

МИКРОХИРУРГИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ БОЛЬШИХ ДИАФИЗАРНЫХ ДЕФЕКТОВ У ДЕТЕЙ

Аракелян А.И.¹, Авдейчик Н.В.¹, Гранкин Д.Ю.¹, Чернявская-Хаукка В.В.¹,
Голяна С.И.¹, Сафонов А.В.¹, Захарьян Е.А.¹, Афоничев К.А.¹

ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава РФ, Санкт-Петербург,
e-mail: a_bryanskaya@mail.ru

Значительные по протяженности диафизарные дефекты длинных трубчатых костей являются сложной проблемой в детской ортопедии. Причинами их возникновения могут стать врожденные патологии опорно-двигательного аппарата, посттравматические дефекты, последствия хирургического удаления опухолевых новообразований, а также инфекционно-воспалительные процессы. Длительное существование таких костных дефектов приводит к значительному снижению функции конечности и, как следствие, ухудшению качества жизни пациента. Общепринятой тактикой лечения таких пациентов считают хирургическую коррекцию. В мировой литературе предложены различные варианты оперативных методик, однако ни одна из них не представляется к настоящему времени совершенной. Одним из перспективных направлений устранения больших диафизарных дефектов у детей считают применение васкуляризованных аутотрансплантатов. В качестве микрохирургических трансплантатов чаще всего применяют малоберцовую кость, также могут быть использованы кровоснабжаемые фрагменты лопатки, ребер, плюсневой кости и другие. Цель исследования: провести анализ литературных данных использования кровоснабжаемых костных трансплантатов при реконструкции больших диафизарных дефектов. Отобрано 35 публикаций в отечественной и мировой литературе, которые описывают возможности применения микрохирургической аутотрансплантации при устранении обширных диафизарных дефектов длинных трубчатых костей. В основном используется фрагмент малоберцовой кости.

Ключевые слова: микрохирургическая реконструкция, диафизарные дефекты, дети.

MICROSURGICAL RECONSTRUCTION OF LARGE DIAPHYSEAL DEFECTS IN CHILDREN

Arakelyan A.I., Avdeichik N.V., Grankin D.Y., Chernyavskaya-Haukka V.V., Golyan S.I.,
Safonov A.V., Zakharian E.A., Afonichev K.A.

H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg,
e-mail: a_bryanskaya@mail.ru

Large diaphyseal defects of long tubular bones are a challenging issue in pediatric orthopedics. They can be caused by congenital abnormalities of the musculoskeletal system, posttraumatic defects, sequelae of surgical removal of tumor neoplasms, as well as infectious and inflammatory processes. The long-term presence of such bone defects leads to a significant reduction in limb function and, as a result, worsens the quality of life of the patient. Surgical correction is considered to be the generally accepted treatment strategy for such patients. Various surgical techniques have been proposed in the world literature, but none of them seems to be perfect by now. The use of vascularized autografts is considered to be one of the promising approaches to repairing large diaphyseal defects in children. Most often, the peroneal bone is used as a microsurgical graft. Other bone fragments, such as the scapula, ribs, metatarsal bone, and others, can also be used. The aim of the study was to analyze the literature data on the use of vascularized bone grafts in the reconstruction of large diaphyseal defects. We selected 35 publications in the national and world literature describing the possibilities of microsurgical autografting in the reconstruction of large diaphyseal defects of long tubular bones. A fragment of the fibula is mainly used.

Keywords: microsurgical reconstruction, diaphyseal defects, children.

Большие диафизарные дефекты длинных трубчатых костей (более 2/3 диафиза) представляют собой сложную клиническую проблему и достаточно часто встречаются как во взрослой, так и в детской практике. Данные дефекты по определению считаются практически неспособными к самопроизвольному заживлению, и, следовательно, требуется проведение

оперативного лечения, что составляет миллионы хирургических процедур в год [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Причины возникновения больших диафизарных дефектов различны: врожденные патологии опорно-двигательного аппарата, посттравматические дефекты в связи с высокоэнергетической травмой, пострезекционный дефицит костной ткани после удаления опухолевых новообразований или ложного сустава, а также инфекционно-воспалительные процессы. Из-за нарушений процессов регенерации тканей, высокого риска осложнений лечение пациентов с большими диафизарными дефектами возможно только хирургическим путём и зачастую требует проведения повторных оперативных вмешательств. Сложности с восстановлением сегментарного дефекта также связаны со структурной и функциональной значимостью длинных трубчатых костей, высокими механическими нагрузками, особенно на нижнюю конечность. Более того, данные дефекты в большинстве случаев сопровождаются дефицитом мягких тканей, что требует проведения одномоментного восстановления поврежденных окружающих тканей [2].

