосберегающих хирургических технологий представлена **в таблице 1**.

Абразивная хондропластика основана на удалении поверхностного слоя субхондральной кости толщиной от

Группы операций	Способы операций
I. Остеоперфоративная стимуляция хондрогенеза («мезенхимальная стимуляция»)	Абразивная хондропластика
	Туннелизация
	Микрофрактуринг
II. Костно-хрящевая ауто- и аллохондропластика	Мозаичная костно-хрящевая аутотрансплантация (мозаичная аутохондропластика)
	Мозаичная костно-хрящевая аллотрансплантация (мозаичная аллохондропластика)
	Трансплантация структурного костно-хрящевого аутотрансплантата из задних отделов мыщелка бедренной кости
	Трансплантация ультрасвежего остеохондрального аллотрансплантата
III. Клеточные технологии с использованием культивированных аутохондроцитов, СККМ, ММСК других тканей и матриц-носителей	Аутотрансплантация хондроцитов
	Аутотрансплантация СККМ
	Матрикс-индуцированная имплантация хондроцитов
	Матрикс-индуцированная имплантация СККМ
	Имплантация ММСК других тканей (жировая ткань, синовиальная оболочка и другие)
IV. Комбинированные способы	Туннелизация + использование матрицы (аутологичный матрикс-индуцированный хондрогенез)
	Туннелизация + имплантация МСКМ
	Мозаичная хондропластика + имплантация хондроцитов

Таблица 1. *Основные группы и способы хирургического лечения дефектов суставных поверхностей коленного сустава III и IV степеней (по ICRS)*

Table 1. *Main groups and methods of surgical treatment of defects of the articular surfaces of the knee joint grades III and IV (ICRS)*

1 мм до 3 мм с помощью специального силового инструментария. Микрофрактуринг заключается в механическом многофокусном разрушении субхондральной кости с помощью артроскопического шила, которым в кости формируют несколько отверстий глубиной от 2 мм до 4 мм, с расстоянием между ними 3–4 мм. При туннелизации используется тот же принцип, однако вместо шильев применяют либо тонкие сверла, либо спицы Киршнера.

Несмотря на накопленные к сегодняшнему дню достоверные положительные долгосрочные результаты применения, все способы «мезенхимальной стимуляции» имеют ряд недостатков, наиболее существенными из которых являются риск развития гемосиновита, непрогнозируемые процессы формирования кровяного сгустка и его адгезии в области дефекта (абразивная хондропластика), термический остеолиз субхондральной кости (туннелизация), посттравматическое склерозирование субхондральной костной пластинки (микрофрактуринг), а также замещение остеохондрального дефекта фиброзно-хрящевой тканью, имеющей биологические, структурные и механические свойства, значительно уступающие характеристикам нативного гиалинового хряща [19, 20].

Следует сказать, что одним из эффектов абразивной хондропластики, туннелизации и микрофрактуринга, объясняющих положительные результаты их применения, является снижение внутрикостного давления. Результатом этого является купирование так называемой эндостальной боли, отмечаемое пациентами уже в раннем послеоперационном периоде.

ТЕХНОЛОГИЯ ACI

Клеточные технологии в лечении локальных поражений гиалинового хряща имеют уже 30-летнюю историю и ассоциируются прежде всего с имплантацией аутологичных хондроцитов (ACI – autologous chondrocyte implantation). Наиболее активное развитие, связанное с совершенствованием биоинженерных технологий, данное направление получило в течение последних 10–15 лет и в настоящее время находится на этапе активной разработки и внедрения в клиническую практику матрично-ассистированного ACI (MACI).

Говоря о содержательной стороне данного способа лечения, необходимо отметить, что классическая методика ACI (первого поколения) с использованием фрагмента надкостницы в качестве мембраны для закрытия области дефекта представляет исторический интерес и в настоящее время практически не применяется. Дальнейшая эволюция данного способа привела к разработке и использованию специальных биологических и синтетических мембран и на сегодняшний день также реализуется двухэтапно. Первый этап включает в себя первичную артроскопическую биопсию гиалинового хряща, из которого выделяют и в течение нескольких недель культивируют *in vitro* хондроциты. Второй этап – непосредственно трансплантация культивированных хондроцитов – выполняется следующим образом: сначала в области дефекта с помощью швов или клея фиксируют мембрану, под которую затем вводят суспензию-взвесь культивированных клеток.

Второе поколение технологии ACI заключается в применении трехмерных матриц в виде волокон, сеток, гелей, которые не только служат своего рода каркасом для вводимой суспензии культивированных хондроцитов, но и создают равномерность распределения хондроцитов в трехмерном пространстве дефекта, обеспечивая своего рода профилактику дедифференцировки и потерю фенотипа хондроцитами.

