

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ТЕРАГЕРЦЕВОГО ДИАПАЗОНА НА РЕГЕНЕРАЦИЮ КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ ПЕРЕЛОМАХ КОНЕЧНОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ ЧРЕСКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Еманов А.А., Степанова Г.А., Дюрягина О.В., Солдатов Ю.П., Овчинников Е.Н.

ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Россия (640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6), e-mail: office@ilizarov.ru

В работе изучены клинико-рентгенологические результаты влияния электромагнитных волн терагерцевого диапазона на регенерацию костной ткани при переломах бедренной кости у крыс в условиях чрескостного остеосинтеза. Эксперимент был выполнен на 15 крысах линии Вистар в возрасте от 6 до 8 мес. Всем животным моделировали перелом бедренной кости в средней трети и фиксировали отломки разработанным нами оригинальным устройством для остеосинтеза конечностей мелких животных. В первой серии эксперимента самцам после остеотомии осуществляли фиксацию конечности разработанным устройством до момента рентгенологической консолидации перелома. Во второй – самцам после остеосинтеза проводили воздействие электромагнитными волнами терагерцевого диапазона для стимуляции остеогенеза. В третьей – самкам в возрасте 3 месяцев (за 3 месяца до оперативного вмешательства) осуществляли овариоэктомию, а после остеотомии и остеосинтеза осуществляли аналогичную стимуляцию, как и во второй серии. Для стимуляции остеогенеза использовали аппарат КВЧ-терапии «Орбита». Было выявлено, что на 28-е сутки во второй серии эксперимента периостальная реакция на уровне перелома определялась слабо, тени компактизировались, и их плотность приближалась к кортикальным пластинкам отломков (материнской кости) или сливались с ними. К этому сроку наблюдалось формирование единых кортикальных пластинок, что явилось критерием консолидации перелома. В первой и третьей сериях сращение перелома отмечалось к 35-м суткам фиксации в аппарате. Эффект воздействия электромагнитных волн терагерцевого диапазона в экспериментальных группах нами оценивается как положительный в направлении сокращения сроков фиксации.

Ключевые слова: перелом, регенерация кости, чрескостный остеосинтез, электромагнитные волны терагерцевого диапазона.

THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC WAVES OF THZ-BAND ON BONE TISSUE REGENERATION IN LIMB FRACTURES IN CONDITIONS OF TRANSOSSEOUS OSTEOSYNTHESIS (EXPERIMENTAL STUDY)

Yemanov A.A., Stepanova G.A., Dyuryagina O.V., Soldatov Y.P., Ovchinnikov E.N.

Federal State Budgetary Institution "Russian Ilizarov Scientific Center "Restorative Traumatology and Orthopaedics" of Minzdrav of Russia, Kurgan, Russia (640014, Kurgan, M.Ulianova str., 6) e-mail: office@ilizarov.ru

Clinical and radiological results of electromagnetic waves of THz-band effect on bone tissue regeneration in experiment have been studied in this work. The experiment was performed in 15 rats of Wistar line aged from 6 to 8 months. Femoral fracture was modeled in the mid-shaft and was fixed by osteosynthesis device. In the first series of the experiment the males underwent femoral fixation by device for fracture healing after osteotomy. In the second series the males obtained impact of THz-band electromagnetic waves after osteosynthesis to stimulate osteogenesis. In the third series the females aged 3 months (3 months prior to operative intervention) underwent ovariectomy followed by stimulation after osteotomy and osteosynthesis. "Orbita" device of EHF-therapy was used for osteogenesis stimulation. It was found out that on the 28th day in the 2nd series the periosteal reaction was slightly defined at the fracture level, the shadows got compacted and their density was close to the same of the cortical plates of the fragments or the shadows merged with them. By that time the common cortical plates had formed that was considered the criteria of the fracture healing. In the 1st and 3rd series of the experiment the fracture healing was observed by the 35th day of fixation with the device. The effect of electromagnetic waves in THz-band on bone tissue regeneration in the experimental group was evaluated as positive for reduction of fixation length.

Key word: fracture, bone regeneration, transosseous osteosynthesis, electromagnetic waves in THz-band.

Введение

В настоящее время травматология и ортопедия обладает широким спектром оперативных методов лечения и реабилитации травм и заболеваний опорно-двигательной системы. Однако результат лечения зачастую не всегда удовлетворяет хирургов. Возникающие осложнения в виде формирования псевдоартрозов, рецидива ложных суставов, замедленной консолидации, различных деформаций и остеоартрозов существенно снижают качество проведенного лечения. Во многом это связано с общим состоянием систем органов и наличия сопутствующих заболеваний у пациентов, особенно в старших возрастных группах. По нашему мнению, применение комплексного подхода в решении вопроса реабилитации пациентов способствует оптимизации результатов лечения. Несомненно и то, что в настоящее время разработаны достаточно эффективные методики комплексной реабилитации пациентов с последствиями травм опорно-двигательной системы. Однако поиск новых малоинвазивных способов оптимизации репаративных процессов остается эффективным. Одним из подобных способов является применение низкоинтенсивного терагерцевого излучения на частотах молекулярного спектра излучения и поглощения оксида азота.

В доступной литературе широко освещены вопросы применения электромагнитных волн терагерцевого диапазона в биологии и медицине. Было доказано, что терагерцевочастотное (ТГЧ) излучение на частотах МСИП оксида азота 150, 176-150, 664 ГГц является эффективным немедикаментозным методом коррекции перфузии тканей в условиях острого стресса [2; 7; 8]. Изучалось и влияние электромагнитного излучения терагерцевого диапазона на частоте молекулярного спектра излучения и поглощения оксида азота 240 ГГц на агрегационную активность тромбоцитов, реологические свойства крови, коагуляционный потенциал и фибринолитическую активность крови больных нестабильной стенокардией в условиях *in vitro* [1]. В работах, посвященных влиянию электромагнитного облучения терагерцевого диапазона на микроциркуляторные нарушения костной ткани и красного костного мозга, а также на структурно-функциональные изменения опорных тканей при экспериментальном иммобилизационном стрессе у животных, отмечен положительный корректирующий эффект [3–6]. Слабоизученным остается вопрос экспериментального обоснования по определению эффективности применения электромагнитных волн терагерцевого диапазона при переломах конечностей.

Цель исследования: изучение результатов клинико-рентгенологического исследования влияния электромагнитных волн терагерцевого диапазона на регенерацию костной ткани при переломах бедренной кости у крыс в условиях чрескостного остеосинтеза.

Материалы и методы исследования

Эксперимент был выполнен на 15 крысах линии Вистар в возрасте от 6 до 8 мес. (5 самок, 10 самцов), массой тела от 250 до 350 г, с длиной бедра $3,9 \pm 0,6$ см. Содержание животных, оперативные вмешательства и эвтаназию осуществляли согласно Приказу Минздрава СССР (от 12.08.1977 г. № 755) и требованиям Европейской конвенции по защите экспериментальных животных (1986). Всем животным моделировали перелом бедренной кости в средней трети и фиксировали разработанным нами оригинальным устройством для остеосинтеза конечностей мелких животных (рис. 1), которое позволяет малоинвазивно фиксировать фрагменты кости и не препятствует воздействию электромагнитных волн, что снижает погрешность исследования.

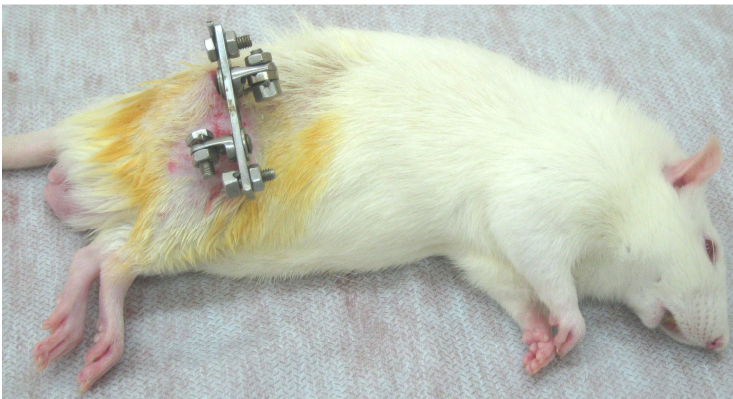


Рис. 1. Внешний вид животного с устройством для остеосинтеза конечностей мелких животных (заявка на полезную модель).

Животных разделили на 3 серии опытов. В первой серии (самцы, $n=5$) осуществляли остеотомию бедренной кости в средней трети и фиксировали отломки разработанным устройством до момента рентгенологической консолидации перелома. Во второй – (самцы, $n=5$) после аналогичного остеосинтеза проводили локальное воздействие электромагнитными волнами терагерцевого диапазона для стимуляции остеогенеза. В третьей – (самки, $n=5$) в возрасте 3 месяцев (за 3 месяца до оперативного вмешательства) осуществляли овариоэктомию, а после остеотомии и остеосинтеза осуществляли аналогичную стимуляцию, как и во второй серии.

Для стимуляции остеогенеза использовали аппарат КВЧ-терапии «Орбита», который применяли по 10 минут в затылочной области и с медиальной поверхности оперированного сегмента по 6 сеансов в течение 14 дней (рис. 2).

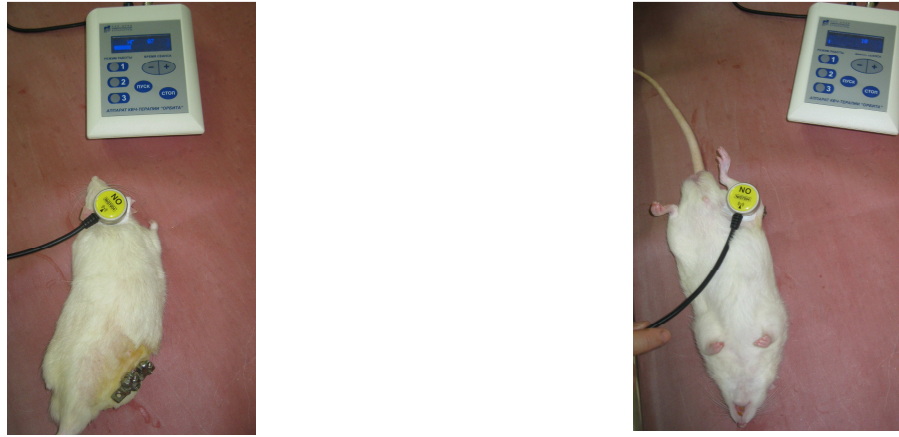


Рис. 2. Фото, иллюстрирующее проведение стимуляции аппаратом КВЧ-терапии «Орбита»: а) в затылочной области; б) в области перелома.

Оперативное вмешательство осуществлялось под наркозом. Для премедикации внутримышечно вводили раствор рометара в дозе 8 мг/кг веса, для наркоза – золетил в дозе 4 мг/кг. Наркозный сон наступал через 15 минут и продолжался 20-30 минут, выход из наркоза происходил через 1,5-2 часа. Перед остеосинтезом подготавливали операционное поле. Для этого выстригали шерсть на тазовой конечности животного, обрабатывали 3%-ным спиртовым раствором йода и отграничивали область бедра стерильной простыней. После чего осуществляли остеосинтез. Для этого использовали консольные спицы [9] и стержни-винты диаметром 1,2 мм. Проводили по одному стержню-винту на проксимальном и дистальном уровнях и фиксировали на планке. Далее осуществляли моделирование перелома. Для этого насверливали бедренную кость в разных плоскостях на уровне ее диафиза спицей диаметром 0,6 мм. После этого распускали спицу, проведенную в дистальном отделе, устанавливали пальцы рук на уровне проксимального отдела бедра и коленного сустава, не резко осуществляли торсионные движения до получения перелома. Затем дистальную спицу фиксировали в прежнем положении. Для обеспечения стабильности конструкции на расстоянии 0,5-0,8 мм от линии перелома проводили по одной спице через проксимальный и дистальный отломки под углом 45° к предыдущей и фиксировали на кронштейнах к планке.

Животных декапитировали на 35-е сутки фиксации, что соответствовало консолидации перелома в первой серии эксперимента.

В работе использовали клинический и рентгенологический методы исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

После операции все животные полностью выходили из наркоза. На 1-2-е сутки у крыс наблюдался незначительный отек в области бедра, умеренная болезненность. Раневое отделяемое из спицевых каналов было скудное, серозного характера и наблюдалось в

течение 7-10 суток после операции. Опороспособность конечности восстанавливалась на второй день после операции. К 21-м суткам фиксации у большинства животных амплитуда движения в коленном суставе составляла 90-100° и отмечалась незначительная атрофия мышц бедра.

Во всех сериях опыта рентгенологически после остеосинтеза линия излома была поперечная с мелкими зубцами (рис. 3). В большинстве случаев ось костей была правильная (рис. 3 а, б) и сохранялась на протяжении всего периода эксперимента. В двух случаях отмечалось угловое смещение до 10° (рис. 3 в).

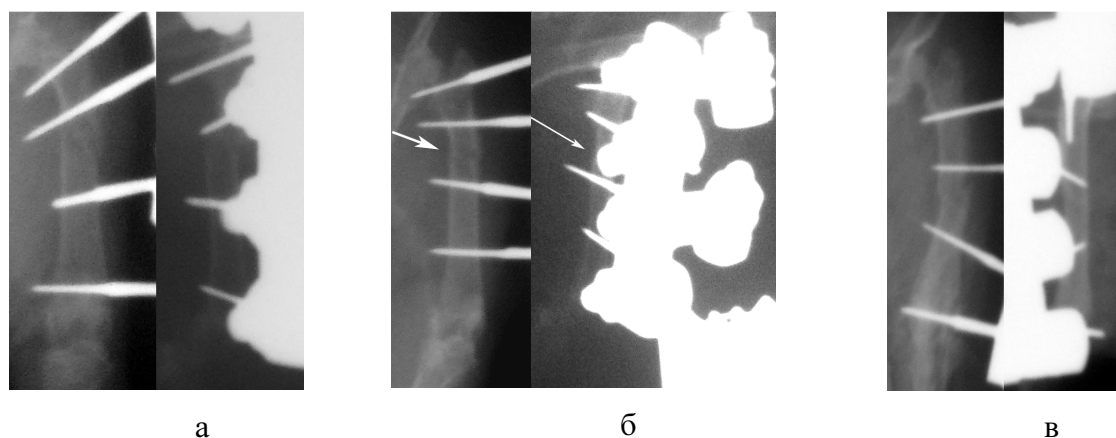


Рис. 3. Фрагменты рентгенограмм в день операции: а) 1-я серия; б) 2-я серия; в) 3-я серия.

На 7-е сутки рентгенологическая картина существенно не изменялась. Отмечались лишь единичные периостальные тени на отломках.

На 14-е сутки фиксации в первой группе рентгенологическая картина принципиально не отличалась от предыдущего срока, линия перелома четко визуализировалась (рис. 4 а). Во второй и третьей группах линия перелома просматривалась на всем протяжении, в некоторых случаях менее заметна. В межотломковой щели наблюдались единичные тени невысокой оптической плотности. У некоторых животных в зоне перелома происходило слияние проксимальных и дистальных периостальных теней (4 б, в).

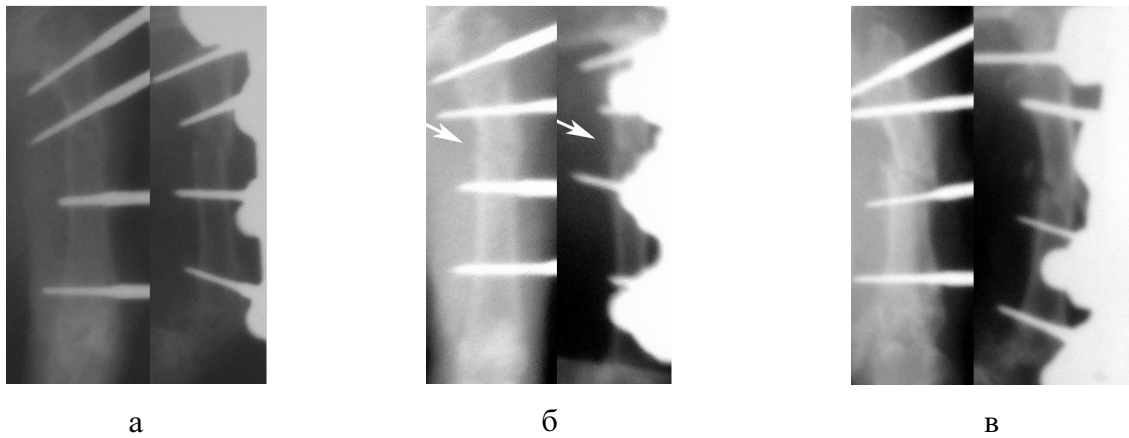


Рис. 4. Фрагменты рентгенограмм бедра крысы через 14 суток после операции: а) 1-я серия; б) 2-я серия; в) 3-я серия.

На 28-е сутки фиксации во второй и третьей сериях рентгенологически линию остеотомии перекрывали плотные гомогенные тени, сглаживая ее контуры (рис. 5 б). Во второй серии периостальная реакция на уровне перелома слабо определялась, тени компактизировались, и их плотность приближалась к кортикальным пластинкам отломков (материнской кости) или сливалась с ними. Напластования на отломках отсутствовали. К этому сроку наблюдалось формирование единых кортикальных пластинок, что явилось критерием консолидации перелома. Средний срок сращения в данной серии составил $28,8 \pm 1,1$ суток. В первой и третьей сериях линия перелома завуалирована и просматривалась лишь в отдельных участках, периостальная реакция слабо выражена (рис. 65 а, в). Происходило слияние проксимальных и дистальных периостальных теней в зоне перелома. Средний срок фиксации в аппарате в данных сериях составил $34,2 \pm 1,03$ суток.

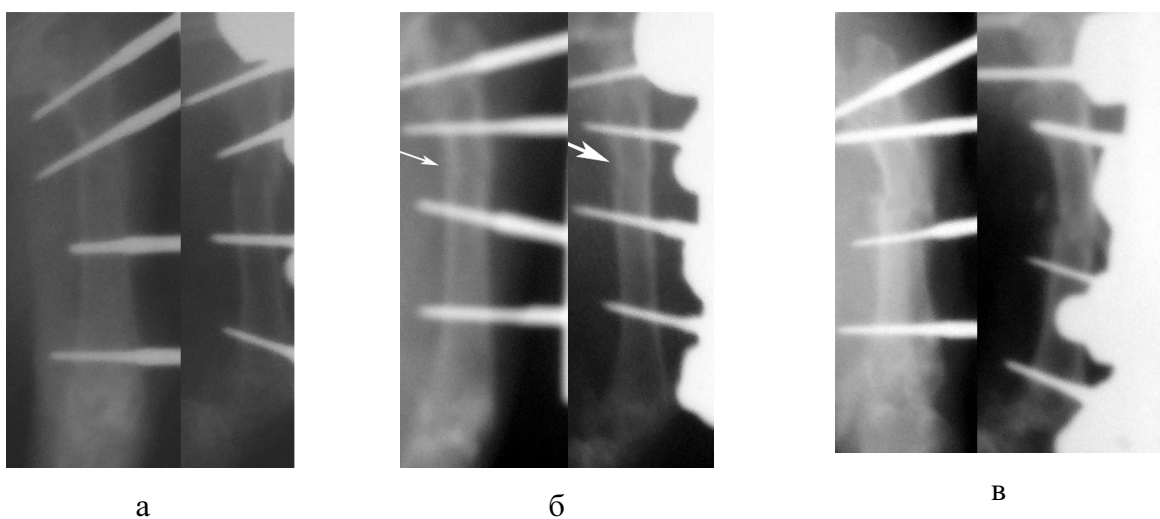


Рис. 5. Фрагменты рентгенограмм бедра крыс через 28 суток после операции: а) 1-я серия; б) 2-я серия; в) 3-я серия.

Выводы

На основании проведенных исследований определена эффективность применения электромагнитных волн терагерцевого диапазона для стимуляции остеогенеза при переломах бедренной кости у крыс, что подтверждается сокращением сроков консолидации в среднем на 16,5%. Эффект воздействия электромагнитных волн терагерцевого диапазона в экспериментальных группах нами оценивается как положительный в направлении сокращения сроков фиксации.

Перспективным является направление исследования, касающееся влияния ТГЧ-терапии на регенерацию опорных тканей в условиях остеопороза.

Список литературы

1. Андронов Е.В. Экспериментальное изучение влияния электромагнитных волн терагерцевого диапазона на частотах оксида азота на внутрисосудистый компонент микроциркуляции : автореф. дис. ... докт. мед. наук. – Саратов, 2008. – 50 с.
2. Антистрессорное действие электромагнитного излучения терагерцевого диапазона частот молекулярного спектра оксида азота / В.Ф. Киричук, О.Н. Антипова, А.Н. Иванов и др. // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2004. – № 11. – С. 12-20.
3. Влияние КВЧ-излучения на частотах оксида азота на микроциркуляцию в костной ткани и красный костный мозг при остром и хроническом стрессе / Н.В. Богомоллова, Р.М. Дулатов, С.И. Киреев и др. // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – Волгоград, 2010. – № 4 (36). – С. 83-86.
4. Киреев С.И. Микроциркуляторные нарушения у больных с патологией опорно-двигательного аппарата (обзор литературы) / С.И. Киреев, О.Н. Ямщиков, Д.А. Марков // Вестник Тамбовского технического университета. – 2011. – Т. 16. – Вып. 2. – С. 552-555.
5. Киреев С.И. Электромагнитные волны терагерцевого диапазона как фактор коррекции микроциркуляторных нарушений опорных тканей (экспериментально-клиническое исследование) : дис. ... докт. мед. наук. – Саратов, 2011. – 303 с.
6. Комплексное экспериментальное и клиническое исследование эффективности КВЧ-терапии на частотах оксида азота в восстановительном лечении пациентов с переломами костей / Н.В. Богомоллова, Р.М. Дулатов, С.И. Киреев и др. // Вестник новых медицинских технологий. – 2010. – Т. XVII. – № 1. – С. 107-110.
7. Молекулярные HITRAN-спектры газов метаболитов в терагерцевом и ИК диапазонах частот и их применение в биомедицинских технологиях / О.В. Бецкий, А.П. Креницкий, А.В. Майбородин и др. // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2007. – № 7. – С. 5-9.

8. Киреев С.И., Тыжук К.И., Лим В.Г., Креницкий А.П. Способ лечения комплексного регионарного болевого синдрома : патент РФ на изобретение № 2394613, 08.06.2010.
9. Ирьянов Ю.М., Дюрягина О.В., Накоскин А.Н., Ирьянова Т.Ю., Наумов Е.А. Спица для остеосинтеза : патент РФ на полезную модель № 87899, 27.10.2009.

Работа выполнена при поддержке гранта Национальной ассоциации инноваций и развития информационных технологий «НАИРИТ» (№ ИК – 25/2012).

Рецензенты

Дьячков Александр Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник научно-медицинского организационно-методического отдела ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган.

Карасев Анатолий Григорьевич, доктор медицинских наук, доцент, старший научный сотрудник научно-клинической лаборатории травмы ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган.