

Возможности применения биodeградируемых материалов в травматологии и ортопедии (обзор литературы)

Б.В.Хонинов², О.Н.Сергунин², П.А.Скороглядов¹

¹Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И.Пирогова, кафедра травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии педиатрического факультета, Москва (зав. кафедрой — проф. А.В.Скороглядов);

²Городская клиническая больница № 64, Москва (главный врач — проф. О.В.Шарапова)

Проведен анализ литературных данных об использовании изделий из биodeградируемых материалов в травматологии и ортопедии. В настоящее время все более широко применяются имплантаты из полигликолевой и полимолочной кислот, в частности в травматологии — пины и винты. Показана низкая частота явлений остеолита и реакций на инородное тело при использовании этих устройств, длительность контролируемого периода их распада составляет до 18 мес. Преимущество таких имплантатов — возможность полного рассасывания, что избавляет от необходимости операции по удалению устройства и, соответственно, предотвращает повреждение тканей. Приведены данные клинических исследований, которые способствовали внедрению в практику биodeградируемых ортопедических изделий. Сделан вывод о необходимости дальнейших исследований по применению изделий из биodeградируемых материалов в травматологии и ортопедии.

Ключевые слова: имплантаты, биodeградируемые материалы, переломы, фиксация костей, полигликолевая кислота, полимолочная кислота

Biodegradable Materials Application in Traumatology and Orthopedics (Review)

B.V.Khoninov², O.N.Sergunin², P.A.Skoroglyadov¹

¹Pirogov Russian National Research Medical University, Department of Traumatology, Orthopedics and Battle-Field Surgery of Pediatric Faculty, Moscow (Head of the Department — Prof. A.V.Skoroglyadov);

²Municipal Clinical Hospital № 64, Moscow (Chief Doctor — Prof. O.V.Sharapova)

It was performed the analysis of published data on the use of products made of biodegradable materials in traumatology and orthopedics. Currently more and more implants made from polylactic and polyglycolic acids are widely used, in particular, in trauma — pins and screws. Low frequency of the osteolysis and foreign body reactions to the use of these devices was demonstrated, the duration of the controlled period of their decay was up to 18 months. The advantage of these implants is the ability to complete resorption, which eliminates the need for surgery to remove the device and tissue damage accordingly. There were presented the data of clinical studies which contributed to the implementation in practice of biodegradable orthopedic products. It was concluded that further research on the use of products made of biodegradable materials in traumatology and orthopedics is needed.

Key words: implants, biodegradable materials, fractures, bone fixation, polyglycolic acid, polylactic acid

В последние десятилетия в травматологии и ортопедии все более широко используют биodeградируемые материалы (БДМ), история применения имплантатов из которых насчитывает более 25 лет. В настоящее время специалисты обсуждают перспективы использо-

вания БДМ в изделиях для стабилизации переломов, для трансплантации и фиксации костей, особенно губчатых, а также при лечении разрывов связок, сухожилий, менисков и других анатомических структур [1, 2]. Одно из распространенных показаний к применению винтов из БДМ — лечение переломов дистальных метаэпифизов лучевой кости [3]. В ряде исследований показана эффективность фиксации биodeградируемыми имплантатами при коррекции плоскостопия [4].

Однако в отечественной литературе сообщения о применении БДМ в ортопедической практике почти отсутствуют, а зарубежные специалисты считают неизученным ряд вопросов, связанных с их использова-

Для корреспонденции:

Хонинов Бадма Валериевич, врач травматолог-ортопед Городской клинической больницы № 64

Адрес: 117292, Москва, ул. Вавилова, 61
Телефон: (499) 135-9146

E-mail: bhoninov@gmail.com

Статья поступила 05.09.2013, принята к печати 20.02.2014

нием. Дискутируются, в частности, такие проблемы, как уровень риска инфекционных осложнений, механическая стабильность и преимущества использования данных материалов по сравнению с металлическими устройствами [5]. Недостаточными полагают сведения о клинической эффективности и безопасности использования изделий из БДМ в хирургическом лечении патологии опорно-двигательного аппарата, практически отсутствует информация об отдаленных результатах их применения, в частности о функциональном состоянии опорно-двигательного аппарата и качестве жизни таких пациентов в отдаленном периоде после ортопедического лечения.

