

Принципы хирургического лечения больных с остеоартритом I плюснефалангового сустава

Нурмухаметов М.Р.

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 13.04.18



Нурмухаметов М.Р. – аспирант первого года, травматолого-ортопедическое отделение ФГБНУ НИИР им. В.А. Насоновой (научный руководитель – к.м.н. М.А. Макаров, руководитель лаборатории ревмоортопедии и реабилитации)

В настоящее время не существует общего подхода к выбору хирургической тактики при hallux rigidus. Используются множество способов хирургического лечения остеоартрита (ОА) I плюснефалангового сустава (I ПФС), актуальных при разных стадиях заболевания. Тем не менее данный факт также свидетельствует о том, что все предложенные методы имеют те или иные недостатки. При этом «золотым стандартом» остается артродез I ПФС, избавляющий пациентов от боли, но в функциональном плане уступающий суставосберегающим операциям. Однако в связи с тем, что ОА I ПФС нередко страдают не только лица старше 50 лет, но и более молодые пациенты, наиболее щадящим вариантом суставосберегающих операций представляется хейлэктомиа с хондропластикой I ПФС, позволяющая восстановить безболезненные движения в суставе, при этом не изменяя анатомию стопы. Хондропластика методом аутологичного матрикс-индуцированного хондрогенеза (Authologous Matrix Induced Chondrogenesis – AMIC®) описана при наличии дефектов хряща в коленном, тазобедренном и голеностопном суставах. Описание хондропластики I ПФС методом AMIC не встречается ни в отечественной, ни в зарубежной литературе.

Ключевые слова: I плюснефаланговый сустав; остеоартрит; суставосберегающие операции; хейлэктомиа с хондропластикой.

Для ссылки: Нурмухаметов М.Р. Принципы хирургического лечения больных с остеоартритом I плюснефалангового сустава. Научно-практическая ревматология. 2018;56(3):363–372.

PRINCIPLES OF SURGICAL TREATMENT IN PATIENTS WITH OSTEOARTHRITIS OF THE FIRST METATARSOPHALANGEAL JOINT Nurmukhametov M.R.

At present, there is no general approach to choosing surgical tactics for hallux rigidus. Many surgical procedures are used to treat osteoarthritis (OA) of the first metatarsophalangeal joint (FMPJ), which are relevant at different stages of the disease. Nevertheless, this fact also suggests that all proposed methods have one or other disadvantages. At the same time, FMPJ arthrodesis that relieves pain and is functionally inferior to joint-sparing surgery remains the gold standard. However, due to the fact that not only persons over the age of 50 years, but also younger patients often suffer from FMPJ OA, the most non-damaging option of joint-sparing surgery is cheilectomy with chondroplasty of the FMPJ, which allows restoration of painless joint motions, thus sparing the anatomy of the foot. Chondroplasty using the authologous matrix-induced chondrogenesis (AMIC®) technique for knee, hip, and ankle cartilage defects is described. There are no reports on FMPJ chondroplasty with the AMIC method in either Russian or foreign literature.

Keywords: first metatarsophalangeal joint; osteoarthritis; joint-sparing operations; cheilectomy with chondroplasty.

For reference: Nurmukhametov MR. Principles of surgical treatment in patients with osteoarthritis of the first metatarsophalangeal joint. Nauchno-Prakticheskaya Revmatologiya = Rheumatology Science and Practice. 2018;56(3):363–372 (In Russ.).

doi: 10.14412/1995-4484-2018-363-372

Остеоартрит (ОА) I плюснефалангового сустава (I ПФС) – заболевание, характеризующееся наличием боли, усиливающейся при ходьбе, скованностью в суставе и снижением объема движений, особенно тыльного сгиба-

ния. В литературе ОА I ПФС чаще всего обозначается термином hallux rigidus (ригидный I палец стопы) [1–4].

Впервые hallux rigidus был описан в 1887 г. М. Davies-Colley и получил тогда на-

звание hallux flexus из-за нахождения проксимальной фаланги в состоянии подошвенного сгибания [5, 6]. Спустя 4 мес J.M. Cotterill описал то же состояние и предложил термин hallux rigidus [5, 7].

Hallux rigidus является вторым по частоте после вальгусной деформации I пальца патологическим состоянием стопы и встречается примерно у 2–10% взрослого населения [4, 8–15]. При этом двустороннее поражение в 80% случаев имеет наследственный характер [16, 17]. M.J. Coughlin и P.S. Shurnas в 2003 г. провели метаанализ и определили, что 80% пациентов, страдающих ОА I ПФС, имеют проблему с обеими стопами, при этом 98% отмечали наличие заболевания у прямых родственников, а 62% пациентов – женщины [18].

Этиология

Причина развития hallux rigidus до сих пор точно не определена. С целью изучения данной проблемы A. Calvo и соавт. [9] оценивали взаимосвязь отношения длины I плюсневой кости (I ПК) и проксимальной фаланги I пальца (ПФПП) к общей длине стопы и развития hallux rigidus. В рамках ретроспективного исследования определялись индексы *длина стопы/длина I ПК*, *длина стопы/длина ПФПП*. Обнаружена статистически достоверная разница ($p=0,002$) в развитии hallux rigidus между группами исследуемых пациентов по первому индексу (у пациентов с hallux rigidus индекс *длина стопы/длина I ПК* меньше, чем в группе сравнения) и отсутствие разницы по второму. Таким образом, авторы предположили, что относительная длина I ПК играет роль в этиопатогенезе hallux rigidus [9]. F. Malerba и соавт. [19] одной из причин его развития считают элевацию I ПК. Тем не менее M. Erdil и соавт. [5] указывают на то, что основными факторами риска развития hallux rigidus являются постоянная микротравматизация I ПФС и ношение неудобной обуви.

Классификация

Наиболее известная классификация hallux rigidus была разработана M.J. Coughlin и P.S. Shurnas [5, 18, 20]. Они выделяют пять стадий заболевания (от 0 до 4) и такие характеристики, как состояние суставной щели I ПФС, характер болевого синдрома и ограничение объема движений в суставе. Нулевая стадия характеризуется нормальными размерами суставной щели, отсутствием боли и полным объемом движений или его незначительным ограничением. На 1-й стадии наблюдаются небольшое сужение суставной щели, периодически возникающая боль и небольшое ограничение движений. При 2-й стадии в области I ПФС формируются остеофиты, сужение суставной щели и ограничение движений в суставе становятся умеренными, чаще возникает боль. Третья (3-я) стадия характеризуется выраженным сужением суставной щели, наличием крупных остеофитов и постоянной боли, отсутствующей, однако, при движениях в среднем диапазоне, и выраженным ограничением движений (суммарно $<20^\circ$). На 4-й стадии боль возникает также при пассивных движениях в среднем диапазоне, в остальном клинико-рентгенологическая картина та же, что и при 3-й стадии [18, 20].

С.Ю. Бережной [8] модифицировал и расширил вышеуказанную классификацию: 3-я стадия подразделена на промежуточные стадии: 3а (боль в крайних положениях и/или от давления обуви; от умеренного до выраженного

ограничения движений), 3б (боль при любых движениях) и 3в (боль от давления обуви или отсутствие боли из-за формирования анкилоза; выраженное ограничение движений). При 4-й стадии наблюдается практически полное отсутствие суставной щели, при этом движения в суставе качательные или полностью отсутствуют (фиброзный анкилоз) [8].

Также иногда используется рентгенологическая классификация Hattrup–Johnson, согласно которой hallux rigidus имеет три стадии. I стадия характеризуется незначительным или умеренным формированием остеофитов при нормальной ширине суставной щели. На II стадии, помимо умеренного формирования остеофитов, наблюдаются сужение суставной щели и субхондральный склероз. На III стадии происходит формирование крупных остеофитов, суставная щель не прослеживается и могут обнаруживаться субхондральные кисты [21].

Клинические проявления

Основным клиническим проявлением hallux rigidus является боль в I ПФС, возникающая преимущественно при тыльном сгибании I пальца, что объясняется соударением основания ПФПП и остеофитов в области тыльной стороны головки I ПК. Также боль может возникать при подошвенном сгибании вследствие растяжения воспаленной капсулы I ПФС, сухожилия extensor hallucis longus (EHL) и наличия синовита. Визуально в области I ПФС могут наблюдаться покраснение кожных покровов, отечность и деформация в связи с наличием остеофитов [10].

