



В.В. Бойко, Ю.В. Иванова,
В.К. Иванов, Е.В. Мушенко,
А.С. Фатеев, Л.Г. Белоусова,
А.С. Лавриненко

Харьковский национальный
медицинский университет,
г. Харьков

© Коллектив авторов

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕПАРАТИВНОГО ОСТЕОГЕНЕЗА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КРАЙНЕВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ОБЛУЧЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Резюме. В работе представлено экспериментальное обоснование применения КВЧ облучения в посттравматическом периоде при моделировании тупой травмы грудной клетки с нарушением целостности реберного каркаса. Использование миллиметрового излучения позволяет снизить выраженность воспалительных процессов, ускорить темпы формирования костной мозоли, а также способствует формированию более плотного регенерата в более ранние сроки.

Ключевые слова: тупая травма грудной клетки, переломы ребер, КВЧ облучение, эксперимент.

До настоящего времени летальность при торакальной травме остается высокой и составляет 17 % в случаях изолированной и 76 % – множественной и сочетанной травме [1, 10]. Множественные переломы ребер и грудины, осложненные нестабильностью каркаса грудной клетки, в литературе описаны как «флотирующая грудь», летальность при этом виде повреждений составляет 85 %. Особенностью лечения пострадавших с таким видом травмы является борьба с болью, профилактика и лечение острой дыхательной недостаточности и хирургическая коррекция повреждений. Причинами неблагоприятных исходов лечения травмы грудной клетки является формирование ранних и поздних посттравматических осложнений (ранних – посттравматических пневмоний, плевритов, эмпиемы плевры и пр. и поздних – остеомиелиты ребер и грудины, хронические абсцессы и эмпиемы плевры и пр.). Вопросам профилактики и лечения ранних и поздних осложнений закрытой травмы грудной клетки, на наш взгляд, уделяется недостаточное внимание [2, 5, 7, 12].

В настоящее время одним из приоритетных направлений является изучение возможностей использования в медицинской практике все более коротких волновых диапазонов электромагнитных волн – в частности волн КВЧ-диапазона (длина волны 1-10 мм, что соответствует частотам колебания 300-30 ГГц). По данным литературы, этот вид электромагнитного излучения играет исключительную роль в процессах регуляции жизнедеятельности организма в норме и патологии. Было выявлено, что КВЧ-терапия способствует ускорению репаративных процессов в тканях, обладает иммуномодулирующим, сосудорасширяющим, анальгезирующим и некоторыми другими эффектами. Поэтому в по-

следние годы появилось много работ по изучению действия электромагнитного излучения КВЧ и практическому применению его в биологии и медицине. Уже доказана эффективность КВЧ-терапии при многих заболеваниях: желудочно-кишечного тракта (язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки, эрозивный гастрит, хронический холецистит, панкреатит, язвенный колит и др.), сердечно-сосудистой системы (стенокардия, эндартериит, трофические поражения конечностей, ДВС-синдром), кожных, офтальмологических и многих других. В последние несколько лет появились работы, свидетельствующие об использовании КВЧ-терапии в хирургии, травматологии, ортопедии [3, 4, 6, 8, 9, 11].

Цель нашего исследования – изучение особенности репаративного остеогенеза ребер у травмированных крыс под действием КВЧ облучения.

Материалы и методы исследования

Объектом для изучения в эксперименте был процесс репаративной регенерации в области дефектов ребер белых лабораторных крыс линии Вистар (масса – $279,6 \pm 15,5$ г). Протокол экспериментов на животных утвержден Комиссией по биоэтике согласно с правилами Международной конвенции по защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных и других научных целях. Эксперимент проведен в двух группах животных – основной и сравнения. Тупую травму грудной клетки моделировали в условиях обезболивания кетамин (12,5 мг/100 г массы тела животного) путем нанесения удара на среднюю, 1/3 грудины, устройством, разработанным в клинике (устанавливалось третье положение дозатора). Наличие переломов ребер подтверждалось рентгенологически (рис 1.).



Рис. 1. Множественные переломы ребер у крысы.

Первая группа (сравнения) – моделирование дефекта проводили у 10 крыс, в посттравматическом периоде умерло 3 животных (летальность 30 %).