Цель настоящего исследования — анализ данных литературных источников, посвященных использованию изделий из биodeградируемых материалов в травматологии и ортопедии.

В травматологической практике широко используют металлические изделия, однако это сопряжено с рядом проблем, таких как адаптивная перестройка имплантата (**stress shielding**), **боль, местное раздражение** [6]. Применение такого рода устройств повышает риск развития инфекционных осложнений, асептического некроза [7]. Показано высвобождение ионов металла из таких имплантатов, хотя исследователи до сих пор обсуждают последствия этого явления. Все вышеперечисленные факторы обуславливают необходимость выполнения повторных операций по извлечению имплантатов после восстановления кости [1, 4].

В 1893 г. K.Bischoff и P.Walden синтезировали полигликолевую кислоту (PGA) с **низкой молекулярной массой** [8], в 1962 г. был разработан первый синтетический деградируемый шовный материал из полигликолевой кислоты. Соотношение 90:10 сополимеров гликолида и лактида (полиглактина) было использовано при разработке шовного материала «Викрил», применяемого в хирургической практике с 1975 г. Многолетнее использование полигликолида и полилактида не выявило их токсичности, аллергенности, а также не продемонстрировало риска развития канцерогенных и тератогенных эффектов этих материалов [9].

Полигликолевая кислота представляет собой твердый вязкий кристаллический полимер со средней молекулярной массой от 20 000 до 145 000, точкой плавления при температуре 224–230 °C [9]. Полилактидная кислота — полимер, изначальная молекулярная масса которого составляет от 180 000 до 530 000, с **точкой плавления около 174 °C**. В ортопедических имплантатах более широко применяли поли-L-лактидную кислоту (PLLA), поскольку она сохраняет первоначальную прочность дольше, чем поли-D-лактидная кислота (PDLA).

Использование PGA в качестве материала для изготовления укрепляющих пинов, винтов и пластин для травматологии и ортопедии впервые предложили E.E.Schmitt, R.A.Polistina (1967), после чего началось интенсивное изучение свойств биodeградируемых имплантатов в аспекте их применения для остеосинтеза. Поскольку PGA принадлежит к категории **быстро деградируемых полимеров**, было показано, что устройства из

этого материала, имплантируемые внутрикостно, рассасываются полностью в течение 6 мес. Для PLLA характерен более длительный период деградации — она сохраняется в тканях на протяжении 5 лет после имплантации.

Важнейшим шагом в применении БДМ было создание производства имплантатов из полимолочной кислоты, в том числе изделий, используемых в травматологической практике — пинов и винтов. В ряде исследований при их использовании была продемонстрирована низкая частота проявлений остеолита и развития реакций на инородное тело. Однако чистая полимолочная кислота имеет достаточно длительный период распада (до 5 лет), что не устраивало специалистов. Были разработаны устройства из комбинированного материала на основе полигликолевой и полимолочной кислот (PLGA), обеспечивающие столь же прочную фиксацию, как и имплантаты из чистой PLLA, но с **меньшей длительностью контролируемого периода распада** — 18 мес [1].

Возможности применения биodeградируемых имплантатов были продемонстрированы в экспериментальных исследованиях. Так, D.C.Tunc и соавт. (1986) сообщили об успешной фиксации при экспериментальной остеотомии пяточной кости с помощью литого поли-L-лактидного винта и пластины у собак породы бигль [10]. J.E.Räihä и соавт. (1990) описали успешную фиксацию при остеотомии большого вертела у собак этой же породы с помощью самофиксирующихся полилактидных винтов [11]. O.Böstman и соавт. (1991) тестировали самофиксирующиеся винты PGA для фиксации бедренной кости после остеотомии у кроликов, исследователи сообщили об удовлетворительной фиксации и хорошей переносимости вмешательства, о чем свидетельствовала минимальная реакция тканей [12].

