

ЗАМЕЩЕНИЕ ОБШИРНЫХ ДЕФЕКТОВ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ У ДЕТЕЙ

Гранкин Д.Ю.¹, Голяна С.И.¹, Авдейчик Н.В.¹, Захарьян Е.А.¹, Сафонов А.В.¹

¹ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава РФ, Санкт-Петербург, e-mail: grankin.md@gmail.com

Обширные дефекты длинных трубчатых костей голени являются сложной проблемой детской реконструктивной хирургии конечностей. Замещение указанных дефектов при помощи костной ауто- и аллопластики свободным некровоснабжаемым трансплантатом может быть ограничено. Обширные дефекты нарушают опороспособность нижней конечности, приводя к развитию инвалидности. Многократные безуспешные попытки заместить обширный дефект большеберцовой кости могут являться показанием к ампутации голени. Альтернативной реконструктивной операцией является замещение дефекта свободным кровоснабжаемым фрагментом малоберцовой кости. Провести ретроспективный анализ лечения пациентов детского возраста, которым проведено замещение обширных дефектов костей голени методом микрохирургической аутоотрансплантации малоберцовой кости. Проведена оценка результатов лечения 15 детей с обширными дефектами большеберцовой кости, подвергшихся свободной микрохирургической аутоотрансплантации кровоснабжаемого фрагмента малоберцовой кости. Проанализированы: 1) возраст и пол детей; 2) причина и локализация дефекта; 3) величина костного дефекта и размер аутоотрансплантата; 4) сроки консолидации фрагментов; 5) интра- и послеоперационные осложнения. Преобладали мальчики – 11 случаев. Размер дефекта кости составил от 8,0 до 15,0 см, длина аутоотрансплантата – 10 до 18 см. Средние сроки консолидации – 15±3 недели, первичная консолидация достигнута у 12 пациентов. Замедленная консолидация отмечалась у 3 пациентов. В 1 случае даже после проведения повторно костной аутопластики сформировался тугой ложный сустав большеберцовой кости. Проведенное исследование продемонстрировало высокую эффективность данной методики. Во всех случаях удалось сохранить пересаженный аутоотрансплантат. Замещение обширного дефекта большеберцовой кости свободным кровоснабжаемым аутоотрансплантатом является альтернативой ампутации голени.

Ключевые слова: микрохирургия, дефекты костей голени, нейрофиброматоз, опухоли костей, дети.

REPLACEMENT OF EXTENSIVE TIBIA BONE DEFECTS IN CHILDREN

Grankin D.Y.¹, Golyana S.I.¹, Avdeichik N.V.¹, Zakharyan E.A.¹, Safonov A.V.¹

¹H. Turner National Medical Research Centre for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, e-mail: grankin.md@gmail.com

Massive defects of the lower leg bones is hard problem of pediatric reconstructive surgery. The replacement of these defects by bone auto and alloplasty with a free non vascularized graft may be limited. Extensive defects disrupt the support capacity of the leg leading to the development of disability. Repeated unsuccessful attempts to replace the extensive defect of the tibia may be an indication for amputation of the lower leg. An alternative reconstructive operation is to replace the defect with a free fibula bone flap. Retrospective analysis of the treatment of pediatric patients who underwent replacement of extensive defects of the tibia by microsurgical autotransplantation of the free fibula flap. The results of treatment of 15 children with extensive tibial defects who underwent free microsurgical autotransplantation of a blood-supplied fragment of free fibula bone flap. Analyzed: 1) the age and gender of children; 2) cause and localization of defect; 3) size of the bone defect and size of the autograft; 4) the timing of consolidation of fragments; 5) intra- and postoperative complications Results and discussion. Boys prevailed in 11 cases. The size of the bone defect ranged from 8.0 to 15.0 cm, the length of the autograft was 10 to 18 cm. The average consolidation time is 15±3 weeks, primary consolidation was achieved in 12 patients. Delayed consolidation was observed in 4 patients. In 1 case, even after repeated bone autoplasmic a tibia pseudoarthrosis was formed. The study shown the effectiveness of this technique. In all cases, the transplanted autograft was preserved. Replacement of an extensive tibial defect with a free blood-supplied autograft is an alternative to amputation of the lower leg.