Вторая группа (основная) – у 10 крыс моделировали тупую травму грудной клетки, в посттравматическом периоде проводили КВЧ облучение зоны травмы. Облучение проводили генератором Г4-142, режим излучения непрерывный, выходная мощность 10 мВт, длина волны – 7,1 мм (длина волны избрана на основании анализа литературных данных). В качестве облучателя использовался пирамидальный рупор длиной 90 мм с размерами апертуры 31х24 мм. Расстояние от плоскости апертуры до поверхности тела животного составляло 15-20 мм. Животным контрольной группы проводилось по 3 сеанса КВЧ облучения, длительность сеансов – 20-30 минут. В динамике проводились рентгенологические исследования.

Животные были выведены из экспериментов на 3, 7, 14, 21, 28 сутки путем передозировки тиопентала натрия. Реберные кости животных подвергали гистологическому анализу, фиксируя их в формалине, декальцинировали в 5 % растворе азотной кислоты, проводили по спиртам возрастающей крепости и заключали в целлоидин. Срезы (5-7 мкм) окрашивали гематоксилином и эозином, а так же пикрофуксином по Ван-Гизону. Для сравнения площади новообразованной костной ткани (% от общей площади дефекта) в дефекте опытных и контрольных животных использован морфометрический метод с применением планиметрической окулярной сетки Автандилова (289 точек) В поле зрения микроскопа БИО-ЛАМ (об 7, ок 7) подсчитывали число точек, которые приходились на зону дефекта и исследуемую ткань в дефекте. Площадь новообразованной костной ткани, вычисляли в процентах, относительно площади дефекта, которую принимали за 100 %. В каждом отдельном

случае изучали три центральных среза, проходящих через область дефекта (т.е. n=15). Цифровой материал экспериментальных, клинических и лабораторных исследований обработан методом вариационной статистики с использованием прикладного пакета STATISTICA 6.0 for Windows. Уровень достоверности принят 95 %.

Результаты исследований и их обсуждение

В результате исследований на 3 сутки клинически у экспериментальных животных группы сравнения в области травмированных ребер обнаруживали обширный воспалительный инфильтрат, распространяющийся на переднюю грудную стенку. Микроскопически в эти сроки в области дефекта обнаруживали костные осколки, кровяной сгусток с распадающимися эритроцитами и фибрином. У животных наблюдали выраженную бактериальную инвазию, в краевых дефектах определяли многочисленные сегментоядерные нейтрофильные гранулоциты с выраженными дегенеративными изменениями. Макрофаги – единичны, что указывало на недостаточное очищение от некроза и торможение процесса пролиферации, ангиогенеза и образования грануляций. В окружающей дефект материнской кости определяли многочисленные пикнотические остециты и лакуны без остецитов. В костном мозге межатрабекулярных пространств вблизи дефекта выявлялись изменения, подобные изменениям в группе сравнения: отек, диффузная инфильтрация лейкоцитами и макрофагами, однако с большей интенсивностью. У животных основной группы в эти сроки исследования отмечалась менее выраженная бактериальная инвазия и большее количество макрофагов.

На 7 сутки эксперимента наблюдения указывали, что у крыс группы сравнения дефекты были выполнены грануляционной тканью из фибробластов, малодифференцированных стромальных клеток и лимфоцитов. Макрофаги оставались единичными. Сохранились небольшие очаги перестроившейся гематомы, в которой скопления бактерий и нейтрофильных лейкоцитов. О разобщенности формирующихся структур регенерата свидетельствовало наличие в грануляционной ткани отека и формирование расширенных кровеносных сосудов синусоидного типа. Нарушение неогенеза с торможением сосудов капиллярного типа было обеспечено низкой плотностью макрофагов в регенерате секретирующих факторы роста. На поверхности костных отломков в небольших углублениях обнаруживали остеокласты, признаков формирования костной ткани в дефекте не выявлено. В материнской кости окружающей дефект, выявляли территории с пустыми лакунами остецитов, расширенные сосудистые каналы, небольшие



резорбированные полости. Небольшие участки остеогенеза на материнской трабекуле. В костном мозге трабекулярных пространств признаки отека и гистиоцитарной инфильтрации. Надкостница расширена за счет пролиферации фибробластов. У животных основной группы на 7 сутки эксперимента сохранялись признаки воспаления, однако по краю дефекта определялись единичные грубоволокнистые трабекулы и очаги остеоида. В прилежащих участках материнской кости имел место лизис костных отломков, сосудистые каналы расширены, более крупные участки остеоида. Отека надкостницы не выявлено. В костном мозге межтрабекулярных пространств скопления лимфоцитов и нейтрофилов. Признаков инфицирования не выявлено, в препарате обнаружено большое количество макрофагов.