В дальнейшем результаты клинических исследований последних десятилетий способствовали созданию и внедрению в практику биodeградируемых ортопедических изделий. Имплантаты из БДМ позволили в определенной степени сместить акцент при разработке от бионической направленности (т.е. механического замещения) к «биологическому» решению ряда проблем медицинской практики. Кроме того, при создании современных ортопедических имплантатов исследователи, наряду с безопасностью для организма, придают большое значение таким качествам изделий, как прочность, долговечность и экономичность.

На данное время продемонстрирована высокая эффективность использования в травматологической практике винта из PLGA (смесь 85% полимолочной и 15% полигликолиевой кислот), которая обусловлена его биомеханическими параметрами (прочность на изгиб, твердость) в сочетании с удовлетворительными характеристиками распада [13]. Основное препятствие к широкому внедрению биodeградируемых имплантатов в ортопедическую практику — это проблема достижения достаточной первоначальной прочности устройств, а также сохранения этой прочности после имплантации в кость. Было показано, что благодаря технике самофиксации (SR) происходит агломерация материала при

высокой температуре и давлении. Начальная прочность винтов PLLA ниже, чем у изделий из PGA, однако прочность первых сохраняется дольше [14]. В целом для данной категории изделий установлено отсутствие различий по показателям жесткости, уровню линейной нагрузки и характеру повреждения по сравнению с металлическими приспособлениями [15]. К преимуществам таких имплантатов относят также возможность полного рассасывания, что избавляет от необходимости последующей операции по удалению устройства и, соответственно, повреждения тканей. Снижается также риск, связанный с адаптивной перестройкой имплантатов и развитием периимплантного остеопороза.

Рассматривая процесс деградации БДМ, следует отметить, что кристаллические полимеры обладают упорядоченной внутренней структурой, вследствие чего деградируют медленно. У аморфных полимеров структура неупорядоченная, поэтому деградация происходит быстрее. Полукристаллические полимеры обладают кристаллической и аморфной (неупорядоченной) структурой зонами. Установлено, что гидролиз начинается в аморфных зонах, не затрагивая сначала кристаллические, которые деградируют медленнее [16].

При использовании первых изделий из БДМ имели место проблемы деградации, а также развития реакции тканей на имплантат. В частности, при использовании в качестве материала PGA отмечено, что такое изделие фактически теряло прочность в течение месяца, а массу — в течение 6–12 мес. Была выявлена вероятность развития побочных реакций, если степень деградации превышает предел тканевой толерантности, рассчитан риск развития побочной тканевой реакции к имплантату из PGA, который составил от 2,0 до 46,7% [1, 12]. В связи с этим сейчас редко используют PGA в производстве биодеградируемых имплантатов. В то же время для поли-L-лактидной кислоты характерна более медленная абсорбция, у этого гомополимера L-лактида более выраженная кристаллическая структура за счет большей упорядоченности полимерной цепи, поэтому, как было отмечено в ряде исследований, для его абсорбции нужно более 5 лет [1, 3, 8].

Новые поколения имплантатов выполнены преимущественно из аморфного материала благодаря контролируемому процессу производства сополимеров. D-лактид, сополимеризуясь с L-лактидом, повышает степень аморфности вещества имплантатов, что, в свою очередь, увеличивает биоабсорбционную способность изделий. По-видимому, идеальный материал должен обладать «средним» временем деградации — около 2 лет, поскольку в этот срок уже достигается цель лечения [5, 10].