Keywords: microsurgery, lower leg bone defects, neurofibromatosis, bone tumors, children.

Обширные дефекты длинных трубчатых костей голени не являются частой проблемой детской травматологии и ортопедии. Однако при развитии обширного дефекта

большеберцовой кости (ОДБК) его замещение является трудоемкой и сложной задачей [1, 2]. Говоря о проблеме ОДБК, необходимо уточнить понятие термина «обширный костный дефект». В современной литературе большинство авторов под данным термином понимают дефект диафизарной части кости более 5 см [3, 4]. Дефекты большеберцовой кости могут быть изолированными или сочетаться с различными повреждениями окружающих тканей. Сочетание ОДБК с повреждением мягких тканей усложняет задачу лечения. Дискутабельным остается вопрос об одномоментном замещении всех поврежденных структур. Ряд авторов предлагают последовательное восстановление с поэтапным закрытием дефицита мягких тканей и замещением дефекта кости [5, 6, 7]. Замещение дефекта покровных тканей и диафизарной части большеберцовой кости в одну хирургическую сессию возможно при использовании кровоснабжаемого фрагмента малоберцовой кости, в состав которого включен мягкотканый малоберцовый лоскут.

Наиболее частыми причинами возникновения ОДБК являются: врожденный ложный сустав костей голени (ВЛСКГ), последствия травм и перенесенного остеомиелита, а также пострезекционные дефекты (на фоне доброкачественных и злокачественных опухолей костей голени) [3, 5, 7]. Пациенты данных групп подвергались многоэтапному хирургическому лечению, что снижает нормальное кровоснабжение и вызывает грубые рубцовые изменения в области голени. Величина костного дефекта и нарушение трофики окружающих тканей ограничивают применение традиционных методов лечения (остео-ауто/аллопластика, замещение дефекта по Илизарову) [1, 4, 5]. Отсутствие консолидации фрагментов, резорбция свободного некровоснабжаемого костного трансплантата могут привести к развитию псевдоартроза большеберцовой кости и потере опороспособности нижней конечности. В ряде случаев ОДБК могут стать показанием к ампутации пораженной конечности, как альтернатива многолетнего и многоэтапного лечения [8]. Учитывая органосохраняющий подход в детской травматологии и ортопедии, целесообразно рассмотреть методику свободного кровоснабжаемого костного аутооттрансплантата при замещении ОДБК [2, 5, 7].

Микрохирургическая аутооттрансплантация малоберцовой кости позволяет заместить практически любой по протяженности дефект большеберцовой кости [2, 3]. При сочетании ОДБК с дефектом мягких тканей в состав аутооттрансплантата может быть включен малоберцовый кожный лоскут, благодаря которому удастся заместить дефект покровных тканей. Наличие устойчивого источника кровоснабжения позволяет достичь в большинстве случаев консолидации фрагментов большеберцовой кости и аутооттрансплантата.

Микрохирургическая аутооттрансплантация малоберцовой кости имеет свои недостатки и осложнения. Возможные осложнения включают: развитие инфекционного процесса, тромбоз сосудистистого анастомоза, отсутствие консолидации и «стресс-перелом»

[2, 3]. Также к недостаткам методики относится использование здоровой конечности в качестве донорской. Одним из возможных осложнений в отдаленном послеоперационном периоде является деформация голеностопного сустава. У пациентов с обширным пострезекционным дефектом на фоне резецированных опухолей большеберцовой кости, ВЛСКГ на фоне нейрофиброматоза 1-го типа дефект диафизарной части может составлять более 2/3. Наличие столь обширного дефекта делает данную реконструктивную методику безальтернативной. Способность дальнейшего роста аутотрансплантата (при включении в его состав зоны роста) в реципиентной области является важным аспектом ее использования у детей [1, 2, 3].

