

© Группа авторов, 2001

***Плотность минеральных веществ
в дистракционном регенерате при стимуляции регенерации
по способу В.И. Шевцова – А.В. Попкова***

А.А. Свешников, А.В. Попков, Д.А. Попков, С.В. Ральникова, Л.А. Смотров

***Mineral density in the distraction regenerated bone in case
of stimulation according to V.I. Shevtsov-A.V. Popkov technique***

A.A. Sveshnikov, A.V. Popkov, D.A. Popkov, S.V. Ralnikova, L.A. Smotrova

Государственное учреждение науки

Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова, г. Курган
(генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

У 11 больных с укорочением бедра производили его удлинение в автоматическом режиме, а процесс регенерации стимулировали созданием компрессионных усилий. С целью изучения динамики формирования регенерата осуществляли измерение его минеральной плотности (МП). Состояние деминерализации в костях скелета контролировали путем измерения МП в пяточной кости и дистальной отделе лучевой. Установлено, что компрессия приводит к уплотнению регенерата и ускорению последующей минерализации на всем его протяжении. В костях скелета, удаленных от места остеосинтеза, наблюдали непродолжительную деминерализацию вследствие гиперпродукции паратиринина.

Ключевые слова: бедро, удлинение, автоматический режим, чрескостный остеосинтез, костная регенерация, минерализация.

Femoral lengthening was made in an automatic mode and stimulation of the regenerative process was performed by producing of compression forces in 11 patients with shortening of the femur. Mineral density in the regenerated bone was controlled during osteosynthesis to study mineralization in the patients and to study mineral content change in intact skeletal bones (calcaneus, distal radius) as well. It was established that compression really led to compaction of the regenerated bone and to acceleration of subsequent mineralization throughout the regenerated bone. Demineralization due to parathyrine hyperproduction was noted in the other skeletal bones for a short time.

Keywords: femur, lengthening, automatic mode, transosseous osteosynthesis, bone regeneration, mineralization.

Функциональная нагрузка благоприятно влияет на скорость регенерации костной ткани при удлинении конечности, что является одним из основных принципов чрескостного дистракционного остеосинтеза [1, 4, 10]. Учеными РНЦ «ВТО» [11] в 1994 году был предложен принципиально новый способ стимулирования созревания костного дистракционного регенерата, в основе которого — создание условий для передачи функциональной нагрузки на новообразованную костную ткань с первых дней периода фиксации. Авторы данного изобретения предложили после завершения периода дистракции одномоментно сближать опоры аппарата до контакта вершин проксимальной и дистальной

частей костного регенерата с компрессией соединительно-тканной прослойки так называемой «зоны роста». Экспериментальные исследования и клинические испытания способа подтвердили его высокую эффективность: консолидация костных фрагментов наступает через 2-3 недели, увеличивается площадь поперечного сечения кости в зоне удлинения, индекс фиксации сокращается до 3-5 дн/см независимо от возраста больного и этиологии укорочения.

Цель данного исследования состоит в том, чтобы количественно проследить за минеральной плотностью (МП) в различных участках дистракционного регенерата в процессе лечения больного.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Под наблюдением находились 11 больных в возрасте от 14 до 43-х лет, которым осуществляли оперативное удлинение бедра в высокоточном автоматическом режиме. Этиология укорочения

бедра в 5 случаях была врожденной и у 6 пациентов — приобретенной (4 — посттравматическая и 2 — последствия гематогенного остеомиелита). Величина укорочения колебалась от 5 до

7 см. Этим пациентам после завершения периода distraction производили стимуляцию регенераторного процесса по способу Шевцова-Попкова путем дозированной компрессии соединительнотканной прослойки distractionного регенерата. Величина напряжения компрессии определялась с помощью тензометрических датчиков, расположенных на стержнях аппарата Илизарова.