Безусловно, такого рода изделиям присущи и некоторые недостатки. В первую очередь к ним следует отнести недостаточную прочность устройств по сравнению с металлическим имплантатом, что способствует, в частности, разлому винта во время установки, а также низкой надежности фиксации [6]. Другие потенциальные недостатки: возможность развития воспалительной реакции при установке биодеградируемых имплантатов;

быстрая потеря первоначальной прочности; относительно высокая частота повторных переломов [6].

Исследователи приводят данные о реакции на чужеродное тело у 11% пациентов при постановке винтов из PGA при лодыжечных переломах [1].

В одном экспериментальном исследовании изучили тип ткани, образующейся на месте биодеградируемого имплантата после рассасывания [1, 2]. Было продемонстрировано низкое содержание губчатого вещества кости и кровеносных элементов в месте рассосавшегося имплантата, а также след от винта, который исследователи расценили как потенциальную зону развития нежелательных явлений.

Следует отметить тот факт, что имплантаты из БДМ — не помеха для визуализации и позволяют использовать магнитно-резонансную томографию как метод обследования при травмах колена и плеча на любой стадии после хирургической имплантации. Другими преимуществами являются возможность биодеградации имплантата при его размещении перпендикулярно подвижной суставной поверхности, а также приемлемая биосовместимость и резорбционные свойства, которые снижают вероятность развития осложнений [4]. Многие производители изготавливают цветные имплантаты, полагая, что визуализация бесцветных устройств в суставе может быть неудовлетворительной.

Исследователи считают, что биодеградируемые имплантаты имеют преимущества при фиксации ряда переломов, в частности стопы и лодыжки, при повреждениях дистального межберцового синдесмоза и смещениях в суставе Лисфранка [17].

Одна из наиболее востребованных областей применения БДМ — артроскопическая хирургия [2], в которой широко применяют такого рода изделия при восстановлении передней крестообразной связки с помощью интерферентных и трансфиксационных винтов. Остеохондральные переломы можно фиксировать с использованием артроскопических технологий и биодеградируемых пинов [2]. Менисковые поддерживающие швы и биодеградируемые шовные фиксаторы дают возможность восстановления мягких тканей при сложных повреждениях колена [9].

Было показано, что использование биодеградируемых интерферентных винтов может стать полноценной альтернативой применению металлических имплантатов в травматологии и ортопедии, поскольку такой подход позволяет, в частности, применять метод МРТ для визуализации трансплантата при контроле процесса сращения костной ткани [2]. G.Lajtai и соавт. продемонстрировали при данном подходе наличие слабо выраженного отека в области хирургического вмешательства, отсутствие выраженной реакции на чужеродный материал, а также полное замещение биодеградируемых интерферентных винтов посредством образования новой кости в месте их использования [18]. Наблюдение в течение 5 лет показало, что применение такого винта является безопасным и клинически эффективным методом фиксации костных блоков при восстановлении передней крестообразной связки; при этом с помощью МРТ была выявлена пол-

ная абсорбция материала устройства и замещение его костной тканью. В качестве дополнительного преимущества использования устройства исследователи отмечают уменьшение дистального диаметра канала в большеберцовой и бедренной кости соответственно в течение 3 и 12 мес наблюдений [19].

Биodeградируемые имплантаты широко используют при патологии плечевого сустава, включая разрывы ротаторной манжетки плеча, нестабильность плечевого сустава и повреждение двуглавой мышцы, где необходимо восстановление составной капсулы плечевого сустава или тенodes сухожилия двуглавой мышцы [20].

Изделия из этих материалов также обладают высоким потенциалом для использования в хирургии позвоночника. J.D.Coe, A.R.Vaccaro (2005) опубликовали данные по применению биodeградируемых имплантатов в качестве межпозвонковых фиксаторов при поясничном межпозвонковом спондилодезе в течение 2 лет. Клинические и рентгенологические результаты позволили авторам рекомендовать использование этих изделий как конструктивную опору между телами позвонков при выполнении трансфораминального поясничного межтелового спондилодеза [21].

