

© Группа авторов, 2004

Влияние импульсного ультразвука низкой интенсивности на течение репаративного остеогенеза

**В.И. Шевцов, А.В. Попков, А.М. Аранович, Д.А. Попков, В.А. Щуров,
И.И. Мартель, Л.А. Гребенюк, Ю.М. Сысенко**

The effect of low-intensity impulse ultrasound on the process of reparative osteogenesis

**V.I. Sevtsov, A.V. Popkov, A.M. Aranovich, D.A. Popkov, V.A. Shchourov, I.I. Martel,
L.A. Grebeniuck, Y.M. Sysenko**

Государственное учреждение

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)

С целью сокращения сроков консолидации костных фрагментов при применении чрескостного остеосинтеза аппаратом Илизарова исследовали влияние импульсного ультразвука нового низкочастотного прибора «EXOGEN – 3000» (США) при оперативном удлинении конечностей (15 взрослых пациентов) и лечении переломов костей (11 пациентов). В процессе комплексного изучения репаративного остеогенеза авторы отметили, что низкочастотный ультразвук не влияет на сокращение сроков консолидации костных фрагментов и сроков лечения пациентов.

Ключевые слова: переломы конечностей, оперативное удлинение, остеогенез, аппарат Илизарова, ультразвук.

The effect of the impulse ultrasound of «EXOGEN – 3000» (USA), a new device of low frequency, in the process of limb lengthening (15 adult patients) and during treatment of bone fractures (11 patients) was studied to reduce the periods of bone fragment consolidation using transosseous osteosynthesis with the Ilizarov fixator. While comprehensive studying the reparative osteogenesis the authors noted that ultrasound of low frequency had no effect on the reduction of the periods of bone fragment consolidation and those of patients' treatment.

Keywords: limb fractures, surgical lengthening, osteogenesis, the Ilizarov fixator, ultrasound.

Благодаря достижениям школы академика Г.А. Илизарова в развитии методик чрескостного остеосинтеза разработаны и успешно применяются как в России, так и за рубежом методы удлинения и лечения переломов конечностей [2-6, 8, 14]. Однако, как отмечают зарубежные ортопеды, возникающие осложнения и длительные сроки лечения, особенно при удлинении конечностей, все еще являются проблемой. Так, процесс лечения включает период distraction, продолжающийся в зависимости от величины удлинения, и период формирования регенерата, который обычно вдвое больше, чем период distraction – средний индекс консолидации составляет от 40 до 50 дней на сантиметр удлинения [9, 10, 13]. Поэтому в настоящее время становится актуальной задача сокращения времени лечения больных с укорочением конечностей и переломами костей. Важным направлением на этом пути является стимуляция репаративного остеогенеза. Экспериментальными и клиническими исследованиями ученых нашего Центра доказана возможность активной механической и фармакологической стимуляции репаративного остеогенеза как в период distraction, так и в период

фиксации с сокращением индекса фиксации до 2-5 дней на сантиметр удлинения* [1, 7].

В США для сокращения сроков формирования регенерата предложено использовать импульсный ультразвук низкой частоты, который позволяет ускорить заживление свежего перелома как при клинических, так и при экспериментальных исследованиях на 38% [9, 10]. Для этой цели здесь продаются приборы индивидуального пользования с режимом работы по 20 минут ежедневно в течение 150 дней.

Осенью 2002 года ведущие менеджеры американской компании "Smith+Nephew" обратились с просьбой к Генеральному директору РНЦ «ВТО» профессору В.И. Шевцову об апробации нового низкочастотного прибора "Exogen-3000" в клинике Центра. Было высказано предположение о положительном стимулирующем эффекте импульсного ультразвука низкой частоты и на формирование distractionного регенерата при удлинении конечностей.

* Исследование механизмов регуляции и способов управления костеобразованием при удлинении костей по Илизарову // Отчет НИР (заключительный), № гос. регистрации 01.9.30005861, научный руководитель В.И. Шевцов, Курган, 1997.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Прибор "Exogen-3000" был применен у 15 пациентов, которым проводился дистракционный остеосинтез различных сегментов, и у 11 больных с переломами длинных трубчатых костей. Характеристика больных представлена в таблице 1.