Необходимо уточнить причину возникновения ОДБК, которая оказывает существенное влияние на результат лечения [1, 2, 3]. Нейрофиброматоз 1-го типа – мультисистемное заболевание с частотой встречаемости 1:2500 – 1:3500 новорожденных детей. Заболевание поражает центральную и периферическую нервную систему, кожу и может приводить к развитию доброкачественных и злокачественных опухолей различной локализации [9]. При этом более 50% пациентов имеют поражения опорно-двигательного аппарата (сколиоз, остеопороз, деформации грудной клетки и др.) и у 5% отмечается ВЛСКГ [10]. ВЛСКГ встречается в латентной и истинной формах. Заболевание имеет несколько стадий: латентная (или стадия предперелома), стадия перелома и стадия формирования псевдоартроза. Лечение данной группы пациентов длительное и направлено на достижение консолидации фрагментов большеберцовой кости [11]. По литературным данным, в 98% случаев удается достичь первичной консолидации фрагментов большеберцовой кости, но в 25% случаев развиваются рефрактуры. В тяжелых случаях количество повторных переломов может достигать 5 и более эпизодов, что приводит к потере костной массы и развитию ОДБК.

Традиционные методики лечения с применением чрескостного остеосинтеза ограничены у данной группы пациентов ввиду выраженных дистрофических изменений костной ткани на фоне нейрофиброматоза. ОДБК протяженностью более 5 см является показанием к замещению кровоснабжаемым аутотрансплантатом малоберцовой кости [1, 2]. Необходимо отметить и тот факт, что первичный ОДБК может значительно увеличиться по протяженности после интраоперационной резекции нежизнеспособных участков костной ткани. Заимствование малоберцовой кости на сосудистой ножке, в несвободном варианте, на стороне поражения ограничено у детей с нейрофиброматозом ввиду ее вовлечения в патологический процесс. Таким образом, при микрохирургической аутотрансплантации малоберцовой кости целесообразно заимствовать свободный кровоснабжаемый трансплантат с контралатеральной «здоровой» конечности. Применение метода чрескостного остеосинтеза

с целью фиксации аутооттрансплантата в реципиентной зоне является предпочтительным, но также может сочетаться с использованием интрамедуллярных конструкций [2, 3].

Другой причиной развития ОДБК у детей являются костные опухоли. По литературным данным, ОДБК наиболее часто образуется после резекции остеосаркомы, саркомы Юинга и адамантиномы большеберцовой кости [12, 13]. Хирургический этап лечения заключается в расширенной резекции патологического очага. Ранее самой частой операцией, проводимой у данной группы пациентов, была ампутация конечности. Успехи развития химиотерапевтических препаратов увеличили процент выживаемости детей со злокачественными опухолями костей [12, 13]. Дефект диафизарной части большеберцовой кости после резекции патологического очага обычно составляет более $\frac{1}{2}$ от его первоначальной длины. Протяженность дефекта, а также применение химиотерапевтических препаратов до и после резекции опухоли не позволяют использовать некрвоснабжаемые ауто- или аллотрансплантаты. Предпочтительной методикой замещения дефекта в таком случае является свободная микрохирургическая аутооттрансплантация фрагмента малоберцовой кости, при необходимости дополненная свободным некрвоснабжаемым костным ауто- или аллотрансплантатом [13]. С. Еграні в своем исследовании сообщает о результатах лечения 81 пациента с саркомами бедра и голени. ОДБК составили 48 случаев. Величина замещаемого дефекта составляла от 8 до 31 см. Дефект большеберцовой кости замещали васкуляризированным аутооттрансплантатом в сочетании с некрвоснабжаемыми ауто- или аллотрансплантатами. Фиксацию аутооттрансплантатов в реципиентной области осуществляли накостными пластинами и интрамедуллярными конструкциями. Сохранить конечность удалось в 94% случаев [12].