В экспериментальных исследованиях F.Kandziora и соавт. (2004) были использованы трикортикальные костные трансплантаты и биodeградируемые кейджи из композита полимера фосфата кальция, которые имплантировали в шейный отдел позвоночника овцы. Продемонстрированы хорошие деструктивные свойства и высокая биомеханическая жесткость изделий, используемых при выполнении межпозвонкового спондилодеза [22]. В то же время в 6 из 8 кейджей из композита полимера фосфата кальция были обнаружены трещины. Несмотря на неясность причин выявленных нарушений, раннее развитие остеолита, связанного с использованием этого материала, позволило авторам усомниться в ценности данного биodeградируемого имплантата [20].

Изучались возможности использования биodeградируемых передних шейных пластин как альтернатива металлическим. В частности, С.Р.Ames и соавт. (2005) показали, что биodeградируемые пластины при этом лучше обеспечивали стабильность, чем рассасывающиеся сетки [23].

Применяют биodeградируемые имплантаты для операций на головке и мыщелках плечевой кости, дистальном отделе лучевой и локтевой костей и в других метафизарных областях. БДМ используют также в сетках для реконструкции вертлужной впадины. Все более широкое использование биodeградируемые имплантаты находят в челюстно-лицевой хирургии, при операциях на черепе, а также при стоматологических операциях [13].

Анализ применения биodeградируемых материалов в педиатрической практике свидетельствует об эффективности применения устройств из этих материалов. Так, O.Vöstman и соавт. (2005) показали, что самофиксирующиеся рассасывающиеся стержни эффективны при фиксации переломов у детей [1]. P.G.Hope и соавт. (1991) оценивали возможности использования самофиксирующихся рассасывающихся стержней с металли-

ческими фиксаторами при переломах локтевой кости у детей [24]. E.K.Partio и соавт. (1992) показали, что винты SR-PLLA являются достаточно прочными для фиксации внесуставного подтаранного артродеза у детей [25].

Первые данные о фиксации переломов лодыжки с помощью рассасывающихся стержней были представлены P.Rokkanen и соавт. в 1985 г. Впоследствии успешные результаты применения самофиксирующихся рассасывающихся стержней были представлены W.Ruf и соавт. (1990) при переломах лодыжки [26], G.Kristensen и соавт. (1990) — при внутрисуставных переломах таранной кости [27]. Некоторые исследователи предложили использование биodeградируемых имплантатов для фиксации остеотомии при вальгусной деформации большого пальца стопы, были получены первые удовлетворительные результаты у 152 прооперированных пациентов с последующим наблюдением в течение 2 лет [28]. Показано, что применение такого рода материалов имеет ряд преимуществ при вмешательствах на стопе, когда необходимо удалять металлическое устройство, в частности, в таких случаях как синдесмозная деструкция и вывих Лисфранка [17].

На данный момент практически отсутствуют работы, посвященные использованию биodeградируемых имплантатов при вмешательствах на кисти. Тем не менее исследователи сообщают о применении системы с мини-пластинами из БДМ для фиксации переломов, остеотомий и артродезов на костях запястий и кистей рук [6]. В предварительных отчетах были представлены результаты применения самофиксирующихся мини-пластин и 1,5 или 2,0 мм винтов из PGLA при переломах и остеотомиях, что давало возможность выполнения остеосинтеза без каких-либо осложнений [3].

Заключение

В настоящее время исследователи сходятся в том, что дальнейшие исследования в области применения изделий из биodeградируемых материалов в травматологической и ортопедической практике должны сконцентрироваться на разработке имплантатов, которые деградируют в течение «среднего» периода времени. В лабораторных условиях были получены многообещающие результаты при оценке высвобождения антибиотика из биорассасывающихся микросфер и гранул. Следует отметить, что сейчас в качестве перспективных рассматривают возможности создания рассасывающихся пластин, в которых будут использованы ковалентные связи с такими веществами, как интерлейкины и факторы роста, что позволит продлить период резорбции материала за счет локально повышенной концентрации факторов роста.