МП определяли на костном денситометре фирмы «Норлэнд» (США). Измерения выполняли у проксимального и дистального концов регенерата, а также в срединной зоне. Учитывая, что при distraction происходит растяжение тканей и их регенерация, которые сопровождаются выраженной мобилизацией репаративных ресурсов организма, мы изучили МП в некоторых губчатых костях скелета (пяточная и лучевая кости) на стороне, противоположной месту удлинения. В пяточной кости МП измеряли в центре ее, в лучевой - на расстоянии 1 см от лучезапястного сустава.

Статистическая обработка результатов. После подтверждения нормальности распределения данных и равенства генеральных дисперсий в сравниваемых выборках применяли: 1) однофакторный дисперсионный анализ – для проверки гипотезы о равенстве средних в двух и более выборках (различиях полученных данных между группами больных и нормой для каждой

группы). Статистически значимыми считали отличия при $F > F_{\text{критическое}}$ для $\alpha=0,05$, где F – результат теста, а α – уровень значимости для этого метода; 2) t – критерий Стьюдента (двухвыборочный t -тест с одинаковыми дисперсиями, гомоскедастический) – для сравнения в двух группах. Статистически значимыми считали различия при $P \leq 0,05$, где P – уровень значимости этого критерия; 3) парный t -критерий Стьюдента (парный двухвыборочный t -тест для средних) – для оценки различий показателей у одних и тех же больных до и после проводимого реабилитационного комплекса с $P \leq 0,05$. В случае подтверждения нормального распределения, но не равенства генеральных дисперсий в сравниваемых совокупностях применяли двухвыборочный t -тест с различными дисперсиями (гетероскедастический) с $P \leq 0,05$.

Все результаты в таблицах представлены в виде $M \pm m$, где M – среднее арифметическое выборки, m – стандартная ошибка (ошибка среднего). Кроме этого указывали n – число наблюдений. Все формулы, алгоритмы и методики применения статистических методов цитируются по книге Гланца [3]. В качестве инструмента вычислений использован пакет статистического анализа и встроенные формулы расчетов компьютерной программы Microsoft® Excel (Microsoft® Office 1997 – Professional Runtime).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Накануне оперативного вмешательства в участке кости, где было намечено произвести оперативное вмешательство, МП была снижена на $12 \pm 0,6\%$ и составляла $1,326 \pm 0,041$ г/см² (в конечности здорового человека - $1,499 \pm 0,041$ г/см²).

На рентгенограммах тень костного регенерата появлялась достаточно рано, обычно на 10-14 день distraction. Через один месяц она заполняла весь диастаз между костными фрагментами, и до окончания периода distraction сохранялась непрерывность продольно ориентированной тени костного регенерата. На протяжении всего периода distraction почти у всех пациентов «зона роста» регенерата не видна на рентгенограммах.

На 30-й день distraction наибольшая МП была в тех участках регенерата, которые прилежали к проксимальному ($30 \pm 2,2\%$) и дистальному ($28 \pm 1,8\%$, $P > 0,1$) костным фрагментам, а в срединной зоне просветления была в два раза меньше ($15 \pm 0,8\%$, $P < 0,05$). К 60-му дню у концов регенерата МП увеличилась на 3-5%, а в срединной зоне просветления, наоборот, уменьшилась на 5% (рис. 1). К концу distraction МП в участках регенерата, прилежащих к материнской кости, составляла 37-40%, а в срединной зоне просветления – всего 8% (табл. 1).