ОДБК на фоне травмы у детей, относительно взрослых, встречаются редко. ОДБК, причиной которых являлись травмы, обычно встречаются у подростков и в большинстве случаев сочетаются с повреждением окружающих мягких тканей и кожного покрова [14, 15]. В основном причинами травм являются дорожно-транспортные происшествия и минно-взрывные ранения. Оперативное лечение в таких случаях проводится по экстренным показаниям и направлено на устранение костного и мягкотканного дефектов [15]. Поэтапное или одномоментное замещение костного и мягкотканного дефектов зависит от опыта хирурга и обстоятельств, при которых происходит оказание хирургической помощи [1, 14, 15]. ОДБК может возникнуть в результате травмы, осложненной остеомиелитом большеберцовой кости. При таких условиях замещение костного дефекта проводят через 4–6 месяцев после купирования воспалительного процесса [14].

Проанализированные литературные источники показали, что ОДКБ являются не частой, но сложной проблемой детской травматологии и ортопедии. Данное обстоятельство побудило к проведению данного исследования.

Цель исследования: провести ретроспективный анализ лечения пациентов детского возраста, которым проведено замещение обширных дефектов костей голени методом микрохирургической аутотрансплантации малоберцовой кости.

Материалы и методы исследования. В исследование были включены 15 пациентов. Проанализированы протоколы оперативных вмешательств и данные историй болезни, включая: 1) возраст и пол детей; 2) причину и локализацию дефектов; 3) величину костного дефекта и размер аутотрансплантата; 4) сроки консолидации фрагментов; 5) интра- и послеоперационные осложнения.

Результаты исследования и их обсуждение. В период с 2012 по 2023 гг. в отделении реконструктивной микрохирургии и хирургии кисти ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России было произведено 15 свободных микрохирургических аутотрансплантаций кровоснабжаемых фрагментов малоберцовой кости.

Наиболее часто замещение ОДБК проводилось у пациентов с ВЛСКГ в сочетании с нейрофиброматозом 1-го типа – 9 случаев, реже всего причиной дефекта была резекция опухоли большеберцовой кости – 1 пациент. Преобладали мальчики – 11 случаев (рис. 1).

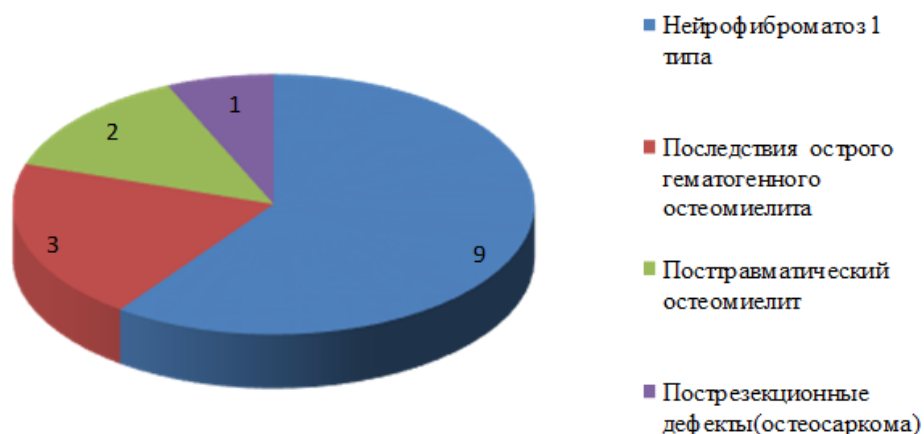


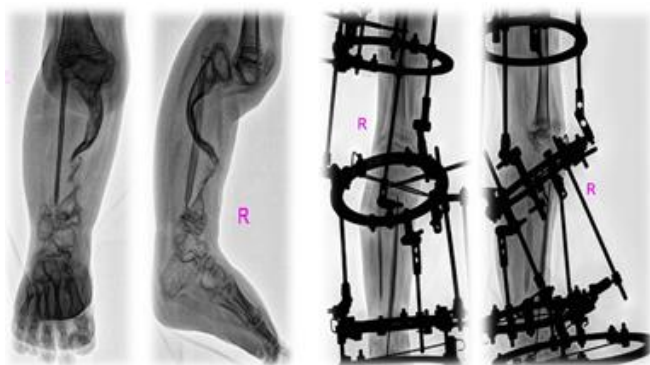
Рис. 1. Распределение пациентов по диагнозу

Возраст пациентов на момент проведения оперативного вмешательства составлял от 5 до 17 лет. Величина дефекта большеберцовой кости находилась в пределах от 8,0 до 15,0 см. При этом длина аутотрансплантата диафиза малоберцовой кости составила от 10 до 18 см. У 10 детей отмечался ОДБК, который в 6 случаях располагался в дистальном и в 4 случаях – в проксимальном отделах большеберцовой кости. В 5 случаях отмечались обширные дефекты

обеих костей голени, располагающиеся в проксимальном отделе. Во всех случаях нами замещался только дефект большеберцовой кости.

Аутотрансплантат диафиза малоберцовой кости формировали на малоберцовой артерии и коммитантных венах. Длина сосудистой ножки составила в среднем $15,0 \pm 3,0$ см. Анастомозирование сосудов в реципиентной области осуществляли «конец в конец». Реципиентными сосудами служили: в 9 случаях – передняя большеберцовая артерия, в 5 – малоберцовая артерия и в 1 случае – задняя большеберцовая артерия и коммитантные вены. Для оценки эффективности кровоснабжения аутотрансплантата формировался так называемый буйковый лоскут. Ввиду выраженного рубцово-спаечного процесса и дефицита покровных тканей дополнительно в 7 случаях формировали кожный малоберцовой лоскут.

В реципиентной области нами применялись различные способы фиксации аутотрансплантатов. В 12 случаях аутотрансплантат фиксировали при помощи компрессионно-дистракционного аппарата, при этом в 5 случаях дополнительно проводили интрамедуллярную осевую спицу. У 3 детей ввиду отсутствия признаков остеопороза фиксацию аутотрансплантата осуществляли при помощи только одной осевой интрамедуллярной спицы. Средние сроки консолидации на границе «кость – трансплантат» составили 15 ± 3 недели. Консолидация фрагментов была получена у 14 пациентов. Во всех случаях удалось сохранить аутотрансплантат (рис. 2).



А

Б



В

Рис. 2. Результат лечения пациента М с ОДБК на фоне нейрофиброматоза 1-го типа

А – рентгенограмма костей голени до замещения дефекта большеберцовой кости свободным кровоснабжаемым аутотрансплантатом диафиза малоберцовой кости;

Б – рентгенограмма костей голени через 1 месяц после замещения дефекта большеберцовой кости;

В – панорамная рентгенограмма костей нижних конечностей через 1,5 года после замещения дефекта большеберцовой кости

Осложнения. Интраоперационные осложнения развились только у 1 пациента и проявились кровотечением из мелких веток сосудистой ножки после восстановления кровотока в реципиентной области. Осложнение было устранено путем лигирования кровоточащего сосуда. У 4 пациентов в послеоперационном периоде возникло воспаление в области выхода чрескостных элементов. Данное осложнение купировано приемом антибактериальных препаратов. В 4 случаях отмечалась замедленная консолидация (более 18 недель) на границе «большеберцовая кость – аутотрансплантат», причем во всех случаях в проксимальном отделе. У 1 пациента консолидация достигнута на сроке 21 недели, без проведения дополнительных хирургических вмешательств. Трем детям на сроке 6–8 месяцев было проведено дополнительное хирургическое вмешательство – костная ауто- и аллопластика, после чего консолидация достигнута в 2 случаях. У 1 пациента с нейрофиброматозом консолидация отсутствовала, даже после проведения костной пластики. В 2 случаях на сроке более 1 года развился перелом трансплантата в проксимальном отделе из-за несоблюдения правил двигательного режима. Осложнения в донорской области в отдаленном периоде (более 1,5 лет) возникли у 5 пациентов и проявлялись развитием нестабильности и вальгусной деформацией голеностопного сустава.

