

УДК [615.847: 616.718.5/6-001.5-089.227.85]-092.9

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА НА ДИСТРАКЦИОННЫЙ ОСТЕОГЕНЕЗ ПРИ ЗАМЕЩЕНИИ ДЕФЕКТА ГОЛЕНИ В УСЛОВИЯХ ЧРЕСКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Шастов А.Л., Еманов А.А., Борзунов Д.Ю., Степанов Р.В., Дюрягина О.В.

ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, e-mail: A_Eman@list.ru

Эксперимент был выполнен на 12 взрослых беспородных собаках, которым выполняли чрескостный остеосинтез аппаратом Илизарова и моделировали дефект голени 3 см в нижней трети, составляющий $16,3 \pm 0,3\%$ от длины сегмента. Далее производили остеотомию на границе проксимального метадиафиза и через 7 суток с темпом 1 мм за 4 приема в течение 30 суток перемещали в межотломковом диастазе сформированный фрагмент. В опытной группе ($n = 8$) с 25 дня distraction осуществляли 10 сеансов локального воздействия электромагнитными волнами терагерцового диапазона на уровне distractionного регенерата. В контрольной группе воздействие не применялось. К концу distraction в обеих группах рентгенологически зональность регенерата сохранялась, его костные отделы, высотой $8,7 \pm 0,3$ мм, имели также гомогенную структуру. Срединную зону просветления в центре по периферии пересекали единичные трабекулярные «мостики». В опытной группе сроки фиксации составили $50,6 \pm 2,7$ суток, в контрольной – $75 \pm 8,7$ суток. По данным компьютерной томографии к моменту окончания фиксации в аппарате плотность distractionных регенератов была больше в опытной группе, чем в контрольной – $439,4 \pm 127,8$ и $389,9 \pm 46,3$ HU. Плотность кортикальных пластинок distractionного регенерата в опытной серии составила $755,8 \pm 54,7$ и $688,75 \pm 66,3$ HU в контрольной. Полученные данные выявили стимулирующее влияние на формирование регенератов электромагнитных волн терагерцового диапазона при замещении пострезекционных дефектов берцовых костей методикой перемещения несвободного аутографта по Илизарову, что позволило в более короткие сроки сформировать механически состоятельный регенерат.

Ключевые слова: distractionный регенерат, эксперимент, голень, дефект, терагерцовое излучение

EFFECT OF TERAHERTZ RANGE ELECTROMAGNETIC WAVES ON DISTRACTION OSTEOGENESIS BY TIBIAL DEFECT FILLING IN THE CONDITIONS OF TRANSOSSEOUS OSTEOSYNTHESIS (EXPERIMENTAL STUDY)

Shastov A.L., Emanov A.A., Borzunov D.J., Stepanov M.A., Duryagina O.V.

FSBI «Russian Ilizarov Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopedics» of the RF Ministry of Health, Kurgan, e-mail: A_Eman@list.ru

The experiment was carried out on 12 adult mongrel dogs. Defects were modeled in the lower third of the tibia and measured 3 cm ($16,3 \pm 0,3\%$ of the segment length). Next, osteotomy at the level of the proximal metaphysis was produced. Distraction was initiated after seven days with the rate of 1 mm a day made with four steps that continued 30 days for transporting the osteotomised fragment into the defect. One group ($n = 8$) had local stimulation with electromagnetic waves of terahertz range at the level of distraction regenerate from the 25th day of distraction. Control animals did not receive stimulation. By the end of distraction, the regenerated bone featured zonal structure by the middle of distraction period that was proven radiographically. Bone portions of the regenerates were mostly presented by endosteal homogenous shadows. Zonal structure was radiographically seen in both groups by the end of distraction. Bone portions of the regenerate were $8,7 \pm 0,3$ mm high and were of homogenous structure. The middle transparent zone was crossed by singular trabecular «bridges» in the centre and on the periphery. In the group of electromagnetic stimulation, the fixation time was $50,6 \pm 2,7$ days as compared to $75 \pm 8,7$ days in the control group. Distraction regenerate density studied with CT by the end of fixation in the Ilizarov apparatus was $439,4 \pm 127,8$ and $389,9 \pm 46,3$ HU, respectively. The cortical plates of the regenerated bone had a higher density in the first group than in the control one, $755,8 \pm 54,7$ and $688,75 \pm 66,3$ HU respectively. These findings showed that electromagnetic waves of terahertz range had a stimulating effect on the formation of the regenerated bone in the management of post-resection tibial defects with the Ilizarov method of non-free autograft transporting. It contributed to the formation of a mechanically strong regenerate in a shorter period of time.