Методы диагностики

Для оценки состояния пациента с ОА I ПФС в клинической практике чаще всего определяется интенсивность боли, а также функциональное состояние стопы [22], функциональный индекс стопы (Functional Foot Index – FFI) [23]. Используются также опросники Американского ортопедического общества хирургии стопы и голеностопного сустава (American Orthopedic Foot & Ankle Society – AOFAS), Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOXFQ) и SF-36 [22–24].

Инструментальная диагностика

Наиболее простым, информативным и доступным диагностическим методом является рентгенография. Для оценки состояния I ПФС при ОА I ПФС используются прямая, боковая и косая проекции. В прямой проекции можно увидеть сужение суставной щели, латеральные и медиальные остеофиты, наличие субхондральных кист и склероза суставных поверхностей. Боковая – позволяет визуализировать тыльные остеофиты. Косая – необходима для оценки состояния сесамовидных костей, которые также могут поражаться на поздних стадиях заболевания [10]. У пациентов, страдающих ОА I ПФС в течение нескольких лет, дегенеративные изменения могут быть обнаружены как с тыльной, так и с подошвенной стороны I ПФС [25–27].

Более точно оценить состояние хряща I ПФС позволяет магнитно-резонансная томография (МРТ). Что касается определения размеров костного повреждения, в данном случае подходящим методом исследования является однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОЭКТ) [28].

Подходы к лечению

Первоначальный подход к лечению ОА I ПФС, по мнению L. Keiserman и соавт. [10], должен быть консервативным. Консервативное лечение данного заболевания направлено на устранение воспаления и боли. На ранних стадиях применяются нестероидные противовоспалительные препараты. Также можно использовать внутрисуставные инъекции глюкокортикоидов в сочетании с анестетиком. По данным литературы, это позволяет улучшить состояние в среднем на 6 мес [10, 29]. Из немедикаментозной терапии рекомендованы плавание и занятия на велотренажере, так как при этом не нагружается I ПФС [10]. Помимо вышеуказанных, выделяют такие методы, как тейпирование, ортезирование, использование индивидуальной сложной ортопедической обуви, массаж, лечебная физкультура для укрепления мышц голени, а также физиотерапия [4, 21, 30]. M. Pons и соавт. [31] сообщали об успешном применении внутрисуставных инъекций препарата гиалуроновой кислоты (Ostenil mini) на ранних стадиях заболевания. Как показал ретроспективный анализ лечения 772 пациентов с hallux rigidus, проведенный J. Grady и соавт. [32], 428 (55%) больных успешно пролечено консервативно, причем 362 из них — ортезированием. У 24 пациентов хороший результат достигнут при внутрисуставном введении глюкокортикоидов, у 42 отмечалось улучшение при использовании подобранной удобной обуви. Облегчить состояние пациентов на более поздних стадиях позволяет ношение обуви на высокой жесткой платформе [10], однако радикально решить проблему, связанную с ОА I ПФС, можно только хирургическим путем.

В настоящее время общего подхода к выбору хирургической тактики при hallux rigidus не существует [8, 9, 18, 33–36]. На практике применяются такие методы, как хейлэктомия, артродез I ПФС, различные остеотомии и резекционные артропластики I ПК, в том числе с использованием чрескожных техник [8, 19, 37], поверхностная гемиартропластика и тотальное эндопротезирование I ПФС [2, 5, 8, 10, 11, 14, 15, 17, 33, 38–63]. Также существует такой вариант суставосберегающей операции, как аутохондропластика [64], которая заключается в моделировании аутоотрансплантата из резецированного основания ПФПП с сохранением наименее поврежденного участка суставной поверхности. Далее трансплантат вставляется в ложе, сформированное в ПФПП. Несмотря на сообщения о хороших функциональных результатах, данная процедура не позволяет восстановить суставной хрящ головки I ПК.

Для пациентов, имеющих I и II рентгенологическую стадию заболевания с умеренным или периодически возникающим болевым синдромом и скованностью, рекомендованным методом хирургического лечения является хейлэктомия [10, 65, 66]. M. Schnirring-Judge и D. Hehemann [67] предложили модифицированный вариант хейлэктомии, позволяющий убрать дегенеративно измененные участки кости и хряща, а также провести декомпрессию полости сустава. В случае если интраоперационно после хейлэктомии сохраняется недостаточность тыльного сгибания, для улучшения функции может быть выполнена дорсальная закрывающая угол остеотомия [10, 66]. Однако стоит отметить, что хейлэктомия не позволяет восстановить поврежденные участки суставного хряща, следовательно, болевой синдром может рецидивировать.

Также K. Canseco и соавт. [68] в своем исследовании не наблюдали увеличения объема активных движений в I ПФС после хейлэктомии и указывали на необходимость разработки реабилитационных мероприятий после хирургического лечения. На более поздних стадиях ОА I ПФС хейлэктомия малоэффективна [69].

Одной из модификаций хейлэктомии является артропластика по Valenti [70–72]. Метод заключается в выполнении косой двусторонней V-образной резекционной артропластики I ПФС с удалением остеофитов. Целью операции является получение амплитуды разгибания в ПФС до 90°. J.F. Grady и T.M. Ahe [70], а также K. Olms и соавт. [71] сообщают о хороших и отличных результатах использования методики Valenti на основании оценки лечения большого числа пациентов при средних и длительных сроках послеоперационного наблюдения. Тем не менее D.H. Kurtz и соавт. [72] сообщают о таком осложнении данной операции, как бессимптомный плантарный подвывих проксимальной фаланги, встречающийся в 30% случаев.

C. Becher и соавт. [73] для лечения hallux rigidus предложили сочетание хейлэктомии с микрофрактурированием участков дефекта хряща на суставных поверхностях ПФПП и I ПК. Ближайшие результаты были хорошими, и это позволяет предположить, что микрофрактурирование способствует замедлению дегенеративных процессов, однако отдаленные результаты данной манипуляции пока не изучались.

Укорачивающие остеотомии I ПК актуальны при ее избыточной относительной длине [8, 9, 74, 75], дистальная косая остеотомия — при избыточной элевации I ПК [19]. При нормальных анатомических размерах и расположении I ПК вопрос целесообразности применения данных операций остается открытым. Более того, при укорачивающих остеотомиях достаточно часто встречается такое осложнение, как возникновение перегрузочной метатарзалгии [76].

В 1992 г. предложена остеотомия Watermann–Green, целью которой является транспозиция головки I ПК [77]. В свою очередь, J. Gonzalez и соавт. [78] предложили модифицированную остеотомию Hohmann, выполняющуюся в случае умеренно и значительно выраженного ОА I ПФС в сочетании с относительно длинной и приподнятой I ПК. При выполнении данной операции головка I ПК смещается в подошвенную сторону, а также происходит укорочение I ПК [4, 78].

В 2010 г. T.S. Roukis провел анализ результатов лечения пациентов с hallux rigidus на основании системного обзора электронных баз данных и сделал вывод, что спектр применения данных остеотомий должен быть значительно ограничен, так как наблюдается высокий риск послеоперационных осложнений [79]. Тот же автор провел систематический обзор результатов сочетания хейлэктомии и остеотомии ПФПП, который показал, что данной процедурой были удовлетворены 77% пациентов, хотя при этом наблюдается небольшой процент ревизий — 4,8% [80].

Некоторые авторы в качестве хирургического лечения hallux rigidus предлагают различные виды артропластики I ПФС [3, 16, 35, 36, 73, 81–87]. M.J. Coughlin и P.J. Shurnas [16], а также D. Miller и N. Maffuli [81] изучали сочетание хейлэктомии, обработки суставных поверхностей римерами и использование в качестве «проклад-

ки» трансплантата из сухожилия *m. gracilis*. В целом, результаты данной интерпозиционной артропластики были хорошими, однако у четырех из семи пациентов сохранялась умеренная метатарзалгия [16]. J.G. Kennedy и соавт. [82] и M.P. Hahn и соавт. [36] также оценивали результаты интерпозиционной артропластики I ПФС как положительные, однако их оценка по шкале AOFAS была не очень высокой и составляла в среднем 78,4 и 77,8 соответственно. Систематический обзор результатов интерпозиционной артропластики показал, что данная методика позволяет улучшить тыльное сгибание I пальца, однако нередко встречаются различные осложнения [83]. L.M. Talarico и соавт. [84] в 2005 г. предложили использование аппарата наружной фиксации для дистракции I ПФС. Аппарат снимается через 6 нед после операции, по данным исследования, результаты хорошие, суставная щель и объем движений в I ПФС увеличиваются. Недостатками метода являются неудобство для пациента в послеоперационном периоде, а также риск инфицирования непосредственно из-за наличия дистракционного аппарата как «входных ворот» для инфекции.

У нетребовательных пожилых пациентов быстрое купирование болевого синдрома и короткий период восстановления обеспечивает артропластика по Келлеру (в европейской и отечественной литературе – по Келлеру–Брандесу). Данная операция заключается в резекции основания ПФПП, которая зачастую бывает довольно объемной, что может привести к значительному укорочению I пальца и развитию нестабильности в I ПФС [10, 11, 15, 36, 65, 88]. По данным И.А. Пахомова и соавт. [30], 40% пациентов, которым выполнена операция Келлера–Брандеса, не удовлетворены ее результатом вследствие рецидива болевого синдрома, параартикулярных костно-хрящевых разрастаний и формирования фиброзного анкилоза I ПФС, наблюдавшегося в 21 случае из 25. Довольно интересный вариант модифицированной артропластики по Келлеру – косую остеотомию ПФПП в сочетании с удалением дорсальных остеофитов головки ПК – предлагают R. Akgun и соавт. [35]. Применение данной техники позволило достичь относительно хороших результатов, однако окончательные выводы не позволяют сделать небольшая выборка и отсутствие контрольной группы [35]. Такую же технику, но с добавлением капсульной интерпозиции предлагают S.D. Miller и соавт. [81], M.P. Hahn и соавт. [36] и R.V. Maskey и соавт. [3]. При этом R.V. Maskey отмечает, что модифицированная интерпозиционная артропластика по Келлеру и артродез I ПФС дают похожие функциональные результаты, но артропластика в некоторой степени даже предпочтительнее, поскольку позволяет сохранять движения в суставе [3]. Однако другое исследование показало отсутствие статистически значимой разницы результатов модифицированной интерпозиционной артропластики и стандартной остеотомии по Келлеру [89], дающей зачастую, как отмечено выше, неудовлетворительный эффект.

G.C. Berlet и соавт. [87] для лечения поздних стадий hallux rigidus предложили вариант интерпозиционной артропластики I ПФС с использованием коллагеновой матрицы из человеческой трупной ткани. Они считают, что данный метод подходит для молодых активных пациентов. Операция заключается в выполнении косой модифицированной остеотомии ПФПП по Келлеру и укрывании головки I ПК коллагеновой матрицей GRAFTJACKET

Matrix, выполняющей роль интерпозиционного спейсера. Из вышеперечисленных данный метод выглядит наиболее перспективным, но необходимо изучение отдаленных результатов.

Еще один вид артропластики I ПФС, продемонстрировавший хорошие ближайшие результаты, но требующий изучения отдаленных функциональных результатов, был предложен E.L. DelaCruz и соавт. [85] – интерпозиционная артропластика с использованием менискового аллотрансплантата.

Несмотря на сообщения о хороших результатах интерпозиционной артропластики, согласно обзору, подготовленному G. Yee и соавт. [65], эффективность данного метода изучена пока недостаточно, что не позволяет рекомендовать его для широкого применения.

«Золотым стандартом» хирургического лечения поздних стадий OA I ПФС, позволяющим решить главную проблему hallux rigidus – купировать боль при движениях в данном суставе, считается артродез I ПФС [10, 23, 45, 90–98]. Безусловно, артродез целесообразно выполнять при запущенных стадиях, когда наблюдается выраженная деформация суставных поверхностей. В мире проведено много исследований, демонстрирующих высокую эффективность артродеза в избавлении пациентов от боли и восстановлении функции стопы [23, 65, 92–96]. Тем не менее исследователи указывают на то, что артродез не полностью возвращает нормальную биомеханику ходьбы [92]. Чаще всего артродез применяется при запущенных формах hallux valgus, однако D.J. van Doeselaar и соавт. [23] в исследовании показали одинаково высокую эффективность артродеза как при данной патологии, так и при hallux rigidus. Существует немало способов фиксации артродеза, причем некоторые авторы наиболее эффективный из них считают сочетание фиксации дорсальной пластиной и косо направленным винтом [90, 91, 94]. Другие исследователи успешно фиксировали артродез дорсальной пластиной Accutrak [93]. При этом обработка суставных поверхностей осуществлялась полусферически-ми римерами [90, 93, 94].

В последнее время также используются различные методики малоинвазивной хирургии стопы. Чрескожные модификации артродеза I ПФС считаются менее травматичными и позволяют ускорить процесс реабилитации пациентов [8, 37, 97, 98].

Гемиартропластика и тотальное эндопротезирование I ПФС используются уже более 60 лет [5]. С 1967 г. применялись силиконовые протезы, но послеоперационные результаты были неудовлетворительными, и от их использования отказались [11, 54]. В дальнейшем технология изготовления протезов менялась, результаты хирургического лечения улучшались. Тем не менее в настоящее время результаты эндопротезирования I ПФС зачастую остаются неудовлетворительными, в связи с чем данный способ хирургического лечения не может быть рекомендован как метод выбора [10, 15, 59, 60, 63, 65]. В частности, K.F. Konkel и соавт. [11, 38] сообщают о рецидивах формирования дорсальных остеофитов при гемиартропластике I ПФС в 68% случаев в течение 6 лет наблюдения. Авторы, анализируя среднесрочные результаты гемиартропластики основания ПФПП имплантом Futura, не рекомендуют использовать данный метод для лечения пациентов с 4-й стадией hallux rigidus [11, 14]. В 2005 г. R.S. Pulavarti и соавт. [99] изучали среднесроч-

ные результаты эндопротезирования I ПФС (наблюдение в течение 5 лет), при этом 23% пациентов не были удовлетворены результатами операции. Также S. Sihna и соавт. [63] после 5-летнего наблюдения пациентов, которым проводилось эндопротезирование I ПФС, вследствие частой несостоятельности компонентов решили в дальнейшем не использовать данный метод.

E. Seeber и J. Knessl [40] сообщали о необходимости ревизии у 11 из 52 пациентов после эндопротезирования I ПФС в течение 3 лет наблюдения в связи с такими осложнениями, как инфекция, асептическая нестабильность компонентов, хроническая боль и тугоподвижность I ПФС.

N.F. Nixon и G.J.S. Taylor [57] в течение 2–5 лет наблюдали пациентов после эндопротезирования I ПФС керамическими имплантатами Moje. В течение 26 мес наблюдения в 29% случаев потребовалась ревизия. В дальнейшем у 43% пациентов выявлены рентгенологические признаки расшатывания [57]. I.W. McGraw и соавт. [47] также приводят неудовлетворительные данные (расшатывание в 58% случаев) применения керамических эндопротезов Moje. M. Brewster и соавт. [49] имеют более положительное мнение о данных протезах, но и в их исследовании процент осложнений нельзя назвать низким (18,75%). По данным Y.H. Chee и соавт. [50], несмотря на то что 90% пациентов были удовлетворены операцией, 33% больных после хирургического лечения продолжали принимать анальгетические препараты и объем движений в суставе не был удовлетворительным. Соответственно, данные эндопротезы не могут быть рекомендованы для лечения ОА I ПФС.

P. Ess и соавт. [44] через 2 года после эндопротезирования I ПФС несвязанным титан-полиэтиленовым эндопротезом наблюдали удовлетворительные результаты всего у 60% пациентов. Авторы делают вывод, что данный метод может применяться у пациентов, ведущих неактивный образ жизни, и он не рекомендован для молодых людей и спортсменов [44].

Отдельный интерес представляют эндопротезы системы ToeFit-Plus. По данным E. Seeber и J. Knessl [40], разработчики эндопротеза ToeFit-Plus постарались учесть недостатки имеющихся имплантов I ПФС. Титановые конические основания компонентов эндопротеза, за счет которых увеличивается площадь соприкосновения с костью, направлены на обеспечение надежной бесцементной фиксации. Авторы анализируют данные трех исследований. E. Seeber отмечал, что в течение 42,7 мес наблюдения 5 из 64 (6,8%) пациентов после тотального эндопротезирования потребовалась ревизионная операция. После эндопротезирования амплитуда движений в I ПФС увеличилась. J. Knessl, в свою очередь, сообщил об увеличении среднего объема движений до 55° в сагиттальной плоскости у пациентов после гемиартропластики. Удаление протеза потребовалось у 25% пациентов при сроке наблюдения в 5,1 года, при этом расшатывания протезов не наблюдалось. После тотального эндопротезирования I ПФС объем движений увеличился до 58°. Ревизионная операция потребовалась в 16,7% случаев при сроке наблюдения 1,5 года. В третьем, мультицентровом исследовании, включавшем пациентов как после гемиартропластики, так и после тотального эндопротезирования, ревизионная операция проведена 21,2% из них при сроке наблюдения 3 года. В заключение авторы приходят к выводу, что конструкция эндопротезов

ToeFit-Plus позволяет улучшить стабильность импланта, ближайшие результаты операции оцениваются как положительные, однако необходимо изучение отдаленных результатов [40]. Тем не менее обращает на себя внимание довольно высокий процент ревизионных вмешательств. Также стоит отметить, что, по данным J. Knessl и соавт. [56], при использовании эндопротезирования I ПФС не всегда удается восстановить правильную биомеханику ходьбы.

S. Gupta и N. Mallya [54] изучали применение эндопротезов системы ToeFit-Plus при ОА I ПФС у 20 пациентов, срок наблюдения – 12 мес. После операции отмечалось значительное уменьшение боли, улучшение функции I ПФС; 90% пациентов были удовлетворены результатами лечения. Тем не менее авторы подчеркивают необходимость изучения отдаленных результатов для оценки выживаемости таких протезов [54].

Имеется опыт применения имплантов ToeFit-Plus в ревизионном эндопротезировании I ПФС. N. Guttek и соавт. [55] провели небольшое исследование, в котором 6 пациентам выполнено ревизионное эндопротезирование. За двухлетний срок наблюдения авторы отмечают хорошие результаты, однако у одного пациента во время операции произошел интраоперационный перелом ПФПП, потребовался остеосинтез. Учитывая очень небольшую выборку, сложно сделать полноценный вывод об эффективности ToeFit-Plus в качестве имплантов для ревизионных операций.

K. Daniilidis и соавт. [51] изучали влияние эндопротезирования I ПФС протезом ToeFit-Plus на спортивную активность и пришли к выводу, что в этом протезирование имеет преимущество над артродезом и позволяет вернуться к физической активности в 91,3% случаев. Рентгенологически расшатывание имплантов наблюдалось у 13% пациентов, что, однако, не коррелировало с клинической картиной. Тем не менее авторы отмечают, что уровень физической активности пациентов после операции ниже, чем до развития симптомов ОА I ПФС. В исследовании представлены ближайшие результаты, для более полной оценки необходимо дальнейшее наблюдение.

В 2013 г. O. Ergocak и соавт. [51] также изучали ближайшие функциональные результаты эндопротезирования I ПФС при hallux rigidus эндопротезами системы ToeFit-Plus. В период с декабря 2007 г. по январь 2011 г. прооперировано 24 пациента (26 стоп). Средний срок наблюдения – 29,9 мес. Удовлетворенность операцией и функция оценивались по шкале AOFAS, уровень боли – по визуальной аналоговой шкале (ВАШ). Средний счет по шкале AOFAS увеличился с 42,7 до 88,5, при этом боль уменьшилась с 7,4 до 1,9 см ВАШ, а средний объем движений в I ПФС увеличился с 25,9° до 53,8°. Рентгенологических признаков расшатывания не было, но у двух пациентов обнаружен остеолит. На протяжении периода наблюдения ревизионных операций не потребовалось [41]. Результаты данного исследования, безусловно, удовлетворительные, однако длительность наблюдения невелика и при необходимости ревизионной операции методом выбора остается артродез I ПФС.

В 2016 г. M.D. Johnson и M.E. Brage [38] проанализировали результаты применения тотального эндопротезирования I ПФС в США. В первом рандомизированном контролируемом исследовании сравнивались результаты

артродеза и тотального эндопротезирования I ПФС. В течение 2 лет наблюдения 28,2% пациентов после эндопротезирования I ПФС потребовалась ревизионная операция. Артродез I ПФС обеспечивал лучшую функцию и более значительное уменьшение боли. Во втором исследовании сравнивались гемиартропластика, тотальное эндопротезирование и артродез I ПФС. Результаты гемиартропластики и тотального эндопротезирования I ПФС не различались, но артродез I ПФС давал более благоприятный эффект. Дополнительные исследования показали, что пациенты-спортсмены после эндопротезирования I ПФС испытывали трудности с возвращением к профессиональной деятельности. Авторы считают, что тотальное эндопротезирование I ПФС – развивающийся метод лечения hallux rigidus, однако в связи с частым расшатыванием имплантов и развитием остеолиза данный метод стали применять реже. В настоящее время начали использовать новые импланты, имеющие адаптированную нагружаемую поверхность, и принципы фиксации, схожие с применяемыми при эндопротезировании тазобедренного и коленного суставов, но на данный момент проведено недостаточно исследований, посвященных отдаленным результатам использования данных имплантов.

Изучение гемиартропластики (поверхностное эндопротезирование) шло параллельно с совершенствованием систем эндопротезов и интересовало авторов в первую очередь из-за меньшей инвазивности и минимального объема костной резекции. K.F. Konkkel и A.G. Menger [15] провели исследование результатов поверхностного эндопротезирования основания ПФПП титановым имплантом Swanson. В течение 2,5 года наблюдения из 12 пациентов только одному потребовалась ревизионная операция, однако при изучении послеоперационных рентгенограмм во всех случаях выявлялись признаки остеолиза той или иной степени выраженности [15]. С.Т. Hasselman и N. Shields [45] сообщают о хороших ближайших результатах гемиартропластики головки I ПК имплантом NemiCAP, но отдаленные результаты не оценивались. Авторы указывают на возможность развития таких осложнений, как инфицирование, скованность в суставе и персистирующая боль. С. Sorbie и G.A. Saunders [2] также сообщают о хороших ближайших и среднесрочных результатах гемиартропластики ПФПП кобальт-хромовым имплантом Trihedron, но необходимость в дальнейшем наблюдении все же остается. Положительный опыт применения гемиартропластики как головки I ПК, так и основания ПФПП имеют также и другие исследователи [46, 100]. К примеру, W.S. Tarapow и соавт. [61] сообщали о 95,3% хороших и отличных результатов, при этом период наблюдения составил от 10 мес до 9 лет.

Стоит отметить, что при hallux rigidus часто имеет место хрящевой дефект головки I ПК и при гемиартропластике основания ПФПП данный факт игнорируется.

Имеется довольно противоречивый опыт применения комбинации гемиартропластики и дистальной косой остеотомии I ПК. P. Ronconi и соавт. [58] сообщают о неудовлетворенности операцией 23,8% пациентов, при этом более чем у половины исследуемых больных выявлены рентгенологические признаки нестабильности имплантов.

М. Erdil и соавт. [5] сравнивали функциональные результаты артродеза, гемиартропластики с протезиро-

ванием суставной поверхности головки I ПК и тотальным эндопротезированием I ПФС у пациентов с поздними стадиями hallux rigidus. Результаты оценивались по шкале AOFAS для плюснефалангового и межфалангового суставов I пальца (Hallux Metatarsophalangeal Interphalangeal – AOFAS-HMI), динамике боли и объему движений в I ПФС. Во всех трех группах отмечено улучшение по шкале AOFAS-HMI и уменьшение боли по ВАШ. По шкале AOFAS-HMI не было выявлено значительной разницы между гемиартропластикой и эндопротезированием I ПФС. Однако показатели AOFAS-HMI после артродеза были хуже в связи с отсутствием движений в I ПФС. Динамика боли после гемиартропластики и эндопротезирования I ПФС была одинаковой, в то время как после артродеза I ПФС отмечалось более выраженное уменьшение боли. Ни в одной из групп не наблюдалось развития серьезных осложнений. Тем не менее в группе после тотального эндопротезирования в раннем послеоперационном периоде выявлен случай инфицирования поверхностных мягких тканей. Также у одного пациента из этой группы диагностирован перелом плюсневой кости без смещения. У двух-трех пациентов в каждой группе наблюдалась умеренная метатарзалгия. Симптоматику удалось купировать за счет подбора подходящей обуви. У одного пациента наблюдалась замедленная консолидация артродеза, но на пятом месяце после операции артродез состоялся без дополнительного хирургического вмешательства. Между тремя группами пациентов статистически значимой разницы в частоте возникновения осложнений не выявлено. Авторы считают, что артродез продолжает оставаться наиболее надежным методом хирургического лечения, однако эндопротезирование I ПФС является хорошей альтернативой при лечении поздних стадий hallux rigidus. Тем не менее стоит отметить, что в данном исследовании не оценивались отдаленные результаты гемиартропластики и эндопротезирования I ПФС (средний срок наблюдения – 2 года), что не позволяет в полном объеме оценить эффективность вышеуказанных методов.

A.J.N. Gibson и соавт. [53] в рандомизированном контролируемом исследовании сравнивали результаты артродеза и эндопротезирования I ПФС при hallux rigidus. Авторы пришли к выводу, что после артродеза результаты лучше и, даже если не учитывать данные о нередкой необходимости в ревизионных операциях, пациенты отдавали предпочтение первому варианту. M. Brewster [48] в систематическом обзоре литературы показал, что артродез позволяет достичь более благоприятных функциональных результатов, чем эндопротезирование. При этом автор надеется, что дальнейшая разработка более анатомически правильных имплантов позволит данному методу занять лидирующие позиции [48, 62].

Е. Cook и соавт. [42] провели метаанализ 47 исследований. При сроке наблюдения 61,5 мес от 85 до 95% пациентов были удовлетворены операцией (результаты в группе артродеза лучше). При этом, несмотря на то что после артродеза степень удовлетворенности пациентов была выше, более хороших функциональных результатов благодаря разработке имплантов нового поколения удалось достичь при помощи эндопротезирования.

В другом исследовании наблюдались пациенты, которым была выполнена 21 гемиартропластика и 27 артродезов со средним периодом наблюдения 79,4 мес. Динами-

ка боли, AOFAS и степень удовлетворенности были лучше после артрореза [43]. В течение 2 лет наблюдения ревизия потребовалась в 23,8% случаев, и авторы пришли к выводу, что артрорез является более надежным методом избавления от боли и восстановления функции, чем гемиартропластика.

Исходя из анализа литературы, проведенного D.S. McNeil и соавт. [1], имеются достаточные доказательства (уровень В) в поддержку артрореза как способа лечения hallux rigidus. Недостаточные доказательства эффективности (уровень С) имеют такие методы, как хейлэктомия, остеотомия, эндопротезирование I ПФС, резекционная и интерпозиционная артропластика. Наименьший уровень доказанности эффективности в лечении hallux rigidus имеет сочетание хейлэктомии с остеотомией. Также, по данным G. Yee и соавт. [65], недостаточно доказательств эффективности имеет гемиартропластика I ПФС. В свою очередь, M.J. Coughlin и P.S. Shurnas [20], разработавшие клинично-рентгенологическую классификацию hallux rigidus, провели анализ отдаленных результатов хейлэктомии и артрореза I ПФС, выполненных в период с 1981 по 1999 г. Наблюдалось значительное улучшение тыльного сгибания и общего объема движений в I ПФС после хейлэктомии и выраженное уменьшение боли и улучшение по шкале AOFAS в обеих группах. Авторы приходят к выводу, что для 1-й, 2-й и некоторых случаев 3-й стадии hallux rigidus подходящим методом является хейлэктомия, для 4-й и 3-й стадии при отсутствии более 50% суставного хряща – артрорез I ПФС [20]. Однако обращает на себя внимание достаточно ограниченный спектр операций, представленных в данном исследовании и применявшихся в то время.

Анализ результатов вышеуказанных исследований показал, что на сегодняшний день нет однозначного мнения относительно хирургического лечения OA I ПФС, а «золотым стандартом» остается артрорез I ПФС. Однако, в связи с тем что, помимо людей старше 50 лет [10], OA I ПФС нередко страдают и более молодые пациенты, особенно женщины трудоспособного возраста, а также учитывая положительное мнение авторов, изучавших эффективность различных видов артропластики I ПФС [16, 36, 81, 82, 85, 87], на наш взгляд, наиболее щадящим и перспективным вариантом суставосберегающих операций является хейлэктомия с хондропластикой I ПФС, позволяющая восстановить безболезненные движения в суставе, при этом не изменяя анатомию стопы. Хондропластика методом аутологичного матрикс-индуцированного хондрогенеза (Autologous Matrix Induced Chondrogenesis – AMIC®) описана при наличии дефектов хряща в коленном, тазобедренном и голеностопном суставах [28, 101–103]. Описание хондропластики I ПФС методом AMIC не встречается ни в отечественной, ни в зарубежной литературе.

AMIC – малоинвазивный одноэтапный биологический метод восстановления хряща, заключающийся в использовании способности мезенхимальных стволовых клеток к регенеративным процессам. AMIC может быть использован при наличии хрящевых дефектов размером >2 см² и занимающих всю толщину хряща до субхондральной кости. Во время операции участки поврежденного хряща удаляются. После этого при помощи спицы или шила производится микрофрактурирование кортикального слоя субхондральной кости. Затем обработанный участок укры-

вается двуслойной коллагеновой матрицей. Через перфорации в субхондральной кости элементы костного мозга, включая полипотентные мезенхимальные прогениторные (стволовые) клетки, цитокины и факторы роста, проникают в зону дефекта и формируют сгусток, который стабилизируется и защищается коллагеновой матрицей. Таким образом создаются условия для дифференцировки мезенхимальных клеток и образования новой гиалиноподобной ткани [104]. Матрица фиксируется при помощи фибринового клея или тонкого шовного материала [28, 101–103, 105, 106].

Разработчиками AMIC указаны следующие показатели к применению данной методики: хондральные и остеохондральные поражения III–IV степени по Оутербриджу; площадь дефекта 2,0–8,0 см² (для голеностопного сустава – от 1,0 см²); наличие не более двух дефектов; неповрежденный окружающий хрящ; неповрежденный хрящ на противоположной суставной поверхности (максимально допустимая степень поражения – II); первичная или ревизионная операция. В качестве противопоказаний к AMIC обозначаются такие факторы, как наличие более двух дефектов хряща или дефекты хряща на противоположной суставной поверхности (так называемые «целующиеся дефекты»); метаболические артропатии; хронические системные воспалительные и иммунные заболевания или инфекции; нестабильность сустава; выраженные осевые нарушения; гемофилия A/B; аллергия на свиной коллаген; возраст пациента до 18 лет; индекс массы тела >30 [28, 101–103].

Как указывалось выше, AMIC описан при наличии дефектов хряща в коленном, тазобедренном и голеностопном суставах [28, 101–103]. Операцию на коленном суставе можно выполнять как артроскопически, так и открытым малоинвазивным доступом [101, 102]. В ряде исследований были получены положительные результаты применения данной методики [105, 106]. При операции на тазобедренном суставе применяется артроскопическая техника [103]. A. Fontana [107] сообщает о высокой эффективности данного малоинвазивного метода в лечении локальных хрящевых дефектов головки бедренной кости. Что касается голеностопного сустава, то в данном случае на первом этапе применяется артроскопия для выявления возможной нестабильности связочного аппарата и для определения локализации и размеров остеохондральных поражений. Вторым этапом выполняется артротомия переднемедиальным или переднелатеральным доступом, в зависимости от расположения зоны дефекта [28]. M. Wielowsky и соавт. [108] ближайшие послеоперационные результаты оценивают как положительные.

В раннем послеоперационном периоде важно держать оперированную конечность в возвышенном положении, использовать криотерапию и обезболивание нестероидными противовоспалительными препаратами, а также препараты низкомолекулярного гепарина с целью профилактики тромбообразования [28, 101–103].

Полная нагрузка и полный объем движений в коленном суставе допустимы в среднем через 6 нед после операции [101, 102], в тазобедренном – через 7 нед [103], в голеностопном суставе – через 3 мес (в связи с необходимостью выполнения остеосинтеза медиальной или латеральной лодыжки в зависимости от выбранного доступа) [28]. Таким образом, послеоперационное восстановление происходит в довольно короткие сроки.

Заключение

Существует множество вариантов оперативного лечения hallux rigidus, однако общего подхода к определению хирургической тактики до сих пор не разработано. Большинство хирургов предпочитают использовать наиболее надежный и проверенный метод – артродез I ПФС. Недостатки имеющихся способов стимулируют к поиску новых решений. Хондропластика I ПФС с помощью AMIC представляется довольно перспективным выбором за счет малоинвазивности, небольших сроков послеоперационного восстановления и сохранения анатомии сто-

пы. Необходимо дальнейшее изучение особенностей данного направления.

Прозрачность исследования

Исследование не имело спонсорской поддержки. Автор несет полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

Декларация о финансовых и других взаимоотношениях

Окончательная версия рукописи была одобрена автором. Автор не получал гонорар за статью.

ЛИТЕРАТУРА

- 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
- Sorbie C, Saunders GA. Hemiarthroplasty in the treatment of hallux rigidus. *Foot Ankle Int.* 2008;29:273-81. doi: 10.3113/FAI.2008.0273
- 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
- Бобров ДС, Слияков ЛЮ, Ченский АД и др. Деформирующий остеоартроз первого плюснефалангового сустава, или ригидный I палец стопы: клиника, диагностика и лечение (аналитический обзор литературы). Кафедра травматологии и ортопедии. 2014;2(10):5-13 [Bobrov DS, Slinyakov LYu, Chenskiy AD, et al. Deforming osteoarthritis of the first metatarsophalangeal joint, or rigid first finger of the foot: clinic, diagnosis and treatment (analytical review of literature). *Kafedra Travmatologii i Ortopedii.* 2014;2(10):5-13 (In Russ.)].
- 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.fas.2013.03.014
- Davies-Colley M. Contraction of the metatarsophalangeal joint of the great toe. *BMJ.* 1887;1:728.
- Cotteril JM. Stiffness of the great toe in adolescents. *BMJ.* 1888;1:158.
- Бережной СЮ. Артроз первого плюснефалангового сустава: чересочное оперативное лечение, выбор хирургической методики, клинико-рентгенологическая классификация. Травматология и ортопедия России. 2017;(1):8-22 [Bereznoy 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
- 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
- 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
- Konkel KF, Menger AG, Retzlaff SA. Results of Metallic Hemi-Great Toe Implant for Grade III and Early Grade IV Hallux Rigidus. *Foot Ankle Int.* 2009;30:653. doi: 10.3113/FAI.2009.0653
- Hamilton WG, O'Malley MJ, Thompson FM, Kovats PE. Capsular interposition arthroplasty for severe hallux rigidus. *Foot Ankle Int.* 1997;18:68-70. doi: 10.1177/107110079701800204
- Gould N. Hallux rigidus: cheilotomy or implant? *Foot Ankle.* 1981;1:315-20. doi: 10.1177/107110078100100603
- Konkel KF, Menger AG, Retzlaff SA. Mid-term results of Futura hemi-great toe implants. *Foot Ankle Int.* 2008;29(8):831-7. doi: 10.3113/FAI.2008.0831
- Konkel KF, Menger AG. Mid-term results of titanium hemigreat toe implants. *Foot Ankle Int.* 2006;27:922-9. doi: 10.1177/107110070602701110
- Coughlin MJ, Shurnas PJ. Soft-tissue arthroplasty for hallux rigidus. *Foot Ankle Int.* 2003;24:661-72. doi: 10.1177/107110070302400902
- Кавалерский ГМ, Сорокин АА, Прохорова МЮ. Эндопротезирование первого плюснефалангового сустава как один из методов лечения Hallux rigidus. Московский хирургический журнал. 2013;(4):59-62 [Kavalerskiy GM, Sorokin AA, Prokhorova MYu. Endoprosthetics of the first metatarsophalangeal joint as one of the treatment methods for Hallux rigidus. *Moskovskiy Khirurgicheskiy Zhurnal.* 2013;(4):59-62 (In Russ.)].
- Coughlin MJ, Shurnas PS. Hallux rigidus: demographics, etiology and radiographic assessment. *Foot Ankle Int.* 2003;24(10):731-43. doi: 10.1177/107110070302401002
- Malerba F, Milani R, Sartorelli E, Haddo O. Distal oblique first metatarsal osteotomy in grade 3 hallux rigidus: a longterm followup. *Foot Ankle Int.* 2008;29:677-82. doi: 10.3113/FAI.2008.0677
- Coughlin MJ, Shurnas PS. Hallux rigidus: grading and long-term results of operative treatment. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85A:2072-88. doi: 10.2106/00004623-200311000-00003
- Maffulli N, Papalia R, Palumbo A, et al. Quantitative review of operative management of hallux rigidus. *Br Med Bull.* 2011;98:75-98. doi: 10.1093/bmb/ldq041
- Цзяньлиуань Мо, Ригин НВ, Бобров ДС, Слияков ЛЮ. Анкеты и шкалы для оценки состояния стопы и голеностопного сустава. Кафедра травматологии и ортопедии. 2016;4(20):5-11 [Tszyan'liuyan' Mo, Rigin NV, Bobrov DS, Slinyakov LYu. Questionnaires and scales for assessing the condition of the foot and ankle. *Kafedra Travmatologii i Ortopedii.* 2016;4(20):5-11 (In Russ.)].
- Van Doeselaar DJ, Heesterbeek PJ, Louwerens JW, Swierstra BA. Foot function after fusion of the first metatarsophalangeal joint. *Foot Ankle Int.* 2010;31:670-5. doi: 10.3113/FAI.2010.0670
- SooHoo NF, Samimi DB, Vyas RM, et al. Evaluation of the validity of the Foot Function Index in measuring outcomes in patients with foot and ankle disorders. *Foot Ankle Int.* 2006;27:38-42. doi: 10.1177/107110070602700107
- Lapidus PW. «Dorsal bunion»: its mechanics and operative correction. *J Bone Joint Surg.* 1940;22:627-37.
- Goodfellow J. Aetiology of hallux rigidus. *Proc R Soc Med.* 1966;59:821-4.
- McMaster MJ. The pathogenesis of hallux rigidus. *J Bone Joint Surg Br.* 1978;60:82-7. doi: 10.1302/0301-620X.60B1.627584
- Geistlich Surgery. Chondro-Gide®. AMIC® Talus.
- Solan MC, Calder JD, Bendall SP. Manipulation and injection for hallux rigidus. Is it worthwhile? *J Bone Joint Surg Br.* 2001;83(5):706-8. doi: 10.1302/0301-620X.83B5.11425
- Пахомов ИА, Прохоренко ВМ, Садовой МА. Хирургическое лечение Hallux rigidus. Гений ортопедии. 2008;(3):86-90 [Pakhomov IA, Prokhorenko VM, Sadovoy MA. Surgery of Hallux rigidus. *Geniy Ortopedii.* 2008;(3):86-90 (In Russ.)].

31. Pons M, Alvarez F, Solana J, et al. Sodium Hyaluronate in the treatment of hallux rigidus. A single-blind, randomized study. *Foot Ankle Int.* 2007;28:38-42. doi: 10.3113/FAI.2007.0007
32. Grady JF, Axe TM, Zager EJ, Sheldon LA. A retrospective analysis of 772 patients with hallux limitus. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2002;92:102-8. doi: 10.7547/87507315-92-2-102
33. Мазалов АВ, Загородний НВ, Процко ВГ и др. Хирургическое лечение тяжелого (2–3 степени) деформирующего артроза первого плюснефалангового сустава: задачи, подходы, техника. *Травматология и ортопедия России.* 2011;(4):69-76 [Mazalov AV, Zagorodniy NV, Protsko VG, et al. Surgical treatment of severe (2–3 degrees) deforming arthrosis of the first metatarsophalangeal joint: tasks, approaches, technique. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii.* 2011;(4):69-76 (In Russ.)].
34. Polzer H, Polzer S, Brumann M. Hallux rigidus: joint preserving alternatives to arthrodesis – a review of the literature. *World J Orthop.* 2014;5(1):6-13. doi: 10.5312/wjo.v5.i1.6
35. Can Akgun R, Sahin O, Demirors H, Cengiz Tuncay I. Analysis of modified oblique Keller procedure for severe hallux rigidus. *Foot Ankle Int.* 2008;29:1203-8. doi: 10.3113/FAI.2008.1203
36. Hahn MP, Gerhardt N, Thordarson DB. Medial capsular interpositional arthroplasty for severe hallux rigidus. *Foot Ankle Int.* 2009;30:494-9. doi: 10.3113/FAI.2009.0494
37. Mesa-Ramos M, Mesa-Ramos F, Carpintero P. Evaluation of the treatment of hallux rigidus by percutaneous surgery. *Acta Orthop Belg.* 2008;74:222-6.
38. Johnson MD, Brage ME. Total Toe Replacement in the United States. What Is Known and What Is on the Horizon. *Foot Ankle Clin N Am.* 2016;21:249-66. doi: 10.1016/j.fcl.2016.01.004
39. Lange J, Merk H, Barz T, et al. Titanium arthroplasty with ToeFit-Plus for the hallux metatarsophalangeal joint. *Z Orthop Unfall.* 2008;146(5):609-15. doi: 10.1055/s-2008-1038462
40. Seeber E, Knessl J. Treatment of hallux rigidus with the ToeFit-Plus joint replacement system. *Interact Surg.* 2007;2:77-85. doi: 10.1007/s11610-007-0013-y
41. Erkocak O, Senaran H, Altan E, et al. Short-Term Functional Outcomes of First Metatarsophalangeal Total Joint Replacement for Hallux Rigidus. *Foot Ankle Int* 2013;34:1569. doi: 10.1177/1071100713496770
42. Cook E, Cook J, Rosenblum B, et al. Meta-analysis of first metatarsophalangeal joint implant arthroplasty. *J Foot Ankle Surg.* 2009;48:180-90. doi: 10.1053/j.jfas.2008.10.009
43. Raikin SM, Ahmad J, Pour AE, Abidi N. Comparison of arthrodesis and metallic hemiarthroplasty of the hallux metatarsophalangeal joint. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:1979-85.
44. Ess P, Hamalainen M, Leppilahti J. Non-constrained titanium-polyethylene total endoprosthesis in the treatment of hallux rigidus: a prospective clinical 2-year follow-up study. *Scand J Surg.* 2002;91:202-7. doi: 10.1177/145749690209100213
45. Hasselmann CT, Shields N. Resurfacing of the first metatarsal head in the treatment of hallux rigidus. *Tech Foot Ankle Surg.* 2008;7:31-40. doi: 10.1097/BTF.0b013e318165c356
46. Carpenter B, Smith J, Motley T, Garrett A. Surgical treatment of hallux rigidus using a metatarsal head resurfacing implant: mid-term follow-up. *J Foot Ankle Surg.* 2010;49:321-5. doi: 10.1053/j.jfas.2010.04.007
47. McGraw IW, Jameson SS, Kumar CS. Mid-term results of the Moje hallux MP joint replacement. *Foot Ankle Int.* 2010;31:592-9. doi: 10.3113/FAI.2010.0592
48. Brewster M. Does total joint replacement or arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint yield better functional results? A systematic review of the literature. *J Foot Ankle Surg.* 2010;49(6):546-52. doi: 10.1053/j.jfas.2010.07.003
49. Brewster M, McArthur J, Mauffrey C, et al. Moje first metatarsophalangeal replacement – a case series with functional outcomes using the AOFAS-HMI score. *J Foot Ankle Surg.* 2010;49(1):37-42. doi: 10.1053/j.jfas.2009.08.009
50. Chee YH, Clement N, Ahmed I, et al. Functional outcomes following ceramic total joint replacement for hallux rigidus. *Foot Ankle Surg.* 2011;17(1):8-12. doi: 10.1016/j.fas.2009.11.005
51. Daniilidis K, Martinelli N, Marinozzi A, et al. Recreational sport activity after total replacement of the first metatarsophalangeal joint: a prospective study. *Int Orthop.* 2010;34(7):973-9. doi: 10.1007/s00264-009-0935-6
52. Dawson-Bowling S, Adimonye A, Cohen A, et al. MOJE ceramic metatarsophalangeal arthroplasty: disappointing clinical results at two to eight years. *Foot Ankle Int.* 2012;33(7):560-4. doi: 10.3113/FAI.2012.0000
53. Gibson AJN, Thomson CE. Arthrodesis or total replacement arthroplasty for hallux rigidus: a randomized controlled trial. *Foot Ankle Int.* 2005;26(9):680-90. doi: 10.1177/107110070502600904
54. Gupta S, Mallya N. TOEFIT-PLUS™ replacement of the first metatarsophalangeal joint of the first toe: A short-term follow-up study. *Foot.* 2008;18(1):20-4. doi: 10.1016/j.foot.2007.07.001
55. Gutteck N, Lebek S, Wohlrab D, et al. Treatment of aseptic loosened MTPI prosthesis by one-stage revision with ToeFit-Plus™ prosthesis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133(1):11-4. doi: 10.1007/s00402-012-1630-4
56. Knessl J, Frank SE, Kundert HP, et al. Ground reaction forces under the great toe after implantation of the TOEFIT-PLUS™ prosthesis. *Foot Ankle Surg.* 2005;11(3):131-4. doi: 10.1016/j.fas.2005.03.001
57. Nixon NF, Taylor GJS. Early failure of the Moje implant when used to treat hallux rigidus: the need for regular surveillance. *Foot.* 2008;18:1-6. doi: 10.1016/j.foot.2007.05.002
58. Ronconi P, Martinelli N, Cancellieri F, et al. Hemiarthroplasty and distal oblique first metatarsal osteotomy for hallux rigidus. *Foot Ankle Int.* 2011;32(2):148-52. doi: 10.3113/FAI.2011.0148
59. Sullivan MR. Hallux rigidus: MTP implant arthroplasty. *Foot Ankle Clin.* 2009;14:33-42. doi: 10.1016/j.fcl.2008.11.009
60. Deheer PA. The case against first metatarsal phalangeal joint implant arthroplasty. *Clin Podiatr Med Surg.* 2006;23:709-23. doi: 10.1016/j.cpm.2006.08.001
61. Taranow WS, Moutsatson MJ, Cooper JM. Contemporary approaches to stage II and III hallux rigidus: the role of metallic hemiarthroplasty of the proximal phalanx. *Foot Ankle Clin.* 2005;10(4):713-28. doi: 10.1016/j.fcl.2005.06.011
62. Кавалерский ГМ, Ченский АД, Сорокин АА, Прохорова МЮ. Эндопротезирование первого плюснефалангового сустава при hallux rigidus. Кафедра травматологии и ортопедии. 2014;1(9):7-9 [Kavalerskiy GM, Chenskiy AD, Sorokin AA, Prokhorova MYu. Endoprosthetics of the first metatarsophalangeal joint with hallux rigidus. *Kafedra Travmatologii i Ortopedii.* 2014;1(9):7-9 (In Russ.)].
63. Sinha S, McNamara P, Bhatia M, et al. Survivorship of the bio-action metatarsophalangeal joint arthroplasty for hallux rigidus: 5-year follow-up. *Foot Ankle Surg.* 2010;16:25-7. doi: 10.1016/j.fas.2009.04.002
64. Асратян ДА, Львов СЕ, Рослова ЭП. Способ хирургического лечения деформирующего артроза I плюснефалангового сустава. Гений ортопедии. 2008;(4):131-4 [Asratyan DA, L'vov SE, Roslova EP. Method of surgical treatment of deforming arthrosis I metatarsophalangeal joint. *Geniy Ortopedii.* 2008;(4):131-4 (In Russ.)].
65. Yee G, Lau J. Current concepts review: hallux rigidus. *Foot Ankle Int.* 2008;29:637-46. doi: 10.3113/FAI.2008.0637
66. Waizy H, Czardybon MA, Stukenborg-Colsman C, et al. Mid and long-term results of the joint preserving therapy of hallux rigidus. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2010;130:165-70. doi: 10.1007/s00402-009-0857-1
67. Schnirring-Judge M, Hehemann D. The cheilectomy and its modifications. *Clin Podiatr Med Surg.* 2011;28:305-27. doi: 10.1016/j.cpm.2011.03.004
68. Canseco K, Long J, Marks R, et al. Quantitative motion analysis in patients with hallux rigidus before and after cheilectomy. *J Orthop Res.* 2009;27:128-34. doi: 10.1002/jor.20711
69. Seibert NR, Kadakia AR. Surgical management of hallux rigidus: cheilectomy and osteotomy (phalanx and metatarsal). *Foot Ankle Clin.* 2009;14:9-22. doi: 10.1016/j.fcl.2008.11.002

70. Grady JF, Axe TM. The modified Valenti procedure for the treatment of hallux limitus. *J Foot Ankle Surg.* 1994;33:365-7.
71. Olms K, Grady J, Schulz A. The Valenti resection arthroplasty in the treatment of advanced hallux rigidus. *Oper Orthop Traumatol.* 2008;20(6):492-9. doi: 10.1007/s00064-008-1505-6
72. Kurtz DH, Harrill JC, Kaczander BI. The Valenti procedure for hallux limitus; a long-term follow-up and analysis. *J Foot Ankle Surg.* 1999;38:123-30. doi: 10.1016/S1067-2516(99)80023-4
73. Becher C, Kilger R, Thermann H. Results of cheilectomy and additional microfracture technique for the treatment of hallux rigidus. *J Foot Ankle Surg.* 2005;3:155-60. doi: 10.1016/j.fas.2005.06.001
74. Dermer R, Goss K, Postowski HN, Parsley N. A plantarflexor-shortening osteotomy for hallux rigidus: a retrospective analysis. *J Foot Ankle Surg.* 2005;44:377-89. doi: 10.1053/j.jfas.2005.07.010
75. Freeman BL, Hardy MA. Multiplanar phalangeal and metatarsal osteotomies for hallux rigidus. *Clin Podiatr Med Surg.* 2011;28:329-44. doi: 10.1016/j.cpm.2011.03.002
76. Бобров ДС, Слияков ЛЮ, Сухарева АГ и др. Хирургическое лечение перегрузочной метатарзалгии. Московский хирургический журнал. 2014;3(37):16-8 [Bobrov DS, Slinyakov LYu, Sukhareva AG, et al. Surgical treatment of reloading metatarsalgia. *Moskovskiy Khirurgicheskiy Zhurnal.* 2014;3(37):16-8 (In Russ.)].
77. Feldman KA. The Green-Waterman procedure: geometric analysis and preoperative radiographic template technique. *J Foot Surg.* 1992;31:182-5.
78. Gonzalez J, Garrett P, Jordan J, Reilly C. The modified Hohmann osteotomy: an alternative joint salvage procedure for hallux rigidus. *J Foot Ankle Surg.* 2004;43(6):380-8. doi: 10.1053/j.jfas.2004.09.007
79. Roukis TS. Clinical outcomes after isolated periarticular osteotomies of the first metatarsal for hallux rigidus: a systematic review. *J Foot Ankle Surg.* 2010;49(6):553-60. doi: 10.1053/j.jfas.2010.08.014
80. Roukis TS. Outcomes after cheilectomy with phalangeal dorsiflexory osteotomy for hallux rigidus: a systematic review. *J Foot Ankle Surg.* 2010;49:479-87. doi: 10.1053/j.jfas.2010.05.006
81. Miller D, Maffulli N. Free gracilis interposition arthroplasty for severe hallux rigidus. *Bull Hosp Jt Dis.* 2005;62:121-4.
82. Kennedy JG, Chow FY, Dines J, et al. Outcomes after interpositional arthroplasty for treatment of hallux rigidus. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;445:210-5.
83. Roukis TS. Outcome following autogenous soft tissue interpositional arthroplasty for end-stage hallux rigidus: a systematic review. *J Foot Ankle Surg.* 2010;49:475-8. doi: 10.1053/j.jfas.2010.02.014
84. Talarico LM, Vito GR, Goldstein L, Perler AD. Management of hallux limitus with distraction of the first metatarsophalangeal joint. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2005;95:121-9. doi: 10.7547/0950121
85. DelaCruz EL, Johnson AR, Clair BL. First metatarsophalangeal joint interpositional arthroplasty using a meniscus allograft for the treatment of advanced hallux rigidus: surgical technique and short-term results. *Foot Ankle Spec.* 2011;4:157-64. doi: 10.1177/1938640011402821
86. Miller SD. Interposition resection arthroplasty for hallux rigidus. *Tech Foot Ankle Surg.* 2004;3:158-64. doi: 10.1097/01.btf.0000135271.60598.d5
87. Berlet GC, Hyer CF, Lee TH, et al. Interpositional arthroplasty of the first MTP joint using a regenerative tissue matrix for the treatment of advanced hallux rigidus. *Foot Ankle Int.* 2008;29:10-21. doi: 10.3113/FAI.2008.0010
88. Lau JT, Daniels TR. Outcomes following cheilectomy and interpositional arthroplasty in hallux rigidus. *Foot Ankle Int.* 2001;22:462-70. doi: 10.1177/107110070102200602
89. Schenk S, Meizer R, Kramer R, et al. Resection arthroplasty with and without capsular interposition for treatment of severe hallux rigidus. *Int Orthop.* 2009;33:145-50. doi: 10.1007/s00264-007-0457-z
90. Goucher NR, Coughlin MJ. Hallux metatarsophalangeal joint arthrodesis using dome shaped reamers and dorsal plate fixation: a prospective study. *Foot Ankle Int.* 2006;27:869-76. doi: 10.1177/107110070602701101
91. Polit J, John H, Njus G, et al. First metatarsal-phalangeal joint arthrodesis: a biomechanical assessment of stability. *Foot Ankle Int.* 2003;24:332-7. doi: 10.1177/107110070302400405
92. DeFrino PF, Brodsky JW, Pollo FE, et al. First metatarsophalangeal arthrodesis: a clinical, pedobarographic and gait analysis study. *Foot Ankle Int.* 2002;23:496-502. doi: 10.1177/107110070202300605
93. Bennett GL, Sabetta J. First metatarsophalangeal joint arthrodesis: evaluation of plate and screw fixation. *Foot Ankle Int.* 2009;30:752-7. doi: 10.3113/FAI.2009.0752
94. Ellington JK, Jones CP, Cohen BE, et al. Review of 107 hallux MTP joint arthrodesis using dome-shaped reamers and a stainless-steel dorsal plate. *Foot Ankle Int.* 2010;31:385-90. doi: 10.3113/FAI.2010.0385
95. Ettl V, Radke S, Gaertner M, Walther M. Arthrodesis in the treatment of hallux rigidus. *Int Orthop.* 2003;27:382-5. doi: 10.1007/s00264-003-0492-3
96. Brodsky JW, Baum BS, Pollo FE, Mehta H. Prospective gait analysis in patients with first metatarsophalangeal joint arthrodesis for hallux rigidus. *Foot Ankle Int.* 2007;28:162-5. doi: 10.3113/FAI.2007.0162
97. Fanous RN, Ridgers S, Sott AH. Minimally invasive arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint for hallux rigidus. *Foot Ankle Surg.* 2014;20(3):170-3. doi: 10.1016/j.fas.2014.03.004
98. Bauer T, Lortat-Jacob A, Hardy P. First metatarsophalangeal joint percutaneous arthrodesis. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2010;96(5):567-73. doi: 10.1016/j.otsr.2010.01.011
99. Pulavarti RS, McVie JL, Tulloch CJ. First metatarsophalangeal joint replacement using the Bio-Action great toe implant: intermediate results. *Foot Ankle Int.* 2005;26:1033-7. doi: 10.1177/107110070502601206
100. Giza E, Sullivan M, Ocel D, et al. First metatarsophalangeal hemiarthroplasty for hallux rigidus. *Int Orthop.* 2010;34(8):1193-8. doi: 10.1007/s00264-010-1012-x
101. Geistlich Biomaterials. AMIC®. Chondro-Gide®. Cartilage Regeneration. Professional Information.
102. Geistlich Surgery. Chondro-Gide®. AMIC® Knee Technique.
103. Geistlich Surgery. Chondro-Gide®. AMIC® Arthroscopic Hip Technique.
104. 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
105. 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
106. 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
107. Fontana A. A Novel Technique for Treating Cartilage Defects in the Hip: A Fully Arthroscopic Approach to Using Autologous Matrix-Induced Chondrogenesis. *Arthrosc Tech.* 2012;1(1):63-8. doi: 10.1016/j.eats.2012.02.003
108. Wiewiorski M, Barg A, Valderrabano V. Autologous Matrix-induced Chondrogenesis in Osteochondral Lesions of the Talus. *Foot Ankle Clin.* 2013;18(1):151-8. doi: 10.1016/j.fcl.2012.12.009