К настоящему времени предложено несколько вариантов восстановления больших диафизарных дефектов костей. Костные свободные ауто- и аллотрансплантаты исторически были первыми разработанными методами лечения [2]. Затем стали применять свободные кровоснабжаемые трансплантаты малоберцовой кости для увеличения остеоинтеграции и жизнеспособности реконструированной кости [4].

В последние десятилетия возросла популярность «костного транспорта» с одновременным применением дистракционного остеогенеза. Аппараты внешней фиксации (монолатеральные и круговые) были и остаются «золотым стандартом» для выполнения этого вмешательства. Костный транспорт с использованием техники Илизарова показал себя как эффективный метод лечения обширных костных дефектов, с удовлетворительными отдаленными функциональными результатами [5]. Еще один вариант таких техник – это перемещение кости с помощью магнитного интрамедуллярного гвоздя. Предложенная современная методика является новым и действенным вариантом исправления костных дефектов. Основные преимущества этого метода заключаются в том, что пациент может вернуться к своей повседневной деятельности с высокой степенью функциональности и без осложнений, связанных с использованием внешних фиксаторов. Кроме того, дистракция с помощью гвоздя позволяет контролировать остеогенез при остеотомии без повреждения прилегающих мягких тканей. Однако такие конструкции имеют высокую стоимость, что обуславливает их ограниченное применение в практике [6; 7].

Новейшие публикации посвящены методам внутреннего удлинения, при котором используются ауто- и аллотрансплантаты, титановые сетчатые кейджи и биоактивные мембраны, что позволяет выполнять сложные биологические реконструкции [7].

В случаях, когда патологический процесс затрагивает метаэпифизарную область, методом лечения может стать эндопротезирование сустава. При проведении эндопротезирования для взрослого контингента пациентов одним из ведущих факторов является быстрое восстановление физической активности и трудоспособности больного. В детской практике эндопротезирование суставов не является распространённым вариантом восстановления анатомии конечностей, предпочтение отдается реконструктивной хирургии, направленной на сохранение функционирования ростковой зоны пациентов младшего возраста [9]. Однако реконструктивные вмешательства требуют более длительной реабилитации в сравнении с методикой эндопротезирования суставов конечностей. Это надо учитывать, планируя лечебный алгоритм [10-12]. Несмотря на значительное количество исследований, посвященных хирургическому лечению пациентов с большими диафизарными дефектами, до сих пор не достигнут консенсус в отношении наилучшего метода оперативного вмешательства. Продолжительное лечение данного контингента пациентов, связанное с высоким риском осложнений и болезненным периодом реабилитации в послеоперационном периоде, отрицательно влияет на психологическое состояние пациентов. Поэтому чрезвычайно важно выбирать наилучшую стратегию лечения для каждого пациента, принимая во внимание локализацию дефекта. Кроме того, у детей необходимо учитывать не только восстановление анатомии и функции конечности, но и возможность последующего роста реконструированной кости.

Цель исследования – провести анализ литературных данных использования свободных кровоснабжаемых костных трансплантатов при реконструкции больших диафизарных дефектов у детей.

Материалы и методы исследования

Проведен литературный поиск в базах данных PubMed, MedLine и eLibrary по следующим ключевым словам: large diaphyseal defects, microsurgical reconstruction, pediatric orthopedics, vascularized autografts, long tubular bones. Выборка источников ограничивалась 2000–2023 гг.

Критерии включения в исследование: 1) литературный обзор; 2) клинические случаи; 3) полнотекстовые публикации (краткие сообщения, тезисы и материалы конференции не использовались). После первичного анализа по данному запросу было выявлено 36 русско- и англоязычных публикаций, которые соответствовали данным критериям.

