

## ОСТЕОСИНТЕЗ КОСТЕЙ КОНЕЧНОСТЕЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ЭКСПАНСИВНЫМИ ШТИФТАМИ

Шевырев К.В.<sup>1</sup>, Ямковой А.Д.<sup>2</sup>, Волошин В.П.<sup>1</sup>, Зоря В.И.<sup>3</sup>, Степанов Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГБУЗ МО Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского (МОНИКИ), Москва, e-mail: skv-moniki@yandex.ru;

<sup>2</sup>ГБУЗ «ГКБ им. С.П. Боткина» Департамента здравоохранения г. Москвы, Москва;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, Москва

В исследование включено 106 больных, в возрасте от 21 до 92 лет, которым по показаниям выполнен остеосинтез с применением гидравлических экспансивных штифтов. Показания к операции: «свежие» переломы костей конечностей – 84 случая, застарелые переломы костей конечностей – 3 случая, неправильно и несросшиеся переломы костей конечностей – 16 случаев, опухолевые поражения костей конечностей – 3 случая. Во всех случаях внутрикостную фиксацию отломков осуществляли с помощью системы гвоздей Fixion. Отдаленные исходы хирургического лечения у пациентов со «свежими» переломами длинных костей конечностей отслежены у 42 пациентов, у пациентов, леченных по поводу перелома плечевой кости отличный и хороший результаты зафиксированы в 14 случаях (87,5 %). У одного больного (6,2 %) был зафиксирован плохой исход применения данного способа фиксации перелома. Отличный и хороший результаты зафиксированы в 10 случаях (83,3 %) у пациентов, оперированных по поводу перелома бедренной кости. Удовлетворительных результатов зафиксировано два (16,6 %). У пациентов, перенесших операцию по поводу перелома костей голени, отличный и хороший результаты зафиксированы в 12 случаях (85,6 %) и в двух случаях зафиксирован удовлетворительный результат (14,3 %). Результаты лечения пациентов с несращениями, застарелыми и патологическими переломами отслежены в сроки до 5 лет. У пациентов с застарелыми переломами бедренной, большеберцовой и плечевой костей консолидация наступила в среднефизиологические сроки после операции, отдаленные результаты оценены как хорошие. У пациентов с несращениями костей конечностей в 14 случаях консолидация наступила в сроки 4–8 месяцев после операции. У пациентов с опухолевыми поражениями длинных костей конечностей основной целью являлась прочная фиксация кости, что значительно улучшило качество их жизни после операции, а консолидация перелома уходила на второй план.

Ключевые слова: штифт, гвоздь, перелом, диафиз, консолидация, несращение.

## OSTEOSYNTHESIS OF BONE OF EXTREMITIES HYDRAULICALLY EXPANDABLE NAILS

Shevyrev K.V.<sup>1</sup>, Yamkovoy A.D.<sup>2</sup>, Voloshin V.P.<sup>1</sup>, Zorya V.I.<sup>3</sup>, Stepanov E.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Traumatology and Orthopedics Moscow's regional research clinical institute n.a. M.F. Vladimirovskiy, Moscow, e-mail: skv-moniki@yandex.ru;

<sup>2</sup>City Clinical Hospital n.a. S.P. Botkina Department of Health of Moscow, Moscow;

<sup>3</sup>Moscow State Medical-Stomatological University. A.I. Evdokimova, Moscow

The study included 106 patients, aged 21 to 92 years, who under the testimony performed osteosynthesis using hydraulic expansive pins. Indications for surgery: "fresh" fractures of limb bones - 84 cases, chronic fractures of limb bones - 3 cases, incorrect and not merged fractures of limb bones - 16 cases, tumoral lesions of limb bones - 3 cases. In all cases, intraosseous fixation of fragments was performed with system of nails Fixion. Remote outcomes of surgical treatment in patients with "fresh" fractures of long limb bones were tracked in 42 patients in patients treated for fracture of the humerus and excellent results were recorded in 14 cases (87.5 %). One patient (6.2 %) had a bad outcome of this method of fixing the fracture. Excellent and good results were recorded in 10 cases (83.3 %) in patients operated on for fracture of the femur. Satisfactory results recorded two (16.6 %). In patients who underwent surgery for a fracture of the shin bones excellent and good results were recorded in 12 cases (85.6 %) and in two cases a satisfactory result (14.3 %) was recorded. The results of treatment of patients with nonunions, chronic and pathological fractures are tracked in terms of up to 5 years. In patients with chronic fractures of the femoral, tibial and humerus bones, consolidation occurred mid-physiological terms after the operation, long-term results were evaluated as good. In patients with nonunion of limb bones in 14 cases, consolidation occurred within 4-8 months after the operation. In patients with tumoral lesions of long limb bones, the main goal was a strong bone fixation, which significantly improved the quality of their life after the operation, and the consolidation of the fracture took second place.