Наконец, третье поколение ACI – матрикс-индуцированная имплантация хондроцитов (MACI) – подразумевает изначальное культивирование хондроцитов на трехмерных матрицах. В настоящее время в качестве последних широкое распространение получили биоматериалы на основе коллагена, агарозы, альгината, хитозана и гиалуроновой кислоты, а также различных полимеров (PLA, PLLA, PGA, PLDLA), которые в подавляющем большинстве представлены в виде гелей, мембран и сфероидов и выпускаются в виде коммерческих продуктов (CartiCel®, Cartilink™, BioSeed®-C, Chondro-Gide®, MACI BioSeed-C® и др.) [2, 3, 7, 14].

Кроме этого, клеточные технологии при локальных поражениях суставного хряща включают в себя различные способы имплантации ММСК жировой ткани, синовиальной оболочки и некоторых других. Отличительной особенностью, расцениваемой как преимущество, в этом случае является одноэтапность лечения.

Однако, несмотря на первоначальные сверхоптимистичные взгляды в отношении биологического клеточного лечения хондральных дефектов, на сегодняшний день эта технология не подходит для лечения поражений, при которых происходит вовлечение субхондральной кости, то есть дефектов III и IV степеней по ICRS [18].

Отдельным и крайне важным с точки зрения клинического применения культивированных хондроцитов фактором является снижение их пролиферативного потенциала с возрастом, что в значительной степени ограничивает использование трансплантации данных клеток у пациентов старших возрастных групп [4, 19].

ТЕХНОЛОГИЯ AMIC

Среди комбинированных способов хирургического восстановления полнослойных хондральных дефектов наиболее широкое распространение в последние годы получила технология аутологичного матрикс-индуцированного хондрогенеза – AMIC (autologous matrix-induced chondrogenesis). Она заключается в комбинации туннелизации и применения коллагеновой мембраны, которую имплантируют в область дефекта, укрывая последний.

AMIC представляет собой расширенный метод туннелизации, при котором коллагеновая мембрана, с одной стороны, выступает в роли механического барьера, защищающего клеточные элементы, находящиеся в области дефекта, от среды сустава, а с другой – стабилизирует кровяной суперсгусток, содержащий мезенхимальные стромальные клетки красного костного мозга, в зоне дефекта [3].

Одним из основных условий успешного применения технологии AMIC, наряду с сохранным гиалиновым хрящом в перифокальной области и отсутствием деформации оси конечности во фронтальной плоскости, является здоровая жизнеспособная субхондральная кость в области дефекта [3, 7]. В расширенном варианте рекомендации авторов в отношении костной ткани, основанные на анализе

отдаленных результатов применения аутологичного матрикс-индуцированного хондрогенеза, на сегодняшний день сформулированы следующим образом:

– имплантация коллагеновой матрицы показана только при здоровой и стабильной субхондральной кости;

– при глубоких (более 5 мм) локальных поражениях субхондральной кости требуется костная пластика костно-хрящевого дефекта;

– одномоментная пластика костно-хрящевого дефекта биокомпозитной костью и имплантация коллагеновой матрицы бесперспективны.

Становится очевидным, что категоричность соблюдения указанных условий в значительной степени ограничивает применение технологии AMIC в случае полнослойных хондральных дефектов, ассоциированных с остеоартрозом и остеонекрозом, сужая показания к его использованию до острых травматических дефектов суставного хряща и костно-хрящевых дефектов при болезни Кенига.

В целом AMIC является безопасным и эффективным способом восстановления локальных повреждений гиалинового хряща коленного сустава. Однако в случае полнослойных и пенетрирующих хрящевых дефектов данный способ лечения не рассматривают в качестве основного, что связано с отсутствием долгосрочных убедительных положительных результатов его применения.

МОЗАИЧНАЯ ХОНДРОПЛАСТИКА

Мозаичная костно-хрящевая трансплантация, или, по-другому, мозаичная хондропластика, представляющая собой помещение в зону дефекта суставной поверхности костно-хрящевых цилиндрических блоков различных форм и размеров, как способ хирургического лечения локальных повреждений суставного хряща коленного сустава впервые была описана H. Judet в 1908 году, а адаптирована к коленному суставу и внедрена в клиническую практику L. Hangody в 1992 году. В настоящее время она получила широкое распространение, занимая 17–23% среди всех других способов хондропластики [7, 15, 21]. На сегодняшний день мозаичная хондропластика представлена двумя основными вариантами: костно-хрящевой аллотрансплантацией (мозаичной аллохондропластикой) и костно-хрящевой аутотрансплантацией (мозаичной аутохондропластикой).

