Проблема замещения посттравматических дефектов длинных костей в отечественной травматолого-ортопедической практике (обзор литературы)

А.Л. Шастов, Н.А. Кононович, Е.Н. Горбач

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия

Management of posttraumatic long bone defects in the national orthopedic practice (literature review)

A.L. Shastov, N.A. Kononovich, E.N. Gorbach

Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation

Представлены современные тенденции возмещения посттравматических дефектов длинных костей по данным отечественной литературы. Освещена актуальность проблемы, обусловленная ростом травматизма в целом и утяжелением травмы. Показаны основные направления в решении проблемы возмещения дефектов костей. Проанализированы преимущества и недостатки отдельных методик, а также современных имплантационных материалов на основе гидроксиапатита, биокерамики и титановых сплавов. Отмечено, что для создания оптимальных имплантов необходимо междисциплинарное взаимодействие с привлечением специалистов в области тканеинженерных технологий, врачей, биологов, физиков, специалистов в сфере промышленности и при достаточной финансовой поддержке.

Ключевые слова: длинные кости, дефект, имплант, аппарат Илизарова, остеоиндукция, остеокондукция, гидроксиапатит, титан, биокерамика, костная пластика

We present present-day trends in the compensation of post-traumatic defects of long bones according to the Russian literature sources. The relevance of the problem due to the growth in the number of injuries in general and in the severity of trauma is highlighted. The basic directions in the solution of the problem of compensation of bone defects are shown. The merits and shortcomings of the available techniques as well as modern implantation materials based on hydroxyapatite, bioceramics and titanium alloys are analyzed. It has been pointed out that interdisciplinary interaction with the involvement of experts in the field of tissue engineering technologies, physicians, biologists, physicists, industry specialists and a sufficient financial support is needed to create optimal implants.

Keywords: long bone, defect, implant, Ilizarov apparatus, osteoinduction, osteoconduction, hydroxyapatite, titanium, bioceramics, bone plasty

В Российской Федерации проблема замещения дефектов костной ткани занимает одну из приоритетных позиций в медицинской, социальной и экономической сферах [1, 2, 3, 4]. Причиной формирования подобного рода патологии являются переломы, кистозные образования, опухоли, ложные суставы, инфекционные поражения и другие состояния, связанные с необходимостью выполнения резекции кости [3].

Но, прежде всего, актуальность проблемы связана с возросшей долей за последние годы высокоэнергетической травмы и появлению большого числа пострадавших с последствиями политравм [5, 6, 7, 8].

В восстановительной хирургии дефектов трубчатых костей в настоящее время можно выделить четыре направления: свободная пересадка костной ткани и костей, замещение дефекта остеозамещающими и остеоиндуцирующими материалами, несвободная пересадка костной ткани по Г.А. Илизарову и комбинированные методы.

Травматологи-ортопеды как наиболее эффективному и альтернативному методу отдают предпочтение несвободной костной пластике по Г.А. Илизарову и реплантации в дефект васкуляризованного или свободного аутоотрансплантата [4].

Идея возмещения дефекта кости, предложенная Г.А. Илизаровым, открыла новую страницу в костно-пластической хирургии [9, 10, 11]. Способ основан на создании компрессионно-дистракционных усилий в месте контакта костных фрагментов и дозированном перемещении аутоотрансплантата в дефект. При этом последний заполнялся несвободным трансплантатом с формированием дистракционного регенерата, претерпевающего со временем полную органотипическую перестройку, и воссозданием анатомии сегмента конечности [12, 13].

Несмотря на очевидные преимущества, многие специалисты неоднозначно относятся к использованию метода Г.А. Илизарова в своей практике. Это обусловлено длительностью и многоэтапностью стационарного лечения, сложностью и трудоемкостью остеосинтеза. Кроме того, необходим постоянный контроль в течение всего периода лечебно-реабилитационных мероприятий, что достаточно сложно при отдаленности проживания больных от специализированных лечебных учреждений.

Также выделяют ряд локальных проблем, возникающих в процессе и после лечения (в определенной сте-

пени снижение качества жизни пациентов в результате необходимости выполнения перевязок, неудобство выполнения гигиенических процедур и т.д.) [14, 15, 16].

Для уменьшения аппаратного периода лечения был предложен и экспериментально апробирован вариант в виде комбинации методик блокируемого интрамедуллярного и внешнего остеосинтеза аппаратом Илизарова. Данная методика хорошо себя зарекомендовала при ее использовании в клинической практике [17].

В ряде работ показано, что индекс чрескостного остеосинтеза при замещении дефекта длинных костей технологией комбинированного остеосинтеза был равен индексу distraction, составляя $10,2 \pm 0,78$ дн./см, однако, по данным других авторов, в аналогичной ситуации период аппаратной фиксации соответствовал $160 \pm 29,8$ дня. Несмотря на то, что ускорения процесса органотипической перестройки distractionного регенерата достигнуто не было, отмечено уменьшение стационарного пребывания пациентов и улучшение качества их жизни [17, 18].

В свою очередь, использование свободной ауто-трансплантации с артериовенозным шунтированием отличается сложностью выполнения, требует высокотехнологичного оборудования. Применение данной методики ограничено объемом донорского материала. Также существует высокий риск развития осложнений: формирование гематом с дальнейшим развитием гнойно-воспалительного процесса, повреждение сосудов и нервов, тромбозы артериовенозного анастомоза, рассасывание трансплантата, опасность перелома в донорской зоне, косметический дефект. Также данный вид пластики сопряжен с высоким риском несращений и возникновением патологических переломов реплантатов по причине замедленного остеогенеза [15].