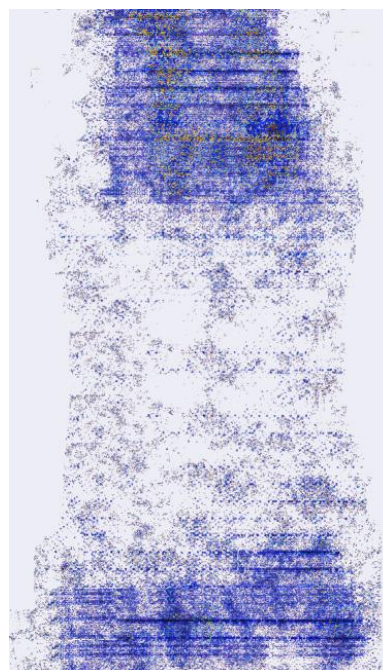


Рис. 1. Больной С. Сканограмма, отражающая МП на 60-й день distraction. Плотность регенерата выше в участках, прилежащих к костным фрагментам. В срединной зоне плотность – $0,150$ г/см².

Таблица 1.

Изменение минеральной плотности (г/см^2) в дистракционном регенерате бедра

Этапы остеосинтеза	Участки регенерата		
	проксимальный	срединная зона	дистальный
	МП на здоровой конечности - $1,499 \pm 0,034$		
	МП на удлиняемой конечности - $1,326 \pm 0,041$, $P < 0,05$		
Дистракция 30 дней	$0,450 \pm 0,016$ $P < 0,001$	$0,230 \pm 0,014$ $P < 0,001$	$0,413 \pm 0,016$ $P < 0,001$
Дистракция 60 дней	$0,524 \pm 0,020$ $P < 0,001$	$0,150 \pm 0,009$ $P < 0,001$	$0,469 \pm 0,022$ $P < 0,001$
Конец периода дистракции	$0,599 \pm 0,024$ $P < 0,001$	$0,120 \pm 0,008$ $P < 0,001$	$0,555 \pm 0,022$ $P < 0,001$
Компрессия	$0,750 \pm 0,025$ $P < 0,001$	$0,285 \pm 0,018$ $P < 0,001$	$0,690 \pm 0,021$ $P < 0,001$
Фиксация 30 дней	$0,810 \pm 0,019$ $P < 0,001$	$0,408 \pm 0,019$ $P < 0,001$	$0,735 \pm 0,025$ $P < 0,001$
Конец периода фиксации	$0,824 \pm 0,019$ $P < 0,001$	$0,854 \pm 0,025$ $P < 0,001$	$0,795 \pm 0,031$ $P < 0,001$
Дни после снятия аппарата: 30	$0,944 \pm 0,034$ $P < 0,001$	$0,932 \pm 0,026$ $P < 0,001$	$0,914 \pm 0,025$ $P < 0,001$
60	$1,043 \pm 0,041$ $P < 0,001$	$0,989 \pm 0,027$ $P < 0,001$	$0,996 \pm 0,036$ $P < 0,001$
90	$1,169 \pm 0,034$ $P < 0,001$	$1,081 \pm 0,021$ $P < 0,001$	$1,124 \pm 0,034$ $P < 0,001$
150	$1,434 \pm 0,038$ $P > 0,1$	$1,419 \pm 0,045$ $P > 0,1$	$1,458 \pm 0,032$ $P > 0,1$
1,5 года	$1,511 \pm 0,029$ $P > 0,1$	$1,542 \pm 0,042$ $P > 0,1$	$1,525 \pm 0,039$ $P > 0,1$

Примечание: «Р» рассчитано по отношению к величине на контралатеральной конечности.

Стимуляция регенерата компрессией выполнялась в самом начале периода фиксации, усилия контролировались тензометрическими датчиками. При этом наиболее оптимальным напряжением компрессии считалась величина $0,56 \text{ кгс/см}^2$.

Компрессия привела к тому, что МП у основания регенерата увеличилась на 9-10%, а в срединной зоне – на 11%. На протяжении последующих дней первого месяца фиксации МП возросла у основания регенерата на 3-4%, а в срединной зоне – на 8% (рис. 2). На втором месяце фиксации сохранился этот же темп прироста МП по длине регенерата и стал несколько выше (9%) в зоне просветления (табл. 1). В силу этого, МП становилась достаточно равномерной.

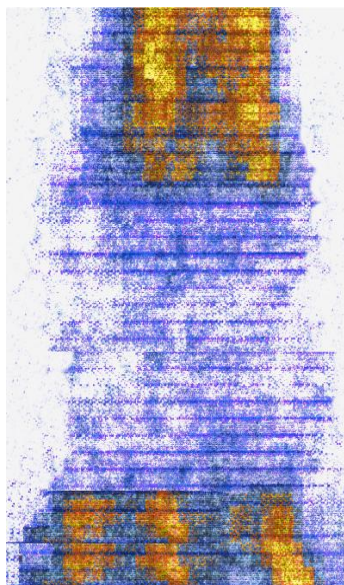


Рис. 2. Тот же больной. Сканограмма, отражающая МП на двенадцатый день после компрессии. Произошло существенное увеличение плотности в срединной зоне ($0,285 \text{ г/см}^2$).

В день снятия аппарата МП в регенерате составляла 56,9% от интактного сегмента. На 30-й день после снятия аппарата МП – 66-70% (рис. 3), через 90 дней – 72-78%, а через 150 дней – 95-97%. В отдаленный период (1,5 года) МП была равна 101-102%.

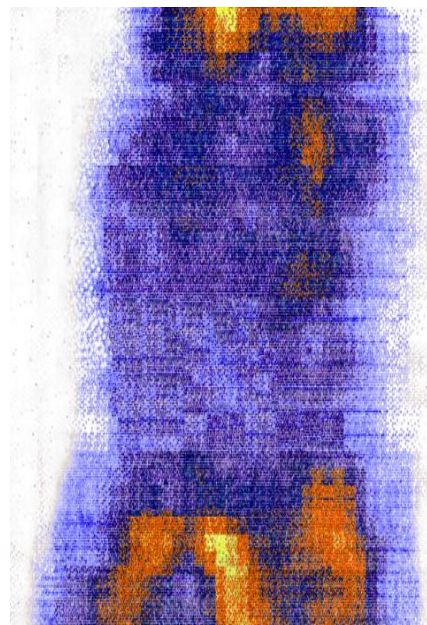


Рис. 3. Тот же больной. Сканограмма, отражающая МП через один месяц после снятия аппарата. МП в срединной зоне практически не отличается от участков регенерата, прилегающих к костным фрагментам ($0,932 \text{ г/см}^2$).

Индекс фиксации (от момента компрессии до снятия аппарата) у наших пациентов был равен в среднем $5,9 \pm 0,12$ дн/см. В таблице 2 представлены данные о МП срединной зоны регенерата в момент компрессии и в момент снятия аппарата, а также индекс фиксации у каждого пациента.

Состояние деминерализации в интактных пяточной и лучевой костях в процессе осте-

синтеза. Перед операцией МП не отличалась от значений в норме. На 30-й день distraction она в пяточной кости на неповрежденной конечности уменьшилась на 8%, в лучевой – на 6%. Наибольшая степень деминерализации отмечена на 90-й день лечения: в пяточной кости – на

15%, в лучевой – на 12% (табл. 3).

С переходом на фиксацию МП в этих костях начинает медленно (по 2-3%) увеличиваться. Перед снятием аппарата она ниже нормы только на 4-6%, а полное восстановление происходит на 90-й день после снятия аппарата.

Таблица 2.

Минеральная плотность (г/см²) и индекс фиксации в срединной зоне регенерата при последовательном distractionно-компрессионном остеосинтезе

Пациент	Компрессия	При снятии аппарата	Индекс фиксации (дн/см)
С. Г.	0,335	0,911	4,86
М. А.	0,340	0,927	4,9
К. В.	0,230	0,750	10,0
А. Б.	0,290	0,905	4,8
Б. Н.	0,255	0,810	6,7
К. А.	0,315	0,899	5,0
Г. А.	0,260	0,830	6,3
Г. Я.	0,280	0,880	4,8
К. Е.	0,330	0,921	4,8
П. И.	0,220	0,700	7,5 ¹
О. Г.	0,280	0,865	5,4
В среднем	0,285±0,018	0,854±0,025	5,9±0,12 ²

¹ – больному был произведен полилокальный distractionный остеосинтез, рентгенологически консолидация на бедре была достигнута к 30-му дню фиксации при удлинении бедра на 4 см, но снятие аппарата осуществлено позже, одновременно на бедре и голени.

² – коэффициент корреляции между МП после компрессии и индексом фиксации равен –0,798.

Таблица 3.

Изменение минеральной плотности (г/см²) в интактных пяточной и лучевой костях

Периоды остеосинтеза, дни обследования	Кость	
	Пяточная	Лучевая
	У здоровых людей	
	0,523±0,027	0,650±0,021
	У больных накануне формирования регенерата	
	0,528±0,023 P>0,1	0,611±0,021 P>0,1
Distraction 30 дней	0,481±0,020 P<0,05	0,585±0,017 P<0,001
Distraction 60 дней	0,450±0,015 P<0,001	0,572±0,019 P<0,001
Конец периода distraction	0,445±0,017 P<0,001	0,426±0,020 P<0,001
Компрессия	0,455±0,017 P<0,001	0,579±0,017 P<0,001
Фиксация 30 дней	0,471±0,023 P<0,001	0,598±0,023 P<0,001
Конец периода фиксации	0,481±0,019 P<0,001	0,611±0,026 P<0,001
Дни после снятия аппарата: 30	0,492±0,016 P<0,001	0,624±0,030 P<0,001
60	0,507±0,015 P<0,01	0,631±0,034 P<0,001
90	0,530±0,013 P<0,05	0,637±0,030 P<0,001
150	0,528±0,018 P>0,1	0,663±0,029 P<0,01

Примечание: "P" рассчитано по отношению к величине у здоровых людей. Данные получены в те же дни, что и сведения в табл. 1.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Стремясь сократить длительность лечебного процесса, мы получили дополнительные сведения о положительных результатах от предложенного способа ускорения созревания distractionного регенерата, что отражает быстрое насыщение его минеральными веществами после компрессии, и считаем, что он может успешно применяться в других клиниках.

Измерение минеральной плотности distractionного регенерата при остеосинтезе убедительно показало, что МП срединной зоны регенерата после одномоментной компрессии существенно повышается (в 2,4 раза). На рентгено-

граммах в это время также нельзя обнаружить признаков «зоны роста» регенерата. Непосредственный контакт вершин дистального и проксимального участков регенерата обеспечивает передачу функциональной нагрузки на регенерат, увеличивает стабильность фиксации. Эти биомеханические факторы положительно влияют на изменение условий для консолидации костных фрагментов. Кроме того, наши исследования [2, 5] показали, что в условиях компрессии и резорбции соединительно-тканной прослойки происходят метаболические изменения, вызывающие усиление репаративного ос-

теогенеза, когда паратирин-зависимая фаза является первоначальной, а затем наблюдается всплеск активности ЩФ, ТЛЩФ, увеличение содержания кальцитонина, снижение системного индекса электролитов, при этом перестройка регенерата происходит в условиях повышенного энергообеспечения.

Как было ранее доказано [2, 10, 11], сокращение сроков консолидации обусловлено рядом причин:

- взаимная компрессия костных фрагментов увеличивает жесткость остеосинтеза и стабилизирует положения фрагментов;
- функциональная нагрузка при ходьбе пациента непосредственно передается по всему длиннику кости, и эти циклические нагрузки благоприятно сказываются на кровообращении и в мягких тканях, и в удлиняемой кости;
- циклические микродеформации кости при функциональной нагрузке стимулируют перестроечные процессы во всех участках, способствуют минерализации кости.

Надежным способом контроля за состоянием минерализации регенерата служит костная денситометрия [6, 8]. Именно благодаря ей, мы смогли достаточно точно охарактеризовать течение репаративного процесса. На костном денситометре обнаружен отчетливо выраженный и количественно оцененный эффект.