Необходимо сказать, что вариант аллохондропластики, при которой применяют трансплантаты, сформированные из лиофилизированных консервированных мыщелков бедренных костей, в настоящее время не получил широкого распространения из-за проблем, связанных с неудовлетворительной морфологической перестройкой трансплантатов, и рисков контаминации вирусами гепатитов B, C и ВИЧ. Кроме этого, необходимость прохождения донором скрининга на вирусные и бактериальные инфекционные заболевания приводит к задержке трансплантации на 10–14 дней, в течение которых происходит заметное снижение жизнеспособности хондроцитов [9, 22].

Процессы репарации, сопровождающие аллогенную костно-хрящевую трансплантацию, на сегодняшний день подробно изучены и не являются предметом дискуссий. Костная и хрящевая части аллотрансплантатов независимо от способа консервации подвергаются процессам хондро- и остеолизиса, в течение которых полностью перестраиваются на основе тканей реципиента. Перестройка кости протекает более благоприятно, чем хряща, при этом судьба последнего является совершенно не прогнозируемой: он может быть замещен соединительной тканью, волокнистым хрящом или регенератом, состоящим из смешанной ткани – волокнистого и гиалинового хряща [3, 6, 9, 10].

Мозаичная аутохондропластика предусматривает забор костно-хрящевых трансплантатов из малонагружаемых отделов этого же сустава и введение их в область хондрального дефекта путем плотной посадки (press-fit). Донорскими зонами чаще всего выступают переднебоковые отделы контрлатерального (интактного) мыщелка бедра и межмыщелковая область дистального метаэпифиза бедренной кости [3, 7, 15]. Оперативное вмешательство может быть выполнено как открыто, так и артроскопически, однако в последнем случае часто не удается произвести полноценный забор аутотрансплантатов из донорской зоны и сам этап их введения в реципиентную зону с сохранением конгруэнтности суставной поверхности, особенно если случай представлен дефектом большого размера или дефектом, который имеет труднодоступную для артроскопической визуализации локализацию.

С точки зрения клинического применения, постулируется ряд относительных противопоказаний к применению мозаичной аутохондропластики, к которым относят следующие: поражения суставной поверхности площадью более 6–7 см^2; возраст пациента старше 50–55 лет; варусная или вальгусная деформация сустава; состояние после предшествующей менискэктомии; остеоартроз любой этиологии II–IV стадий (по Kellgren & Lawrence); острый или хронический интраартикулярный воспалительный процесс; морбидное ожирение.

Однако ряд вышеуказанных противопоказаний – площадь дефекта, возраст пациента и наличие остеоартроза – можно объяснить историческим аспектом в виде первоначального использования мозаичной аутохондропластики при острых травматических хондральных дефектах и рассекающем остеохондрите, и на фоне накопленного к сегодняшнему дню клинического опыта указанные противопоказания требуют к себе критического отношения. С другой стороны, основным фактором, о котором говорили сами авторы способа и который имеет крайне важное значение для приживления костно-хрящевых трансплантатов и конечного успеха оперативного вмешательства, является состояние субхондральной кости области дефекта – реципиентной зоны трансплантации [16, 21, 23]. Именно поэтому вышеуказанные критерии, долгое время сохранявшие статус априорных противопоказаний к мозаичной хондропластике, в настоящее время следует рассматривать, на наш взгляд, исключительно как условия, определяющие выбор того или иного варианта хондропластики, но никак не отвергающие саму возможность ее выполнения.

Исследования последних лет подтвердили, что эффективность органосохраняющих способов оперативного лечения в случаях формирования костно-хрящевых дефектов деструктивно-дистрофического генеза напрямую коррелирует с морфофункциональным статусом субхондральной и метафизарной костной ткани, поэтому полноценность и адекватность восстановления ее анатомической

Рисунок 1. *Вид костного губчатого аутотрансплантата, сформированного из крыла подвздошной кости.*

Figure 1. *View of a cancellous bone autograft formed from the wing of the ilium.*

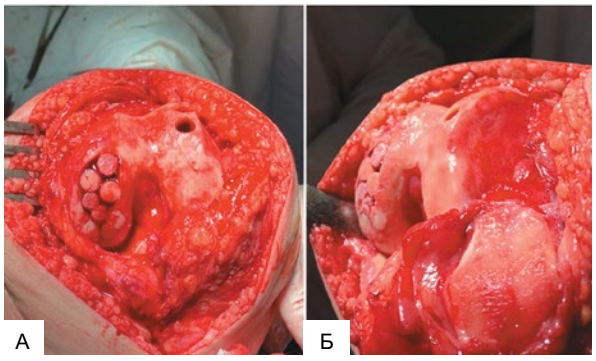

Рисунок 2. *Интраоперационный вид дефекта суставной поверхности спереди (А) и сбоку (Б) после завершения костно-хрящевой аутопластики.*

Figure 2. *Intraoperative view of the articular surface defect from the front (A) and side (B) after completion of osteochondral autoplasty.*

целостности и обеспечение реституции метаболизма являются важнейшими задачами реконструктивно-пластического хирургического вмешательства в каждом конкретном случае [24–26].