Таблица 1

Диагноз	Число пациентов	Средний возраст
1. Врожденная аномалия развития нижней конечности	3	13±0,5
2. Последствия родовой травмы левого плечевого сплетения	1	12
3. Посттравматическое укорочение нижней конечности	1	24
4. Последствия гематогенного остеомиелита, укорочение нижней конечности	1	15
5. Эпифизарная дисплазия нижней конечности	1	17
6. Последствия лучевой терапии, укорочение нижней конечности	1	14
7. Косметическое удлинение нижней конечности	7	26,7±4,9
8. Закрытый перелом костей голени	5	18±2,5
9. Открытый перелом костей голени	6	35±10,8

Использовали прибор "Exogen-3000" согласно прилагаемым инструкциям фирмы-производителя. С 10-15 дня дистракции проводили первый курс (1 процедура ежедневно в течение 20 дней). Второй курс начинали через 2-3 недели после прекращения удлинения в том же режиме.

При открытом переломе голени применение прибора начинали на 2-3 день после операции одна процедура ежедневно в течение 20 минут (курс лечения – от 10 до 43 сеансов).

При закрытых переломах конечности воздействие прибора «Exogen-3000» на область пе-

релома осуществляли ежедневно до момента снятия с поврежденного сегмента аппарата Илизарова (рис. 1).

В процессе лечения регулярно проводили рентгенологические, физиологические и ультразвуковые исследования формирования регенерата.

Скорость капиллярного кровотока в зоне стимуляции и на тыльной поверхности стопы исследовалась с помощью лазерной флоуметрии (прибор BLF-21 TRANSONIC, USA). Температура кожных покровов определялась с помощью прибора RM-85 NIHON KOHDEN (Япония).

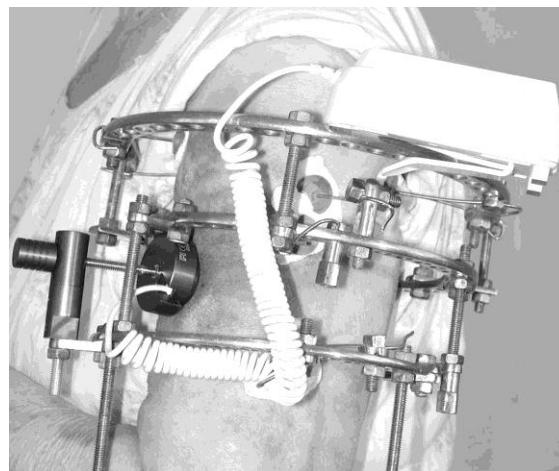


Рис. 1. Больная К., 73 лет, в процессе лечения

Кроме того, с помощью ультразвуковой доплерографии (прибор АНГИОДОП, СССР) определялась линейная скорость кровотока по бедренной, подколенной, задней большеберцовой артериям и тыльной артерии стопы.

Для оценки структурного состояния дистракционного регенерата была использована методика ультразвукового (УЗ) исследования (УЗ установка с эхокамерой SSD-630 фирмы "Aloka" (Япония); датчики 3,5 МГц и 7,5 МГц).

КЛИНИКО-РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Отмечено, что все больные не возражали против применения прибора "Exogen-3000"; не испытывая неудобств, болезненности и других отрицательных моментов. За время первых 5 сеансов применения прибора "Exogen-3000" больные с закрытыми переломами голени отмечали появление тепла в поврежденном сегменте и мышечные сокращения волнообразного характера. С первых сеансов терапии при открытых переломах голени улучшалось общее самочувствие больных, снижалась интенсивность болей, уменьшался отек голени, что приводило к улучшению микроциркуляции в тканях и тем самым способствовало ускорению на 1-2 дня

заживления ран мягких тканей.

Условия проведения дистракции и сроки лечения представлены в таблице 2.

При анализе данных рентгенологического исследования можно отметить, что только у 4 пациентов (три пациента с аномалиями развития нижних конечностей, которым производилось удлинение бедра на 7, 9 и 9,5 см, а также один пациент с последствиями гематогенного остеомиелита при удлинении бедра на 6 см) наблюдалось формирование плотного регенерата к 30-35 дню дистракции – времени, когда заканчивался первый курс применения прибора "Exogen-3000". Соединительнотканная прослойка регенерата не

превышала 3-5 мм и была пересечена тенями костных трабекул. При продолжении дистракции репаративный остеогенез оставался на высоком уровне к 60 и 75 дню периода дистракции (рис. 2). Во время периода фиксации замещение соединительнотканной прослойки произошло к 30-45 дню, кортикализация была отмечена со всех сторон дистракционного регенерата к 45-55 дню.