Keywords: distraction regeneration, experiment, tibia, defect, terahertz radiation

На сегодняшний день проблема лечения больных с приобретенными дефектами длинных трубчатых костей остается актуальной. Количество больных данной патологии составляет 4,5–16% случаев [5, 18].

Известен способ замещения дефекта длинной трубчатой кости, посредством несвободной костной пластики, суть которого заключается в замещении дефекта дистрак-

ционным регенератом [9]. В процессе остеосинтеза основными проблемами являются гипопластический тип костеобразования. В литературе имеются сведения о возможности гипопластического типа костеобразования при формировании distractionного регенерата величиной более 4–5 см [3, 6, 20]. При замещении обширного дефекта длинной кости удлинением отломка более

чем на 8–10 см в 1,6–13,8% клинических наблюдений приводит к замедлению остеогенеза и формированию «ишемического» дистракционного регенерата [1, 8, 13, 16, 19,]. По мнению некоторых авторов в развитии неудовлетворительных исходов лечения при замещении дефектов длинных костей основную роль играет нарушенная локальная гемодинамика [2, 17].

Ранее С.И. Киреев с соавт. [4, 10, 12] выявили, что электромагнитное облучение терагерцового диапазона на частоте оксида азота $150 + 0,75$ ГГц является биофизическим фактором, оказывающим корригирующее влияние на микроциркуляторные нарушения костной ткани и красного костного мозга, а также на структурно-функциональные изменения опорных тканей при экспериментальном иммобилизационном стрессе у животных. Имеются единичные данные о стимулирующем влиянии данного диапазона в эксперименте при переломах бедренной кости [7]. Однако отсутствуют данные о влиянии электромагнитных волн терагерцового диапазона при замещении дефектов длинных трубчатых костей методом несвободной костной пластики по Г.А. Илизарову.

Цель данного исследования было определение влияния электромагнитных волн терагерцового диапазона на дистракционный остеогенез при замещении пострезекционного дефекта в условиях чрескостного остеосинтеза аппаратом Илизарова.

Материалы и методы исследования

Эксперимент был выполнен на 12 взрослых беспородных собаках в возрасте от 1 до 4 лет, массой 15–24 кг, с длиной голени $18,5 \pm 1,1$ см. Всем животным выполняли чрескостный остеосинтез аппаратом Илизарова, моделировали дефект кости 3 см в нижней трети голени с помощью пилки Джигли. Целостность отломка нарушали при выполнении остеотомии долотом на границе проксимального метадиафиза. Далее через 7 суток после операции начинали перемещать сформированный фрагмент в межотломковом диастазе с темпом 1 мм в сутки за 4 приема в течение 30 суток. На концах перемещаемого отломка и противолежащего дистального формировались эндостальные регенераты высотой до 5 мм, поэтому на 21 сутки дистракции осуществляли открытую адаптацию костных отломков. Величина удлинения составила $16,8 \pm 0,3\%$. В опытной группе ($n = 8$) на 25 сутки замещения дефекта осуществляли локальное воздействие электромагнитными волнами терагерцового диапазона зоны дистракционного регенерата. Для данной манипуляции использовали аппарат КВЧ-терапии «Орбита», который применяли по 10 минут ежедневно 1 раз день, в течение 10 дней. В контрольной группе ($n = 4$) физиопроцедуры не применяли.

Клиническое наблюдение за животными осуществляли на протяжении всего периода опыта. При этом учитывали общее состояние животных, отмечали функцию конечности, объем движения суставов, состояние мягких тканей в области спиц. Контроль-

ную рентгенографию производили на переносном рентгеновском аппарате TOSHIBA (Rotanode, Япония) Model E7239) до операции, после моделирования дефекта, через 7, 14, 21, 30 суток дистракции, далее каждые две недели последующей фиксации, через 15, 30 суток после снятия аппарата. Статистическую обработку материала осуществляли в программе Microsoft Excel, достоверность различий оценивали с использованием t-критерия Стьюдента.

Метод компьютерной томографии применялся для измерения плотности контактного и дистракционного регенератов в единицах Хаунсфилда (HU), а именно: плотности области формирующихся кортикальных пластинок дистракционного регенерата, плотности соединительнотканной прослойки дистракционного регенерата, также плотности кортикальных пластинок диафиза большеберцовой кости на уровне проксимальнее и дистальнее регенератов, плотности содержимого костномозгового канала на различных уровнях.

Исследования проводили на компьютерном томографе Toshiba Aquilion 64 после эвтаназии животных в конце фиксации и через 30 суток после снятия аппарата.

На проведение экспериментальных исследований получено разрешение комитета по этике при ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава РФ. Содержание животных, оперативные вмешательства осуществляли согласно Приказу Минздрава СССР (от 12.08.1977 г. № 755) и требований Европейской конвенции по защите экспериментальных животных (1986, Страсбург).

Результаты исследования и их обсуждение

У всех животных после операции отмечали отек мягких тканей в области голени, который увеличивался до 2 см к третьему дню опыта, мигрировал на дистальный отдел конечности, затем постепенно исчезал к 7 суткам дистракции. В большинстве случаев, на третьи сутки после операции собаки пользовались конечностью в статике, к середине дистракции приступали в динамике. К моменту демонтажа аппарата животные активно пользовались конечностью, определялась хромота опирающегося типа. Прорезывание кожи, в четырех случаях, отмечали в области спиц перемещаемого фрагмента на третьей неделе дистракции. У всех животных к концу дистракции определяли сгибательную контрактуру коленного сустава (разгибание – $165–170^\circ$). Через 30 суток после снятия аппарата у всех животных функция конечности полностью восстанавливалась без ограничения движения смежных суставов.

К 14 суткам удлинения рентгенологически диастаз составлял $14,0 \pm 0,3$ мм. У всех животных дистракционный регенерат имел зональное строение, его костные отделы высотой $2,7 \pm 0,3$ мм имели гомогенную структуру. Срединная зона просветления имела зубчатые контуры, высотой $8,4 \pm 2,3$ мм (рис. 2, а). В трех случаях «зону роста» пересекали единичные трабекулярные тени.

Периостальный компонент был слабо выражен (рис. 2, б). На концах перемещаемого отломка и противоположащего дистального формировались эндостальные регенераты высотой до 5 мм.

К концу distraction в обеих группах рентгенологическая картина принципиально не отличалась (рис. 3). Зональность регенерата сохранялась, его костные отделы имели также гомогенную структуру высотой $8,7 \pm 0,3$ мм. Периостальные напластования на отломках определяли только в зоне стыка. Срединную зону просветления в центре по периферии пересекали единичные трабекулярные «мостики». В интердиарной зоне начинали формироваться кортикальные пластинки.

К 45 суткам фиксации в опытной группе в пяти случаях отмечали консолидацию

зоны стыка отломков, утрачивалась зональность регенерата (рис. 4, а), в трех – к 60 суткам, что составило $50,6 \pm 2,7$ суток. В контрольной группе в двух случаях аналогичные признаки определяли к 60 суткам фиксации (рис. 4, б), в двух – к 90 суткам, что составило $75,0 \pm 8,7$ суток фиксации. По данным компьютерной томографии к моменту окончания фиксации в аппарате плотность distractionного регенерата была больше в опытной группе, чем в контрольной $439,4 \pm 127,8$ и $389,9 \pm 46,3$ HU соответственно. Плотность кортикальных пластинок distractionного регенерата в опытной серии составила $755,8 \pm 54,7$ и $688,75 \pm 66,3$ HU в контрольной соответственно. Плотность содержимого костномозгового канала обеих групп отличалась незначительно.

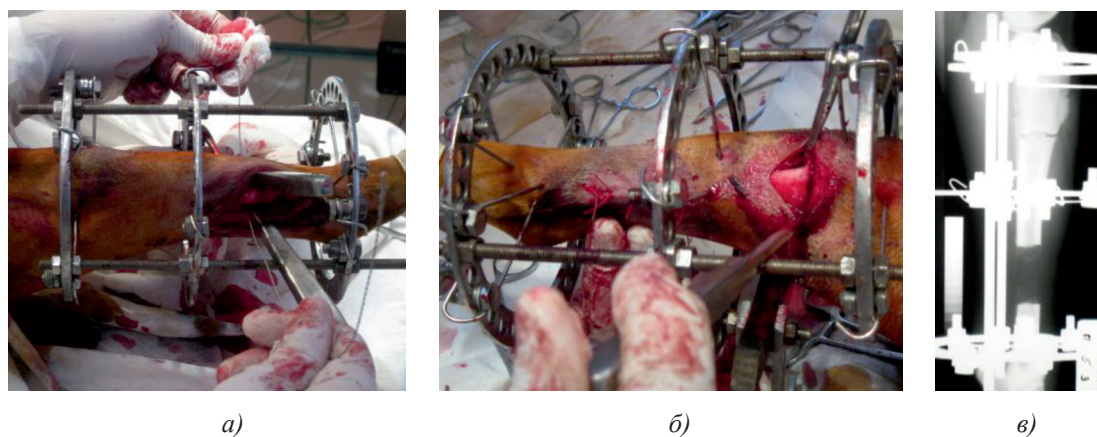


Рис. 1. Этапы оперативного вмешательства а – моделирование дефекта костей голени; б – остеотомия на границе проксимального метадиафиза; в – рентгенограмма костей голени после остеосинтеза (боковая проекция)

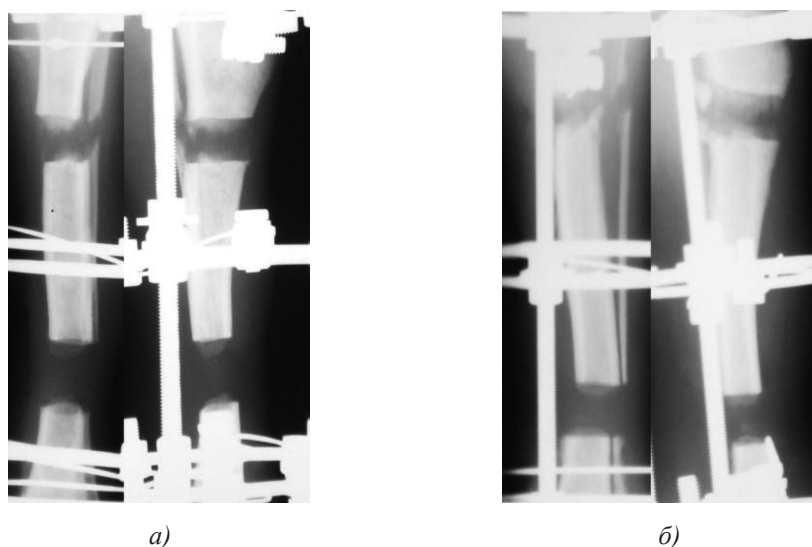


Рис. 2. Фрагменты рентгенограмм через 14 суток distraction: а – опытная группа; б – контрольная группа

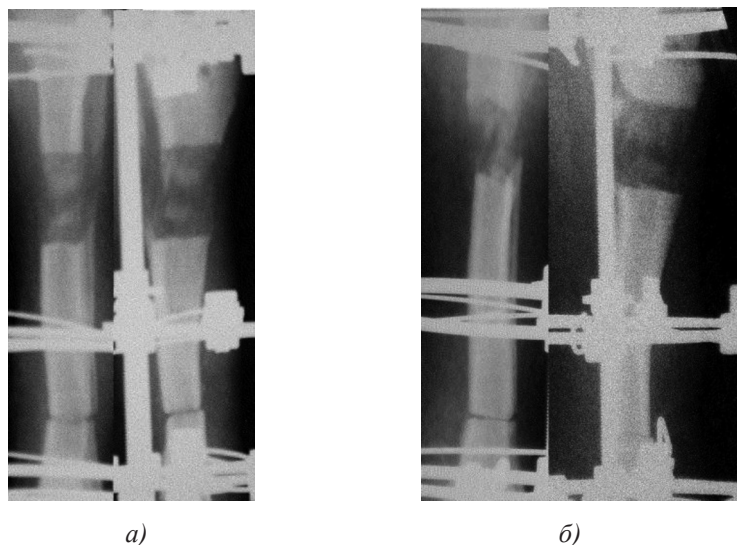


Рис. 3. Фрагменты рентгенограмм: а – через 30 суток дистракции; б – опытная группа через 45 суток фиксации; в – контрольная группа через 45 суток дистракции

Количественные показатели плотности регенератов, НУ

Показатели плотности отделов большеберцовой кости	Срок эксперимента			
	конец фиксации		30 суток после снятия аппарата	
	опыт	контроль	опыт	контроль
дистракционный регенерат, общая	439,4 ± 127,8	389,9 ± 46,3	428,3 ± 120,6	656,4 ± 146,2
кортикальная пластинка дистракционного регенерата	755,8 ± 54,7	688,8 ± 66,3	829,7 ± 18,9	817,3 ± 180,8
содержимого костно-мозгового канала дистракционного регенерата	253,6 ± 57,7	231,9 ± 34,8	154,0 ± 12,6	236,05 ± 6,85
кортикальной пластинки свободного фрагмента кости	1229,7 ± 25,0	1043,4 ± 17,9	1227,8 ± 13,9	1298,3 ± 50,6
содержимое костно-мозгового канала свободного фрагмента кости	- 17,5 ± 109,3	- 119,4 ± 78,6	- 39,7 ± 11,1	- 57,35 ± 2,45
контактный регенерат	1242,5 ± 0,5	917,4 ± 42,0	1040,3 ± 35,7	988,4 ± 31,4
содержимое костно-мозгового канала на уровне контактного регенерата	4,2 ± 1,2	108,5 ± 115,1	- 84,7 ± 7,5	9,9 ± 51,8

Через 30 суток после снятия аппарата в обеих группах не было выявлено рефрактур регенератов. По данным компьютерной томографии к этому сроку в контрольной группе отмечается значительное повышение плотности дистракционного регенерата до $656,4 \pm 146,2$ НУ. Плотность кортикальных пластинок в контрольной группе увеличилась на 128,5 НУ, по сравнению с предыдущим сроком. Контактный регенерат опытной группы был ниже на 71,0 НУ, чем контрольной.

На основании проведенного исследования выявлено, что при замещении дефекта методикой Илизарова в условиях воздействия терагерцового излучения животные чувствовали себя удовлетворительно. Во всех случаях динамическая функция конечности у животных на-

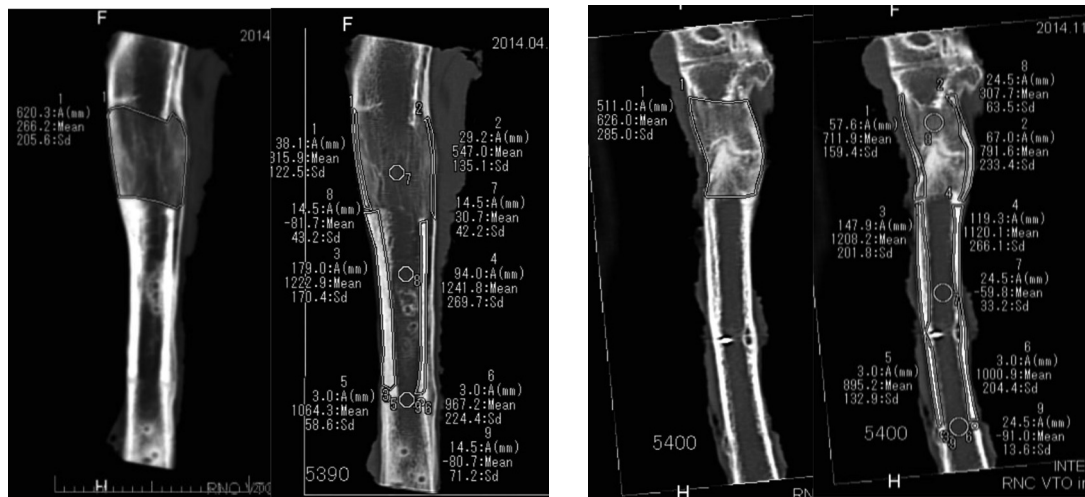
ступала к середине дистракции в виде хромоты перемежающегося типа и к моменту демонтажа аппарата переходила в хромоту опорного типа. В обеих группах исследования не было выявлено отличий в функции смежных суставов. На рентгенограммах к середине дистракции в обеих группах регенерат приобретал зональное строение, его костные отделы высотой $2,7 \pm 0,3$ мм были представлены гомогенными тенями преимущественно эндостальной части регенерата. Срединная зона просветления, в большинстве экспериментов, имела зубчатую структуру. К концу дистракции в обеих сериях срединную зону просветления пересекали единичные трабекулярные тени. Периастиальные напластования определяли лишь в зоне стыка отломков.



а)

б)

Рис. 4. КТ большеберцовой кости через 60 суток фиксации:
а – опытная группа, б – контрольная группа



а)

б)

Рис. 5. КТ регенератов через 30 суток после снятия аппарата:
а – опытная группа, б – контрольная группа

Ранее в РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова были проведены комплексные исследования посвященные вопросам репаративного костеобразования при моделировании процесса замещения аналогичных по величине пострезекционных дефектов берцовых костей [14, 15]. По данным авторов, период фиксации сегмента аппаратом Илизарова после замещения дефекта перемещенным несвободным аутотрансплантатом продолжался до 90 дней. По нашим данным после воздействия физиопроцедур для восстанов-

ления целостности сегмента требовалась фиксация в аппарате $50,6 \pm 2,7$ суток. Таким образом, используя преимущество в исследованиях и выборе модели эксперимента было выявлено стимулирующее воздействие электромагнитных волн терагерцового диапазона на формирование distractionного регенерата. К 45 суткам после удлинения в опытной группе, в большинстве случаев, регенерат утрачивал зональность и наступала консолидация стыка отломков. Отмечали формирование механи-