С точки зрения технического исполнения, в отношении мозаичной аутохондропластики сформулированы следующие практические рекомендации, позволяющие повысить вероятность успеха вмешательства:

– с целью оптимизации распределения нагрузки по суставным поверхностям по показаниям должна быть проведена оперативная коррекция оси конечности;

– ось трансплантата должна быть ориентирована перпендикулярно суставной поверхности;

– необходимо предохранять хрящевую часть трансплантата от прямых механических воздействий на протяжении всех этапов операции и разъединения его с подлежащей костью;

– количество трансплантатов должно быть таким, чтобы они покрывали не менее 70% дефекта суставной поверхности;

– глубина воспринимающего трансплантат канала должна обеспечивать максимальный контакт губчатого вещества трансплантата с неизмененным губчатым веществом ложа;

– диаметр трансплантата должен обеспечивать его стабильную фиксацию в воспринимающем ложе (принцип плотной посадки, press-fit);

– необходимо тщательно подбирать высоту трансплантатов и не пренебрегать моделированием сформированной суставной поверхности [27].

Еще одна рекомендация, касающаяся необходимости расположения аутотрансплантатов вплотную друг к другу или даже внахлест, по типу “snowman” («снеговик»), аналогично рассмотренным выше противопоказаниям в большей степени относится к случаям травматических дефектов суставного хряща и болезни Кенига у молодых пациентов, становясь при хондральных дефектах, ассоциированных с остеоартрозом и остеонекрозом, своеобразной ловушкой для трансплантатов, крайне негативно влияющей на их выживаемость и перестройку в связи с отсутствием трофики со стороны стенок костных лож, в которые они помещаются при трансплантации.

Наш клинический опыт применения мозаичной хондропластики показал, что, несмотря на основное преимущество – формирование органотипичного регенерата, максимально приближенного по своим морфологическим и функциональным свойствам к гиалиновому хрящу, классический вариант ее реализации при деструктивно-дистрофических дефектах имеет ряд существенных недостатков и отрицательных сторон, которые заставляют либо полностью отказываться от нее, либо вынуждают конвертировать данный способ реконструкции хондрального дефекта в неоптимальный комбинированный вариант пластики с использованием аллогенных трансплантатов.

На наш взгляд, недостатками и отрицательной стороной классической мозаичной хондропластики являются: дополнительная травматизация тканей сустава и уменьшение площади активно функционирующего хряща; ограниченность объема получаемого пластического материала; использование потенциально неполноценных хрящевой и костной тканей в качестве донорских; риск дистрофии

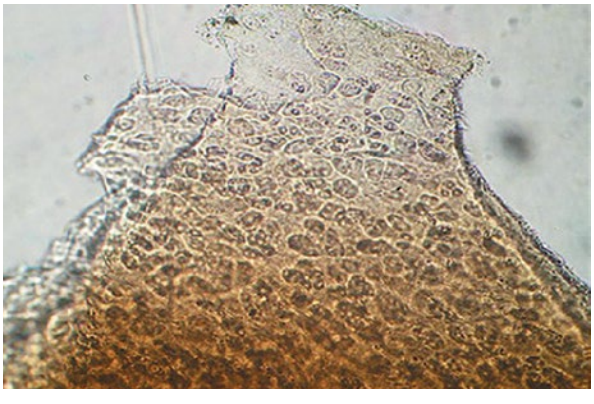

Рисунок 3. *Электронная микрофотография хондроцитов гиалинового суставного хряща, формирующих пласт в культуре, на 16 сутки культивирования (нативный препарат, увеличение 100).*

Figure 3. *Electron micrograph of hyaline articular cartilage chondrocytes forming a layer in culture on the 16th day of cultivation (native preparation, magnification 100).*