Достойной альтернативой ауто- и аллотрансплантатов являются искусственные заменители костной ткани. Их небиологическое происхождение заметно снижает риск передачи инфекций, а также возникновения нежелательных иммунных реакций.

В настоящее время специалистами в области травматологии и ортопедии ведется активный поиск в данном направлении. Применяемые на сегодняшний день имплантационные материалы имеют различные свойства.

Одни из них обладают высокой механической прочностью, обеспечивая, тем самым, армирующий эффект на участке имплантат-кость, и, как правило, являются небиodeградируемыми. Другие, напротив, biodeградируемые, достаточно пластичны и предназначены для заполнения костных полостей сложной формы и различного объема [19, 20]. Те и другие должны обладать биосовместимостью с костной и окружающими тканями, остеокондуктивностью, остеоиндуктивными свойствами, являться матриксом для прорастания сосудов либо индукторами ангиогенеза. Материалы не должны оказывать токсического действия как на окружающие ткани, так и на организм в целом [21].

В травматологии и ортопедии внедрены импланты с высокими прочностными характеристиками, выдерживающими высокие механические нагрузки. Как правило, это небиodeградируемые материалы: керамика, металлы, углеродсодержащие и композитные либо полимерные материалы [22, 23, 24, 25, 26].

В зависимости от влияния на репаративную способность костной ткани выделяют:

- биотолерантные материалы: нержавеющая сталь, хром-кобальтовый сплав. Такие материалы отделяются от окружающих тканей в организме мощной фиброзной капсулой и не оказывают какого-либо влияния на срок консолидации [27];

- биоинертные материалы: титан, цирконий, золото, корундовая керамика, стеклогуглерод, никелид титана, тантал, ниобий, оксид алюминия, которые не оказывают влияния на срок замещения дефекта, однако репаративные процессы, связанные с формированием костной ткани, протекают на поверхности имплантируемого материала без формирования фиброзной капсулы [27, 28, 29];

- биоактивные материалы: имплантаты, покрытые гидроксиапатитом (ГА), трикальцийфосфатной керамикой и т.п. Стимулирующая субстанция обеспечивает взаимодействие импланта с окружающими тканями и ускоряет процессы костеобразования. Подложка играет роль каркаса и определяет механические свойства трансплантата [26, 27, 29, 30].

Самым биоинертным материалом в настоящее время считается титан. Пористый титан, благодаря его высокой твердости, кавитационной, коррозионной и эрозивной стойкости, немагнитности, биохимической и биомеханической совместимости с организмом человека, часто применяют в качестве эндофиксатора и трехмерной матрицы для формирования остеогенной ткани [31, 32, 33]. Вместе с тем, низкая остеointegrative функция требует покрытия поверхности имплантов из такого материала биоактивными веществами. Чаще всего с этой целью применяют гидроксиапатит, который способствует формированию коллагеновых и эластиновых волокон, влияет на дифференцировку клеточных элементов в остеогенном направлении [34, 35, 36].

Применение различных композиционных материалов, содержащих в своем составе гидроксиапатит, показало эффективность при замещении костных дефектов в экспериментальных условиях. Авторами отмечено, что восстановление целостности кости с наличием непрерывной корковой пластинки происходит, в среднем, через 90 суток [37, 38, 39, 40, 41, 42].

Однако другим исследователям при замещении аналогичных дефектов способами без применения дополнительных материалов удалось добиться восстановления кости в аналогичные сроки (92,7 суток, индекс фиксации $22,1 \pm 0,8$ дн./см) [43, 44].

Сокращению сроков формирования опороспособного участка кости в зоне дефекта может способствовать использование матрикса с нанесенными мультипотентными мезенхимальными клетками [45], а также трехмерных трансплантатов (остеогенные клетки, гидроксиапатит, протеогликан) [46]. Однако производство таких материалов требует сложного дорогостоящего оборудования.

Резюмируя все вышесказанное, можно сделать заключение о том, что существующие технологии замещения костных дефектов методами несвободной костной трансплантации по Илизарову связаны с длительным (около года) остеосинтезом аппаратами внешней фиксации, сложностью биомеханического процесса и значительным количеством осложнений.

Недостатком при использовании композиционных и клеточных имплантатов является их недостаточная

механическая прочность, несмотря на хорошие остеоиндуктивные свойства и возможность заполнения дефектов сложной формы.

Применение имплантационных материалов на основе биоинертных металлов и их сплавов, углерода и биокерамики позволяет добиться механической прочности в зоне дефекта. Но их широкое использование затруднено в связи с невозможностью возмещения дефектов сложной конфигурации и отсутствием достаточных индукционных свойств. Последнее решается путем покрытия имплантационных материалов биоактивными веществами.

Появившиеся в последнее время современные технологии, связанные с 3D прототипированием и обе-

спечивающие персонифицированный подход (так называемые аддитивные технологии), позволяют создать имплантаты, обладающие всеми необходимыми для замещения дефектов свойствами. Эти возможности в перспективе должны быть направлены на обеспечение быстрого и качественного изготовления биологически активных имплантов под конкретного пациента.