Результаты исследования и их обсуждения

Задачами лечения больших диафизарных дефектов являются: 1) восстановление анатомической структуры конечности; 2) получение наилучших функциональных и косметических результатов за счет коррекции деформации и длины сегмента. В настоящее

время предложены различные варианты закрытия больших диафизарных дефектов: эндопротезирование, костная пластика дефекта алло- либо аутооттрансплантатами свободным лоскутом либо на сосудистой ножке. Решение о том, какой метод использовать, зависит не только от размеров и локализации дефекта, но и от возраста пациента [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**3].

Большие диафизарные дефекты могут захватывать функционирующую зону роста, что приводит к значительным различиям в длине конечности у детей. Проведение реконструктивных операций с использованием стандартного эндопротеза в основном будет затрагивать соседнюю нормальную зону роста, что также приведет к ее травматизации. В связи с этим обычные эндопротезы не являются оптимальными для педиатрических пациентов. Кроме того, размеры многих эндопротезов недоступны для данной возрастной группы [14].

По данным литературы, при использовании эндопротезов отмечается достаточно высокий риск развития таких осложнений, как инфекционно-воспалительные явления, асептическое расшатывание и отторжение имплантата. Развитие осложнений приводит к необходимости проведения повторных хирургических вмешательств, следствием чего является ухудшение кровообращения и снижение репаративных свойств оперированной конечности. Большое количество реэндопротезирований в конечном счете может привести к необходимости артродезирования сустава, что значительно снижает функциональность поврежденной конечности пациента [14]. Использование различных вариантов костной пластики алло-и аутооттрансплантатами не всегда возможно из-за нарушения трофики в заинтересованной зоне и дефицита мягких тканей, что значительно усугубляет репаративный процесс поврежденного сегмента [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Не кровоснабжаемые трансплантаты заживают путем ползучего замещения (одновременного процесса остеокластической и остеогенной активности), это увеличивает время консолидации, ослабляет трансплантаты и повышает риск развития осложнений, в первую очередь таких, как формирование атрофического регенерата либо перелома в зоне «кость - трансплантат». Кроме того, данный вид костной пластики допустимо применять при размере дефекта не более 6 см [16].

К значительным преимуществам применения кровоснабжаемых аутооттрансплантатов относят возможность сохранения их биологических и механических свойств на протяжении всего процесса репарации и заживление путем первичного сращения. Поэтому их можно использовать при реконструкции конечности с плохой васкуляризацией и повреждением окружающих мягких тканей. Кроме того, возможно проводить пересадку кровоснабжаемого аутооттрансплантата большой протяженности (до 26 см). При необходимости в состав таких

ауто трансплантатов возможно включить кожно-мышечный комплекс, который позволит одновременно заместить костный и мягкотканый компоненты дефекта [18-20]. Таким образом, микрохирургическая реконструкция больших диафизарных дефектов позволяет решить многие задачи в одну хирургическую сессию и является перспективным направлением при лечении пациентов, особенно детского возраста, с большими по протяженности сложными костными дефектами.

Ауто трансплантация кровоснабжаемой малоберцовой кости остается «золотым стандартом» лечения протяженных дефектов длинных трубчатых костей. Это связано с ее длиной, надежным кровоснабжением, прочностью и стабильностью трубчатой кости, особенно после ее гипертрофии. Важно отметить, что резекция сегмента малоберцовой кости не критично влияет на функциональность нижней конечности [21-22]. Кроме того, в структуру малоберцового трансплантата могут быть включены окружающие мягкие ткани, такие как фасция, мышцы и кожа. А у детей для восстановления поврежденной ростковой зоны длинной трубчатой кости возможно проведение микрохирургической пересадки головки малоберцовой кости с включенным эпифизом [24]. При длине костного дефекта до 6 см могут быть использованы свободные кровоснабжаемые фрагменты лопатки, ребра, плюсневой кости [25; 25].

Дефекты костей, возникшие после лечения опухолей, встречаются у 10% пациентов детского возраста. При большом размере опухоли необходимо выполнение обширной резекции кости в пределах здоровой ткани, что приводит к образованию массивного дефекта [21]. Исторически сложилось так, что ампутация конечности была стандартной процедурой у данного контингента пациентов. Современные режимы адъювантной химиотерапии и облучения увеличили выживаемость многих пациентов. Следовательно, необходимо проведение оперативного лечения, направленного на восстановление длины и оси пораженной конечности для повышения качества жизни этой сложной категории больных [26]. У пациентов детского возраста также необходимо учитывать будущий рост конечности, поэтому любые проводимые в последующем реконструкции больших диафизарных дефектов должны иметь долгосрочный эффект. Целью реконструктивных вмешательств является достижение костного сращения и долговременной функциональной стабильности с минимальными осложнениями. Снижение репаративных функций организма на фоне онкологического процесса и проводимых медицинских мероприятий усложняет задачу восстановления целостности конечности [27].

Karami et al. (2012) представили результаты наблюдения 10 детей с опухолями длинных трубчатых костей. Пациентам были проведены реконструкции больших диафизарных дефектов (бедренной, плечевой и большеберцовой костей) с помощью свободной пересадки

кровообращаемой малоберцовой кости. Сроки наблюдения составили 5 лет. У всех пациентов выявлено приживление трансплантата. Трое пациентов скончались в течение первого года после операции из-за метастазирования. Отдалённые осложнения наблюдались у двух пациентов. В 1 случае не отмечено ремоделирования трансплантата, однако осевая нагрузка была возможна. У другого пациента сформировался ложный сустав в проксимальном отделе на границе «кость - трансплантат», что потребовало дополнительной костной пластики через 8 месяцев после операции. Таким образом, при долгосрочном наблюдении отмечены хорошие результаты лечения пациентов, а частота осложнений оказалась ниже по сравнению с другими методиками реконструкций [21]. Согласно литературным источникам, значительное количество публикаций показывают высокую эффективность применения кровообращаемых трансплантатов в лечении больших диафизарных дефектов, возникших на фоне опухолевых процессов [29; 30].

Следующей распространённой причиной возникновения значительных по протяжению дефектов длинных трубчатых костей являются последствия травм. У данной группы пациентов основными патологическими процессами, приводящими к возникновению больших диафизарных дефектов, являются ложные суставы и остеомиелит. Обзор литературы показал значительное количество таких наблюдений как у взрослых, так и в детской практике [31; 32].

Интересным представляется клиническое наблюдение Chubb P. et al. (2012 г.), которые представили результат лечения десятилетней пациентки с переломом латерального мыщелка плечевой кости. В анамнезе ребенку выполняли металлоостеосинтез данной зоны. Впоследствии сформировался ложный сустав, вальгусная деформация конечности, развился стойкий болевой синдром. Для восстановления анатомии конечности специалистами выполнена реконструкция конечности, с использованием фрагмента васкуляризованного гребня подвздошной кости в месте несращения, с хорошими отдалёнными результатами [33].

При пересадке васкуляризованных трансплантатов может возникать большое количество осложнений, среди них наиболее часты такие, как лизис ауто трансплантата, его перелом, инфицирование, гипертрофия или гипотрофия трансплантата, и, как следствие, их недостаточная функциональность, которые значительно ограничивают физическую активность пациентов и требуют повторных оперативных вмешательств [34].

Toros et al. (2021) провели анализ гипертрофии, наблюдаемой в васкуляризованных лоскутах малоберцовой кости, используемых для реконструкции дефектов длинных трубчатых костей. Были проанализированы результаты лечения 33 пациентов, перенесших реконструкцию массивных костных дефектов костей верхней или нижней конечности с

использованием васкуляризованного лоскута малоберцовой кости. Авторы выделили 4 различных варианта гипертрофии аутотрансплантата: тип 0 - отсутствие гипертрофии, тип 1 - ограниченная гипертрофия, тип 2 - выраженная гипертрофия, вызванная стрессовым переломом, и тип 3 - массивная гипертрофия, усиленная образованием периферической кости [22].

Шаповаловым В.В. и соавторами (2013) был проведен анализ 135 операций по пересадке васкуляризованных костных трансплантатов, которые использовали для хирургического лечения пациентов с ложными суставами дефектов ключичной, плечевой, локтевой, лучевой, лучезапястной, пястной костей и фаланг пальцев. Сращение отмечено практически у всех оперированных больных – 130 человек. Более раннее снятие иммобилизации (2 наблюдения), повторная травма (у 2 пациентов) и остеомиелит пересаженного трансплантата, потребовавшие его удаления у 1 больного, явились причинами несостоятельности у 5 (3,7%) больных [35].

