

УДК 616.718.4+616.718.5]-018.4-003.9-089(048.8)

Особенности хирургического лечения при нарушении репаративного остеогенеза эпифизарной и метадиафизарной зон дистального отдела бедренной и проксимального большеберцовой костей (обзор литературы)

Г. Г. Голка, А. И. Белостоцкий, О. Г. Фадеев

Харьковский национальный медицинский университет. Украина

Ключевые слова: репаративный остеогенез, метаэпифизарный и метадиафизарный отделы длинных костей, хирургическое лечение, несращение

В посвященной проблемам нарушения репаративного остеогенеза (НРО) литературе широко освещены актуальные вопросы несращения и псевдоартрозов после диафизарных переломов длинных костей конечностей. Тематике нарушений сращения переломов в метаэпифизарных и метадиафизарных участках длинных костей уделено недостаточное внимание. Вместе с тем проблема нарушения сращения после переломов костей указанной локализации остается острой, а отсутствие единого подхода к лечению пациентов с несращениями и псевдоартрозами метаэпифизарной и метадиафизарной областей длинных костей может привести к стойкой инвалидизации пациентов.

Цель работы: рассмотрение, обобщение и систематизация данных литературы, посвященных различным видам НРО с локализацией в метаэпифизарной и метадиафизарной зонах бедренной и большеберцовой костей коленного сустава.

Большинство источников литературы, посвященных различным видам НРО, описывают данную патологию в диафизарном отделе кости. В отечественной и зарубежной литературе проблема нарушения сращения в метаэпифизарной зоне освещена недостаточно [1]. В определенной мере это связано с невысокой распространенностью нарушений сращения переломов на данном участке кости [2]. Однако лечение пациентов с различными проявлениями НРО метаэпифизарной зоны области коленного сустава связано с определенными трудностями, продиктованными архитектоникой этих участков кости и величиной суставного фрагмента, что изменяет или корректирует тактику лечения таких пациентов [1, 3–5].

Особенностями НРО эпифизарной и метадиафизарной зоны являются:

- наличие короткого суставного фрагмента, который представлен преимущественно губчатой костной тканью [1, 6, 7];
- строение метаэпифизарной части костного канала длинных костей: расширение интрамедуллярного канала в дистальной части бедренной и проксимальной части большеберцовой кости, что необходимо учитывать при выборе фиксатора;
- тонкий кортикальный слой в суставном фрагменте, что отрицательно влияет на жесткость фиксации металлоконструкцией [1, 7];
- обильное кровоснабжение суставного фрагмента и умеренное, по сравнению с ним, второго (несуставного) фрагмента [5, 8];
- наличие в подавляющем большинстве случаев контрактуры смежного сустава (чаще всего коленного) [1, 2, 9–11].

Особенности архитектоники метаэпифизарного участка бедренной и большеберцовой костей коленного сустава

Установлено, что костный канал бедренной и большеберцовой костей по форме напоминает песочные часы с расширением в проксимальном и дистальном метафизарном отделах (субистмальная зона) и сужением в диафизарном участке кости (истмальная зона) [7, 12–15]. Также известно, что расширение интрамедуллярного канала метафизарного участка длинной кости заполнено губчатым веществом — спонгиозной костью [14], представляющей собой решетчатую конструкцию, состоящую из трабекул, следующих траекториям действия напряжений. По данным литературы, значение модуля упругости

спонгиозной кости находится в пределах от 26 до 600 МПа, но всегда ниже этих показателей для компактной кости (кортикальный слой) примерно в 10 раз. Предел прочности на сжатие губчатого вещества колеблется от $13,7 \cdot 10^3$ до $147 \cdot 10^3$ Н/м², для сравнения эта же характеристика для компактного вещества бедренной кости составляет от $1470 \cdot 10^3$ до $2940 \cdot 10^3$ Н/м², т. е. в 100 раз выше [16]. Значительный разброс данных объясняется, по-видимому, условиями приготовления образцов для испытаний, а также естественной анатомической изменчивостью. В плоскости поперечного сечения костный канал длинных костей представляет собой приближенную по форме к цилиндру фигуру, состоящую из двух разных по плотности костных слоев: внутреннего губчатого (спонгиозного) и наружного кортикального (компактного). В диафизарном отделе губчатый слой относится к кортикальному как 1:6 [16]. По мере удаления от диафиза к эпифизарному отделу длинной кости это соотношение изменяется: кортикальный слой истончается, а губчатый расширяется.

Принимая во внимание свойства губчатой и компактной кости, а также изменение их соотношения по мере приближения к суставной части для клинической травматологии и ортопедии представляют интерес топографо-морфологические характеристики кости на всем ее протяжении. Применительно к хирургическому лечению описанные качества могут и будут влиять на прочностные характеристики системы «кость – фиксатор». При лечении накостным фиксатором важным является изменение толщины компактного слоя кости. При использовании внутрикостного фиксатора необходимо учитывать как ширину компактного слоя, так и расширение интрамедуллярного канала [14, 17]. Для успеха хирургического лечения переломов костей или клинических проявлений НРО (замедленное сращение, несросшийся перелом и др.) важно знать особенности архитектоники длинной кости.

Несмотря на очевидность интереса к особенностям строения эпифизарных отделов длинных костей, в отечественной литературе этот вопрос освещен недостаточно. Нам удалось найти всего два топографо-анатомических исследования, посвященных изучению параметров соотношения слоев и степени расширения интрамедуллярного канала по мере приближения к суставной линии длинных костей нижней конечности [14, 18]. В зарубежной литературе этому вопросу посвящено несколько анатомо-биомеханических исследований [17, 19–22]. Авторы указанных публикаций провели анатомо-топографический анализ дистального отдела бед-

ренной и проксимального отдела большеберцовой костей для определения архитектоники костномозговых каналов и изменения отношения компактного вещества к губчатому.

Характеристика дистального метаэпифиза бедренной кости

Диафиз бедра состоит из компактной кости и распространяется от дистального края малого вертела до проксимального края дистального метафиза. Костномозговой канал имеет форму песочных часов с сужением в середине диафиза (истмус) и изогнут в переднезаднем направлении с радиусом 109–115 см. В 70 % случаев сагиттальный диаметр больше фронтального [14]. Различают три зоны диафиза бедра: истмальную, супра- и инфраистмальную [15]. Исследователи из Болонского университета проанализировали 354 переднезадних рентгенограммы бедренных костей здоровых людей разного пола возрастом от 20 до 65 лет [20]. Целью исследования было изучение формы костномозгового канала и изменение толщины кортикального слоя на бедренной кости. Авторы обнаружили характерные различия в зависимости от пола и возраста, а также отметили, что истмальная зона (наиболее узкий участок канала) располагается в диафизарной части бедренной кости на расстоянии 20–22 см от верхнего края латерального мыщелка. В этом участке губчатый слой, как правило, отсутствует. По мере удаления от истмальной зоны к дистальному эпифизу кортикальный слой истончается. На участке в 10 см от верхнего края латерального мыщелка компактное вещество кости истончается в 2 раза по сравнению с истмальной зоной. На участке ниже 6 см от верхнего края латерального мыщелка толщина компактного вещества кости не превышает 2,5–3 мм, а костномозговой канал заполнен губчатым веществом. Также были выделены три типа костномозгового канала в зависимости от его ширины: «дымоходный», «нормальный» тип и «бокал шампанского» (перевернутый) [20]. Авторы указывают, что на расстоянии 10 см от верхнего края латерального мыщелка интрамедуллярный канал в 90 % случаев имеет ширину около 2 см, на расстоянии 6 см костномозговой канал расширяется в зависимости от типа канала на 0,5–1,5 см и достигает 2,5–3,5 см.

Характеристика проксимального метаэпифиза большеберцовой кости

Интрамедуллярный канал большеберцовой кости, как и бедренной, в продольном сечении по форме напоминает песочные часы. Широкие части расположены в метаэпифизах, узкая (истмальная) зона приходится на середину или находится на границе средней и нижней трети диафиза [18].

Группа авторов из Канадского университета установила влияние формы внутрикостного канала большеберцовой кости на стабильность интрамедуллярного блокирующегося стержня [17]. Они проанализировали 20 большеберцовых трубчатых костей (площадь поперечного сечения и кортикального слоя, ширина канала) при помощи МРТ (магнитно-резонансной томографии) и СКТ (спиральной компьютерной томографии). Были определены количественные характеристики площади кортикального слоя на поперечных срезах большеберцовой кости: на расстоянии 1–4 см от края тибиаляного плато — от 2 до 2,5 мм; 4–6 см — от 2,5 до 3,0 мм; 10 см — от 3,5 до 4,0 мм.

Похожие результаты были получены другими исследователями архитектоники интрамедуллярных каналов [23–25].

Анализ данных, посвященных исследованию архитектоники внутрикостных каналов бедренной и большеберцовой костей позволяет учитывать форму интрамедуллярного канала и соотношение кортикального и губчатого слоя в метаэпифизарной и эпифизарной областях этих костей, а также значимость указанных параметров при выборе метода хирургического лечения костных повреждений. Следует подчеркнуть, что мы не нашли ни одного источника литературы, в котором данные параметры были бы применены к хирургическому лечению клинических проявлений НРО (замедленное сращение, несращение, ложный сустав).

Рациональный подход к лечению пациентов с клиническими проявлениями НРО метаэпифизарного, метадиафизарного участка нижней конечности

Рассматривая лечение различных видов НРО, следует отметить, что, несмотря на значительное количество руководств и статей, рассматривающих проблему развития несращений и псевдоартрозов длинных костей [26–31], авторы приводят лишь небольшие разделы, освещающие лечение этой патологии в метаэпифизарной, метадиафизарной области. Литературные источники, где описывается лечение замедленно срастающихся переломов, встречаются еще реже, и речь там идет, главным образом, о причинах, повлекших нарушение регенерации с отсутствием рекомендаций касательно показаний к выбору тактики и методики их лечения [1, 5, 6, 10, 11, 32].

Лечение несросшихся переломов и особенно достижение сращения при НРО метаэпифизарной зоны бедренной и большеберцовой костей области коленного сустава весьма проблематично. Как уже отмечено, данная локализация осложнений процесса сращения имеет свои особенности в костной

архитектуре и кровоснабжении суставного фрагмента. В дополнение к имеющимся трудностям околосуставная локализация несращения в подавляющем большинстве случаев сопряжена с наличием контрактуры коленного сустава. В связи с этим при лечении пациентов с различными клиническими формами НРО дистального отдела бедренной и проксимального отдела большеберцовой костей, по мнению большинства авторов, необходимо придерживаться комплексного подхода, который включал бы в себя анализ и коррекцию факторов неудачного лечения предыдущих этапов, тщательное предоперационное планирование тактики и техники хирургического лечения и грамотную физиофункциональную реабилитацию на послеоперационном этапе [30, 31, 33, 34, 41, 42, 80].

Как указывает David La Velle [33], сложность лечения пациентов с НРО возрастает с количеством характеристик патологического процесса, задействованных в данном случае — наличие деформации, укорочение, костный дефект, инфекция. При планировании комплекса лечебных мероприятий необходима правильная постановка задачи и конечной цели лечения.

М. Е. Мюллер и соавт. [34] считают, что при лечении псевдоартрозов основными целями являются коррекция деформации (угловой, ротационной, по длине и ширине), мобилизация прилегающих тугоподвижных суставов, достижение сращения перелома в кратчайшее время при помощи наименьшего числа операций, а при инфицированных псевдоартрозах обязательно излечение инфекции.

Как и при лечении других нозологий в ортопедии и травматологии, в случае различных клинических проявлений НРО можно выделить консервативные и хирургические методы. Последние также могут быть разделены на открытые и закрытые методики, т. е. связанные с прямым воздействием на участок несращения и выполняющие ортопедическую коррекцию, не обнажая зону перелома.

Хирургические методы лечения НРО

Проблема хирургического лечения НРО длинных костей отражает отношение хирургов к этой патологии как к состоянию с «затухшим» остеогенезом. В первой трети прошлого столетия в хирургии ложных суставов господствовал принцип Е. Lexer, согласно которому считали необходимой широкую резекцию псевдоартроза в пределах здоровой кости. В основе этого принципа лежит то, что отломки, образующие ложный сустав, представляют собой изолированные костные культы, в которых костеобразование давно закончилось и поэтому они совершенно не способны к регенерации [35]. Позже во многих

клинических и экспериментальных работах, посвященных морфологии ложных суставов [36, 37, 38, 39] было доказано, что длительно господствовавшее мнение о снижении регенеративных способностей костной ткани в условиях псевдоартроза ошибочно. Во всех случаях развития нарушения костного сращения в зоне перелома выявляли процесс костеобразования различной интенсивности. При этом в гипертрофических ложных суставах остеогенез выражен активнее, а в гипотрофических слабее [35].

По мнению С. С. Ткаченко, к операции при вмешательстве на самом ложном суставе можно прибегнуть только тогда, когда есть возможность устранить деформацию кости, прочно зафиксировать отломки, применить костную пластику и если отсутствует реальная опасность некроза кожи, мягких тканей и вспышки дремлющей инфекции [40].

Подобного мнения придерживается проф. Балакина В. С., выдвигая основные принципы хирургического лечения ложных суставов: атравматичную технику операции, неподвижное соединение отломков в правильном положении, что создает оптимальные условия для регенерации костной ткани, биологическую стимуляцию процессов регенерации при помощи костной пластики [29].

Современные руководства по лечению НРО предлагают следующие принципы хирургических вмешательств [6, 33, 41, 42]:

- прочную фиксацию отломков;
- минимальную травматизацию костных и мягкотканых структур поврежденного сегмента;
- максимальное восстановление оси и длины сегмента;
- раннюю функцию поврежденной конечности.

В хирургическом лечении постравматических НРО следует выделить два основных направления: лечение инфицированных псевдоартрозов и асептических ложных суставов, при которых возможно применение различных способов фиксации.

Во всем мире при инфицированных ложных суставах длинных костей подавляющее большинство авторов отдают предпочтение закрытому остеосинтезу аппаратами внешней фиксации [5, 6, 31, 33, 43]. Пионером использования таких аппаратов при инфекции в зоне несращения был Н. Greifensteiner [44], а из отечественных авторов можно назвать О. Н. Гудушаури и Г. И. Илизарова [27, 45]. При наличии крупных секвестров, поддерживающих воспалительный процесс, сегодня применяют радикальную некрэктомию в сочетании со стабильной фиксацией аппаратом, постоянным орошением очага, активной аспирацией, использованием остеотропных антибиотиков [5, 6, 31, 33, 46, 47].

При асептических псевдоартрозах используют различные методы хирургического лечения, которые можно разделить на три группы:

1. Внеочаговый чрескостный остеосинтез (ВЧО) аппаратами внешней фиксации с костной пластикой либо без нее.

2. Погружной стабильный остеосинтез (пластины, стержни, специальные устройства) с применением костной пластики либо без нее.

3. Комбинированный остеосинтез: погружной остеосинтез в сочетании с аппаратом внешней фиксации с применением костной пластики либо без нее.

Процесс использования аппарата внешней фиксации и принципов Илизарова для стабилизации фрагментов, по мнению многих авторов, является хоть и трудоемким, но эффективным при лечении несращений, т. к. имеется возможность проведения динамического контроля и коррекции репаративных процессов [26, 27, 31, 48–55, 80]. Внедрение в последнее время аппаратов внешней фиксации гибридного типа значительно уменьшило количество проблем, связанных с применением классического аппарата Илизарова, на фоне таких его бесспорных преимуществ, как малая инвазивность и бережное отношение к окружающим мягким тканям, стабильность фиксации, возможность коррекции деформации и ранней осевой нагрузки [33, 56–60, 80]. Вместе с тем, высоко оценивая достигнутые анатомо-функциональные результаты восстановления целостности конечности у пациентов с ложными суставами длинных костей, некоторые авторы единственным, но существенным недостатком методов фиксации фрагментов аппаратами ВЧО (спицевыми, стержневыми и комбинированными) считают длительный срок их использования. При этом аппарат находится во внешней среде, что создает неудобство для пациента и повышает риск вторичного инфицирования кости и мягких тканей [31, 49, 61–64]. Также необходимо учитывать, что фиксация зоны несращения метаэпифизарного участка (дистальный отдел бедра, проксимальный отдел голени) в большинстве случаев диктует необходимость обездвиживания коленного сустава, что позже неминуемо скажется на его функции и приведет к стойким контрактурам, тугоподвижности и ограничению движений.

Учитывая указанные обстоятельства, а также необходимость стандартизации лечебного процесса и сокращения его сроков в современной практике лечения последствий переломов широкое применение получили технологии погружной фиксации фрагментов: накостный и блокирующийся интрамедуллярный остеосинтез (БИОС). Данные методы

фиксации в травматологии и ортопедии называют, в том числе и сторонники чрескостного остеосинтеза, «золотым стандартом» в [4, 28, 34].

Сегодня широко известны два основных типа погружных фиксаторов: блокирующийся интрамедуллярный стержень [1, 65–67] и блокирующаяся накостная пластина LISS (Less Invasive Stabilization System — малоинвазивная стабилизирующая система), LCP (Locking Compression Plate — блокирующаяся компрессионная пластина) или аналог [3, 5, 68–74]. При этом нет единого мнения по выбору того или иного способа фиксации при лечении псевдоартрозов в метаэпифизарной зоне длинных костей [4, 75]. Нам не удалось обнаружить исследований с описанием детальных показаний для использования какого-либо фиксатора в зависимости от локализации участка несращения или других факторов, характеризующих данный вид НРО.

При выборе тактики хирургического лечения нарушения процесса сращения основополагающим моментом будет определение типа данной формы дисрегенерации по одной из имеющихся классификаций: Judet and Judet; Müller, Weber и Cech, H. Rosen или Paley и Herzenberg. Как правило, в случае асептического НРО авторы выбирают тот или иной метод лечения, основываясь на его типе — гипер- или гипотрофическом [30, 31, 33, 76–79].

В развитии гипертрофического ложного сустава основную роль играет нарушение стабильности фиксации фрагментов [33]: даже когда фрагменты достаточно кровоснабжаются, нестабильность приводит к формированию хрящевой ткани, которая не оссифицируется [31, 33, 42]. Следовательно, для сращения гипертрофического типа НРО лечащему врачу необходимо стабилизировать костные фрагменты.

Наиболее эффективным видом остеосинтеза при лечении гипертрофического ложного сустава будет погружная фиксация пластиной или БИОС с компрессией фрагментов [6, 31, 33, 67, 78, 80]. Лечение НРО данного типа в большинстве случаев не требует дополнительной стимуляции остеогенеза [31, 33, 77]. Для правильного предоперационного планирования необходимо уделить внимание причинам, которые привели к гипермобильности в месте перелома [6, 41, 77, 78].

Лечение гипотрофического несращения в классическом представлении требует от хирурга не только адекватной фиксации как в случае гипертрофического вида несращения, но и местной стимуляции репаративного остеогенеза с выполнением трансплантатом костной пластики [80, 81]. В зависимости от наличия/отсутствия инфекции в области ложного

сустава, а также состояния мягких тканей при таком типе НРО отломки костей можно фиксировать внеочаговым чрескостным аппаратом или накостной пластиной с применением костной пластики и/или используя остеоиндуктивные агенты — костные морфогенетические белки (bone morphogenetic proteins — BMPs) — для стимуляции остеогенеза [6, 82, 83].

В отдельных руководствах и публикациях встречаем указания по применению того или иного метода фиксации в зависимости от типа ложного сустава, состояния мягких тканей и качества костной ткани в зоне несращения, размеров фрагментов перелома и/или дефекта [5, 31, 33, 67, 72]. Однако при этом нет четких критериев и полноценных алгоритмов выбора тактики хирургического лечения, которые бы учитывали все этиологические, анатомические и биологические факторы при данной локализации дисрегенерации. Некоторые авторы предлагают подходящую схему комплексного подхода к лечению НРО, но рассматривают только диафизарный отдел длинных костей [67].

В то же время в зарубежной литературе находим множество публикаций, где сравнивают различные способы фиксации фрагментов на моделях перелома дистального отдела бедренной кости и проксимального отдела большеберцовой кости [66, 68, 84–92], но их результаты порой противоречивы. Так, одни исследователи проводили сравнения прочностных характеристик системы «кость – фиксатор» на моделях дистального перелома бедренной кости, фиксированного блокирующейся пластиной LISS, БИОС и клинковой пластиной [68]. Авторы указывают, что все три фиксатора обладают схожей степенью устойчивости к торсионным нагрузкам, приблизительно одинаковой степенью фиксации проксимального фрагмента, отмечая при этом, что система накостной фиксации LISS показала лучшие прочностные характеристики фиксации дистального фрагмента, что особенно важно при остеопорозной кости и лечении перелома с нарушенным процессом регенерации [68]. Интересным представляется исследование, в котором сравнивали показатели жесткости и микроподвижности в зоне перелома на модели перелома дистального отдела бедра при фиксации БИОС, динамическим мышцелковым винтом (dynamic condylar screw — DCS) и блокирующейся компрессионной пластиной для мышцелков бедренной кости (LCP) [86]. Авторы указывают, что наибольшие показатели жесткости были отмечены при фиксации БИОС (1,106 Н/мм), наименьшую подвижность (1,96 мм) в зоне перелома также продемонстрировала модель,

фиксирующая БИОС. При этом в результате воздействия циклических нагрузок на систему «кость – фиксатор» наименьшее число циклов выдержала модель с интрамедуллярным фиксатором (9 тыс. циклов). Модель, которая была фиксирована блокирующей пластиной, выдержала в 2,5 раза большее число циклов. Эти данные соответствуют результатам другого исследования, где авторы также измеряли торсионную, аксиальную жесткость и прочность фиксации под воздействием циклических нагрузок на моделях, имитирующих остеопорозную кость [87]. В данной работе сравнивали четыре типа фиксаторов: блокирующаяся пластина LCP и три ретроградных блокирующихся стержня — с двумя блокирующими обычными винтами, одним спиральным винтом-лезвием (spiral blade) и одним обычным винтом и четырьмя винтами (два в косой плоскости и два во фронтальной). Пластина проявила большую торсионную жесткость, по сравнению со стержнем с четырьмя винтами, и наименьшую аксиальную жесткость. Наибольшее сопротивление циклическим нагрузкам продемонстрировала модель с четырьмя винтами, затем — пластиной, одним спиральным винтом-лезвием (spiral blade) и одним обычным винтом и, наконец, двумя блокирующими обычными винтами. Вместе с тем необходимо заметить, что на практике в дистальный фрагмент бедренной кости крайне редко удается поместить четыре блокирующих винта.

Что касается исследований, посвященных сравнению результатов лечения переломов проксимального отдела большеберцовой кости с применением различных фиксаторов, отметим, что повреждений такой локализации меньше по сравнению с дистальным отделом бедренной кости. В то же время отмечается большая согласованность в выводах авторов, изучавших данную проблему. Так, публикации, рассматривающие биомеханические аспекты остеосинтеза на моделях переломов проксимальной трети большеберцовой кости, фиксированных так называемой «традиционной» DCP (Dynamic Compression Plate — динамическая компрессионная пластина) пластиной, пластиной LCP, блокирующимся стержнем и внеочаговым фиксатором утверждают, что в случае использования блокирующегося стержня обнаружена большая устойчивость к аксиальным и соизмеримая — к изгибающим нагрузкам [89, 90]. В то же время результаты ретроспективных исследований и клинических наблюдений указывают на большее количество осложнений как во время операции, так и отдаленном периоде наблюдения [91, 92].

Таким образом, обзор литературы позволил определить актуальность изучения методов диагностики

и лечения пациентов с различными клиническими проявлениями НРО метаэпифизарных отделов длинных костей нижней конечности — бедренной и большеберцовой. Однако некоторые вопросы, на наш взгляд, освещены недостаточно. Так, хотя и многие авторы описывают различные методы хирургического лечения пациентов с несросшимися переломами (а также с замедленной консолидацией фрагментов и псевдоартрозами), нам не удалось выявить четких показаний к применению определенного метода фиксации, систематизации факторов, влияющих на этот выбор, определения роли и времени действия. Недостаточно внимания уделено морфологической характеристике зоны повреждения при различных локализациях области нарушения сращения. Мы не нашли достаточно обоснованной тактики лечения пациентов с различными клиническими проявлениями дисрегенерации костной ткани после перелома, которая базировалась бы на всестороннем учете факторов ее развития и механических и биологических условий сращения. Анализ источников литературы свидетельствует о необходимости проведения исследований, направленных на определение показаний для выбора метода хирургического лечения пациентов с различными клиническими проявлениями НРО в метаэпифизарных отделах бедренной и большеберцовой костей, что и будет основой для нашей дальнейшей работы.

Список литературы

1. Wang J. W. Treatment of distal femoral nonunion with internal fixation, cortical allograft struts, and autogenous bone-grafting / J. W. Wang, L. H. Weng // *J. Bone Joint Surg Am.* — 2003. — Vol. 85-A, № 3. — P. 436–440.
2. Open reduction and internal fixation of distal femoral nonunions: long-term functional outcomes following a treatment protocol / M. J. Gardner, J. B. Toro-Arbelaez, M. Harrison et al. // *J. Trauma.* — 2008. — Vol. 64, № 2. — P. 434–438.
3. Буачидзе О. Ш. Функциональный накостный остеосинтез дистального отдела бедренной кости при лечении последствий переломов: материалы V всероссийского съезда травматологов-ортопедов / О. Ш. Буачидзе, Г. А. Оноприенко, В. С. Зубиков. — Ленинград, 1990. — С. 181–183.
4. Crowley D. J. Femoral diaphyseal aseptic non-unions: is there an ideal method of treatment? / D. J. Crowley, N. K. Kanakaris, P. V. Giannoudis // *Injury.* — 2007. — Vol. 38, Suppl 2. — P. 55–63.
5. Nonunions around the knee joint / Daniel B. Chan, Devon M. Jeffcoat, Dean G. Lorich et al. // *International Orthopaedics (SICOT).* — 2010. — Vol. 34. — P. 271–281.
6. Ruedi T. P. AO principles of fracture management / T. P. Ruedi, R. E. Buckley. — Thieme, 2007. — 947 p.
7. Winquist R. A. Comminuted fractures of the femoral shaft treated by intramedullary nailing / R. A. Winquist, S. T. Hansen // *Orthopedic Clinics of North America.* — 1980. — Vol. 11. — P. 633–641.
8. Жилиев Р. А. Особенности кровоснабжения бедра как морфологическая основа тактики хирургического лечения переломов / Р. А. Жилиев, А. А. Тяжелов, А. Б. Зарицкий // *Ортопедия, травматология и протезирование.* — 2009. —

- № 2. — С. 27–29.
9. Зубиков В.С. Остеосинтез металлическими пластинами при лечении последствий около- и внутрисуставных переломов бедренной и большеберцовой костей / В. С. Зубиков // Хирургия. — 1986. — № 10. — С. 110–112.
 10. Зубиков В. С. Стабильный остеосинтез метафизарных и метадиафизарных отделов бедренной и большеберцовой костей при лечении последствий травм и ортопедических заболеваний: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. мед. наук / В. С. Зубиков. — М., 1985. — 21 с.
 11. Буачидзе О. Ш. Стабильный остеосинтез пластинами в лечении последствий повреждений дистального отдела бедренной кости / О. Ш. Буачидзе, Г. А. Оноприенко, В. С. Зубиков // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1986. — № 1. — С. 41–43.
 12. Литвинов И. И. Критерии классификации и результаты внутреннего остеосинтеза закрытых диафизарных переломов бедренной кости типа А и В по АО / И. И. Литвинов, В. В. Ключевский // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. — 2005. — № 4. — С. 14–19.
 13. Мовшович И. А. Оперативная ортопедия / И. А. Мовшович. — М.: Медицина, 1983. — 414 с.
 14. Тищенко В. П. Некоторые аспекты анатомо-топографического обоснования остеосинтеза бедренной кости / В. П. Тищенко, А. И. Волошин // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1992. — № 22. — С. 63–65.
 15. Соколов В. А. Множественные и сочетанные травмы / В. А. Соколов. — ГЭОТАР-Медиа, 2006. — 518 с.
 16. Лоцилов В. И. Внутренние собственные напряжения в трубчатых костях животных / В. И. Лоцилов // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1971. — № 8. — С. 63–68.
 17. Tibial geometry is associated with failure load ex vivo: a MRI, pQCT and DXA study / D. Liu, S. L. Manske, S. A. Kontulainen et al. // Osteoporos Int. — 2007. — Vol. 18, № 7. — P. 991–997.
 18. Акулич Ю. В. Биомеханика адаптационных процессов в костной ткани нижней конечности человека: автореф. дисс. на соискание уч. степени доктора физ.-мат. наук / Ю. В. Акулич. — Саратов, 2011. — 37 с.
 19. Architecture of the femoral medullary canal and working length for intramedullary nailing. Biomechanic indications for dynamic nailing / K. Steriopoulos, S. A. Psarakis, C. Savakis et al. // Acta Orthop Scand Suppl. — 1997. — Vol. 275. — P. 123–126.
 20. Computerized morphometric analysis of the femoral diaphyseal canal / A. Toni, F. Fabbri, G. B. Scimeca et al. // Chir Organi Mov. — 1995. — Vol. 80, № 2. — P. 207–219.
 21. Intramedullary nailing of the lower extremity: biomechanics and biology / M. R. Bong, F. J. Kummer, K. J. Koval, K. A. Egol // J. Am Acad Orthop Surg. — 2007. — Vol. 15, № 2. — P. 97–106.
 22. Stress analysis of the distal locking screws for femoral interlocking nailing / J. Lin, S. J. Lin, P. Q. Chen, S. H. Yang // J. Orthop Res. — 2001. — Vol. 19, № 1. — P. 57–63.
 23. Age comparisons of bone density and geometry in men / V. D. Sherk, M. Karabulut, M. G. Bembem, D. A. Bembem // J. Musculoskelet Neuronal Interact. — 2009. — Vol. 9, № 4. — P. 256–262.
 24. Comparisons of trabecular and cortical bone in late adolescent black and white females / N. K. Pollock E. M. Laing, R. G. Taylor et al. // J. Bone Miner. Metab. — 2011. — Vol. 29, № 1. — P. 44–53.
 25. Analyzing cortical bone cross-sectional geometry by peripheral QCT: comparison with bone histomorphometry / S. Kontulainen, D. Liu, S. Manske et al. // J. Clin Densitom. — 2007. — Vol. 10, № 1. — P. 86–92.
 26. Гюльнарзова С. В. Варианты остеогенеза при лечении болтающихся ложных суставов компрессионно-дистракционным методом / С. В. Гюльнарзова, И. К. Надыршина // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1985. — № 5. — С. 20–23.
 27. Илизаров Г. А. Возможности лечения ложных суставов и дефектов длинных трубчатых костей по нашему методу: тез. докл V Всесоюз. съезда травматологов-ортопедов / Г. А. Илизаров. — М., 1988. — С. 28–30.
 28. Борзунов Д. Ю. Использование чрескостного и интрамедуллярного блокируемого остеосинтеза при лечении пациентов с последствиями переломов длинных костей / Д. Ю. Борзунов, А. И. Митрофанов, О. В. Колчев // J. Orthop Trauma Surg. Rel. Res. — 2011. — Vol. 3, № 23. — P. 17–22.
 29. Балакина В. С. Ложные суставы длинных трубчатых костей и их лечение / В. С. Балакина // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1973. — № 3. — С. 9–14.
 30. Ролик А. В. Незрощення довгих кісток (аналіз, фактори ризику, лікувальна тактика) / А. В. Ролик, І. А. Засаднюк // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2005. — № 2. — С. 61–64.
 31. Mora R. Nonunion of the Long Bones. Diagnosis and treatment with compression-distraction techniques / R. Mora. — Italia: Springer-Verlag, 2006. — 285 p.
 32. Operative treatment of extra-articular proximal tibia fractures / M. Bhandari, L. Audige, T. Ellis et al. // J. Orthop Trauma. — 2003. — Vol. 17, № 591. — 595 p.
 33. David La Velle Delayed union and nonunion of fractures / David La Velle // Campbell's Operative Orthopaedics. — 1999. — Vol. 3, № 52. — P. 2579–2583.
 34. Мюллер М. Е. Руководство по внутреннему остеосинтезу / М. Е. Мюллер, М. Алльговер, Р. Шнайдер. — Берлин; Гейдельберг; Нью-Йорк: Springer-Verlag, 1996. — 750 с.
 35. Гюльнарзова С. В. Современные методы лечения ложных суставов / С. В. Гюльнарзова // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2001. — № 2 — С. 134–139.
 36. Білінський П. І. Гістологічні та ангіоморфологічні прояви стану кровопостачання кістки при використанні фіксаторів різних конструкцій після остеотомії / П. І. Білінський, В. В. Григоровський // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2002. — № 4. — С. 80–85.
 37. Штин В. П. Особенности формирования и васкуляризации регенерата, образующегося при дистракции гипертрофического псевдоартроза / В. П. Штин, С. В. Гюльнарзова // Теоретические аспекты в травматологии и ортопедии: сб. науч. трудов, том XIII. — Свердловск, 1974. — С. 16–21.
 38. Ирьянов Ю. М. Пространственная организация и особенности минерализации регенератов, формирующихся при стабильной фиксации костных отломков аппаратом Илизарова / Ю. М. Ирьянов // Гений ортопедии. — 1998. — № 1. — С. 39–44.
 39. Frost H. M. The biology of fracture healing. An overview for clinicians. Part I, II / H. M. Frost // Clin. Orthop. — 1989. — № 248. — P. 283–303.
 40. Ткаченко С. С. О показаниях и методике лечения ложных суставов костей голени / С. С. Ткаченко // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1973. — № 3. — С. 14–20.
 41. Чинники ризику, діагностика та лікування порушень репаративного остеогенезу при діафизарних переломах довгих кісток: методичні рекомендації. — Київ, 2005. — 20 с.
 42. Chapman's Orthopaedic Surgery / Michael W. Chapman, editor. — 3rd Edition; — Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 2001. — 5152 p.
 43. The use of the Ilizarov method as a salvage procedure in infected nonunion of the distal femur with bone loss. / A. Saridis, E. Panagiotopoulos, M. Tyllianakis et al. // J. Bone Joint Surg (Br). — 2006. — Vol. 85-B, № 2 — P. 232–237.
 44. Greifensteiner H. Eine neue Methode zur Behandlung von eiternder Pseudarthrosen und Schlottergelenken / H. Greifensteiner // Z. Orthop. Ihre. Grenzgeb. — 1947. — Vol. 77. — P. 144–153

45. Гудушаури О. Н. Компрессионный остеосинтез при ложных суставах и несросшихся переломах, осложненных остеомиелитом / О. Н. Гудушаури // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1960. — № 10. — С. 84–85.
46. Илизаров Г. А. Вопросы компрессии и distraction в травматологии и ортопедии / Г. А. Илизаров: матер. Всесоюз. симпозиума. — Курган, М., 1970. — С. 14–19.
47. Каплан А. В. Гнойная травматология костей и суставов / А. В. Каплан, Н. Е. Махсон, В. М. Мельникова. — М.: Медицина, 1985. — 384 с.
48. Буачидзе О. Ш. Билокальный остеосинтез по Илизарову при дефектах длинных костей / О. Ш. Буачидзе, О. Ш. Оноприенко, Х. О. Закс // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1986. — № 16. — С. 14–16.
49. Голяховский В. Руководство по чрескостному остеосинтезу методом Илизарова / В. Голяховский, В. Френкель. — СПб., 1999. — 267 с.
50. Гюльназарова С. В. Лечение ложных суставов. Теория и практика метода distraction / С. В. Гюльназарова, В. П. Штин. — Екатеринбург: изд-во Уральского госуниверситета, 1992. — 143 с.
51. Зоря В. И. Возможности комплексного использования distractionно-компрессионного остеосинтеза при лечении ложных суставов и несросшихся переломов / В. И. Зоря, Н. П. Пилипенко, М. В. Паршиков // Аппараты и методы внешней фиксации в травматологии и ортопедии. — Рига, 1989. — 89 с.
52. Фурманец А. И. Костная пластика при компрессионно-distractionном остеосинтезе апластических ложных суставов и дефектов трубчатых костей / А. И. Фурманец, В. И. Кравчук // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1991. — № 21. — С. 41–43.
53. Catagni M. A. Classificazione e trattamento delle pseudoartrosi di gamba con perdita di sostanza / M. A. Catagni // First National Congress for the Applications of the Method of Ilizarov to the Tibia. — Florence, 1986.
54. Paley D. Treatment of tibial nonunion and bone loss with the Pizarov technique / D. Paley // AAOS Instr. Course Lect. — 1990. — № 38. — 185 p.
55. Schwartzman V. Tibial nonunions: treatment tactics with Pizarov method / V. Schwartzman, S. H. Choi, R. Schwartzman // Orthop. Clin. North Am. — 1990. — Vol. 21, № 4. — P. 639–653.
56. Експериментальна оцінка жорсткості фіксації фрагментів моделі довгої кістки апаратами для чрескісткового остеосинтезу / О. С. Лоскутов, В. Л. Красовський, В. Б. Макаров та ін. // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2004. — № 2. — С. 75–80.
57. Оперативное лечение переломов дистального отдела бедра у больных с сочетанной и множественной травмой / Е. А. Литвина, А. В. Скороглядов, С. Ю. Мельниченко и др. // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. 2005. — № 4. — С. 3–8.
58. Khalily C., Voor M., Seligson D. Fracture site motion with Ilizarov and «hybrid» external fixation / C. Khalily, M. Voor, D. Seligson // J. Orthop. Traum. — 1998. — Vol. 12, № 1. — P. 21–26.
59. Reconstruction with distraction osteogenesis for juxta-articular nonunions with bone loss / T. Kabata, H. Tsuchiya, K. Sakurakichi et al. // J. Trauma. — 2005. — Vol. 58, № 6. — P. 1213–1222.
60. Ali F. Treatment of distal femoral nonunions by external fixation with simultaneous length and alignment correction / F. Ali, M. Saleh // Injury. — 2002. — Vol. 33, № 2. — P. 127–134.
61. Плаксейчук А. Ю. Сравнительный анализ современных методов замещения дефектов длинных трубчатых костей / А. Ю. Плаксейчук // Амбулаторная травматолого-ортопедическая помощь: тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. в 2-х ч. — СПб.: Йошкар-Ола, 1994. — С. 16–17.
62. Cattaneo R. The treatment of infected nonunions and segmental defects of the tibia by the method of Ilizarov / R. Cattaneo, M. Catangi, E. E. Johnson // Clin. Orthop. — 1992. — № 280. — P. 143–152.
63. Paley D. Ilizarov bone transport treatment for tibia defects / D. Paley, D. C. Maar // J. Orthop. Trauma. — 2000. — Vol. 14, № 2. — P. 76–85.
64. Speeded gradual lengthening and secondary angled blade plate stabilisation for proximal tibial shaft non-union with shortening / C. C. Wu, Z. L. Lee, C. C. Wu, Z. L. Lee // Int. Orthop. — 2008. — Vol. 32, № 5. — P. 693–696.
65. Rodriguez-Merchan E. C. Internal fixation of nonunions / E. C. Rodriguez-Merchan, F. Gomez-Castresana // Clin Orthop Relat Res. — 2004. — Vol. 419. — P. 13–20.
66. Wu C. C. Retrograde dynamic locked nailing for femoral supracondylar nonunions after plating / C. C. Wu // J. Trauma. — 2009. — Vol. 66, № 1. — P. 195–199.
67. Ставінський Ю. О. Лікування хворих із розладами репаративного остеогенезу після діафізарних переломів кісток нижньої кінцівки за допомогою блокуючого інтрамедулярного остеосинтезу: автореф. на здобуття наук. ступеня канд. мед. наук / Ю. О. Ставінський. — Київ, 2009. — 22 с.
68. Biomechanical evaluation of the less invasive stabilization system, angled blade plate, and retrograde intramedullary nail for the internal fixation of distal femur fractures / M. Zlowodzki, S. Williamson, P. A. Cole et al. // J. Orthop Trauma. — 2004. — Vol. 18, № 8. — P. 494–502.
69. Distal femoral nonunion: treatment with a retrograde inserted locked intramedullary nail / K. J. Koval, D. Seligson, H. Rosen, K. Fee // J. Orthop Trauma. — 1995. — Vol. 9, № 4. — P. 285–291.
70. Indirect reduction and plating of distal femoral nonunions / C. Bel-labarba, W. M. Ricci, B. R. Bolhofner // J. Orthop Trauma. — 2002. — Vol. 16, № 5. — P. 287–296.
71. Hakeos W. M. Plate fixation of femoral nonunions over an intramedullary nail with autogenous bone grafting / W. M. Hakeos, J. E. Richards, W. T. Obremesky // J. Orthop Trauma. — 2011. — Vol. 25, № 2. — P. 84–89.
72. Surgical treatment and outcomes of extraarticular proximal tibial nonunions / M. J. Gardner, J. B. Toro-Arbelaez, M. Hansen et al. // Arch Orthop Trauma Surg. — 2008. — Vol. 128, № 8. — P. 833–839.
73. Chapman M. W. Treatment of supracondylar nonunions of the femur with plate fixation and bone graft / M. W. Chapman, C. G. Finkemeier // J. Bone Joint Surg. — 1999. — Vol. 81, № 9. — P. 1217–1228.
74. Use of locking compression plates for long bone nonunions without removing existing intramedullary nail: review of literature and our experience / B. Nadkarni, S. Srivastav, V. Mittal et al. // J. Trauma. — 2008. — Vol. 65, № 2. — P. 482–486.
75. Devnani A. S. Simple approach to the management of aseptic non-union of the shaft of long bones / A. S. Devnani // Singapore Med J. — 2001. — Vol. 42, № 1. — P. 20–25.
76. Особенности кровоснабжения и костной регенерации при ложных суставах длинных трубчатых костей / О. Н. Гудушаури, В. В. Кузьменко, О. А. Ушакова и др. // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1973. — № 3. — С. 32–36.
77. Реостеосинтез после ошибок и осложнений первичного остеосинтеза длинных костей / А. Е. Лоскутов, А. Н. Кондрашов, И. И. Жердев и др. // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2002. — № 3. — С. 26–29.
78. Chi-Chuan Wu. A revised protocol for more clearly classifying a nonunion / Chi-Chuan Wu, Wen-Jer Chen // Journal of Orthopaedic Surgery. — 2000. — Vol. 8, № 1. — P. 45–52.
79. Treatment concepts and results in non-infected post-traumatic pseudarthroses of the femur and tibia / C. Jürgens, D. Wolter, C. Queitsch, J. H. Schultz // Zentralbl Chir. — 1994. —

- Vol. 119, № 10. — P. 706–713.
80. Романенко К. К. Несросшиеся диафизарные переломы длинных костей (факторы риска, диагностика, лечение): автореф. дис. на соискание ученой степени канд. мед. наук / К. К. Романенко. — Харьков, 2002. — С. 184–204.
 81. Kasser J. R. Bone healing and grafting: Orthop. Knowledge Update-5. Home Study Syllabus / J. R. Kasser // *Am. Acad. Orthop. Surg.* — 1996. — Vol. 4, № 1. — P. 21–27.
 82. Дедух Н. В. Новые технологии в регенерации кости: использование факторов роста / Н. В. Дедух, С. А. Хмызов, А. А. Тихоненко // *Ортопедия, травматология и протезирование.* — 2008. — № 4. — С. 129–133.
 83. Корж Н. А. Имплантационные материалы и остеогенез. Роль оптимизации и стимуляции в реконструкции кости / Н. А. Корж, Л. А. Кладченко, С. В. Малышкина // *Ортопедия, травматология и протезирование.* — 2008. — № 4. — С. 5–14.
 84. Otto R. J. Biomechanical comparison of polyaxial-type locking plates and a fixed-angle locking plate for internal fixation of distal femur fractures / R. J. Otto, B. R. Moed, J. G. Bledsoe // *J. Orthop Trauma.* — 2009. — Vol. 23, № 9. — P. 645–652.
 85. Comparative biomechanical analysis of supracondylar femur fracture fixation: locked intramedullary nail versus 95-degree angled plate / S. M. David, M. E. Harrow, R. D. Peindl et al. // *J. Orthop Trauma.* — 1997. — Vol. 11, № 5. — P. 344–350.
 86. Distal femoral fixation: a biomechanical comparison of trigen retrograde intramedullary (i.m.) nail, dynamic condylar screw (DCS), and locking compression plate (LCP) condylar plate / J. P. Heiney, M. D. Barnett, G. A. Vrabcic et al. // *J. Trauma.* — 2009. — Vol. 66, № 2. — P. 443–449.
 87. Internal fixation of type-C distal femoral fractures in osteoporotic bone / D. Wähnert, K. L. Hoffmeier, G. von Oldenburg et al. // *J. Bone Joint Surg Am.* — 2010. — Vol. 92, № 6. — P. 1442–1452.
 88. Wilkens K. J. Polyaxial locking plate fixation in distal femur fractures: a biomechanical comparison / K. J. Wilkens, S. Curtiss, M. A. Lee // *J. Orthop Trauma.* — 2008. — Vol. 22, № 9. — P. 624–628.
 89. Biomechanical evaluation of various fixation methods for proximal extra-articular tibial fractures / W. Feng, L. Fu, J. Liu et al. // *J. Surg Res.* — 2012. Vol. 178, № 2. — P. 722–727.
 90. The extraarticular proximal tibial fractures. / M. Hansen, D. Mehler, W. Voltmer et al. // *Unfallchirurg.* — 2002. — Vol. 105, № 10. — P. 858–872.
 91. Proximal third tibial shaft fractures. Should they be nailed? / G. J. Lang, B. E. Cohen, M. J. Bosse et al. // *Clin. Orthop. Relat Res.* — 1995. — Vol. 315. — P. 64–74.
 92. Intramedullary nailing versus percutaneous locked plating of extra-articular proximal tibial fractures: comparison of 56 cases / E. Lindvall, R. Sanders, T. Dipasquale et al. // *J. Orthop Trauma.* — 2009. — Vol. 23, № 7. — P. 485–492.

Статья поступила в редакцию 07.12.2012