Как свидетельствуют результаты анализа литературных данных, изучение возможностей применения биodeградируемых имплантатов представляет собой активно развивающуюся область научных исследований; в то же время сообщения о применении изделий из биodeградируемых материалов не систематизированы, а отечественные работы по этому направлению отсут-

ствуют. Одним из перспективных направлений в повышении эффективности и безопасности ортопедических вмешательств представляется применение такого рода имплантатов и устройств при переломах. Анализ литературных источников свидетельствует о необходимости дальнейшей разработки и внедрения в практику новых изделий из биodeградируемых материалов, что будет способствовать решению не только медицинских, но и социально-экономических проблем, учитывая высокую частоту патологии и травм опорно-двигательного аппарата.

Литература

- Böstman O.M., Laitinen O.M., Tynnenen O. et al. Tissue restoration after resorption of polyglycolide and poly-l-lactic acid screws // *J Bone Joint Surg Br.* 2005. V.87. P.1575–1580.
- Burkhart S.S. The evolution of clinical applications of biodegradable implants in arthroscopic surgery // *Biomaterials.* 2000. V.21. P.2631–2634.
- Noh J.H., Roh Y.H., Yang B.G. et al. Outcomes of operative treatment of unstable ankle fractures: a comparison of metallic and biodegradable implants // *J Bone Joint Surg Am.* 2012. V.94 (22). P.e166.
- Raikin S.M., Ching A.C. Bioabsorbable fixation in foot and ankle // *Foot Ankle Clin.* 2005. V.10 (4). P.667–684.
- Weil L.S. A comparison of Biofix rods to rigid internal fixation in the treatment of elective osteotomies in foot surgery // *J Foot Surg.* 1992. V.31 (3). P.314.
- Hughes T.B. Bioabsorbable implants in the treatment of hand fractures: an update // *Clin Orthop Relat Res.* 2006. V.445. P.169–174.
- Gristina A.G. Biomaterial-centered infection: microbial adhesion versus tissue integration // *Science.* 1987. V.237. P.1588–1595.
- Higgins N.A. Condensation polymers of hydroxyacetic acid / U.S. Patent № 2676945. 1954.
- Schmitz J.P., Hollinger J.O. A preliminary study of the osteogenic potential of a biodegradable alloplastic-osteoinductive alloimplant // *Clin Orthop Relat Res.* 1988. V.237. P.245–255.
- Tunc D.C., Rohowsky M.V., Zadwadsy J.P. et al. Evaluation of body absorbable screw in avulsion type fractures: The 12th annual meeting of the society of biomaterials, Minneapolis — St.Paul, Minnesota, USA, May 29 — June 1. Abstracts. Minneapolis, MN, 1986. P.168.
- Räihä J.E., Parchman M., Krook L. et al. Fixation of trochanteric osteotomies in laboratory beagles with absorbable screws of polylactic acid // *Vet Comp Orthop Traumatol.* 1990. V.3. P.123–129.
- Böstman O., Pääväranta U., Partio E. et al. Absorbable polyglycolide screws in internal fixation of femoral osteotomies in rabbits // *Acta Orthop Scand.* 1991. V.62. P.587–591.
- Bos R.R., Rozema F.R., Boering G. et al. Degradation of and tissue reaction to biodegradable poly(L-lactide) for use as internal fixation of fractures: a study in rats // *Biomaterials.* 1991. V.12. P.32–36.
- Suuronen R., Pohjonen T., Wessman L. et al. New generation biodegradable plate for fracture fixation: comparison of bending strengths of mandibular osteotomies fixed with absorbable self-reinforced multi-layer poly-l-lactide plates and metallic plates — an experimental study in sheep // *Clin Mater.* 1992. V.9 (2). P.77–84.