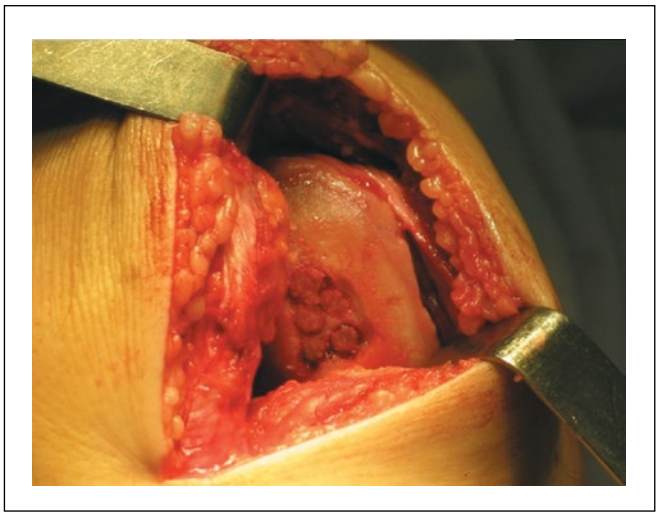

Рисунок 4. *Интраоперационный вид области дефекта после выполнения хондропластики костными губчатыми аутотрансплантатами, пропитанными взвесью культивированных in vitro аутохондроцитов.*

Figure 4. *Intraoperative view of the defect area after chondroplasty with spongy bone autografts impregnated with a suspension of in vitro cultured autologous chondrocytes.*

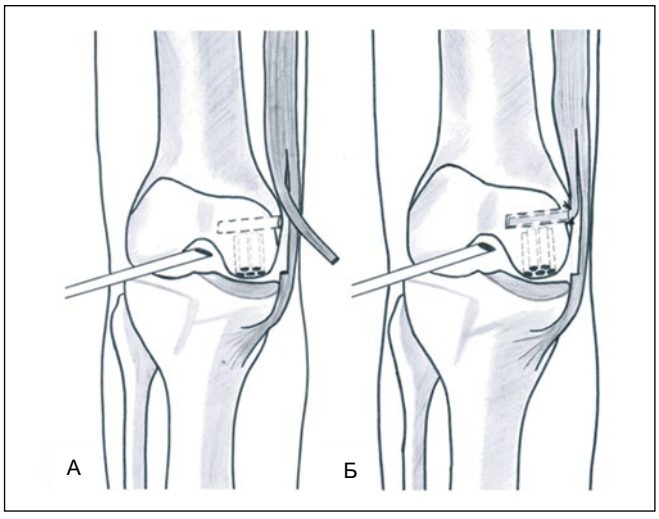

Рисунок 5. *Схема выполнения этапа миопластики при использовании видеоартроскопии: формирование канала в метафизарной кости мыщелка бедра для мышечного лоскута (А) и проведение мышечного лоскута в сформированном канале (Б).*

Figure 5. *Schematic representation of performing the muscle plastic stage using arthroscopy: formation of a channel in the metaphyseal bone of the femoral condyle for a muscle flap (A) and insertion of a muscle flap in the formed channel (B).*

трансплантатов после пересадки по типу “snowman” в случае деструктивно-дистрофического процесса в суставе; болевой синдром, инициированный областью забора трансплантатов; риск развития асептического воспаления в донорской зоне с его конверсией в хронический синовит и прогрессией развития вторичного остеоартроза (даже при замещении зон забора трансплантатов).

НОВЫЕ СПОСОБЫ МОЗАИЧНОЙ АУТОХОНДРОПЛАСТИКИ

Все вышесказанное, а также результаты многочисленных экспериментальных, биомеханических и клинических исследований, проведенных сотрудниками кафедры и Клиники травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии имени академика РАН А.Ф. Краснова и Института экспериментальной медицины и биотехнологий, привели к разработке и внедрению в клиническую практику ряда новых способов мозаичной аутохондропластики, целью которых является не только анатомическое замещение области дефекта, но и коррекция патологически измененной субхондральной кости и костной ткани области метаэпифиза бедренной кости при остеоартроз- и остеонекроз-ассоциированных дефектах хряща коленного сустава.

1. Новый способ хондропластики дефектов хряща коленного сустава[1]. В основе хирургического вмешательства лежит принцип операции мозаичной хондропластики, однако в качестве материала для пластического замещения области полнослойного дефекта суставной поверхности предложено использовать костные губчатые аутотрансплантаты, забранные внесуставно – из крыла подвздошной кости (**рисунок 1**).

Применение аутотрансплантатов, представляющих собой здоровую губчатую кость, позволяет не только обеспечить анатомическое замещение дефекта субхондральной кости, но и создать оптимальные условия для восстановления ее метаболизма и структурной перестройки (**рисунок 2**).

2. Новый способ аутопластики гиалинового хряща коленного сустава[2]. Ключевой особенностью данного способа хондропластики является использование клеточных технологий в виде культивированных *in vitro* аутохондроцитов. Для этого первым этапом проводят забор гиалинового хряща из малонагружаемого отдела коленного сустава, из которого в условиях Института экспериментальной медицины и биотехнологий СамГМУ готовят взвесь культивированных аутогенных хондроцитов (**рисунок 3**).