Наиболее сложной для лечения ОДБК была самая многочисленная группа детей с нейрофиброматозом 1-го типа. Пациенты данной группы до аутотрансплантации малоберцовой кости имели в анамнезе от 3 до 8 эпизодов патологических переломов большеберцовой кости. В связи с этим пациенты ранее многократно подвергались оперативным вмешательствам, что привело к формированию грубого рубцово-спаечного процесса в данной области. Также стоит отметить, что после удаления нежизнеспособных участков костной ткани размер дефекта увеличивался от нескольких сантиметров до 80% от первоначальной длины диафиза большеберцовой кости. Описанное ранее такое осложнение – замедленная консолидация в проксимальном отделе большеберцовой кости – как раз и отмечена в данной группе пациентов (4 случая). При этом в 1 случае после проведения

костной аутопластики консолидация фрагментов не наступила, было отмечено развитие «тугого» псевдоартроза. Однако даже в этом случае удалось сохранить аутотрансплантат. Опороспособность нижней конечности возможна при использовании шинно-кожаного аппарата (рис. 3).



*Рис. 3. Результат лечения пациента Л с ОДБК на фоне нейрофиброматоза 1-го типа
А – рентгенограмма костей голени через 1 год после замещения дефекта большеберцовой
кости свободным кровоснабжаемым аутотрансплантатом диафиза малоберцовой кости
(псевдоартроз большеберцовой кости);*

*Б – интраоперационная рентгенография костей голени после замещения дефекта
некровоснабжаемым костным аутотрансплантатом;*

*В – рентгенография костей голени через 5 месяцев после замещения дефекта
некровоснабжаемым костным аутотрансплантатом*

Проведенное исследование продемонстрировало хорошие результаты лечения детей с ОДБК. По литературным данным, в 70–96% случаев первичную консолидацию фрагментов удается добиться на сроке от 2 до 9 месяцев, что позволяет восстановить опороспособность нижней конечности [2, 3]. При этом замещение ОДБК сопровождается рядом сложностей, особенно у детей с нейрофиброматозом. При замещении дефекта в проксимальном отделе большеберцовой кости замедленная консолидация или ее отсутствие могут наблюдаться в 25% случаев [3, 4]. Ряд авторов связывают это с нарушением кровоснабжения в данной области на фоне перенесенных ранее многократных хирургических вмешательств [2, 4]. Однако, на наш взгляд, причина развития данного осложнения остается дискуссионной.

Вальгусная деформация и нестабильность голеностопного сустава встречаются до 30%. Развитие данного осложнения объясняется коротким (менее 6 см) дистальным фрагментом малоберцовой кости и миграцией латеральной лодыжки краниально [5]. Поэтому у 7 пациентов аутотрансплантат формировали так, чтобы дистальный фрагмент малоберцовой кости в донорской области составлял не менее 7 см. В 3 случаях, когда дистальный фрагмент составлял менее 7 см, для предотвращения развития нестабильности голеностопного сустава формировали синостоз берцовых костей.

Заключение. Замещение обширных дефектов большеберцовой кости при помощи свободной микрохирургической аутотрансплантации малоберцовой кости является эффективной методикой, применяемой в детской реконструктивной хирургии конечностей. Применение данной методики позволяет в одну хирургическую сессию заместить ОДБК. Консолидация фрагментов достигается в большинстве случаев, что позволяет восстановить опороспособность нижней конечности. Основным недостатком – необходимость задействования здоровой конечности с последующей ее реконструкцией. Соблюдение техники забора аутотрансплантата дает возможность предотвратить развитие вторичных деформаций в донорской области. У пациентов с ОДБК на фоне нейрофиброматоза 1-го типа микрохирургический этап лечения является альтернативой ампутации голени.

Список литературы

1. Баиндурашвили А.Г., Свиридов М.К., Голяна С.И., Авдейчик Н.В. Исторические и современные представления о методах реконструкции костной ткани // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2014. Т. 2. № 4. С. 45-50.
2. Feltri P., Solaro L., Errani C., Schiavon G., Candrian C., Filardo, G. Vascularized fibular grafts for the treatment of long bone defects: pros and cons. A systematic review and meta-analysis

// Archives of orthopaedic and trauma surgery. 2023. V. 143. № 1. P. 29-48.

3. Adam D., Hamel A., Perrot P., Duteille, F. Long-term behavior of the vascularized fibular free flap for reconstruction of bony defects in children // *Annales de Chirurgie Plastique Esthétique*. – Elsevier Masson. 2020. V. 65. № 3. P. 219-227.
4. Van Den Heuvel S.C., Winters H.A., Ultee K.H., Zijlstra-Koenrades N., Sakkars R.J. Combined massive allograft and intramedullary vascularized fibula transfer: the Capanna technique for treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia // *Acta Orthopaedica*. 2020. V. 91. № 5. P. 605-610. DOI: 10.1080/17453674.2020.1773670.
5. Agarwal A., Kumar D., Agrawal N., Gupta N. . Ankle valgus following non-vascularized fibular grafts in children—an outcome evaluation minimum two years after fibular harvest // *International orthopaedics*. 2017. V. 41. P. 949-955.
6. Erol B., Basci O., Topkar M. O., Caypinar B., Basar H., Tetik. Mid-term radiological and functional results of biological reconstructions of extremity-located bone sarcomas in children and young adults // *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. 2015. V. 24. № 5. P. 469-478.
7. Кутиков С.А., Борзунов Д.Ю., Дьячкова Г.В. Врожденный ложный сустав голени. Проблемы, возможные варианты решения // *Гений ортопедии*. 2014. № 3. С. 24-30.
8. Westberry D.E., Carpenter A.M., Tisch J., Wack L.I. Amputation outcomes in congenital pseudarthrosis of the tibia // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2018. V. 38. № 8. P. e475-e481.
9. Anderson J.L., Gutmann D.H. Neurofibromatosis type 1 // *Handbook of clinical neurology*. 2015. V. 132. P. 75-86.
10. Мустафин Р.Н. Особенности ортопедической патологии у больных нейрофиброматозом I типа // *Гений ортопедии*. 2022. Т. 28. № 2. С. 296-304.
11. Захарьян Е.А. Чигвария Н.Г., Гаркавенко Ю.Е., Поздеев А.П., Гранкин Д.Ю., Афоничев К.А. Возможности реконструктивной хирургии конечностей при лечении врожденного ложного сустава костей голени у детей с применением микрохирургической техники—реконструкция или ампутация? // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2022. Т. 10. № 4. С. 429-439.
12. Errani C., Ceruso M., Donati D.M., Manfrini M. Microsurgical reconstruction with vascularized fibula and massive bone allograft for bone tumors // *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*. 2019. V. 29. P. 307-311. DOI: 10.1007/s00590-018-2360-2.
13. Karami R.A. Ghieh F.M., Saghie S.S., Ibrahim A.E. The use of the fibula flap in post oncologic reconstruction of long bone in pediatric patients: a retrospective cohort study // *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. 2021. V. 74. № 10. P. 2504-2511. DOI: 10.1016/j.bjps.2021.03.017.
14. Sun Y., Zhang C., Jin D., Sheng J., Cheng X., Zeng B. Treatment for large skeletal defects

by free vascularized fibular graft combined with locking plate // Archives of orthopaedic and trauma surgery. 2010. V. 130. P. 473-479. DOI: 10.1007/s00402-009-0898-5.

15. Organek A.J., Klebuc M.J., Zuker R.M. Indications and outcomes of free tissue transfer to the lower extremity in children // Journal of reconstructive microsurgery. 2006. V. 22. № 3. P. 173-182.