В целом создание имплантатов нового поколения, удовлетворяющих всем необходимым требованиям, возможно только при комплексном междисциплинарном подходе с привлечением специалистов в области тканеинженерных технологий, врачей, биологов, физиков, специалистов в сфере промышленности и при достаточной финансовой поддержке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабаш А.А., Барабаш А.П., Барабаш Ю.А. Формирование дистракционного регенерата при различных факторах компрометации остеогенеза // Сборник тезисов IX съезда травматологов-ортопедов России : в 3 т. Саратов, 2010. Т. 1. С. 84-85.
2. Борзунов Д.Ю. Несвободная костная пластика по Г.А. Илизарову в проблеме реабилитации больных с дефектами и ложными суставами длинных костей // Гений ортопедии. 2011. № 2. С. 21-26.
3. Нетьилько Г.И., Румакин В.П., Конев В.А. Экспериментальное моделирование костного дефекта со склерозированной стенкой // Гений ортопедии. 2014. № 3. С. 72-76.
4. Шевцов В.И., Борзунов Д.Ю. Реабилитация пациентов с дефектами и ложными суставами длинных костей, современное состояние проблемы // Гений ортопедии. 2008. № 4. С. 48-54.
5. Агаджанян В.В. Актуальные проблемы интенсивной помощи при политравме // Интенсивная помощь: проблемы и решения : материалы II Всероссий. конф. Ленинск-Кузнецкий, 2004. С. 3-5.
6. Алекперли А.У., Куршакова И.В., Карташкин В.Л. Особенности диагностики и лечения сочетанных повреждений у лиц пожилого и старческого возраста // Скорая мед. помощь. 2003. № 4. - С. 52-54.
7. Воронцова Т.Н., Тюляев Н.В., Соломин Л.Н. Социально-гигиеническая и клиничко-диагностическая характеристики пациентов, пролеченных методом внеочаговой фиксации по поводу переломов костей скелета // Гений ортопедии. 2011. № 4. С. 39-43.
8. Имплантаты с угловой стабильностью LCP. Хирургическая техника, комплектация наборов Mathys Medical Ltd. М., 2003. 27 с.
9. Илизаров Г.А. Значение комплекса оптимальных механических факторов в регенеративном процессе при чрескостном остеосинтезе // Экспериментально-теоретические и клинические аспекты чрескостного остеосинтеза, разработанного в КНИИЭКОТ : материалы Всесоюз. симпозиума с участием иностранных специалистов. Курган, 1984. С. 8-49.
10. Илизаров Г.А. Некоторые теоретические и клинические аспекты чрескостного остеосинтеза с позиций открытых нами обще-биологических закономерностей // Экспериментально-теоретические и клинические аспекты чрескостного остеосинтеза, разработанного в КНИИЭКОТ : тез. докл. Междунар. конф. Курган, 1986. С. 7-12.
11. Шевцов В.И. К 90-летию со дня рождения Г.А. Илизарова. Вклад Илизарова и созданной им школы развития метода чрескостного остеосинтеза // Гений ортопедии. 2011. №2. С. 7-14.
12. Gubin A.V., Borzunov D.Y., Malkova T.A. The Ilizarov paradigm: thirty years with the Ilizarov method, current concerns and future research // Int. Orthop. 2013. Vol. 37, no. 8. P. 1533-1539. doi: 10.1007/s00264-013-1935-0.
13. Solomin L.N. The basic principles of external skeletal fixation using the Ilizarov and other devices. Milan: Springer-Verlag, 2012.
14. Возможности современных методов реконструктивно-пластической хирургии в лечении больных с обширными посттравматическими дефектами тканей конечностей (обзор литературы). / Р.М. Тихилов, А.Ю. Кочиш, Л.А. Радоманова, Д.И. Кутянов, А.О. Афанасьев // Травматология и ортопедия России. 2011. № 2. С. 164-170.
15. Замещение обширных диафизарных дефектов длинных костей / А.П. Барабаш, Л.А. Кесов, Ю.А. Барабаш, С.П. Шпиняк // Травматология и ортопедия России. 2014. № 2 (72). С. 93-99.
16. Соломин Л.Н., Сабиров Ф.К. Осложнения, связанные с применением экстракортикальных фиксаторов при комбинированном и последовательном использовании чрескостного остеосинтеза и внутренней фиксации бедренной кости // Травматологи и ортопедия России. 2015. № 4 (78). С. 103-110.
17. Еманов А.А., Митрофанов А.И., Борзунов Д.Ю. Замещение дефект-псевдоартрозов длинных костей в условиях комбинированного остеосинтеза (экспериментальное исследование) // Гений ортопедии. 2013. № 3. С. 43-47.
18. Митрофанов А.И., Чевардин А.Ю. Технология комбинированного остеосинтеза при лечении больных с последствиями травм длинных трубчатых костей (технология остеосинтеза) // Гений ортопедии. 2014. № 3. С. 13-15.
19. Экспериментальное применение биокompозитных материалов в ветеринарной травматологии / Ю.В. Пичугин, А.В. Сапожников, В.А. Ермолаев, С.Н. Золотухин // Вестн. Ульянов. гос. с.-х. академии. 2011. № 3. С. 78-80.
20. Полянский Р.К., Козлов Н.А. Оценка эффективности использования межпозвоноковых имплантатов из углесталла у собак в шейном отделе позвоночного столба // Рос. ветеринар. журнал. Мелкие домашние и дикие животные. 2013. № 4. С. 11-13.
21. Барабаш А.П. Чрескостный остеосинтез при замещении дефектов длинных костей. Иркутск, 1995. 208 с.
22. Биокompозиты на основе фторполимеров с гидроксиапатитом для интрамедуллярных имплантов / А.М. Аронов, Е.Н. Бельбасов, В.В. Гузев, М.В. Дворниченко, С.И. Твердохлебов, И.А. Хлусов // Мед. техника. 2010. № 3. С. 35-41.
23. Кирилова И.А. Костная ткань как основа остеопластических материалов для восстановления костной структуры // Хирургия позвоночника. 2011. № 1. С. 68-74.
24. Углеродные наноструктурные имплантаты - инновационный продукт для травматологии и ортопедии. Часть 1. Результаты экспериментальных исследований / С.П. Миронов, В.И. Шевцов, Н.А. Кононович, М.А. Степанов, Е.Н. Горбач, Г.Ш. Голубев, К.С. Сергеев, В.И. Архипенко, А.А. Гринь, В.Л. Скрыбин, Л.Б. Резник, В.Д. Шатохин, А.А. Баймуратов // Вестн. травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. 2015. № 3. С. 46-53.
25. Experimental Study of Nanostructured Carbon Implants for Management of Circular Diaphyseal Long Bone Defects / N.A. Kononovich, V.I. Shevtsov, E.N. Gorbach, V.A. Medik, M.V. Stogov, D.Y. Borzunov, M.A. Stepanov // J. Bone Reports and Recommendations. 2015. Vol. 1, no. 1:7. doi: 10.4172/2469-6684.10007. Available at: iMedPub Journals. <http://www.imedpub.com>.
26. Interconnected porous hydroxyapatite ceramics for bone tissue engineering / H. Yoshikawa, N. Tamai, T. Murase, A. Myoui // J. R. Soc. Interface. 2009. Vol. 6, suppl. 3. P. S341-S348. doi: 10.1098/rsif.2008.0425.focus.
27. Бондарева Н.Е. Оценка готовности современного стоматологического рынка к появлению нового материала для дентальной и костной имплантации // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2014. № 11. С. 156-161.
28. Имплант- носитель клеточного материала из пористого проницаемого титана / В.И. Итин, Г.А. Прибытков, И.А. Хлусов, Л.В. Загребин, С.С. Шестов // Клеточная трансплантология и тканевая инженерия. 2006. № 3 (5). С. 59-63.

29. Сравнительное исследование костного регенерата после остеосинтеза переломов шейки бедренной кости биоинертными и биоактивными имплантатами с кальций фосфатным покрытием (экспериментальное исследование) / К.С. Казанин, А.В. Басов, М.С. Шпаковский, Н.И. Грибнов // Травматология и ортопедия России. 2015. № 3 (77). С. 51-60.
30. Кальцийфосфатные покрытия, созданные методом ВЧ-магнетронного распыления гидроксиапатита: остеогенный потенциал in vitro и in vivo / М.А. Сурменева, Р.А. Сурменев, И.А. Хлусов, В.Ф. Пичугин, М.Е. Конищев, М. Эппле // Известия Томск. Политехнолог. ун-та. 2010. № 317 (2). С. 101-106.
31. Место конструкций из никелида титана в лечении травм и заболеваний опорно-двигательной системы (обзор литературы) / Г.Л. Плуткин, А.А. Домашенко, О.К. Суховольский, К.Г. Плуткина, А.В. Олейник, А.Н. Рассошанский // Травматология и ортопедия России. 2005. № 2 (3). С. 60-64.
32. Fabrication of biomimetic apatite coating on porous titanium and their osteointegration in femurs of dogs / C.Y. Zhao, X.D. Zhu, T. Yuan, H.S. Fan, X.D. Zhang // Materials Science and Engineering. C. Biomimetic and supramolecular systems. 2010. Vol. 30, no. 1. P. 98-104.
33. Ryan G., Pandit A., Apatidis D.P. Fabrication methods of porous metals for use in orthopaedic applications // Biomaterials. 2006. Vol. 27, no. 13. P. 2651-2670.
34. Интеграция костной ткани в пористые титановые импланты с алмазоподобным нанопокрывтием / Э.Б. Макарова, Ю.М. Захаров, А.П. Рубштейн, А.И. Исайкин // Гений ортопедии. 2011. № 4. С. 111-116.
35. Кузнецов С.Л., Мушкетаров Н.Н. Гистология, цитология и эмбриология: учебник для мед. вузов. М., 2007. 600 с.
36. Попков А.В. Биосовместимые импланты в травматологии и ортопедии (обзор литературы) // Гений ортопедии. 2014. № 3. С. 94-99.
37. Горбач Е.Н., Силантьева Т.А. Морфологическая характеристика заживления полуциркулярных дефектов длинных трубчатых костей в условиях чрескостного остеосинтеза с применением препарата «Литар» // Успехи современного естествознания. 2015. № 5. С. 66-70.
38. Действие новых композиций на восстановление костных дефектов у крыс в эксперименте / А.И. Шайхалиев, Г.М. Стрецкий, М.С. Краснов, Е.Ю. Рыбакова, В.Е. Тихонов, В.П. Ямсков, И.А. Ямсков // Фундамент. исслед. 2013. № 9. С. 271-276.
39. Морфофункциональное состояние костной ткани при введении коллагеново-гидроксиапатитных нанокомпозитов / Т.В. Павлова, Ю.А. Мезенцев, Л.А. Павлова, В.В. Кривецкий, И.А. Павлов, С.В. Паначев // Науч. ведомости Белгород. гос. ун-та. Серия: Медицина. Фармация. 2009. Т. 59, № 7. С. 28-33.
40. Павлова Т.В., Нестеров А.В., Павлова Л.А. Особенности применения наноматериалов в медицине // Междунар. журн. прикладных и фундамента. исслед. 2012. № 2. С. 139-140.
41. Степанов М.А., Стогов М.В. Использование материала «Литар» при заживлении полуциркулярных дефектов длинных трубчатых костей у собак (экспериментальное исследование) // Ветеринар. патология. 2007. № 3. С. 167-170.
42. Экспериментальное обоснование применения ксенотканевых пластины «Кардиоплант» в качестве резорбируемой мембраны при направленной регенерации костной ткани / П.В. Иванов, Н.В. Булкина, Г.А. Карпова, Л.А. Зюлькина, А.П. Ведяева // Фундамент. исслед. 2013. №3-1. С. 67-69.
43. Влияние электромагнитных волн терагерцового диапазона на дистракционный остеогенез при замещении дефекта голени в условиях чрескостного остеосинтеза (экспериментальное исследование) / А.Л. Шастов, А.А. Еманов, Д.Ю. Борзунов, Р.В. Степанов, О.В. Дюрягина // Междунар. журн. приклад. и фундам. исслед. 2015. № 8-2. С. 281-286.
44. Дьячков А.Н., Еманов А.А. Рентгенологическая динамика замещения посттравматических дефектов костей голени у собак методом дистракционного остеосинтеза по Илизарову // Ветеринария. 2015. № 5. С. 43-47.
45. Перспективы использования мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток костного мозга и жировой ткани в регуляции регенерации опорных тканей / А.С. Тепляшин, С.З. Шарифуллина, Н.И. Чупикова, Р.И. Сепиашвили // Аллергология и иммунология. 2015. Т. 16, № 1. С. 138-148.
46. Регенерация костной ткани нижней челюсти методом тканевой инженерии / А.М. Зайдман, Н.А. Иванов, О.С. Комарева, А.В. Сухих, А.В. Корель // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. С. 119.

REFERENCES

1. Barabash A.A., Barabash A.P., Barabash Iu.A. Formirovanie distraktsionnogo regenerata pri razlichnykh faktorakh komprometatsii osteogeneza [Formation of distraction regenerated bone for various factors of osteogenesis compromising]. *Sbornik tezisev IX s"ezda travmatologov-ortopedov Rossii* [Proceedings of IX Congress of traumatologists-orthopedists of Russia]. Saratov, 2010, vol. 1, pp. 84-85. (In Russian)
2. Borzunov D.Iu. Nesvobodnaya kostnaya plastika po G.A. Ilizarovu v probleme reabilitatsii bol'nykh s defektami i lozhnymi sustavami dlinnykh kostei [Non-free bone grafting according to G.A. Ilizarov in the problem of rehabilitation of patients with long bone defects and pseudoarthroses]. *Genij Ortopedii*, 2011, no. 2, pp. 21-26. (In Russian)
3. Netyl'ko G.I., Rumakin V.P., Konev V.A. Eksperimental'noe modelirovanie kostnogo defekta so sklerozirovannoi stenкой [Experimental modeling of bone defect with a sclerosed wall]. *Genij Ortopedii*, 2014, no. 3, pp. 72-76. (In Russian)
4. Shevtsov V.I., Borzunov D.Iu. Reabilitatsiya patsientov s defektami i lozhnymi sustavami dlinnykh kostei, sovremennoe sostoyanie problem [Rehabilitation of patients with long bone defects and pseudoarthroses, current state of the problem]. *Genij Ortopedii*, 2008, no. 4, pp. 48-54. (In Russian)
5. Agadzhanian V.V. Aktual'nye problemy intensivnoi pomoshchi pri politravme [Relevant problems of intensive medical care for polytrauma]. *Intensivnaya pomoshch': problemy i resheniya: materialy II Vseros. konf.* [Intensive medical care: problems and solutions: Materials of II All-Russian Conference]. Leningrad-Kuznetskii, 2004, pp. 3-5. (In Russian)
6. Alekperli A.U., Kurshakova I.V., Kartashkin V.L. Osobennosti diagnostiki i lecheniya sochetannykh povrezhdenii u lits pozhiloego i starsheskogo vozrasta [Special features of diagnosing and treating concomitant injuries in elderly and senile persons]. *Skoraia Med. Pomoshch'*, 2003, no. 4, pp. 52-54. (In Russian)
7. Vorontsova T.N., Tyuliyev N.V., Solomin L.N. Sotsial'no-gigienicheskaia i kliniko-diagnosticheskaya kharakteristika patsientov, prolechnykh metodom vnechagovoi fiksatsii po povodu perelomov kostei skeleta [Socio-hygienic and clinical-and-diagnostic characteristics of patients treated by external fixation technique for skeletal bone fractures]. *Genij Ortopedii*, 2011, no. 4, pp. 39-43. (In Russian)
8. Implantaty s uglovoi stabil'nost'iu LCP. Khirurgicheskaya tekhnika, komplektatsiya naborov Mathys Medical Ltd. [Implants with LCP angular stability. Surgical technique, Mathys Medical Ltd. set building up]. M., 2003, 27 p. (In Russian)
9. Ilizarov G.A. Znachenie kompleksa optimal'nykh mekhanicheskikh faktorov v regenerativnom protsesse pri chreskostnom osteosinteze [Value of the complex of optimal mechanical factors in the regenerative process during transosseous osteosynthesis]. *Eksperimental'no-teoreticheskie i klinicheskie aspekty chreskostnogo osteosinteza, razrabatannogo v KNIIEKOT: materialy Vsesoiuz. simpoziuma s uchastiem inostrannykh spetsialistov* [Experimental-theoretical and Clinical Aspects of the Transosseous Osteosynthesis developed in Kurgan Scientific Research Institute of Experimental and Clinical Orthopaedics and Traumatology: Materials of All-Union Symposium with participation of foreign specialists]. Kurgan, 1984, pp. 8-49. (In Russian)
10. Ilizarov G.A. Nekotorye teoreticheskie i klinicheskie aspekty chreskostnogo osteosinteza s pozitsii otkrytykh nami obshche-biologicheskikh zakonov [Some theoretical and clinical aspects of transosseous osteosynthesis from the standpoint of the general biological regularities discovered by us]. *Eksperimental'no-teoreticheskie i klinicheskie aspekty chreskostnogo osteosinteza, razrabatannogo v KNIIEKOT: tez. dokl. Mezhdunar. konf.* [Experimental-theoretical and Clinical Aspects of the Transosseous Osteosynthesis developed in Kurgan Scientific Research Institute of Experimental and Clinical Orthopaedics and Traumatology: Abstracts of International Conference]. Kurgan, 1986, pp. 7-12. (In Russian)
11. Shevtsov V.I. K 90-letiiu so dnia rozhdeniya G.A. Ilizarova. Vklad Ilizarova i sozdannoi im shkoly razvitiya metoda chreskostnogo osteosinteza [To the 90th anniversary of G.A. Ilizarov. The contribution of G.A. Ilizarov and the school created by him into the development of transosseous osteosynthesis method]. *Genij Ortopedii*, 2011, no. 2, pp. 7-14. (In Russian)
12. Gubin A.V., Borzunov D.Y., Malkova T.A. The Ilizarov paradigm: thirty years with the Ilizarov method, current concerns and future research. *Int. Orthop.*, 2013, vol. 37, no. 8, pp. 1533-1539. doi: 10.1007/s00264-013-1935-0.
13. Solomin L.N. The basic principles of external skeletal fixation using the Ilizarov and other devices. Milan, Springer-Verlag, 2012.
14. Tikhilov R.M., Kochish A.Iu., Radomanova L.A., Kutianov D.I., Afanas'ev A.O. Vozmozhnosti sovremennykh metodov rekonstruktivno-plasticheskoi

- khirurgii v lechenii bol'nykh s obshirnymi posttraumaticheskimi defektami tkanei konechnosti (obzor literatury) [Possibilities of modern methods of reconstructive-plastic surgery in the treatment of patients with extensive posttraumatic defects of limb tissue defects (Review of the literature)]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*, 2011, no. 2, pp. 164-170. (In Russian)
15. Barabash A.P., Kesov L.A., Barabash Iu.A., Shpiniak S.P. Zameshchenie obshirnykh diafizarnykh defektov dlinnykh kostei [Filling extensive long bone shaft defects]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*, 2014, no. 2 (72), pp. 93-99. (In Russian)
16. Solomin L.N., Sabirov F.K. Oslozhneniia, svyazannye s primeneniem ekstrakortikal'nykh fiksatorov pri kombinirovannom i posledovatel'nom ispol'zovanii chreskostnogo osteosinteza i vnutrennei fiksatsii bedrennoi kosti [The complications related to the use of extra-cortical fixators when combined and consecutive using transosseous osteosynthesis and internal fixation of the femur]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*, 2015, no. 4 (78), pp. 103-110. (In Russian)
17. Emanov A.A., Mitrofanov A.I., Borzunov D.Iu. Zameshchenie defekt-pseudoartrozov dlinnykh kostei v usloviakh kombinirovannogo osteosinteza (eksperimental'noe issledovanie) [Filling long bone defect-pseudoarthroses under combined osteosynthesis conditions (An experimental study)]. *Genij Ortopedii*, 2013, no. 3, pp. 43-47. (In Russian)
18. Mitrofanov A.I., Chevardin A.Iu. Tekhnologiya kombinirovannogo osteosinteza pri lechenii bol'nykh s posledstviyami travm dlinnykh trubchatykh kostei (tekhnologiya osteosinteza) [Combined osteosynthesis technology in treatment of patients with the consequences of long tubular bone injuries (osteosynthesis technology)]. *Genij Ortopedii*, 2014, no. 3, pp. 13-15. (In Russian)
19. Pichugin Iu.V., Sapozhnikov A.V., Ermolaev V.A., Zolotukhin S.N. Eksperimental'noe primeneniie biokompozitnykh materialov v veterinarnoi travmatologii [Experimental use of biocomposite materials in veterinary traumatology]. *Vestn. Ul'ianov. Gos. S.-kh. Akademii*, 2011, no. 3, pp. 78-80. (In Russian)
20. Polianskii R.K., Kozlov N.A. Otsenka effektivnosti ispol'zovaniia mezhpozvonkovykh implantatov iz uglesitalla u sobak v sheinom otdel pozvonochnogo stolba [Evaluation of the efficiency of using intervertebral implants of carbosital in the canine cervical spine]. *Ros. Veterinar. Zhurnal. Melkie domashnie i dikiye zhivotnye*, 2013, no. 4, pp. 11-13. (In Russian)
21. Barabash A.P. Chreskostnyi osteosintez pri zameshchenii defektov dlinnykh kostei [Transosseous osteosynthesis for long bone defect filling]. Irkutsk, 1995. 208 s. (In Russian)
22. Aronov A.M., Bol'basov E.N., Guzeev V.V., Dvornichenko M.V., Tverdokhlebov S.I., Khlusov I.A. Biokompozity na osnove ftoropolimerov s gidroksiapatitom dlia intrameduliarnykh implantov [Biocomposites on the basis of fluoropolymers with hydroxyapatite for intramedullary implants]. *Med. Tekhnika*, 2010, no. 3, pp. 35-41. (In Russian)
23. Kirilova I.A. Kostnaia tkan' kak osnova osteoplasticheskikh materialov dlia vosstanovleniia kostnoi struktury [Bone tissue as the basis of osteoplastic materials for bone structure restoration]. *Khirurgiya Pozvonochnika*, 2011, no. 1, pp. 68-74. (In Russian)
24. Mironov S.P., Shevtsov V.I., Kononovich N.A., Stepanov M.A., Gorbach E.N., Golubev G.Sh., Sergeev K.S., Arkhipenko V.I., Grin' A.A., Skriabin V.L., Reznik L.B., Shatokhin V.D., Baimuratov A.A. Uglerodnye nanostrukturnye implantaty - innovatsionnyi produkt dlia travmatologii i ortopedii. Chast' 1. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy [Carbon nanostructured implants – an innovative product for traumatology and orthopaedics. Part 1. Results of experimental research]. *Vestn. Travmatologii i Ortopedii im. N. N. Priorova*, 2015, no. 3, pp. 46-53. (In Russian)
25. Kononovich N.A., Shevtsov V.I., Gorbach E.N., Medik V.A., Stogov M.V., Borzunov D.Y., Stepanov M.A. Experimental Study of Nanostructured Carbon Implants for Management of Circular Diaphyseal Long Bone Defects. *J. Bone Reports and Recommendations*, 2015, vol. 1, no. 1:7. doi: 10.4172/2469-6684.10007. Available at: iMedPub Journals. <http://www.imedpub.com>.
26. Yoshikawa H., Tamai N., Murase T., Myoui A. Interconnected porous hydroxyapatite ceramics for bone tissue engineering. *J. R. Soc. Interface*, 2009, vol. 6, suppl. 3, pp. S341-S348. doi: 10.1098/rsif.2008.0425.focus.
27. Bondareva N.E. Otsenka gotovnosti sovremennogo stomatologicheskogo rynka k poiyavleniiu novogo materiala dlia dental'noi i kostnoi implantatsii [Assessment of modern stomatologic market readiness to the emergence of new material for dental and bone implantation]. *Prioritetnye Nauchnye Napravleniya: ot teorii k praktike*, 2014, no. 11, pp. 156-161. (In Russian)
28. Itin V.I., Pribytkov G.A., Khlusov I.A., Zagrebin L.V., Shestov S.S. Implant – nositel' kletchnogo materiala iz poristogo pronitsaemogo titana [Implant is a carrier of cellular material of porous permeable titanium]. *Kletchnaia Transplantologiya i Tkanevaia Inzheneriya*, 2006, no. 3 (5), pp. 59-63. (In Russian)
29. Kazanin K.S., Basov A.V., Shpakovskii M.S., Gribnov N.I. Sravnitel'noe issledovanie kostnogo regenerata posle osteosinteza perelomov sheiki bedrennoi kosti bioinertnymi i bioaktivnymi implantami s kal'tsii fosfatnym pokrytiem (eksperimental'noe issledovanie) [Comparative investigation of a regenerated bone after osteosynthesis of femoral neck fractures using bioinert and bioactive implants with calcium phosphate coating (An experimental study)]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*, 2015, no. 3 (77), pp. 51-60. (In Russian)
30. Surmeneva M.A., Surmenev R.A., Khlusov I.A., Pichugin V.F., Konishchev M.E., Eppe M. Kal'tsiifosfatnye pokrytiia, sozdannye metodom VCh-magnetronnogo raspyleniya gidroksiapatita: osteogennyi potentsial in vitro i in vivo [Calcium-phosphate coatings created by the technique of high-frequency magnetron sputtering of hydroxyapatite: osteogenic potential in vitro and in vivo]. *Izvestiya Tomsk. Politekholog. un-ta*, 2010, no. 317 (2), pp. 101-106. (In Russian)
31. Plotkin G.L., Domashenko A.A., Sukhovol'skii O.K., Plotkina K.G., Oleinik A.V., Rassoshanskii A.N. Mesto konstruktivnoi i nikelida titana v lechenii travm i zabolevaniy oporno-dvigatel'noi sistemy (obzor literatury) [Place of the structures of titanium nickelide in the treatment of the locomotorium injuries and diseases]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*, 2005, no. 2 (3), pp. 60-64. (In Russian)
32. Zhao C.Y., Zhu X.D., Yuan T., Fan H.S., Zhang X.D. Fabrication of biomimetic apatite coating on porous titanium and their osteointegration in femurs of dogs. *Materials Science and Engineering. C. Biomimetic and supramolecular systems*, 2010, vol. 30, no. 1, pp. 98-104.
33. Ryan G., Pandit A., Apatsidis D.P. Fabrication methods of porous metals for use in orthopaedic applications. *Biomaterials*, 2006, vol. 27, no. 13, pp. 2651-2670.
34. Makarova E.B., Zakharov Yu.M., Rubshtein A.P., Isaikin A.I. Integratsiya kostnoi tkani v poristye titanovyie implanty s almazopodobnym nanopokrytiyami [Integration of bone tissue to porous titanium implants with diamond-like nanocoatings]. *Genij Ortopedii*, 2011, no. 4, pp. 111-116. (In Russian)
35. Kuznetsov S.L., Mushkambarov N.N. Gistologiya i embriologiya: uchebnik dlia med. vuzov [Histology, cytology and embryology: textbook for medical high schools]. M., 2007, 600 p. (In Russian)
36. Popkov A.V. Biosovmestimyye implanty v travmatologii i ortopedii (obzor literatury) [Biocompatible implants in traumatology and orthopaedics (A review of literature)]. *Genij Ortopedii*, 2014, no. 3, pp. 94-99. (In Russian)
37. Gorbach E.N., Silant'eva T.A. Morfologicheskaya kharakteristika zazhivleniya polutsirkuliarnykh defektov dlinnykh trubchatykh kostei v usloviakh chreskostnogo osteosinteza s primeneniem preparata «Litar» [Morphological characterization of healing semicircular defects of long tubular bones under transosseous osteosynthesis using “Litar” preparation]. *Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniia*, 2015, no. 5, pp. 66-70. (In Russian)
38. Shaikhaliev A.I., Stetskii G.M., Krasnov M.S., Rybakova E.Iu., Tikhonov V.E., Iamskova V.P., Iamskov I.A. Deistvie novykh kompozitsii na vosstanovlenie kostnykh defektov u kryv v eksperimente [The effect of new compositions on experimental filling of bone defects in rats]. *Fundament. Issled.*, 2013, no. 9, pp. 271-276. (In Russian)
39. Pavlova T.V., Mezentshev Iu.A., Pavlova L.A., Krivetskii V.V., Pavlov I.A., Panachev S.V. Morfofunktsional'noe sostoianie kostnoi tkani pri vvedenii kollagenovo-gidroksiapatitnykh nanokompozitov [Bone tissue morphofunctional condition when nanocomposites of collagen-hydroxyapatite insertion]. *Nauch. Vedomosti Belgorod. Gos. un-ta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*, 2009, vol. 59, no. 7, pp. 28-33. (In Russian)
40. Pavlova T.V., Nesterov A.V., Pavlova L.A. Osobennosti primeneniia nanomaterialov v meditsine [Special characteristics of nanomaterial use in medicine]. *Mezhdunar. Zhurn. Prikladnykh i Fundamenta. Issled.*, 2012, no. 2, pp. 139-140. (In Russian)
41. Stepanov M.A., Stogov M.V. Ispolzovanie materiala «Litar» pri zazhivlenii polutsirkuliarnykh defektov dlinnykh trubchatykh kostei u sobak (eksperimental'noe issledovanie) [“Litar” material use when healing semicircular defects of canine long tubular bones (An experimental study)]. *Veterinar. Patologiya*, 2007, no. 3, pp. 167-170. (In Russian)
42. Ivanov P.V., Bulkina N.V., Karpova G.A., Ziul'kina L.A., Vediaeva A.P. Eksperimental'noe obosnovanie primeneniia ksenokardial'noi plastiny «Kardiopant» v kachestve rezorbirovannoi membrany pri napravlennoi regeneratsii kostnoi tkani [Experimental substantiation of using “Cardiopant” xenocardial plate as a resorbable membrane when guided bone tissue regeneration]. *Fundament. Issled.*, 2013, no. 3-1, pp. 67-69. (In Russian)
43. Shastov A.L., Emanov A.A., Borzunov D.Iu., Stepanov R.V., Diuriagina O.V. Vliianie elektromagnitnykh voln teragertsovogo diapazona na distraktsionnyi

osteogenez pri zameshchenii defekta goleni v usloviakh chreskostnogo osteosinteza (eksperimental'noe issledovanie) [Effect of electromagnetic terahertz-range waves on distraction osteogenesis when filling leg defects using transosseous osteosynthesis (An experimental study)]. *Mezhdunar. Zhurn. Priklad. i Fundam. Issled.*, 2015, no. 8-2, pp. 281-286. (In Russian)

44. D'iachkov A.N., Emanov A.A. Rentgenologicheskaya dinamika zameshcheniya posttravmaticheskikh defektov kostei goleni u sobak metodom distraktsionnogo osteosinteza po Ilizarovu [X-ray dynamics of filling canine leg bone defects by the method of distraction osteosynthesis according to Ilizarov]. *Veterinariya*, 2015, no. 5, pp. 43-47. (In Russian)
45. Tepiashin A.S., Sharifullina S.Z., Chupikova N.I., Sepiashvili R.I. Perspektivy ispol'zovaniya mul'tipotentnykh mezenkhimal'nykh stromal'nykh kletok kostnogo mozga i zhirovoi tkani v regulatsii regeneratsii opornykh tkanei [Prospects of using multipotent mesenchymal mesenchymal stromal cells of bone marrow and adipose tissue in regulation of support tissue regeneration]. *Allergologiya i Immunologiya*, 2015, vol. 16, no. 1, pp. 138-148. (In Russian)
46. Zaidman A.M., Ivanov N.A., Komareva O.S., Sukhikh A.V., Korel' A.V. Regeneratsiya kostnoi tkani nizhnei cheliusti metodom tkanevoi inzhenerii [Regeneration of mandibular bone tissue by the technique of tissue engineering]. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya*, 2015, no. 6, pp. 119. (In Russian)

Рукопись поступила 23.11.2016

Сведения об авторах:

1. Шастов Александр Леонидович,
ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава
России, г. Курган, Россия,
Email: alshastov@yandex.ru
2. Кононович Наталья Андреевна, к. в. н.,
ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава
России, г. Курган, Россия,
Email: n.a.kononovich@mail.ru
3. Горбач Елена Николаевна, к. б. н.,
ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава
России, г. Курган, Россия,
Email: gorbach.e@mail.ru

Information about the authors:

1. Alexander L. Shastov, M.D.,
Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and
Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation,
Email: alshastov@yandex.ru
2. Natalia A. Kononovich, Ph.D. of Veterinary Sciences,
Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and
Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation,
Email: n.a.kononovich@mail.ru
3. Elena N. Gorbach, Ph.D. of Biological Sciences,
Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and
Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation,
Email: gorbach.e@mail.ru