Keywords: pin, nail, fracture, the shaft, consolidation, nonunion.

История применения интрамедуллярного штифта для лечения переломов длинных костей берет свое начало в Мексике в XVI веке. Это был первый зарегистрированный факт выполнения подобных операций. Бернардино де Саагун, антрополог, путешествовавший в Мексике, опубликовал рассказ о том, как врачи ацтеков помещали деревянные штифты в костномозговые каналы пациентов с несращениями длинных трубчатых костей.

Работы, опубликованные в период с середины XIX века до начала XX, описывали использование гвоздей из слоновой кости. Авторы предполагали, что эти импланты будут рассасываться в человеческом теле [1]. В 1890 году Gluck T опубликовал первое описание блокируемого интрамедуллярного устройства. Устройство состояло из интрамедуллярного гвоздя из слоновой кости, в котором имелись отверстия в конце, через которые была возможна блокировка. 1897 год, норвежский хирург Nicolaysen J. описал биомеханические принципы внутрикостных устройств при лечении проксимальных переломов бедренной кости.

Hoglund E.J. из Соединенных Штатов сообщил об использовании аутогенной кости в качестве интрамедуллярного имплантата в 1917 году. Он описал технику, в которой отрезок кортикальной кости пациента был вырезан, а затем введен в костномозговой канал через участок перелома.

Во время Первой мировой войны, в 1914 году Hey Groves E.W. из Англии сообщал об использовании металлических стержней для лечения огнестрельных переломов. Эти стержни вводились в костномозговой канал через разрез, выполненный над местом перелома. Доклады Смита-Петерсена в 1931 году об успешном использовании гвоздей из нержавеющей стали для лечения переломов шейки бедра, применение металлических интрамедуллярных имплантатов дали толчок быстрому развитию интрамедуллярного остеосинтеза металлическими конструкциями.

Герхард Кюнчер в 1940 году сообщил об использовании штифта V-образного сечения и предположил, что штифт действует как внутренняя шина, создающая эластичную фиксацию внутри костного мозгового канала [2]. Кюнчер считал, что правильная установка штифта позволит немедленную функциональную мобилизацию пациента. Позднее, в 1947 году им был опубликован отчет о 105 случаях лечения пациентов с использованием штифта V-образного сечения. К концу 1940-х годов Кюнчер отказался от использования V-образного дизайна штифта в пользу другого – штифта с сечением в виде листа клевера.

Westerborn A. сообщил о своем опыте с V-образным гвоздем в скандинавской литературе в 1944 году [3]. В 1946 году Soeur R. сообщил об использовании U-образного

гвоздя в бедренной кости, голени и плечевой кости.

В 1947 году группа авторов (Street D.M., Hansen H.C., Brewer B.J.) из США сообщили об использовании гвоздя Hansen-Street у 4 пациентов. Это был солидный ромбовидный гвоздь, его дизайн создавал сопротивление вращению внутри губчатой кости [4].

В 1940-50-х годах прошлого столетия были разработаны две важные методики, значительно повысившие эффективность внутрикостного остеосинтеза и расширившие анатомические области применения метода [5].

В 1942 году Fischer A.W. сообщил в немецкой литературе об использовании интрамедуллярных разверток для увеличения площади контакта между гвоздем и костью пациента для повышения стабильности фиксации перелома.

Другой, используемой в настоящее время методикой, введенной в 1950-е годы, было применение блокируемых винтов для повышения стабильности конструкции. В 1953 году Modny M.T., Vambara J. ввели поперечно блокируемый интрамедуллярный гвоздь. Этот гвоздь имел несколько отверстий, позволяющих размещать винты под углом 90 ° друг к другу. Modny M.T. позже сообщил о превосходных результатах в серии из 261 переломов бедренной кости, выполненных этим гвоздем.

1960-е годы ознаменовались появлением цефаломедуллярных гвоздей. Гвоздь Zickel, первый из них, создан автором в 1967 и использовался для остеосинтеза проксимального отдела бедра.

Доминирующими конструкциями 1960–1980 годов был блокируемый гвоздь с прорезью и формой клеверного листа, например, гвозди АО и Grosse-Kempf.

Дальнейшее развитие внутрикостной фиксации костей шло за счет изменений конструктивных возможностей штифтов, позволяющих лечить ранее недоступные локализации переломов. Кроме того, конструкции с разным не замкнутым сечением заменены на солидные или канюллированные конструкции [6-8]. Несращения атрофического типа лечатся с применением различных видов костной пластики, о чем свидетельствуют работы зарубежных и отечественных авторов [9-11].

В 1999 году фирмой Disk-O-Tech (Израиль) на рынке была представлена система для фиксации переломов длинных костей конечностей – гидравлические экспансивные штифты (HEN: hydraulically expandable nail). Гидравлический экспансивный стержень представляет собой расширяющуюся трубку с продольными блоками из нержавеющей стали и дистальным концом конической формы. На проксимальном конце стержня располагается однонаправленный клапан. Расширение происходит при введении стерильного физиологического раствора при помощи специальной помпы под контролем давления – не более 70 атмосфер. При расширении диаметр стержня может увеличиваться до 175 % от

первоначального. После расширения продольно идущие блоки упираются во внутренние стенки канала, обеспечивая фиксацию кости, в том числе ротационную стабильность. Имплантаты имеют различные варианты. Для бедренной кости: проксимальный бедренный (в том числе проксимальный бедренный удлинённый), диафизарный (без блокирования винтами), ретроградный [12,13]. Для большеберцовой и плечевой костей есть варианты с проксимальным блокированием винтами [14,15]. Вводимый в медуллярный канал гвоздь Fixion меняет свою форму, приспособляется к индивидуальным особенностям стенок канала трубчатой кости, адаптируется к его размерам в проксимальной, истмальной и дистальной зонах, а также к его кривизне [16-18].

**Материалы и методы.** В клиниках травматологии и ортопедии МГМСУ (клинические базы: ГБУЗ «ГКБ №59, 54 ДЗМ») и МОНИКИ выполнен анализ исходов остеосинтеза длинных трубчатых костей с применением расширяемых штифтов у 106 больных (84 – МГМСУ, 22 МОНИКИ), в возрасте от 21 до 92 лет.

Показания к оперативному вмешательству следующие: 1) «свежие» переломы костей конечностей – 84 случая; 2) застарелые переломы костей конечностей – 3 случая; 3) неправильно и несросшиеся переломы костей конечностей – 16 случаев; 4) опухолевые изменения костей конечностей – 3 случая.

Показатели оперированных сегментов распределились в следующем порядке: плечевая кость – 39 случаев, бедренная кость – 30 случаев, большеберцовая кость – 37 случая.

Наибольшая группа «свежих» переломов диафизов длинных костей конечностей составила 84 наблюдения.

Распределение больных с переломами длинных костей конечностей по классификации АО/ASIF.

A1 – плечо (n=6) бедро(n=1) голень(n=8), 15 (17.8 %);

A2 – плечо (n=9) бедро(n=7) голень(n=4), 20 (23.8 %);

A3 – плечо (n=7) бедро(n=4) голень(n=1), 12 (14.3 %);

B1 – плечо (n=3) бедро(n=2) голень(n=5), 10 (11.9 %);

B2 – плечо (n=3) бедро(n=4) голень(n=3), 10 (11.9 %);

B3 – плечо (n=1) бедро(n=1) голень(n=3), 5 (6 %);

C1 – плечо (n=4) бедро(n=2) голень(n=1), 7 (8,3 %);

C2 – плечо (n=1) бедро(n=0) голень(n=1), 2 (2,4 %);

C3 – плечо (n=3) бедро(n=0) голень(n=0), 3 (3,6 %).

Всего по сегментам – плечо 37 (44 %), бедро 21 (25 %), голень 26 (31 %), итого 84 (100 %).

Исходя из вышеперечисленных данных, видно, что у большинства пациентов этой группы (73,8 %) переломы соответствовали типам A1, A2, A3 и B1 по классификации АО/ASIF.

Группа пациентов с нарушением консолидации (n=16) представлена диафизарными неинфицированными несращениями нормотрофического (n=6) и гипертрофического типов (n=10). Несращения локализовались на диафизах большеберцовой (n=5, ранее оперированных 2) и бедренной (n=11, ранее оперированных 5) костей. Застарелые диафизарные переломы (n=3) большеберцовой, бедренной и плечевой костей были оперированы у пациентов через 6–9 недель после травмы. У этих пациентов была выполнена открытая репозиция отломков. Остеосинтез плечевой (n=2) и бедренной (n=1) костей по поводу метастатических диафизарных переломов выполнялся пациентам с генерализованным злокачественным опухолевым процессом закрытым способом. Во всех случаях внутрикостную фиксацию отломков осуществляли с помощью системы гвоздей Fixion. Проксимальное блокирование в этой системе выполняется винтами, обеспечивая дополнительную ротационную стабильность.

### **Результаты и обсуждение**

За 18 лет клинического применения экспансивных штифтов в литературе накопилось достаточное количество источников, сообщающих об опыте использования данных имплантатов. Однако лишь в единичных статьях количество описываемых наблюдений превышает 50 случаев.

A. Jovanovic, M. Pirpiris, H. SemirliS., G. Doig (2004 г.) сообщают об оперативном лечении 9 случаев диафизарных переломов плечевой кости экспансивными штифтами у пациентов с множественной травмой. Авторы приходят к выводу, что рассматриваемые имплантаты позволяют быстро, прочно и с небольшой лучевой нагрузкой зафиксировать плечевую кость. В течение 6 месяцев получено сращение плечевой кости у всех пациентов [19].

Steinberg E.L. и соавторы в 2009 году проанализировали результаты лечения 25 переломов и несращений бедренной и большеберцовых костей, которые были прооперированы с использованием расширяемых штифтов. Во всех 25 случаях получена консолидация. Для бедренной кости средние сроки сращения составили 23 недели, для большеберцовой 17 недель. В случаях несращений были использованы риммирование медуллярного канала и пластика деминерализованным костным матриксом. Авторы считают, что используемые имплантаты имеют теоретические преимущества в виде равномерного распределения контакта и нагрузки в системе имплантат-кость и ротационной стабильности без необходимости введения блокируемых винтов [20].

Beazley J., Mauffrey C., Seligson D. в 2011 году провели анализ литературы (41 источник) по использованию расширяемых штифтов для лечения свежих переломов большеберцовой кости. Средние сроки консолидации составили 12,2 недели, время операции составило 54 минуты. У 10 % пациентов потребовалась повторная операция. В 3 % случаев произошло укорочение сегмента. В 2 % при расширении штифта произошло растрескивание большеберцовой кости. Авторы считают, что расширяемые имплантаты требуют дальнейшего изучения в рамках рандомизированных контролируемых исследований, кроме того, результаты лечения нуждаются в сравнении с традиционными блокируемыми штифтами [21].

Группа авторов из Мэриленда (2015) сравнили результаты лечения у пациентов с диафизарными переломами бедра с использованием расширяемых и блокируемых штифтов в 46 случаях. Пришли к выводам, что при использовании расширяемых штифтов короче время операции (71 минута против 108 минут у блокируемых штифтов). Время использования рентген оборудования также короче у расширяемых имплантатов: 30 секунд против 61, при операции с использованием блокируемого штифта. Сроки госпитализации у пациентов после остеосинтеза блокируемыми штифтами составили 15 дней против 13 у пациентов с расширяемыми имплантатами. Кровопотеря при блокируемом остеосинтезе составила в среднем 574 мл, и 217 мл при остеосинтезе расширяемыми штифтами. И наконец, время заживления перелома составило 22 недели после применения расширяемых имплантатов и 26 недель после остеосинтеза блокируемыми штифтами. На основании полученных данных авторы делают выводы о том, что при простых типах переломов расширяемые имплантаты имеют преимущества перед блокируемыми. Однако при сложных, оскольчатых переломах бедренной кости блокируемые штифты остаются имплантатами выбора, так как конструкционно препятствуют укорочению сегмента и ротационному смещению отломков [22,23].

Результаты проводимого нами исследования больных с переломами длинных костей конечностей и их последствиями оценивались по системе оценки исходов (СОИ-1) (предложена в ЦИТО Мироновым С.П., Маттис, Э.Р., Троценко В.В.) [24]. Система представляет из себя опросную шкалу, состоящую из 16 пунктов.

Отдаленные исходы оперативного лечения пациентов со «свежими» переломами длинных костей конечностей отслежены у 42 пациентов.

Локализация перелома:

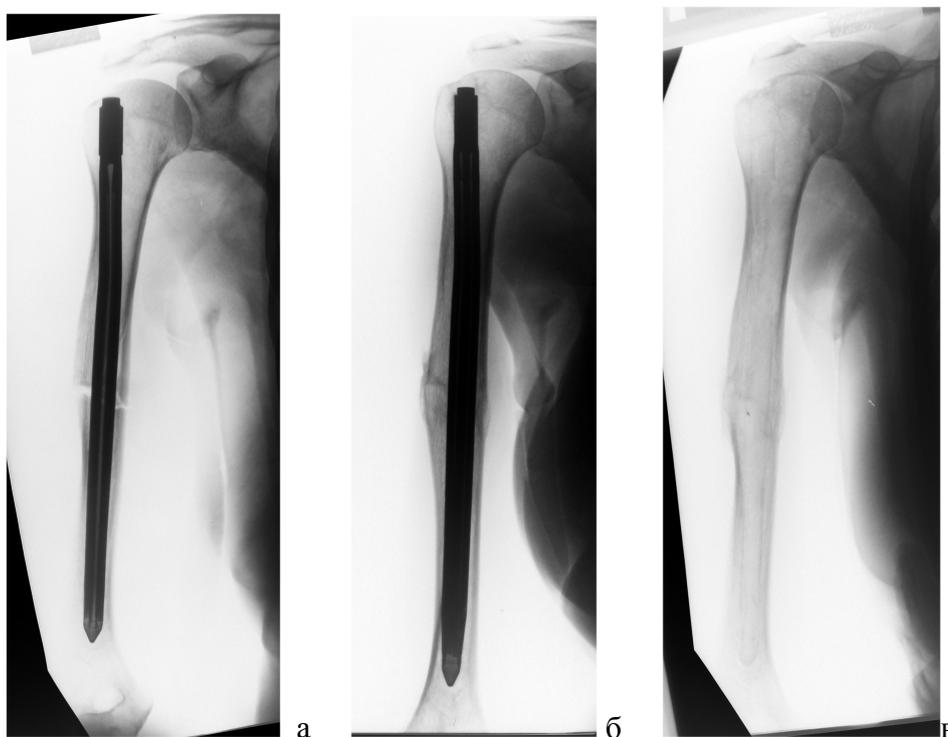
плечо – отличный результат 10 (62,5 %), хороший 4 (25 %), удовлетворительный 1 (6,2 %), плохой 1 (6,2 %), итого 16 (38 %);

бедро – отличный 7 (58,3 %), хороший 3 (25 %), удовлетворительный 2 (16,6 %),

плохой 0, итого 12 (28.5 %);

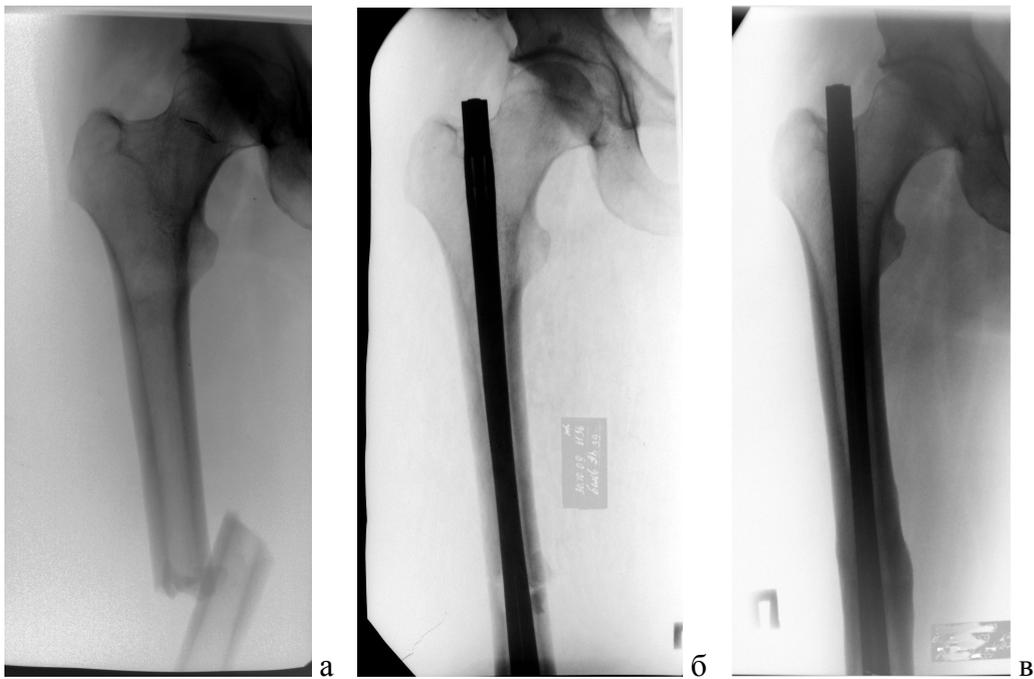
голень – отличный 8 (57.1 %), хороший 4 (28.5 %), удовлетворительный 2 (14.3 %), плохой 0, итого 14 (33.3 %).