- Lee M.C., Jo H., Bae T.S. et al. Analysis of initial fixation strength of press-fit fixation technique in anterior cruciate ligament reconstruction. A comparative study with titanium and bioabsorbable interference screw using porcine lower limb // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003. V.11 (2). P.91–98.
- Magnusson L., Ejerhed L., Rostgard-Christensen L. et al. A prospective, randomized, clinical and radiographic study after arthroscopic Bankart reconstruction using 2 different types of absorbable tacks // *Arthroscopy.* 2006. V.22 (2). P.143–151.
- Seitz W.H.Jr., Bachner E.J., Abram L.J. et al. Repair of tibiofibular syndesmosis with a flexible implant // *J Orthop Trauma.* 1991. V.5. P.78–82.
- Lajtai G., Schmeidhuber G., Unger F. et al. Bone tunnel remodeling at the site of biodegradable interference screws used for anterior cruciate ligament reconstruction: 5-year follow-up // *Arthroscopy.* 2001. V.17 (6). P.597–602.
- Simonian P.T., Monson J.T., Larson R.V. Biodegradable interference screw augmentation reduces tunnel expansion after ACL reconstruction // *Am J Knee Surg.* 2001. V.14 (2). P.104–108.
- McFarland E.G., Park H.B., Keyurapan E. et al. Suture anchors and tacks for shoulder surgery, part 1: biology and biomechanics // *Am J Sports Med.* 2005. V.33 (12). P.1918–1923.
- Coe J.D., Vaccaro A.R. Instrumented transforaminal lumbar interbody fusion with bioresorbable polymer implants and iliac crest autograft // *Spine (Phila Pa 1976).* 2005. V.30 (17). P.s76–s83.
- Kandziora F., Pflugmacher R., Scholz M. et al. Bioabsorbable interbody cages in a sheep cervical spine fusion model // *Spine (Phila Pa 1976).* 2004. V.29 (17). P.1845–1855.
- Ames C.P., Acosta F.L.Jr., Chamberlain R.H. et al. Biomechanical analysis of a newly designed bioabsorbable anterior cervical plate. Invited submission from the joint section meeting on disorders of the spine and peripheral nerves, March 2005 // *J Neurosurg Spine.* 2005. V.3 (6). P.465–470.
- Hope P.G., Williamson D.M., Coates C.J., Cole W.G. Biodegradable pin fixation of elbow fractures in children. A randomized trial // *J Bone Joint Surg Br.* 1991. V.73. P.965–968.
- Partio E.K., Merikanto J., Heikkilä J.T. et al. Totally absorbable screws in fixation of subtalar extra articular arthrodesis in children with spastic neuromuscular disease: preliminary report of a randomized prospective study of fourteen arthrodeses fixed with absorbable or metallic screws // *J Pediatr Orthop.* 1992. V.12. P.646–650.
- Ruf W., Schult W., Buhl K. Stabilisierung von Malleolafrakturen und Flakeverletzungen mit resorbierbaren polyglykolid-Stiften (BiofixR) // *Unfallchirurgie.* 1990. Bd.16. S.202–209.
- Kristensen G., Lind T., Lavard P., Olsen P.A. Fracture stage 4 of the lateral talar dome treated arthroscopically using Biofix for fixation // *Arthroscopy.* 1990. V.6. P.242–244.
- Brunetti V.A., Trepal M.J., Jules K.T. Fixation of Austin osteotomy with bioresorbable pins // *J Foot Surg.* 1991. V.30. P.56–65.

Информация об авторах:

Сергунин Олег Николаевич, заведующий травматологическим отделением
Городской клинической больницы № 64
Адрес: 117292, Москва, ул. Вавилова, 61
Телефон: (499) 135-9114
E-mail: sergunin.on@gmail.com

Скороглядов Павел Александрович, кандидат медицинских наук,
ассистент кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии
педиатрического факультета Российского национального исследовательского
медицинского университета им. Н.И.Пирогова
Адрес: 117292, Москва, ул. Вавилова, 61
Телефон: (499) 135-9162
E-mail: pskor@bk.ru