Liu Y. et al. (2021) провели анализ лечения 12 пациентов, которым применили технику сегментарной костной трансплантации с помощью аппарата Илизарова для реконструкции диафизарных дефектов предплечья. Авторы отмечали осложнения, связанные с аутотрансплантатом, в 5 наблюдениях. У одного пациента диагностировали интерпонат между сращиваемыми концами отломков, а в 4 наблюдениях слабое качество трансплантата привело к нарушению оси конечности (1 наблюдение), замедленной консолидации (2 наблюдения), несращению (1 наблюдение) и, как следствие, к функциональной недостаточности оперированной конечности. Всем пациентам были выполнены ревизионные вмешательства в зоне несостоятельности с положительным исходом [36].

Заключение. Оценка результатов микрохирургических трансплантаций при значительных по протяженности диафизарных дефектах длинных трубчатых костей выявила большое разнообразие показаний и применяемых трансплантатов. «Золотым стандартом» остается использование трансплантата длинной трубчатой кости, однако при необходимости возможно применять фрагменты других костей. Большинство исследований показывают хорошие долгосрочные результаты и выживаемость костного сегмента после реконструктивных операций с применением кровоснабжаемых трансплантатов. В детской практике васкуляризованные трансплантаты являются оптимальным вариантом выбора реконструкции утраченного фрагмента кости, так как могут восстановить функциональность конечности на длительный период, что особенно важно для растущего организма. Однако осложнения, отмеченные исследователями, показывают, что остаётся много вопросов по совершенствованию данных методик для получения устойчивых положительных результатов на долгосрочный период.

Список литературы

1. Weber K.L. What's new in musculoskeletal oncology // *J. Bone Jt. Surg. Am.* 2005. Vol. 87 no. 6. P. 1400–1410. DOI: 10.2106/JBJS.E.00257.
2. Giannoudis P.V., Dinopoulos H., Tsiridis E. Bone substitutes: an update // *Injury*. 2005. Vol. 36. no. 3(Supplement). P. 20–27. DOI: 10.1016/j.injury.2005.07.029.
3. Allsopp B.J., Hunter-Smith D.J., Rozen W.M. Vascularize versus Nonvascularized Bone Grafts: What Is the Evidence? // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2016. Vol. 474. no. 5. P. 1319-1327. DOI: 10.1007/s11999-016-4769-4.
4. Beris A.E., Lykissas M.G., Korompilias A.V., Vekris M.D., Mitsionis G.I., Malizos K.N., Soucacos P.N. Vascularized fibula trans-fer for lower limb reconstruction // *Microsurgery*. 2011. Vol. 31. no. 3. P. 205–211. DOI: 10.1002/micr. 20841.
5. Yalikun A., Ren P., Yushan M., Yusufu A. Clinical outcomes of bone transport using rail fixator in the treatment of femoral nonunion or bone defect caused by infection // *Front Surg*. 2022. Vol. 9. no. 9. P. 970765 DOI: 10.3389/fsurg.2022.970765.
6. Houdek M.T., Wagner E.R., Wyles C.C., Nanos G.P. 3rd, Moran S.L. New options for vascularized bone reconstruction in the upper extremity // *Semin. Plast. Surg.* 2015 Vol. 29. no. 1. P. 20-29. DOI: 10.1055/s-0035-1544167.
7. Ebeid W.A., Hassan M.H.A. Functional Outcome Following Proximal Tibial Osteosarcoma Resection and Reconstruction by Modular Endoprosthesis // *Ann. Surg Oncol.* 2023. Vol. 30. P. 1914-1925. DOI: 10.1245/s10434-022-12788-3.
8. Venkatramani H., Sabapathy S.R., Dheenadayalan J., Devendra A., Rajasekaran S. Reconstruction of post-traumatic long segment bone defects of the lower end of the femur by free vascularized fibula combined with allograft (modified Capanna's technique) // *Eur. J. Trauma Emerg Surg*. 2015. Vol. 41. no. 1. P. 17–24. DOI: 10.1007/s00068-014-0451-2.
9. Alpan B., Eralp L., Sungur M., Valiyev N., Özger H. Femoral Discrepancy After Childhood Bone Sarcoma Surgery Can Be Treated With Magnetic Intramedullary Nails // *Orthopedics*. 2023. Vol. 46. no. 1. P. 27-34. DOI: 10.3928/01477447-20221024-03.
10. Moses Li M.L., Wong K.C., Chiu W.K., Kumta S.M. Intermediate-term results and risk factors analysis of tumor endoprosthesis in paediatric patients after the resection of lower extremity bone sarcoma // *J. Orthop. Surg. (Hong Kong)*. 2022. Vol. 30. no. 3. P.10225536221132403. DOI: 10.1177/10225536221132403.
11. Pereira C.M., Pinto F.F.E., Nakagawa S.A., Chung W.T. Reconstruction with Unconventional Endoprostheses after Resection of Primary Distal Femoral Bone Tumors: Implant Survival and

Functional Outcomes // Rev. Bras. Ortop. (Sao Paulo). 2022. Vol. 57. no. 6. P. 1030-1038. DOI: 10.1055/s-0042-1748966.

12. Zelenski N., Brigman B.E., Levin L.S., Erdmann D., Eward W.C. The vascularized fibular graft in the pediatric upper extremity: a durable, biological solution to large oncologic defects // Sarcoma. 2013. Vol. 2013. P. 321201. DOI: 10.1155/2013/321201.

13. Petrella G., Tosi D., Pantaleoni F., Adani R. Vascularized bone grafts for post-traumatic defects in the upper extremity // Arch. Plast. Surg. 2021 Vol. 48. no. 1. P. 84-90. DOI: 10.5999/aps.2020.00969.

14. Zou C., Zhao Z., Lin T., Huang Y., Xie X., Yin J., Huang G., Wang B., Shen J. Long-term outcomes of limb salvage treatment with custom-made extendible endoprosthesis for bone sarcoma around the knee in children // Journal of Orthopaedic Surgery and Research. 2020. Vol. 15. no. 1. P. 14. DOI: 10.1186/s13018-019-1534-x.

15. Grimer R.J., Belthur M., Carter S.R., Tillman R.M., Cool P. Extendible replacements of the proximal tibia for bone tumours // J. Bone Joint Surg. Br. 2000. Vol. 82. no. 2. P. 255–260. PMID: 10755437.

16. 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. DOI: 10.17816/PTORS2445-50.

17. Eward W.C., Kontogeorgakos V., Levin L.S., Brigman B.E. Free vascularized fibular graft reconstruction of large skeletal defects after tumor resection // Clin. Orthop. Relat. Res. 2010. Vol. 468. no. 2. P. 590–598. DOI: 10.1007/s11999-009-1053-x.

18. Mountziaris P.M., Rudolph C.M., Fournier C.T., Haykal S., Ricci J.A., Rezak K.M., Patel A. Systematic review and guidelines for perioperative management of pediatric patients undergoing major plastic surgery procedures, with a focus on free tissue transfer // Plast. Reconstr. Surg. 2022. Vol. 150. no. 2. P. 406–415. DOI: 10.1097/PRS.00000000000009325.

19. Sirveaux F. Reconstruction techniques after proximal humerus tumour resection // Orthop. Traumatol. Surg. Res. 2019. Vol. 105. no. 1S. P.153-164. DOI: 10.1016/j.otsr.2018.04.024.

20. Гранкин Д.Ю., Голяна С.И., Авдейчик Н.В., Сафонов А.В., Тихоненко Т.И., Галкина Н.С., Захарьян Е.А., Афоничев К.А., Аракелян А.И. Применение микрохирургической аутотрансплантации кровоснабжаемых тканевых комплексов для замещения обширных дефектов конечностей у детей // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2022. Т. 10. №4. С. 375-384. DOI: 10.17816/PTORS114719.