Из представленных данных видно, что у пациентов, леченных по поводу перелома плечевой кости (рис. 1), отличный и хороший результаты зафиксированы в 14 случаях (87,5 %). У одного больного (6,2 %) был зафиксирован плохой исход применения данного способа фиксации перелома. Плохой результат был зафиксирован при первой операции остеосинтеза перелома типа 12A1. Возникло глубокое нагноение операционной раны. Потребовалось удаление конструкции и установка аппарата внешней фиксации. Последующее наблюдение позволило установить, что функция конечности у данного пациента восстановилась.



*Рис. 1. Рентгенограммы пациента после остеосинтеза плечевой кости по поводу перелома типа С3 (а), после наступления консолидации (б) и после удаления имплантата (в)*

Отличный и хороший результаты зафиксированы в 10 случаях (83,3 %) у пациентов, оперированных по поводу перелома бедренной кости (рис. 2). Удовлетворительных результатов зафиксировано два (16,6 %). Плохие исходы не зафиксированы.



*Рис. 2. Рентгенограммы бедра при поступлении (а) перелом типа А-3, после операции (б), сращение перелома, через год после операции (в)*

У пациентов, перенесших операцию по поводу перелома костей голени (рис.3), отличный и хороший результаты зафиксированы в 12 случаях (85,6 %), и в двух случаях зафиксирован удовлетворительный результат (14,3 %). Плохих результатов отмечено не было.





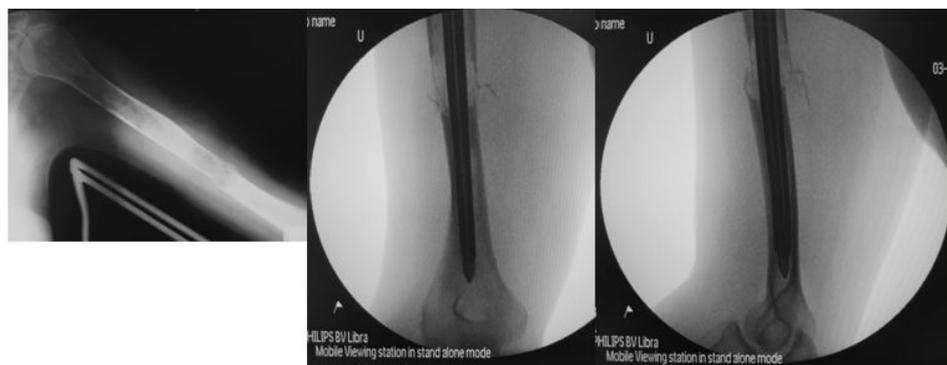
*Рис. 3. Рентгенограммы больного с переломом костей голени при поступлении (а), в условиях остеосинтеза (б,в), после удаления фиксаторов через 1 год после операции (г, д)*

Результаты лечения пациентов с несращениями, застарелыми и патологическими переломами (рис.5,6) отслежены в сроки до 5 лет. У пациентов с застарелыми переломами бедренной, большеберцовой и плечевой костей консолидация наступила в среднефизиологические сроки после операции, отдаленные результаты оценены как хорошие. У пациентов с несращениями костей конечностей в 14 случаях консолидация наступила в сроки 4–8 месяцев после операции. В одном случае несросшийся перелом бедренной кости не консолидирован, выполнен накостный реостеосинтез с костной аутопластикой, после которого сращение наступило через 7 месяцев. Отдаленный результат через год после операции оценен как удовлетворительный. Ещё у одного пациента с несращением бедренной кости остеосинтез Fixion был выполнен не по показаниям (рис. 4), потребовался реостеосинтез, функционально прочного сращения не достигнуто. Результат оценен как плохой.



*Рис. 4. Рентгенограммы пациента, которому фиксация Fixion была выполнена не по показаниям*

У пациентов с опухолевыми поражениями длинных костей конечностей основной целью являлась прочная фиксация кости, что значительно улучшило качество их жизни после операции, а консолидация перелома уходила на второй план (рис. 5,6). К сожалению, генерализация опухолевого процесса привела к смерти обоих пациентов в течение года после операции.



а.

б.

*Рис. 5. Рентгенограммы пациентки с патологическим переломом плечевой кости (а) после закрытой репозиции и остеосинтеза системой Fixion (б)*



*Рис. 6. Рентгенограммы пациента с патологическим переломом диафиза бедренной кости после закрытой репозиции и остеосинтеза системой Fixion*

### **Заключение**

На наш взгляд, расширяемые штифты являются конкурентными имплантатами для лечения «истмальных» переломов длинных костей конечностей, а также при лечении онкологических поражений и несращений диафиза трубчатых костей. Расширяемые штифты несомненно являются технологически оригинальными имплантатами и имеют ряд преимуществ перед блокируемыми штифтами:

- Отсутствует необходимость в дистальном (при ретроградном штифтовании бедра – проксимальном) блокировании, уменьшается время оперативного пособия и лучевая нагрузка на операционную бригаду и больного, расширяются показания для применения малоинвазивных методов, а также исключает ятрогенное повреждение лучевого нерва при штифтовании плеча.

- Расширение штифта позволяет выполнить репозицию отломков по ширине.
- Подбора диаметра, из-за широкого диапазона расширения, не требуется.
- Также, не требуется рассверливания медуллярного канала для усиления прочности фиксации в кости.

Но все же применение гидравлических штифтов ограничено. Не показано применение данного фиксатора при многооскольчатых и фрагментарных переломах диафизов костей. Данные переломы требуют классического блокирования винтами в метафизарных зонах. Особенно критично это для переломов костей голени и бедренной кости. Оскольчатые переломы плечевой кости менее критичны к отсутствию блокирования винтами при эффективном гидравлическом расширении и заклинивании штифта в костных отломках. Требуют классического блокирования патологические переломы длинных костей на фоне остеопороза (различного генеза), применение раздуваемых имплантатов в данной ситуации ограничено из-за хрупкости и потери эластичности костной ткани, даже с учетом значительности расширения.

### Список литературы

1. Bircher H. Eine neue Methode unmittelbarer Retention bei Fracturen der Röhrenknochen. Arch Klin Chir. 1886; 34, pp. 410-422.
2. Küntscher G. Die Marknalung von Knochenbrüchen. Langenbecks. Arch Klin Chir. 1940; 200, pp. 443-455.
3. Westerborn A. Marrow nailing of recent fractures and pseudoarthrosis. Report of 28 cases. Acta Chir Scand. 1944; 90, p. 89.
4. Street D.M., Hansen H.C., Brewer B.J. The medullary nail. Presentation of a new type and report of 4 cases. Arch Surg. 1947; 35, p. 423.
5. Волна А.А., Владыкин А.Б. Интрамедуллярный остеосинтез: с рассверливанием или без? Margo Anterior. 2000; 5–6: 89–93.
6. Lucas S.E., Seligson D., Henry S.L. Intramedullary supra-condylar nailing of femoral fractures. A preliminary report of the GSH supracondylar nail. Clin Orthop Relat Res. 1993; (296), pp. 200-206.
7. Duan X., Li T., Mohammed A.Q., Xiang Z. (2011) Reamed intramedullary nailing versus unreamed intramedullary nailing for shaft fracture of femur: a systematic literature review. Arch Orthop Trauma Surg 131, pp. 1445–1452.
8. Lam S.W., Teraa M., Leenen L.P., van der Heijden G.J. (2010) Systematic review shows lowered risk of nonunion after reamed nailing in patients with closed tibial shaft fractures. Injury

41, pp. 671-675.

9. Павлов Д.В., Воробьев А.В., Алейников А.В., Новиков А.Е., Шимбарецкий А.Н. Особенности интрамедуллярного остеосинтеза с блокированием при переломах костей голени на различных уровнях // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2009; 168 (4), pp. 53-56.
10. Неверов В.А., Хромов А.А., Черняев С.Н. Функциональный метод лечения переломов длинных трубчатых костей – заблокированный интрамедуллярный остеосинтез // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. – 2007; 166 (1), pp. 25-29.
11. Kajzer A., Kajzer W., Marciniak J. Osteosynthesis with the use of expansion intramedullary nails, *Engineering of Biomaterials* 11/77-80 (2009), pp. 74-76.
12. Kapoor S.K., Kataria H., Boruah T., Patra S.R., Chaudhry A., Kapoor S., Expandable self-locking nail in the management of closed diaphyseal fractures of femur and tibia, *Indian Journal Orthopaedic* 43/3 (2009), pp. 264-270.
13. Fortis A.P., Dimas A., Lamprakis A.A. Expandable nailing system for tibial shaft fractures. *Injury*. 2008; 39(8):940–946. doi: 10.1016/j.injury.2008.01.022.
14. Maher S.A., Meyers K., Borens O., Suk M., Grose A., Wright T.M., Helfet D. Biomechanical evaluation of an expandable nail for the fixation of midshaft fractures. *J. Trauma*. 2007; 63 (1), pp. 103–107.
15. Ni J.D., Ding M.L., Xie H.M., Li X., Song D.Y., Shen X. Treatment of fractures of extremities with expandable intramedullary nails. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 2007; 32 (4), pp. 695-698.
16. Mallick E., Hazarika S., S. Assad S., Scott M. The Fixion nailing system for stabilising diaphyseal fractures of the humerus: a two-year clinical experience. *Acta Orthop. Belg.* 2008; 74 (3), pp. 308–316.
17. Efsthopoulos N., Nikolaou V.S., Xypnitos F.N., Korres D., Lazarettos I., Panousis K., et al. Investigation on the distal screw of a trochanteric intramedullary implant (fi-nail) using a simplified finite element model. *Injury* 2010; 41(3), pp. 259-265. doi: 10.1016/j.injury.2009.09.006 (PMID: 20176164).
18. Rose D.M., Smith T.O., Nielsen D., Hing C.B. Expandable intramedullary nails for humeral fractures: a systematic review of clinical and radiological outcomes. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2013; 23(1): 1-11. (doi: 10.1007/s00590-011-0908-5) (PMID: 23412402).
19. Jovanovic M., Pirpiris H., Semirli S., G. Doig Fixion™ nails for humeral fractures. *Injury*. Vol. 35, Issue 11, 2004, pp. 1140-1142.
20. Steinberg E.L., Keynan O., Sternheim A., Drexler M., Luger E. Treatment of diaphyseal nonunion of the femur and tibia using an expandable nailing system. *Injury*. 2009; 40(3): 309–314. doi:10.1016/j.injury.2008.07.029.

21. Beazley J., Mauffrey C., Seligson D. Treatment of acute tibial shaft fractures with an expandable nailing system: a systematic review of the literature. *Injury*. 2011; 42 (suppl 4): S11–S16. doi:10.1016/S0020-1383(11)70006-7.
22. Zhen-Tao Zhou, M.M.; Yu-Chen Song, M.M.; Xiao-Zhong Zhou, M.D.; Hai-Bin Zhou, M.D.; Zong-Ping Luo, M.D.; Qi-Rong Dong, M.D., Femoral Midshaft Fractures: Expandable Versus Locked Nailing, *Orthopedics*, April 2015 – Vol. 38. Issue 4: e314-e318.
23. Citak M., Kendoff D., Citak M., Gardner M.J., Oszwald M., Krettek C., Hüfner T. Femoral nail osteosynthesis. Mechanical factors influencing the femoral antetorsion. *Unfallchirurg*. 2008; 111 (4): 240–246.
24. Сергеев С.В., Джоджуа А.В., Загородний Н.В., Чарчян А.М., Карпович, Н.И., Абдулхабирова М.А., Матвеев В.С., Сальников П.А., Исаак А. Блокируемый остеосинтез при переломах длинных костей: опыт применения и результаты лечения /С.В. Сергеев [и др.] // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2005; 2: 40-46.