Нами обнаружена определенная степень деминерализации и в других костях скелета. Это

явление было обнаружено нами ранее как после переломов, так и при удлинении конечности [7, 9]. Возникает оно в связи с гормональной дисфункцией вследствие воздействия такого мощного стресс-фактора, как травма. В итоге существенно увеличивается концентрация паратгормона, приводящая к деминерализации. В большей мере она выражена в пяточной кости, где преимущественно трабекулярная кость. При длительной дистракции растяжение тканей поддерживает стресс-реакцию и ведет к гиперпродукции этого гормона. Восстановление до исходной плотности в этих костях занимает более длительный период, чем деминерализация. Мы не обнаружили в динамике плотности интактных костей влияния компрессии дистракционного регенерата. Если такое влияние и имеет место, то обнаружить его возможно при более частом (еженедельном) исследовании. Ежемесячный контроль плотности минеральных веществ лучевой и МП отличий от обычного дистракционного остеосинтеза.

Таким образом, метод объективного количественного контроля за изменениями МП в дистракционном регенерате позволяет реально подтвердить эффективность дистракционно-компрессионного остеосинтеза и возможность сокращения срока лечения больных за счет стимуляции процесса регенерации и ускорения консолидации и минерализации дистракционного регенерата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматический дистракционный остеосинтез / В.И. Шевцов, А.В. Попков, С.А. Ерофеев, А.М. Чиркова // *Анналы травматол. ортопед.* - 1995. - № 1. - С. 44-47.
2. Биохимические маркеры активности костеобразования при удлинении бедра в высокоточном автоматическом режиме / В.И. Шевцов, Д.А. Попков, К.С. Десятниченко и др. // *Гений ортопедии.* - 1999. - № 3. - С. 20-28.
3. Гланц С. Медико-биологическая статистика / Под ред. Е.Е. Бузикашвили и Д.В. Самойлова. - М.: Практика, 1998. - 459 с.
4. Попков А.В. Оперативное удлинение конечностей методом чрескостного остеосинтеза: современное состояние и перспективы // *Травматол. ортопед. России.* - 1994. - № 2. - С. 135-142.
5. Попков Д.А. Оперативное удлинение бедра в автоматическом режиме: Дисс... канд. мед. наук. - Курган, 1998. - 119 с.
6. Свешников А.А., Попков А.В., Смотров Л.А. Рентгеноденситометрические и радиоизотопные исследования репаративного костеобразования при дистракционном остеосинтезе // *Ортопед. травматол.* - 1987. - № 5. - С. 47-50.
7. Свешников А.А., Офицерова Н.В., Ральникова С.В. Концентрация гормонов, регулирующих процесс костеобразования, и циклических нуклеотидов при переломах длинных костей // *Ортопед. травматол.* - 1987. - № 9. - С. 30-35.
8. Свешников А.А. Радионуклидные методы, применяемые для оценки функционального состояния конечностей при чрескостном остеосинтезе // *Мед. радиол.* - 1986. - № 8. - С. 63-72.
9. Свешников А.А. Материалы к разработке комплексной схемы коррективки функциональных изменений в органах при чрескостном остеосинтезе // *Гений ортопедии.* - 1999. - № 1. - С. 48-52.
10. Удлинение нижних конечностей в автоматическом режиме / В.И. Шевцов, А.В. Попков, Д.А. Попков, С.О. Мурадисинов // *Гений ортопедии.* - 1999. - № 3. - С. 20-28.
11. Пат. 2071740, РФ, МКИ⁶ А61 В17/56. Способ стимуляции репаративного процесса кости / В.И. Шевцов, А.В. Попков (РФ). - №94013185/14; Заявлено 13.04.94; Оpubл. 20.01.97. Бюл. № 2.

Рукопись поступила 27.11.00.