Вторым этапом выполняют непосредственно хондропластику дефекта суставной поверхности, при этом костные губчатые аутотрансплантаты перед имплантацией в область дефекта пропитывают взвесью культивированных аутохондроцитов (**рисунок 4**).

3. Новый способ аутопластики суставных поверхностей при деструктивно-дистрофических заболеваниях коленного сустава[3]. Суть операции заключается в выполнении «классической» мозаичной хондропластики с дополнительным формированием несвободного мышечного лоскута из брюшка нежной мышцы (m. gracilis), который через специально созданный канал проводят в метафизарной области под основание костно-хрящевых аутотрансплантатов в зоне дефекта (**рисунки 5, 6**).

Введение миопластики в качестве одного этапов хирургического вмешательства позволяет улучшить трофику костной ткани, пораженной деструктивно-дистрофическим процессом, устранить венозный застой и улучшить микроциркуляцию в глубоких слоях субхондральной кости.

[1]Патент РФ на изобретение № 2239377 от 10.11.2004. https://patents.google.com/patent/RU2239377C2/ru
[2]Патент РФ на изобретение №2379002 от 20.01.2010. https://patents.google.com/patent/RU2379002C1/ru
[3] Патент РФ на изобретение №2484784 от 20.06.2013. https://patents.google.com/patent/RU2484784C1/ru

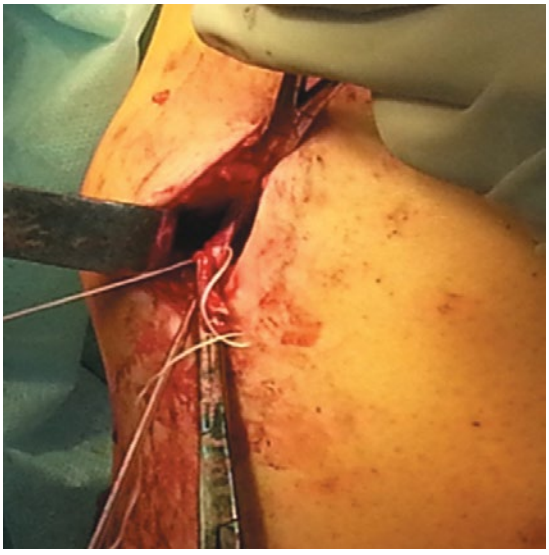

Рисунок 6. *Этап операции – мобилизация нежной мышцы.*
Figure 6. *Stage of the operation – mobilization of the gracilis muscle.*

Кроме этого, с целью формирования костных аутотрансплантатов точно заданных размеров и в условиях артроскопического варианта проведения операции, нивелирования риска их повреждения при формировании и введении в каналы реципиентной зоны, уменьшения риска повреждения костной ткани при подготовке в ней каналов для костных аутотрансплантатов, а также создания условий для стабильной фиксации трансплантатов в области аутопластики нами был разработан специализированный хирургический инструментарий: устройство для внутрикостного введения костного трансплантата[1]; устройство для пункционной биопсии суставного хряща[2]; устройство для хондропластики дефектов суставного хряща[3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Накопленный к настоящему времени собственный опыт применения разработанных способов мозаичной хондропластики полнослойных и пенетрирующих дефектов суставных поверхностей, формирующихся при остеоартрозе и остеонекрозе коленного сустава, и сравнительный анализ отдаленных клинико-функциональных результатов лечения показали их высокую эффективность, возможность восстановления анатомии пораженного отдела суставной поверхности и функции сустава. Это, в свою очередь, позволило заложить основы для разработки концепции органосохраняющей хирургии деструктивно-дистрофических заболеваний крупных суставов нижних конечностей, базирующейся на современных данных о роли и значимости субхондральной и метафизарной костных тканей в вышеуказанных патологических процессах и понимании безусловной необходимости их оперативной коррекции при реконструктивно-пластическом замещении костно-хрящевых дефектов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	ADDITIONAL INFORMATION
Источник финансирования. Работа выполнена по инициативе авторов без привлечения финансирования.	***Study funding.*** The study was the authors' initiative without external funding.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.	***Conflict of Interest.*** The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest associated with the content of this article.
Участие авторов. Г.П. Котельников – редактирование статьи. Д.С. Кудашев – оперативное лечение пациентов, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста и редактирование статьи. Ю.В. Ларцев – обзор литературных источников, редактирование статьи. С.Д. Зуев-Ратников – оперативное лечение пациентов, сбор и анализ литературных источников. Д.А. Долгушкин – сбор и анализ литературных источников. В.Г. Асатрян – курация и хирургическое лечение пациентов. Н.Д. Щербатов – сбор и анализ литературных источников. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.	***Contribution of individual authors.*** G.P. Kotelnikov – provided detailed manuscript editing. D.S. Kudashev – performed surgical treatment, has been responsible for scientific data collection, its systematization and analysis, wrote the first draft of the manuscript. Yu.V. Lartsev – provided scientific data collection, its systematization and detailed manuscript editing. S.D. Zuev-Ratnikov – performed surgical treatment, scientific data collection, its systematization and analysis. D.A. Dolgushkin – provided scientific data collection, its systematization and analysis. V.G. Asatryan – performed surgical treatment and patients' curation. N.D. Shcherbatov – provided scientific data collection, its systematization and analysis. All authors gave their final approval of the manuscript for submission, and agreed to be accountable for all aspects of the work, implying proper study and resolution of issues related to the accuracy or integrity of any part of the work.

[1]Патент РФ на полезную модель №59396 от 27.12.2006. https://patents.google.com/patent/RU59396U1/ru
[2]Патент РФ на полезную модель №56803 от 27.09.2006. https://patents.google.com/patent/RU56803U1/ru
[3]Патент РФ на полезную модель №131595 от 27.08.2013. https://patents.google.com/patent/RU131595U1/ru

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Alekseeva LI, Taskina EA, Kashevarova NG. Osteoarthritis: epidemiology, classification, risk factors, and progression, clinical presentation, diagnosis, and treatment. *Modern Rheumatology Journal*. 2019;13(2):9-21. (In Russ.). [Алексеева Л.И., Таскина Е.А., Кашеварова Н.Г. Остеоартрит: эпидемиология, классификация, факторы риска и прогрессирования, клиника, диагностика, лечение. *Современная ревматология*. 2019;13(2):9-21]. https://doi.org/10.14412/1996-7012-2019-2-9-21

2. Goldring SR, Goldring MB. Changes in the osteochondral unit during osteoarthritis: structure, function, and cartilage-bone crosstalk. *Nat Rev Rheumatol*. 2016;12(11):632-44. https://doi.org/10.1038/nrrheum.2016.148

3. Egiazaryan KA, Lazishvili GD, Hramenkova IV, et al. Knee osteochondritis dissecans: surgery algorithm. *Vestnik RGMU*. 2018;2:77-83. (In Russ.). [Егиазарян К.А., Лазишвили Г.Д., Храменкова И.В., и др. Алгоритм хирургического лечения больных с рассекающим остеохондритом коленного сустава. *Вестник РГМУ*. 2018;2:77-83]. https://doi.org/10.24075/brsmu.2018.020

4. Alan B. The Bone Cartilage Interface and Osteoarthritis. *Calcified Tissue International*. 2021;109:303-328. https://doi.org/10.1007/s00223-021-00866-9

5. Ashish RS, Supriya J, Sang-Soo L, Ju-Suk N. Interplay between Cartilage and Subchondral Bone Contributing to Pathogenesis of Osteoarthritis. *Int J Mol Sci*. 2013;14:19805-19830. https://doi.org/10.3390/ijms141019805

6. Pisanu G, Cottino U, Rosso F, et al. Large osteochondral allografts of the knee: Surgical technique and indications. *Joints*. 2018;6:42-53. https://doi.org/10.1055/s-0038-1636925

7. Gerasimov SA, Tenilin NA, Korytkin AA, Zykin AA. Surgical treatment of localized injuries to articular surface: the current state of the issue. *Polytrauma*. 2016;1:57-69. (In Russ.). [Герасимов С.А., Тенилин Н.А., Корыткин А.А., Зыкин А.А. Хирургическое лечение ограниченных повреждений суставной поверхности: современное состояние вопроса. *Политравма*. 2016;1:57-69].

8. Solheim E, Hegna J, Strand T, et al. Randomized study of long-term (15-17 Years) outcome after microfracture versus mosaicplasty in knee articular cartilage defects. *The American Journal of Sports Medicine*. 2017:46:1-6. https://doi.org/10.1177/0363546517745281

9. Lange JK, Lee YuYu, Spiro SK, Haas SB. Satisfaction Rates and Quality of Life Changes Following Total Knee Arthroplasty in Age-Differentiated Cohorts. *Journal of Arthroplasty*. 2018;33(5):1373-1378. https://doi.org/10.1016/j.arth.2017.12.031

10. Le Roux J, Von Bormann R, Braun S, et al. Mega-OATS of the knee without specialised instrumentation: a low-cost option for large cartilage defects in a resource-restrained environment. *SA Orthop J*. 2022;21(2):106-110. http://dx.doi.org/10.17159/2309-8309/2022/v21n2a

11. Solheim E, Krokeide AM, Melteig P, et al. Symptoms and function in patients with articular cartilage lesions in 1,000 knee arthroscopies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(5):1610-1616. https://doi.org/10.1007/s00167-014-3472-9

12. Werner BC, Cosgrove CT, Gilmore CJ, et al. Accelerated return to sport after osteochondral autograft plug transfer. *Orthop J Sports Med*. 2017;5(4):2325967117702418. https://doi.org/10.1177/2325967117702418

13. Solheim E, Hegna J, Inderhaug E, et al. Results at 10-14 years after microfracture treatment of articular cartilage defects in the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(5):1587-1593. https://doi.org/10.1007/s00167-014-3443-1

14. Hunziker EB, Lippuner K, Keel MJB, Shintani N. An educational review of cartilage repair: precepts and practice – myths and misconceptions – progress and prospects. *Osteoarthritis Cartilage*. 2015;23(3):334-350. https://doi.org/10.1016/j.joca.2014.12.011

15. Emre TY, Atbasi Z, Demircioglu DT, et al. Autologous osteochondral transplantation (mosaicplasty) in articular cartilage defects of the patellofemoral joint: retrospective analysis of 33 cases. *Musculoskelet Surg*. 2017;101(2):133-138. https://doi.org/10.1007/s12306-016-0448-6

16. Patil S, Tapasvi SR. Osteochondral autografts. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2015;8(4):423-428. https://doi.org/10.1007/s12178-015-9299-2

17. Hema M, Martin C, Joshua P, et al. Autologous chondrocyte implantation in the knee: systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess*. 2017;21(6):1-294. https://doi.org/10.3310/hta21060

18. Colombini A, Libonati F, Lopa S. Autologous chondrocyte implantation provides good long-term clinical results in the treatment of knee osteoarthritis: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023;31(6):2338-2348. https://doi.org/10.1007/s00167-022-07030-2

19. Ulstein S, Arøen A, Røtterud JH, et al. Microfracture technique versus osteochondral autologous transplantation mosaicplasty in patients with articular chondral lesions of the knee: a prospective randomized trial with long-term follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(6):1207-1215. https://doi.org/10.1007/s00167-014-2843-6

20. Gobbi A, Karnatzikos G, Kumar A. Long-term results after microfracture treatment for full-thickness knee chondral lesions in athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(9):1986-1996. https://doi.org/10.1007/s00167-013-2676-8

21. Heir S, Årøen A, Løken S, et al. Cartilage repair in the rabbit knee: mosaic plasty resulted in higher degree of tissue filling but affected subchondral bone more than microfracture technique: a blinded, randomized, controlled, long-term follow-up trial in 88 knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(2):197-209. https://doi.org/10.1007/s00167-011-1596-8

22. Cavendish PA, Everhart JS, Peters NJ, Sommerfeldt MF, Flanigan DC. Osteochondral allograft transplantation for knee cartilage and osteochondral defects: A review of indications, technique, rehabilitation, and outcomes. *JBJS Rev*. 2019;7:e7. https://doi.org/10.2106/jbjs.rvw.18.00123

23. Kabalyk MA. Biomarkers of subchondral bone remodeling in osteoarthritis. *Pacific Medical Journal*. 2017;1:37-41. (In Russ.). [Кабалык М.А. Биомаркеры и участники ремоделирования субхондральной кости при остеоартрозе. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2017;1:37-34]. https://doi.org/10.17238/PmJ1609-1175.2017.1.37-41

24. Loef M, van Beest S, Kroon FPB, et al. Comparison of histological and morphometrical changes underlying subchondral bone abnormalities in inflammatory and degenerative musculoskeletal disorders: a systematic review. *Osteoarthritis Cartilage*. 2018;26(8):992-1002. https://doi.org/10.1016/j.joca.2018.05.007

25. Boyde A, Davis GR, Mills D, et al. On fragmenting, densely mineralized acellular protrusions into articular cartilage and their possible role in osteoarthritis. *J Anat*. 2014;225(4):436-446. https://doi.org/10.1111/joa.12226

26. Roy KA, Jennifer R, Jonathan PD. Contribution of Circulatory Disturbances in Subchondral Bone to the Pathophysiology of Osteoarthritis. *Curr Rheumatol Rep*. 2017;19:49. https://doi:10.1007/s11926-017-0660-x

27. Malanin DA, Pisarev VB, Novochadov VV. *Restoration of cartilage damage in the knee joint: experimental and clinical aspects*. Volgograd, 2010. (In Russ.). [Маланин Д.А., Писарев В.Б., Новочадов В.В. *Восстановление повреждений хряща в коленном суставе: экспериментальные и клинические аспекты*. Волгоград, 2010]. ISBN 978-5-98461-765-9. EDN QLYHOH