На 14 сутки у крыс основной группы определяли костную мозоль в виде фибротрабекулярной ткани, материнская кость с большим количеством остеоцитов. У животных группы сравнения в эти сроки сохранялись признаки воспаления. Дефект был выполнен ретикулярной тканью в чередовании с грануляционной со скоплениями нейтрофилов. В регенерате имелись крупные и мелкие сосуды с расширенными просветами, в отдельных сосудах стаз эритроцитов. Полученные данные в группе сравнения указывали на запаздывающее формирование регенерата и перестройки сосудистого русла. По краю дефекта определялись единичные грубоволокнистые трабекулы и очаги остеоида. На небольших участках фиброретикулярной ткани выявляли высокую плотность клеток остеобластического дифферона. Площадь остеоида и новообразованной костной ткани в регенерате животных группы сравнения составляла $15,8 \pm 1,2$ мм² по сравнению с площадью остеоида у животных основной группы $21,2 \pm 1,8$ мм² ($P < 0,05$). В прилежащих участках материнской кости имел место лизис костных отломков, сосудистые каналы расширены. В костном мозге межтрабекулярных пространств скопления лимфоцитов и нейтрофилов.

На 21 сутки у животных группы сравнения остеоид в области дефекта был менее выражен и составлял площадь $44,8 \pm 2,5$ ($P < 0,05$), что в 1,34 раза меньше чем у животных основной группы ($58,6 \pm 5,1$ при $P < 0,05$). У животных основной группы регенерат был представлен мелкопетлистой сетью костных незрелых трабекул, перемежающихся с небольшими полями фиброретикулярной ткани с высокой плотностью остеобластического дифферона. В межтрабекулярных пространствах красный костный мозг и небольшие очаги детрита. Таким образом, у животных основной группы на 21 сутки эксперимента отмечено формирование «плотного» регенерата.

На 28 сутки у животных группы сравнения область дефекта была расширена за счет лизиса краевых отделов костной ткани. Регенерат представлен мелкопетлистой сетью костных незрелых трабекул, перемежающихся с небольшими полями фиброретикулярной ткани с высокой плотностью остеобластического дифферона. Материнская кость с микротрещинами и на значительном протяжении без остеоцитов. Образование микротрещин, возможно, обусловлено более поздним формированием «плотного» регенерата, что сопровождается повышенной нагрузкой на прилежащую материнскую кость. В межтрабекулярных пространствах красный костный мозг и небольшие очаги детрита.

В основной группе животных умерло одно животное в первые сутки посттравматического периода (1%). Следует отметить, что на протяжении всего эксперимента у животных основной группы отмечена более выраженная двигательная активность. На рентгенограммах, выполненных на 7 и 14 сутки эксперимента отмечено формирование костной мозоли, а на 21 сутки – признаки консолидации перелома (рис. 2).



Рис. 2. Формирование костной мозоли, 14 сутки эксперимента

Выводы

Применение КВЧ облучения в посттравматическом периоде у крыс с моделированной тупой травмой грудной клетки приводит к более быстрому формированию костной мозоли и формированию плотного регенерата в более ранние сроки (21 сутки эксперимента) по сравнению с животными группы сравнения.

Нарушение регенерации у животных группы сравнения возникает на фоне усиленного воспалительного процесса, сопровождающегося повышением плотности нейтрофилов в области дефекта и дефицита макрофагов с замедлением неоангиогенеза, начало фор-



мировання костной ткани отмечено лишь на 14 сутки, что в 1,34 раза меньшей площади нежели у животных основной группы, у которых формирование костной мозоли началось уже на 7 сутки исследования. При этом, у животных основной группы отмечено более благоприятное течение посттравматического

периода, что обусловлено анальгезирующим эффектом КВЧ излучения. Таким образом, полученные результаты достоверно указывают на целесообразность включения КВЧ облучения в схему лечения пострадавших с тупой травмой грудной клетки с нарушением костного каркаса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бойко В.В.* Коррекция и профилактика полиорганной недостаточности с нарушением ферментативного гомеостаза и реологических свойств крови у пострадавших с закрытой травмой сердца при политравме / В.В. Бойко, П.Н. Замятин // *Материалы 1 Всероссийской научной конференции «Клиническая гемостазиология и гемореология в сердечно-сосудистой хирургии»*. – М., 2003. – С. 26–27.
2. *Вагнер Е.А.* Основные аспекты травмы груди / Е.А. Вагнер, А.П. