

Использование хондропластики I плюснефалангового сустава по технике аутологичного индуцированного матрицей хондрогенеза для лечения пациентов с hallux rigidus: ближайшие результаты

Нурмухаметов М.Р., Макаров М.А., Бялик Е.И., Бялик В.Е., Нестеренко В.А.

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт ревматологии им. В.А. Насоновой», Москва, Россия 115522, Москва, Каширское шоссе, 34А

V.A. Nasonova Research Institute of Rheumatology, Moscow, Russia 34A, Kashirskoe Shosse, Moscow 115522

Контакты:

Максим Ринатович Нурмухаметов;
nurmi91@mail.ru

Contact:

Maksim Nurmukhametov;
nurmi91@mail.ru

Поступила 08.10.19

В настоящее время существует множество различных способов хирургического лечения hallux rigidus, таких как хейлэктомия, укорачивающие остеотомии I плюсневой кости (ПК), гемартропластика, эндопротезирование и артродез I плюснефалангового сустава (ПФС), и все они имеют как достоинства, так и недостатки. На сегодняшний день не существует единого подхода к выбору тактики хирургического лечения hallux rigidus. Известно, что при наличии костно-хрящевых дефектов в коленном, тазобедренном и голеностопном суставах довольно успешно применяется техника аутологичного индуцированного матрицей хондрогенеза (Autologous Matrix-Induced Chondrogenesis – AMIC).

Цель исследования – изучить ближайшие результаты хондропластики I ПФС, выполнявшейся с помощью техники AMIC у пациентов с hallux rigidus.

Материал и методы. К настоящему времени в ФГБНУ «НИИР им. В.А. Насоновой» хондропластика I ПФС по технике AMIC выполнена 9 пациентам с hallux rigidus. У одной пациентки она проведена с обеих сторон, соответственно, всего выполнено 10 вышеуказанных операций. Средний возраст пациентов – $42,2 \pm 19,5$ года (от 20 лет до 71 года). При обследовании определяли объем движений в I ПФС, интенсивность боли по визуальной аналоговой шкале (ВАШ); состояние стопы по шкале AOFAS; функциональный индекс стопы (FFI); функциональное состояние стопы и голеностопного сустава по ВАШ (VAS FA). Все пациенты до операции испытывали значительное ограничение движений в I ПФС. Медиана объема движений в I ПФС составила 20° , боли по ВАШ – 70 мм, AOFAS – 52, FFI – 6,4, VAS FA – 4,1. Хондропластика I ПФС осуществлялась по технике AMIC с использованием коллагеновых матриц Chondro-Gide и Aescular Novocart Basic. Результаты проведенного хирургического лечения оценивались через 3, 6 и 12 мес после операции.

Результаты и обсуждение. Уже через 3 мес после операции отмечено выраженное значимое уменьшение боли в I ПФС. Ее медиана снизилась с 70 до 27,5 мм. Положительная динамика наблюдалась и через 6 мес – медиана боли составила 10 мм. К концу первого года наблюдения она осталась на уровне 10 мм. Через 3 мес после операции медиана AOFAS увеличилась с 52 до 78,5, через 6 мес – до 90, а через 12 мес осталась на том же уровне. Через 3 мес после хондропластики медиана индекса FFI снизилась с 6,4 до 2,3, через 6 мес – до 1,1, а через 12 мес – до 0,8. Через 3 мес после хондропластики медиана VAS FA составила 8,1, через 6 мес – 9,3, а через 12 мес – 9,6. Объем движений в I ПФС через 3 мес после операции также значительно увеличился: его медиана с 20° возросла до 60° , через 6 мес она составила 65° , а через год увеличилась до $67,5^\circ$. У наших пациентов хондропластика I ПФС по технике AMIC обеспечивала положительную динамику, которая была максимальной через 3 мес после операции: медиана боли по ВАШ снижалась на 42,5 мм, AOFAS увеличивалась на 26,5, FFI – на 2,1, VAS FA – на 4,0. Также большое значение имеет увеличение объема движений в I ПФС, медиана которого через 3 мес увеличилась на 40° . Положительная динамика сохраняется и спустя 6 мес после операции. В этот период наблюдается дальнейшее уменьшение медианы боли по ВАШ на 17,5 мм, увеличение медианы AOFAS на 12,5, FFI – на 1,2, а также VAS FA на 1,2. После 12 мес наблюдения достигнутое улучшение сохранялось, однако количество наблюдений на данном этапе не позволяет провести адекватную статистическую обработку.

Заключение. Ближайшие результаты проведенных операций показали, что хондропластика I ПФС с использованием коллагеновой матрицы может являться довольно эффективным методом хирургического лечения, позволяющим купировать боль и существенно улучшить качество жизни пациентов, страдающих hallux rigidus. Дать более полную оценку эффективности хондропластики I ПФС по технике AMIC позволит изучение среднесрочных и отдаленных результатов.

Ключевые слова: I плюснефаланговый сустав; hallux rigidus; хондропластика; AMIC.

Для ссылки: Нурмухаметов МР, Макаров МА, Бялик ЕИ и др. Использование хондропластики I плюснефалангового сустава по технике аутологичного индуцированного матрицей хондрогенеза для лечения пациентов с hallux rigidus: ближайшие результаты. Научно-практическая ревматология. 2020;58(1):97-101.

USE OF FIRST METATARSOPHALANGEAL JOINT CHONDROPLASTY WITH THE AUTOLOGOUS MATRIX-INDUCED CHONDROGENESIS TECHNIQUE FOR THE TREATMENT OF PATIENTS WITH HALLUX RIGIDUS: IMMEDIATE RESULTS
Nurmukhametov M.R., Makarov M.A., Byalik E.I., Byalik V.E., Nesterenko V.A.

Currently, there are a lot of different surgical treatments for hallux rigidus, such as cheilectomy; first metatarsal osteotomies, hemiarthroplasty, arthroplasty and arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint (MTPJ), and all of them have both advantages and disadvantages. To date, there is no single approach to choosing a method of surgical treatment of hallux rigidus. The autologous matrix-induced chondrogenesis (AMIC) technique is known to be quite successfully used for the treatment of osteochondral defects in the knee, hip, and ankle joints.

Objective: to study the immediate results of first MTPJ chondroplasty using the AMIC technique in patients with hallux rigidus.

Subjects and methods. As of now, MTPJ chondroplasty using the AMIC technique has been performed at the Nasonova Research Institute of Rheumatology in the first 9 patients with hallux rigidus. The surgery was made on both sides in one patient; there were accordingly a total of 10 above operations. The patients' mean age was 42.2 ± 19.5 (range 20–71) years. During the examination, the investigators determined the range of motion in the first MTPJ, the intensity of pain on a visual analogue scale (VAS); foot status according to the American Orthopedic Foot and Ankle Society (AOFAS) scale; as well as the foot function index (FFI) and the functional condition of the foot and ankle (FA) joints according to VAS-FA. Prior to surgery, all the patients experienced significantly restricted motions in the first MTPJ. The median range of motion in the first MTPJ was 20° ; Pain intensity was 70 mm; the AOFAS score was 52; FFI – 6.4; the VAS-FA – 4.1. First MTPJ chondroplasty was performed according to the AMIC technique using the Chondro-Gide and Aesculap Novocart Basic collagen matrices. The results of surgical treatment were assessed at 3, 6, and 12 months postoperatively.

Results and discussion. Just 3 months after surgery, there was a pronounced significant reduction in first MTPJ pain. Its median decreased from 70 to 27.5 mm. After 6 months, there were also positive changes; the median pain was 10 mm. It remained at a level of 10 mm by the end of the first year of the observation. The median AOFAS scores increased from 52 to 78.5 and 90 at 3 and 6 months after surgery, respectively, and remained at the same level at 12 months. The median FFI decreased from 6.4 to 2.3, 1.1, and 0.8 at 3, 6, and 12 months following chondroplasty, respectively. The median VAS-FA scores were 8.1, 9.3, and 9.6 at 3, 6, and 12 months after chondroplasty. At 3 months postoperatively, the range of first MTPJ motion also increased significantly: its median rose from 20° to 60° ; it was 65° at 6 months and increased to 67.5° at 12 months. First MTPJ chondroplasty with the AMIC technique in these patients resulted in positive changes that were maximal at 3 months after the surgery: the median pain decreased by 42.5 mm; AOFAS, FFI, and VAS-FA scores increased by 26.5, 2.1, and 4.0, respectively. Of great importance is also the increase in first MTPJ motion range, the median of which rose by 40° at 3 months. The positive changes also persisted 6 months postoperatively. During this period, there was a further decrease in the median pain by 17.5 mm and increases in the median AOFAS, FFI, and VAS-FA scores by 12.5, 1.2, and 1.2, respectively. At 12 months of the follow up, the achieved improvement remained; however, the number of observations at this stage does not allow for adequate statistical analysis.

Conclusion. The immediate results of the performed operations showed that first MTPJ chondroplasty using a collagen matrix can be a rather effective surgical treatment that makes it possible to relieve pain and to significantly improve quality of life in patients with hallux rigidus. A more complete evaluation of the efficiency of first MTPJ chondroplasty using the AMIC technique will be provided by studying the medium-term and long-term outcomes of the surgery.

Keywords: first metatarsophalangeal joint; hallux rigidus; chondroplasty; autologous matrix-induced chondrogenesis (AMIC).

For reference: Nurmukhametov MR, Makarov MA, Byalik EI, et al. Use of first metatarsophalangeal joint chondroplasty with the autologous matrix-induced chondrogenesis technique for the treatment of patients with hallux rigidus: immediate results. *Nauchno-Prakticheskaya Revmatologiya* = *Rheumatology Science and Practice*. 2020;58(1):97-101 (In Russ.).

doi: 10.14412/1995-4484-2020-97-101

Hallux rigidus – заболевание, которое характеризуется болью, усиливающейся при ходьбе, скованностью в I плюснефаланговом суставе (ПФС) и снижением объема движений в нем, в особенности тыльного сгибания. Hallux rigidus является вторым по частоте после вальгусной деформации I пальца патологическим состоянием стопы и встречается, по разным данным, у 2,5–10% взрослого населения [1, 2]. В настоящее время существует множество различных способов хирургического лечения hallux rigidus, таких как хейлэктомия, укорачивающие остеотомии I плюсневой кости (ПК), гемиартропластика, эндопротезирование и артродез I ПФС, и все они имеют как достоинства, так и недостатки [3–7]. На сегодняшний день не существует единого подхода к выбору тактики хирургического лечения hallux rigidus. Более того, данным заболеванием страдают преимущественно женщины молодого возраста, для которых большое значение имеют хороший объем движений в I ПФС и возможность ношения модельной обуви на каблуках, а следовательно, в данном случае мы также ограничены в выборе метода хирургического лечения. В свою очередь, известно, что при наличии костно-хрящевых дефектов в коленном, тазобедренном и голеностопном суставах довольно успешно применяется техника аутологичного индуцированного матрицей хондрогенеза (Autologous Matrix-Induced Chondrogenesis – AMIC) [8–10]. В связи с этим нами предложено использование данной техники в лечении пациентов с hallux rigidus.

Цель исследования – изучить ближайшие результаты хондропластики I ПФС, выполнявшейся с помощью техники AMIC у пациентов с hallux rigidus.

Материал и методы

К настоящему времени в ФГБНУ «НИИР им. В.А. Насоновой» хондропластика I ПФС по технике

AMIC выполнена 9 пациентам с hallux rigidus (8 женщинам и одному мужчине). У одной пациентки она проведена с обеих сторон; соответственно всего выполнено 10 вышеуказанных операций. Средний возраст пациентов – $42,2 \pm 19,5$ года (от 20 лет до 71 года). При обследовании определялся объем движений в I ПФС; интенсивность боли по визуальной аналоговой шкале (ВАШ) – от 0 до 100 мм, где 0 – отсутствие боли, 100 мм – максимальная ее интенсивность; состояние стопы по шкале Американской ассоциации ортопедов стопы и голеностопного сустава (American Orthopedic Foot & Ankle Society – AOFAS) – от 0 до 100 баллов, где 0 – наихудший, 100 – наилучший результат; функциональный индекс стопы (Functional Foot Index – FFI) – от 0 до 10, где 0 – наилучший показатель, 10 – наихудший; функциональное состояние стопы и голеностопного сустава по ВАШ (Visual Analogue Scale Foot and Ankle – VAS FA) – от 0 до 10, где 0 – наихудший показатель, 10 – наилучший.

Все пациенты до операции испытывали значительное ограничение движений в I ПФС (табл. 1). Медиана объема движений в I ПФС составила 20° (min 15° , max 30°), боли по ВАШ – 70 мм (min 50 мм, max 90 мм), AOFAS – 52 (min 39, max 62), FFI – 6,4 (min 2,7, max 7,6), VAS FA – 4,1 (min 2,5, max 7,6).

Для оценки клинико-рентгенологической картины до операции была использована классификация Coughlin и Shurnas (табл. 2).

У трех пациентов была 2-я, у пяти – 3-я (у одной пациентки процесс двусторонний) и у одной – 4-я стадия остеоартрита (ОА) I ПФС.

Хондропластика I ПФС осуществлялась по технике AMIC с использованием коллагеновых матриц Chondro-Gide и Aesculap Novocart Basic. Матрица состоит из колла-

генов I и III типа. Она имеет двуслойное строение с плотной и пористой сторонами. Плотный слой имеет гладкую, непроницаемую для клеток поверхность, препятствующую проникновению мезенхимальных стволовых клеток в полость сустава. Пористый слой состоит из рыхлых коллагеновых волокон, способствующих адсорбции клеток. Матрица изготавливается из свиного коллагена, который через некоторое время после операции резорбируется естественным путем под действием ферментов до свободных аминокислот. В процессе изготовления из коллагена удаляются теплопептиды – главные детерминанты антигенности. Поэтому коллагеновая матрица обладает минимальным иммуногенным потенциалом [11].

Операция производилась следующим образом: выполнялся прямой медиальный кожный разрез в проекции I ПФС длиной 4 см с последующей мобилизацией кожи с подкожной жировой клетчаткой, обнажением капсулы сустава и артротомией (рис. 1). Осуществлялось удаление остеофитов с головки I ПК и основания проксимальной фаланги I пальца – хейлэктомия; обрабатывалась зона дефекта хряща на головке ПК до субхондральной кости (рис. 2), выполнялось микрофрактурирование (рис. 3) данного участка с помощью тонкой спицы или шила (расстояние между микроперфорациями – 2–3 мм), и дефект укрывался предварительно подготовленной двуслойной коллагеновой матрицей (рис. 4), которая фиксировалась по краям к неповрежденному хрящу и/или надкостнице с помощью тонких рассасывающихся нитей – PDS, Vicryl или Monosyn 6-0 (рис. 5). При этом матрица накладывалась на дефект пористым слоем к поверхности кости.

Перед укладкой коллагеновая матрица в течение 7 мин выдерживалась в 0,9% растворе натрия хлорида, после чего следовала обрезка матрицы по краю дефекта (рис. 6).



Рис. 1. Остеофиты в области головки плюсневой кости



Рис. 2. Хейлэктомия, удаление остатков поврежденного хряща



Рис. 3. Микрофрактурирование зоны дефекта



Рис. 4. Укладка коллагеновой матрицы



Рис. 5. Фиксация матрицы тонкими рассасывающимися нитями

Таблица 1 Клинические показатели до операции

| Номер больного | Возраст пациентов, годы | Боль, мм ВАШ | AOFAS | FFI | VAS FA | Объем движений в I ПФС, градусы |
|----------------|-------------------------|--------------|-------|-----|--------|---------------------------------|
| 1 | 22 | 80 | 52 | 6,9 | 3,2 | 20 |
| 2 | 27 | 70 | 55 | 6,2 | 2,8 | 25 |
| 3 | 25 | 90 | 52 | 7 | 2,5 | 20 |
| 4 | 40 | 80 | 39 | 7,6 | 2,5 | 15 |
| 5 | 70 | 70 | 52 | 6,5 | 4,5 | 30 |
| 6 | 58 | 60 | 54 | 4,3 | 3,8 | 30 |
| 7 | 71 | 70 | 52 | 6,5 | 4,5 | 15 |
| 8 | 37 | 50 | 62 | 3,7 | 6,8 | 20 |
| 9 | 52 | 50 | 47 | 2,7 | 7,6 | 20 |
| 10 | 20 | 90 | 44 | 6,3 | 6,6 | 15 |
| Медиана | 38,5 | 70 | 52 | 6,4 | 4,1 | 20 |

Таблица 2 Классификация Coughlin и Shurnas

| Стадия OA I ПФС | Данные рентгенографии | Боль в I ПФС | Подвижность I ПФС |
|-----------------|---|--|---|
| 0 | Норма | Отсутствует | Движения в полном объеме или незначительное ограничение |
| 1 | Минимальное сужение суставной щели | Периодический | Небольшое ограничение |
| 2 | Умеренное сужение суставной щели, формирование остеофитов | Более постоянный | Умеренное ограничение |
| 3 | Выраженное сужение суставной щели, крупные остеофиты | Постоянный (нет боли в среднем диапазоне движений в I ПФС) | Выраженное ограничение (суммарно <20°) |
| 4 | То же, что и при 3-й стадии | Пассивные движения в I ПФС болезненны в среднем диапазоне | То же, что и при 3-й стадии |

Примечание. OA – остеоартрит.

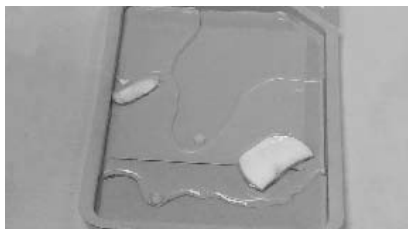


Рис. 6. Подготовка коллагеновой матрицы



Рис. 7. Обувь Барука

Пациенты вертикализировались на следующие сутки после операции при обязательном условии ношения обуви Барука (рис. 7) для разгрузки переднего отдела стопы в течение 6 нед. После перехода к ношению обычной обуви пациентам было рекомендовано использование индивидуальных стелек.

Результаты проведенного хирургического лечения оценивались через 3, 6 и 12 мес после операции.

Для статистической обработки использовался критерий Уилкоксона (W). Она проводилась с помощью программы BioStat® (AnalystSoft Inc., США).

Результаты

Уже через 3 мес после операции отмечено выраженное значимое уменьшение боли в I ПФС. Ее медиана снизилась с 70 до 27,5 мм (min 10 мм, max 40 мм; рис. 8; $p < 0,024$). Положительная динамика наблюдалась и через 6 мес – медиана боли составила 10 мм (min 0 мм, max 40 мм; $p < 0,024$). К концу первого года наблюдения она осталась на уровне 10 мм (min 0 мм, max 30 мм).

На рис. 9 представлена динамика по шкале AOFAS. Через 3 мес после операции медиана AOFAS увеличилась с 52 до 78,5 (min 67, max 92; $p < 0,024$). Через 6 мес – до 90 (min 67, max 95; $p < 0,024$), а через 12 мес осталась на том же уровне (min 80, max 95).

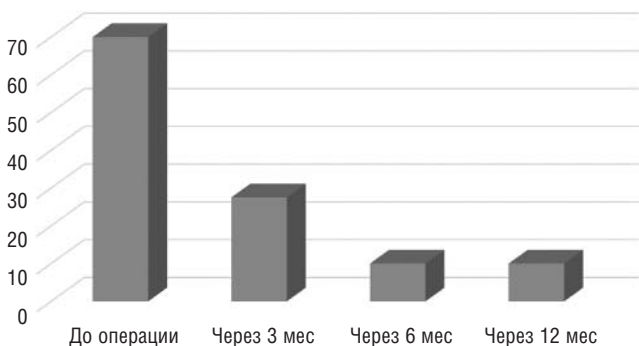


Рис. 8. Динамика боли, мм ВАШ

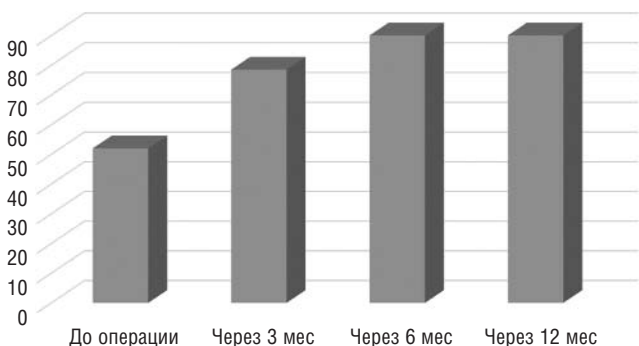


Рис. 9. Динамика AOFAS

Динамика индекса FFI представлена на рис. 10. Через 3 мес после хондропластики его медиана снизилась с 6,4 до 2,3 (min 1,1, max 4,7; $p < 0,024$), через 6 мес – до 1,1 (min 0,5, max 3,9; $p < 0,024$), а через 12 мес – до 0,8 (min 0, max 2,5).

Результаты по шкале VAS FA продемонстрированы на рис. 11: через 3 мес после хондропластики ее медиана составила 8,1 (min 6,6, max 9,1; $p < 0,024$), через 6 мес – 9,3 (min 6,6, max 9,6; $p < 0,024$), а через 12 мес – 9,6 (min 7,9, max 10).

Объем движений в I ПФС (рис. 12) через 3 мес после операции также значительно увеличился – его медиана с 20° возросла до 60° (min 50°, max 70°; $p < 0,024$), через 6 мес она составила 65° (min 40°, max 80°; $p < 0,024$), а через год увеличилась до 67,5° (min 50°, max 80°).

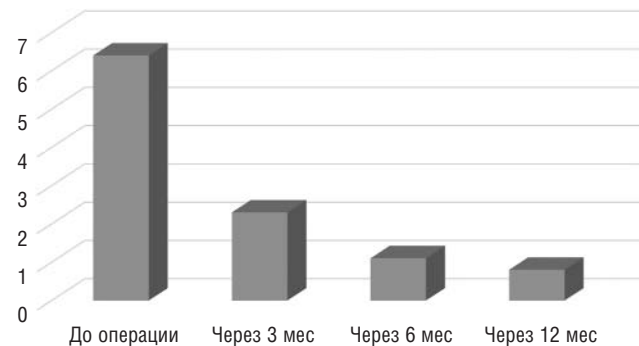


Рис. 10. Динамика FFI

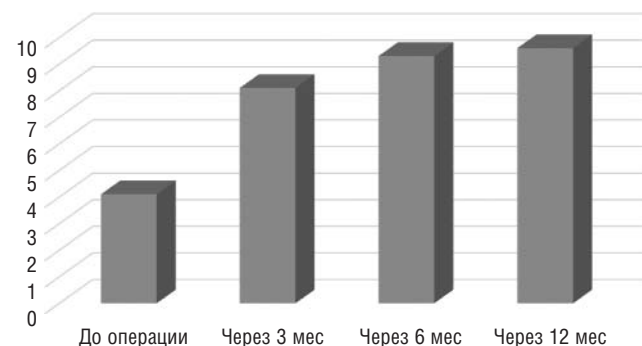


Рис. 11. Динамика по VAS FA

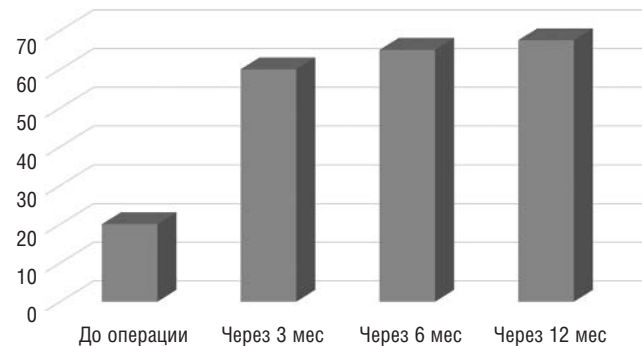


Рис. 12. Динамика объема движений в I ПФС

Обсуждение

Проблемой хирургического лечения hallux rigidus в мире занимаются не один десяток лет. Разработаны классификации заболевания, описано множество операционных методов. Такие методики, как укорачивающая остеотомия I ПК в сочетании с хейлэктомией или, при запущенных стадиях, артродез I ПФС, применяются чаще всего и зарекомендовали себя, в целом, с положительной стороны [1–7]. Тем не менее эти методы не лишены определенных недостатков, и данный факт является стимулом к поиску новых решений и совершенствованию хирургической техники.

В мировой литературе описано только одно исследование, проведенное в 2016 г., в котором автор предлагает метод хирургического лечения hallux rigidus, схожий с тем, который использовался в нашей работе, – модифицированный вариант AMIC – MAST (Matrix-Associated Stem cell Transplantation). После хондропластики I ПФС M. Richter и соавт. [13] наблюдали за пациентами в течение 2 лет и отмечали значительное улучшение клинических показателей как в раннем послеоперационном периоде, так и в конце наблюдения (увеличение VAS FA с 5,1 до 9,2, увеличение объема движений в I ПФС).

У наших пациентов хондропластика I ПФС по технике AMIC также обеспечивала положительную динамику, которая была максимальной через 3 мес после операции: медиана боли по ВАШ снижалась на 42,5 мм, AOFAS увеличивалась на 26,5, FFI – на 2,1, VAS FA – на 4,0. Также большое значение имеет увеличение объема движений в I ПФС, медиана которого через 3 мес увеличилась на 40°.

Значительное улучшение состояния пациентов в раннем послеоперационном периоде можно связать с ношением послеоперационной обуви Барука, обеспечивающей разгрузку переднего отдела стопы. Такая обувь ис-

пользуется только в течение 6 нед после операции. Тем не менее положительная динамика сохраняется и спустя 6 мес после операции. В этот период наблюдается дальнейшее уменьшение медианы боли по ВАШ на 17,5 мм, увеличение медианы AOFAS на 12,5, FFI – на 1,2, а также VAS FA на 1,2.

После 12 мес наблюдения достигнутое улучшение сохранялось, однако количество наблюдений на данном этапе не позволяет провести адекватную статистическую обработку.

Заключение

Ближайшие результаты проведенных операций показали, что хондропластика I ПФС с использованием коллагеновой матрицы может являться довольно эффективным методом хирургического лечения, позволяющим купировать боль и существенно улучшить качество жизни пациентов, страдающих hallux rigidus. Уже через 3 мес после операции наблюдается значительная положительная динамика, которая сохраняется в течение года. Дать более полную оценку эффективности хондропластики I ПФС по технике AMIC позволит изучение среднесрочных и отдаленных результатов.

Прозрачность исследования

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

Декларация о финансовых и других взаимоотношениях

Все авторы принимали участие в разработке концепции и плана исследования и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы не получали гонорар за статью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бережной СЮ. Артроз первого плюснефалангового сустава: чрескожное оперативное лечение, выбор хирургической методики, клинико-рентгенологическая классификация. *Травматология и ортопедия России*. 2017;(1):8-22 [Berezhnoi SYu. Arthrosis of the first metatarsophalangeal joint: percutaneous surgical treatment, choice of surgical technique, clinical and radiological classification. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*. 2017;(1):8-22 (In Russ.)]. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-8-22
2. McNeil DS, Baumhauer JF, Glazebrook MA. Evidence-Based Analysis of the Efficacy for Operative Treatment of Hallux Rigidus. *Foot Ankle Int*. 2013;34:15. doi: 10.1177/1071100712460220
3. Sorbie C, Saunders GA. Hemiarthroplasty in the treatment of hallux rigidus. *Foot Ankle Int*. 2008;29:273-81. doi: 10.3113/FAI.2008.0273
4. Mackey RB, Thomson AB, Kwon O, et al. The modified oblique Keller capsular interpositional arthroplasty for hallux rigidus. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;92:1938-46. doi: 10.2106/JBJS.I.00412
5. Erdil M, Elmadag NM, Polat G, et al. Comparison of Arthrodesis, Resurfacing Hemiarthroplasty, and Total Joint Replacement in the Treatment of Advanced Hallux Rigidus. *J Foot Ankle Surg*. 2013;52:588-93. doi: 10.1053/j.jfas.2013.03.014
6. Calvo A, Viladot R, Gine J, Alvarez F. The importance of the length of the first metatarsal and the proximal phalanx of hallux in the etiopathogeny of the hallux rigidus. *Foot Ankle Surg*. 2009;15(2):69-74. doi: 10.1016/j.fas.2008.08.001
7. Keiserman L, Sammarco J, Sammarco GJ. Surgical treatment of the hallux rigidus. *Foot Ankle Clin N Am*. 2005;10:75-96. doi: 10.1016/j.fcl.2004.09.005
8. Wiewiorski M, Miska M, Kretzschmar M, et al. Delayed gadolinium-enhanced MRI of cartilage of the ankle joint: Results after autologous matrix-induced chondrogenesis (AMIC)-aided reconstruction of osteochondral lesions of the talus. *Clin Radiol*. 2013;68(10):1031-8. doi: 10.1016/j.crad.2013.04.016
9. Benthien JP, Behrens P. Autologous matrix-induced chondrogenesis (AMIC) combining microfracturing and a collagen I/III matrix for articular cartilage resurfacing. *Cartilage*. 2010;1(1):65-8. doi: 10.1177/1947603509360044
10. Gille J, Schuseil E, Wimmer J, et al. Mid-term results of Autologous Matrix-Induced Chondrogenesis for treatment of focal cartilage defects in the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010;18:1456-64. doi: 10.1007/s00167-010-1042-3
11. Geistlich Biomaterials. AMIC®. Chondro-Gide®. Cartilage Regeneration. Professional Information.
12. Сидоренко ЕВ. Методы математической обработки в психологии. Санкт-Петербург: Речь; 2010 [Sidorenko EV. *Metody matematicheskoi obrabotki v psikhologii* [Methods of mathematical processing in psychology]. St. Petersburg: Rech'; 2010 (In Russ.)].
13. Richter M, Zech S, Meissner SA. Matrix-associated stem cell transplantation (MAST) in chondral defects of the 1st metatarsophalangeal joint is safe and effective – 2-year-follow-up in 20 patients. *Foot Ankle Surg*. 2017;23(3):195-200. doi: 10.1016/j.fas.2016.05.318