У остальных пациентов протекание репаративного остеогенеза не имело особенностей: высота соединительнотканной прослойки колебалась от 0,8 до 1,5 см, она не была пересечена тенями костных трабекул, ее замещение в период фиксации завершалось к 45-60 дню практически одновременно с кортикализацией. У этих пациентов удлинение составило 2, 3 и 4 см в 2 случаях на бедре и одном – на плече соответственно.

В процессе удлинения голени (с целью косметического увеличения роста) при рентгеноло-

гическом исследовании мы не отметили каких-либо особенностей в формировании дистракционного регенерата.

Сроки консолидации переломов у опытной группы больных также не уменьшались по сравнению с контрольной. В качестве иллюстрации приводим одно клиническое наблюдение.

Больной Д., 16 лет. Диагноз: закрытый неправильно срастающийся винтообразный перелом левой большеберцовой кости (рис. 3-7).

Травма (непрямая, бытовая) была получена 1,5 месяца назад. Под перидуральной анестезией был произведен закрытый чрескостный остеосинтез голени аппаратом Илизарова.

Каких-либо жалоб при стимуляции репаративного остеогенеза прибором "Exogen-3000" (18 сеансов) больной не предъявлял, все процедуры переносились им хорошо.

Аппарат Илизарова с голени был снят на 34 день фиксации при наступлении консолидации перелома.

Таблица 2

Условия удлинения и сроки лечения

Способ дистракционного остеосинтеза	Величина удлинения, см	Средний темп дистракции, мм/сутки	Индекс фиксации, дн/см	Индекс остеосинтеза, дн/см
Б-1	5+2,1	1,0	33	51,5
П-1	4	0,8	7,25	21,25
<u>Б-1</u> Г-2	6	0,77	лечение не закончено	лечение не закончено
Г-1	4	0,63	11,7	33,7
Г-2	6+0,5	1,5	25	34
Б-2	9,5	1,58	4,2	17,3

Примечание: Б-1 – монолокальный дистракционный остеосинтез бедра; П-1 – монолокальный дистракционный остеосинтез плеча; Г-2 – билокальный дистракционный остеосинтез голени при косметическом увеличении роста; Г-1 – монолокальный дистракционный остеосинтез голени, при полисегментарном удлинении подчеркнут сегмент, где производилось применение "Exogen-3000".

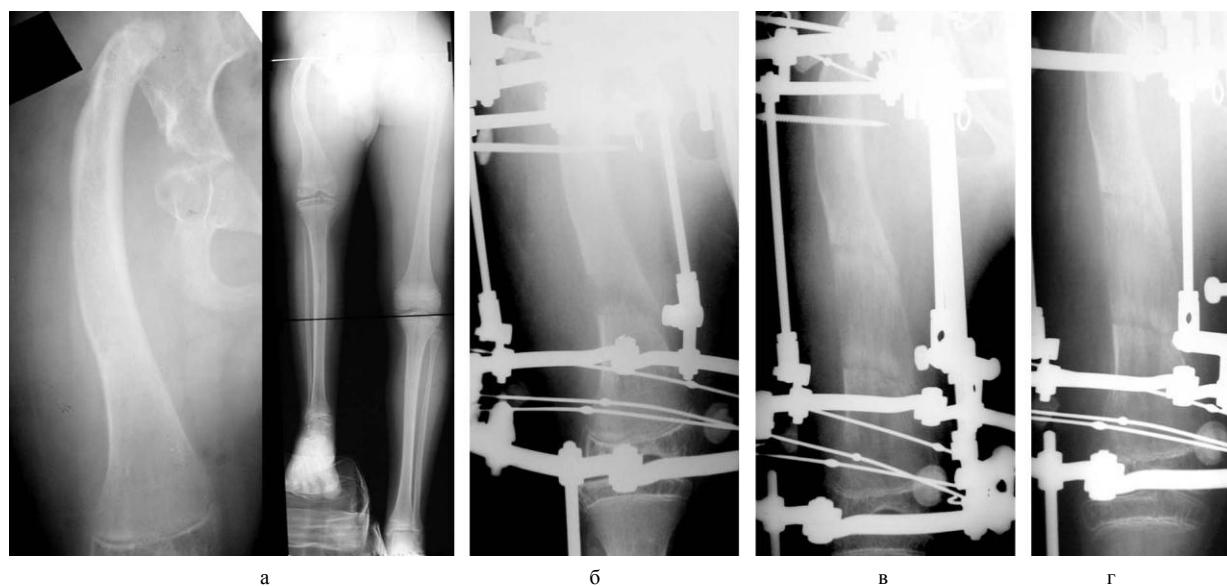


Рис. 2. Пациент П. С аплазией проксимального отдела бедра: а) до лечения; б) дистракция 25 дней; в) окончание дистракции; г) окончание фиксации (37 дней). С учетом диагноза, аппарат Илизарова снят с наложением гипсовой повязки



Рис. 3. Рентгенограммы левой голени больного Д., 16 лет, при поступлении



Рис. 4. Рентгенограммы левой голени больного Д., 16 лет, на 20 день после произведенного чрескостного остеосинтеза



Рис. 5. Больной Д., 16 лет, на 20 день после наложения на левую голень аппарата Илизарова



Рис. 6. Рентгенограммы левой голени больного Д., 16 лет, после снятия аппарата Илизарова (фиксация – 34 дня)



Рис. 7. Больной Д., 16 лет, после снятия с левой голени аппарата Илизарова (фиксация – 34 дня)

При ультразвунографическом исследовании группы больных с врожденным укорочением бедра отмечалось ускорение формирования дистракционного регенерата и сокращение сроков лечения в сравнении с контрольной группой.

Больной П., 12 л. Диагноз: врожденное укорочение нижней конечности. Обследование регенерата правой бедренной кости начато через 37 дней дистракции после 15 сеансов стимуляции с помощью прибора "Exogen-3000". Регенерат по форме близок к треугольнику, определяется формирующаяся кортикальная пластинка. В лоцируемом субстрате мягкотканной прослойки преобладают эхопозитивные структуры.

Средняя эхоплотность – 27 ед.

Перед началом проведения II курса стимуляционной терапии к 7 дню фиксации концы кортикальной пластинки практически сомкнуты, субстрат представлен гиперэхогенными линейными сигналами, средняя эхоплотность – 42 ед. Через 30 дней фиксации при удлинении бедра на 7,2 см кортикальная пластинка практически замкнута, звукопроводимость снижена, что свидетельствует о происходящих процессах оксификации в субстрате регенерата (рис. 8).

В группе больных с удлинением голени эхопризнаки положительной динамики выявлены у пяти пациентов. Они проявлялись: 1) в несколь-

ко ускоренном сужении эхопозитивной зоны регенерата; 2) в уменьшении глубины проникновения ультразвука; 3) увеличении эхоплотности отдельных структур на несколько единиц.

Сроки фиксации голени аппаратом Илизарова колебались от 3 до 5 месяцев.

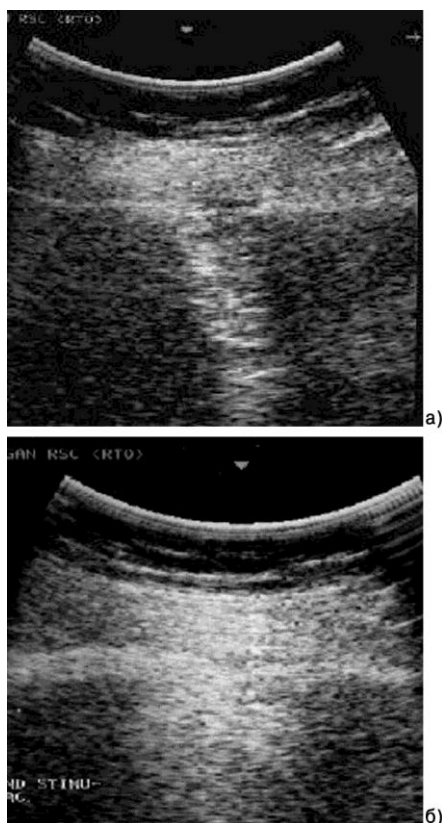


Рис. 8. Ультрасонография регенерата бедренной кости у больного П. а) 37 дней дистракции. Проведено 15 сеансов стимуляции; б) 30 дней фиксации. Завершен второй курс стимуляции

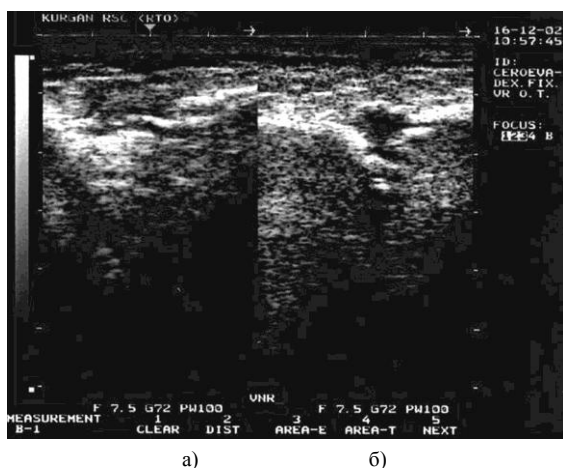


Рис. 9. Сонограмма большеберцовой кости больной Ц., 37 лет. Диагноз: «субъективно низкий рост». Этап: фиксация 2 месяца: а) проксимальная зона удлинения: ширина эхопозитивной зоны регенерата 2,7 см; глубина проникновения ультразвука 1,6 см; эхоплотность регенерата 45-63 усл. ед.; б) дистальная зона удлинения - после стимуляции с помощью прибора «Exogen-3000». Регенерат визуализируется в форме «ковша»; эхоплотность фрагментов до 55 усл.ед.

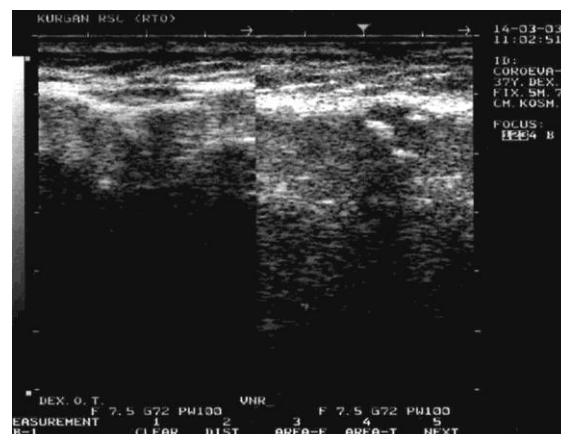


Рис. 10. Сонограмма большеберцовой кости больной Ц., 37 лет. Диагноз: «субъективно низкий рост». Этап: фиксация 5 месяцев: а) проксимальная зона удлинения: ширина эхопозитивной зоны регенерата 2 см; глубина проникновения ультразвука 0,4см; эхоплотность регенерата 63 усл. ед.; б) дистальная зона удлинения после стимуляции с помощью прибора «Exogen-3000». Регенерат визуализируется в виде непрерывной кортикальной пластинки

Физиологические методы исследования

Обычно температура кожных покровов голени отличается от температуры крови и равняется 30-31°. Сразу после остеосинтеза аппаратом Илизарова температура повышается. В процессе лечения при удлинении бедра температура кожи голени может снижаться, а при удлинении голени – остается повышенной.

В группе исследуемых больных мы проследили за температурой кожи и капиллярным кровотоком (табл. 3).

В зоне стимуляции температура кожных покровов с увеличением числа сеансов имела тенденцию к снижению (рис. 11). Причем на интактной конечности снижение происходило быстрее.

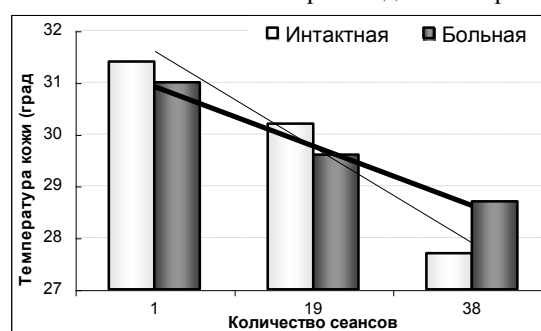


Рис. 11. Температура кожных покровов удлиняемой и интактной конечностей в зоне стимуляции

Скорость капиллярного кровотока определялась в зоне стимуляции на больной конечности и на симметричном участке интактной. Только на интактной конечности после первого сеанса скорость возросла практически вдвое, после последнего – не менялась. Такая реакция свидетельствует о том, что первый сеанс сопровождался эмоциональным сдвигом (ориентировочная реакция «что такое?») с ускорением системного кро-

вотока. На оперированной конечности в зоне стимуляции после первой серии отмечен прирост скорости капиллярного кровотока. Однако после второй серии скорость капиллярного кровотока мало отличалась от исходной и не реагировала на саму процедуру стимуляции.

На тыле стопы скорость капиллярного кровотока имела тенденцию к увеличению после первой серии стимуляции и сохранялась повышенной на оперированной конечности в конце второй серии.

Линейная скорость кровотока по бедренной артерии интактной конечности была выше, чем на отстающей в росте (табл. 4) и на обеих конечностях имела тенденцию к снижению по мере увеличения числа сеансов остеостимуляции, что можно объяснить увеличением диаметра магистральных артерий.

Если до начала стимуляции скорость кровотока по тыльной артерии стопы оперированной конечности была в 2 раза ниже, чем на интактной, то после 2 курсов стимуляции отставала всего на 15%. По задней большеберцовой артерии оперированной конечности скорость кровотока после стимуляции стала на 46% выше, чем на интактной.

Таким образом, во время удлинения конечности под влиянием стимуляции происходит снижение тонуса магистральных артерий, уве-

личение скорости кровотока по дистальным артериям оперированной конечности, ускорение капиллярного кровотока по сосудам стопы удлиняемой конечности. В зоне проведения стимуляции температура кожных покровов имеет тенденцию к снижению, капиллярный кровоток ускоряется на обеих конечностях лишь при первом сеансе стимуляции.

У пациентов с переломами костей голени линейная скорость кровотока в магистральных сосудах была относительно выше в дистальных артериях: по задней большеберцовой – на 68% и по тыльной артерии стопы – на 64% (табл. 5).

В период стимуляции линейная скорость возрастала в бедренной артерии на 31%, в задней большеберцовой – на 77% и в тыльной артерии стопы – на 17%.

После окончания стимуляции скорость кровотока имела тенденцию к нормализации, оставаясь выше исходного уровня в бедренной артерии на 25%, в задней большеберцовой артерии – на 34% и в тыльной артерии стопы – на 10%.

Скорость капиллярного кровотока на тыле стопы была несколько выше, чем на голени, что объясняется более развитым шунтовым кровотоком в дистальных отделах конечностей. В травмированной конечности она была несколько выше, чем на интактной (табл. 6).

Таблица 3

Температура кожи и капиллярный кровоток в зоне стимуляции

Конечность	Температура кожи (град.)			Капиллярный кровоток (п.ед.)		
	до стимуляции	в конце стимуляции	после стимуляции	до стимуляции	в конце стимуляции	после стимуляции
Интактная	29,4±0,6	29,5±0,6	29,5±0,5	2,34±0,29	2,41±0,37	2,21±0,29
Болезная	29,4±0,5	29,0±0,7	28,9±0,6	1,78±0,17	2,00±0,30	1,88±0,32

Таблица 4

Линейная скорость кровотока по артериям конечностей (см/с)

Число сеансов	п	Артерии интактной конечности				Артерии больной конечности			
		бедрен.	подкол.	ЗБА	ТАС	бедр.	подкол.	ЗБА	ТАС
До стим.	6	17,7±0,8	7,4±1,0	7,8±2,5	6,8±1,4	14,3±1,5	5,4±0,9	5,4±1,0	3,1±0,5
1-5 сеанс	6	17,0±2,1	6,6±0,6	6,2±1,0	5,3±0,4	15,0±2,3	4,1±1,1	4,7±0,7	3,9±1,4
20 сеанс	4	13,7±1,6	6,1±1,6	6,0±1,9	4,2±0,5	9,7±1,6	3,8±0,1	7,0±1,3	2,4±0,3
40 сеанс	3	12,7±0,2	7,0±1,5	7,0±1,5	6,8±2,2	7,9±2,9	5,6±2,8	10,2±1,1	5,8±2,9

Таблица 5

Линейная скорость кровотока в магистральных сосудах травмированной нижней конечности (см/с)

Этап обследования	Артерии травмированной конечности			
	бедренная артерия	подколенная артерия	задняя большеберцовая артерия	тыльная артерия стопы
До стимуляции	14,3±2,23	7,4±0,4	4,7±0,3	4,1±0,4
В процессе стимуляции	18,7±0,4	6,7±0,4	8,3±1,0	4,8±1,0
После стимуляции	17,9±0,54	7,0±1,3	6,3±0,7	4,5±0,5

Таблица 6

Скорость капиллярного кровотока в кожных покровах (см/с)

Этап обследования	Травмированная конечность		Интактная конечность	
	тыл стопы	зона стимуляции	тыл стопы	зона стимуляции
До стимуляции	2,4	2,2	2,3	1,9
В процессе стимуляции	2,4±0,2	2,1±0,2	2,4±0,1	1,8±0,2
После стимуляции	2,5±0,4	2,3±0,3	2,7±0,3	2±0,4

Под влиянием стимуляции произошло снижение скорости кровотока в области перелома. После окончания курса стимуляции скорость кровотока оказалась выше, чем до начала стимуляции как в травмированной, так и в интактной конечностях, однако изменения были статистически не значимыми.

Исследование микроподвижности костных отломков в динамике лечения больных с винтообразными переломами костей голени проведено в группах с остеостимуляцией (4 больных) и без стимуляции (9 больных). Обнаружено, что в первые 2 недели уровень жесткости фиксации отломков в обеих группах практически не отличался (56-58 мКм на 10 кг осевой нагрузки). Под влиянием поддерживающей компрессии микроподвижность к концу 3 недели лечения снижалась на 20-30 мКм. У больных со стимуляцией этот период лечения проходил без прироста микроподвижности, а у больных без стимуляции под влиянием краевой резорбции происходило существенное увеличение микроподвижности. К концу лечения показатели в обеих группах были практически одинаковыми (рис. 12).

Таким образом, применение в процессе лечения больных импульсной низкочастотной ультразвуковой стимуляции, по-видимому, способствует увеличению линейной скорости регионарного кровотока, снижению капиллярного кровотока и краевой резорбции концов отломков.

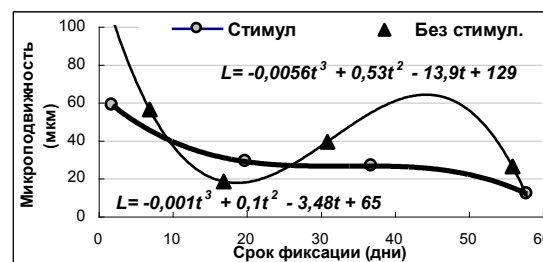


Рис. 12. Динамика изменения микроподвижности костных отломков у больных с винтообразными переломами костей голени

Физиологические исследования кровообращения и микроциркуляции в тканях голени у больных с открытыми переломами голени показали, что через 2 недели все показатели артериальной и венозной системы соответствуют допустимым границам нормы.

По данным лазерной флоуметрии и электротермометрии не выявлено достоверной динамики капиллярного кровотока на оперированной конечности.

Сравнение средних значений показателя потока крови по а. poplitea, полученных в данной группе больных и у пациентов, не получавших курс стимуляции, показало, что эффект усиления потока крови носит временный характер и при длительном применении, напротив, вызывает отрицательную динамику за счет уменьшения систолического диаметра сосуда. Не выявлено реакции капиллярного русла.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Прежде всего необходимо указать, что сроки выполнения НИР не позволили провести двойное слепое рандомизированное исследование.

При оценке полученных клинических данных сравнивались средние показатели групп больных со сходной формой аналогичной патологии за последние два года. Выявлено, что в группе с тяжелыми врожденными аномалиями развития бедра (аплазия или резкая гипоплазия проксимального отдела с нарушением опороспособности) наблюдается сокращение сроков лечения на 3-7 дней/см. Важным является и то, что эта группа достаточно однородна и не представлена единичным наблюдением. Положительная динамика формирования дистракционного регенерата прослеживается у таких пациентов при использовании прибора "Exogen-3000" подтверждается данными ультрасонографии. Таким образом, можно предположить, что применение ультразвука низкой интенсивности при удлинении конечности в условиях нарушения опороспособности способствует репаративному остеогенезу.

В остальных группах больных с удлинением конечности существенная разница в сроках лечения либо отсутствует, либо единичные на-

блюдения не позволяют сделать однозначного заключения о влиянии прибора "Exogen-3000" на сроки остеосинтеза аппаратом внешней фиксации.

С учетом результатов физиологических методов исследования воздействие импульсного ультразвука может быть отнесено к факторам неспецифического воздействия, которое должно подчиняться закону силовых отношений Арндта-Шульца: с повышением силы воздействия эффект увеличивается, достигает своего оптимума, чрезмерное воздействие оказывает тормозящий эффект.

Возможно, что это воздействие направлено на уменьшение запаса АТФ клеток, повышение проницаемости мембран, способствующее увеличению гидратации клеток и повышению митотической активности. Возможно, что определенную роль играет и увеличение скорости кровотока, повышение тканевого давления и оксигенации.

При лечении переломов длинных трубчатых костей мы не обнаружили существенного влияния на сроки остеосинтеза и сроки реабилитации.

Прибор "Exogen-3000" (стоимостью 3000

долларов) появился на рынке медицинских услуг для индивидуального пользования в расчете на 5 месяцев непрерывной работы. Клинический опыт РНЦ «ВТО» им. академика Г.А. Илизарова показывает, что сращение неосложненных переломов длинных трубчатых костей происходит за 1-2 месяца, а консолидация костных фрагментов

при дистракционном остеосинтезе – за 2-3 недели периода фиксации (2-5 дн/см). Методы стимуляции, разработанные в РНЦ «ВТО», способствуют этому [1, 5, 7]. Что касается прибора “Ехogen-3000”, эффективность его применения с экономической и медицинской точки зрения пока оставляет желать лучшего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2071740 РФ, МКИ⁷ А 61 В 17/56 Способ стимуляции репаративного процесса кости / В.И. Шевцов (РФ), А.В. Попков (РФ); ГУ РНЦ “ВТО” им. акад. Г. А. Илизарова (РФ). – № 94 013185; Заявл. 13.04.94; Оpubл. 20.01.97. – Бюл. № 2.
2. Оперативное удлинение нижних конечностей: проблемы и решения / А.В. Попков, С.О. Мурадисинов, Д.А. Попков и др. // Урал. мед. обозрение. – 1997. – №4-5 (19-20). – С. 33-35.
3. Попков, А.В. Оперативное удлинение конечностей методом чрескостного остеосинтеза: современное состояние и перспективы / А.В. Попков // Травматол. и ортоп. России. – 1994. – №2. – С.135-142.
4. Попков, Д.А. Оперативное удлинение бедра в автоматическом режиме: Дис...канд. мед. наук / Д.А. Попков; РНЦ “ВТО” им. акад. Г.А. Илизарова. – Курган, 1998. – 119с.
5. Шевцов, В.И. Оперативное удлинение нижних конечностей / В.И. Шевцов, А.В. Попков. – М.: Медицина, 1998. – 192с.
6. Удлинение нижних конечностей в автоматическом режиме / В.И. Шевцов, А.В. Попков, Д.А. Попков, С.О. Мурадисинов // Гений ортопедии. – 1999. – №3. – С.20-24.
7. Способы механической стимуляции дистракционного остеогенеза / В.И. Шевцов, А.В. Попков, Д.А. Попков и др. // Человек и его здоровье: Тез. докл. Седьмого Рос. национал. Конгр. – СПб., 2002. – С. 93-94.
8. Швед, С.И. Метод Илизарова в лечении травматологически больных / С.И. Швед // Вопросы чрескостного остеосинтеза по Илизарову: Сб. науч. работ. – Курган, 1990. – Вып. 15. – С. 3-7.
9. Dahl, M.T. Complications of limb lengthening / M.T. Dahl, B. Gulli, T. Berg // Clin. Orthop. – 1994. – N 301. – P. 10-18.
10. Guarniero, R. Femoral lengthening by the Wagner method / R. Guarniero, T.E.P. Barros // Clin. Orthop. – 1990. – N 250. – P. 154-159.
11. Acceleration of tibia fracture-healing by non-invasive, low-intensity pulsed ultrasound / J.D. Heckman, J.P. Ryaby, J. McCabe et al. // – 1994. – Vol. 76-A. – P. 26-34.
12. Accelerated healing of distal radial fractures with the use of specific, low-intensity ultrasound / T.K. Kristiansen, J.P. Ryaby, J. McCabe et al. // J. Bone Jt. Surg. – 1977. – Vol. 79-A. – P. 961-973.
13. Paley, D. Problems, obstacles and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique / D. Paley // Clin. Orthop. – 1990. – N 250. – P. 81-104.
14. Réduction de la durée du traitement dans les allongements osseux progressifs. Technique et avantages / V.I. Shevtsov, A.V. Popkov, D.A. Popkov, J. Prévot // Rev. Chir. Orthop. – 2001. – Vol. 87, N 3. – P. 248-256.

Рукопись поступила 20.05.03.