21. Karami R.A., Ghieh F.M., Saghieh 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 // *J. Plast. Reconstr Aesth et Surg.* 2021. Vol. 74. no. 10. P. 2504-2511. DOI: 10.1016/j.bjps.2021.03.017.
22. Toros T., Kayalar M., Özaksar K., Sügün T.S., Gürbüz Y. Classification of vascularized fibular flap hypertrophy based on X-ray evaluation // *Acta. Orthop. Traumatol. Turc.* 2021. Vol. 55. no. 6. P. 541-546. DOI: 10.5152/j.aott.2021.20206.
23. Mimata Y., Nishida J., Sato K., Suzuki Y., Doita M. Glenohumeral arthrodesis for malignant tumor of the shoulder girdle // *J. Shoulder Elbow Surg.* 2015. Vol. 24. no. 2. P. 174-178. DOI: 10.1016/j.jse.2014.05.023.
24. Houdek M.T., Wagner E.R., Wyles C.C., Nanos G.P., Moran S.L. New options for vascularized bone reconstruction in the upper extremity // *Semin. Plast Surg.* 2015. Vol. 29. no. 1. P. 20-29 DOI: 10.1055/s-0035-1544167.
25. Авдейчик Н.В., Голяна С.И., Гранкин Д.Ю., Сафонов А.В., Тихоненко Т.И., Галкина Н.С. Возможности применения микрохирургической аутотрансплантации комплексов тканей у детей // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2020. Т.8. Вып. 4. С. 437-450. DOI: 10.17816/PTORS17896.
26. Barton B.M., Mamdani M., Lumley C., Blumberg J., Huang B.Y., Patel S.N. Osseointegration and Bone Resorption of Scapula Tip Free Flaps in Mandibular Reconstruction // *Laryngoscope.* 2023. Vol. 1. P.1-6. DOI: 10.1002/lary.30574.
27. Reed. D.R., Hayashi. M., Wagner. L., Binitie O., Steppan D. A., Brohl A.S., Shinohara E.T., Bridge J.A., Loeb D.M., Borinstein S.C., Isakoff M.S. Treatment pathway of bone sarcoma in children, adolescents, and young adults // *Cancer.* 2017. Vol. 123. no. 12. P. 2206-2218. DOI: 10.1002/cncr.30589.
28. Wilkins R.M., Miller C.M. Reoperation after limb preservation surgery for sarcomas of the knee in children // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2003. Vol. 412. P. 153–161. DOI: 10.1097/01.blo.0000072466.53786.83.
29. Landau M.J., Badash I., Yin C., Alluri R.K., Patel K.M. Free vascularized fibula grafting in the operative treatment of malignant bone tumors of the upper extremity: A systematic review of outcomes and complications // *J. Surg. Oncol.* 2018 Vol. 117. no. 7. P. 1432-1439. DOI: 10.1002/jso.25032.
30. Stevenson J.D., Doxey R., Abudu A., Parry M., Evans S., Peart F., Jeys L. Vascularized fibular epiphyseal transfer for proximal humeral reconstruction in children with a primary sarcoma of bone // *Bone Joint J.* 2018 Vol. 100. no. 4. P. 535-541. DOI: 10.1302/0301-620X.100B4.BJJ-2017-0830.R1.

31. Dabestani P.J., Ramsey M.D., Chappell A.G., Fracol M.E., Stover M.D., Ko J.H. Free Vascularized Fibular Flap with Bilateral Bipolar Latissimus Transfer for Upper Extremity Reconstruction: A Case Report // *JBJS Case Connect.* 2022. Vol. 14. no. 12. P. 4. DOI: 10.2106/JBJS.CC.22.00286.
32. Olvera-Caballero C., Ortiz-Dominguez A. Pediatric Arm Reconstruction after Shot-gun Injury Using Peroneal Free-flap and Pedicled Latissimus Dorsi Muscle Flap: Late Follow-up // *Plast. Reconstr. Surg. Glob. Open.* 2016. Vol. 4. no. 8. P. 844. DOI: 10.1097/GOX.0000000000000818.
33. Chubb P., Oishi S., Lattanza L. Free Vascularized Iliac Crest Bone Graft for the Treatment of a Pediatric Lateral Humeral Condyle Fracture Nonunion: A Case Report // *JBJS Case Connect.* 2012. Vol. 2. no. 4. P. 63. DOI: 10.2106/JBJS.CC.K.00125.
34. Feltri P., Solaro L., Martino A. Di., Candrian C., Errani C., Filardo G. Union, complication, reintervention and failure rates of surgical techniques for large diaphyseal defects: a systematic review and meta-analysis // *Scientific Reports.* 2022. Vol. 12. no. 1. P. 9098. DOI: 10.1038/s41598-022-12140-5.
35. Шаповалов В.М., Губочкин Н.Г., Микитюк С.И. Формирование кровоснабжаемых костных трансплантатов и их использование для лечения ложных суставов и дефектов костей // *Вестник хирургии* 2013. №4. С. 63-67.
36. Liu Y., Yushan M., Liu Z., Liu J., Ma C., Yusufu. A. Treatment of diaphyseal forearm defects caused by infection using Pizarov segmental bone transport technique // *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2021. Vol. 22. no. 1. P. 36. DOI: 10.1186/s12891-020-03896-w.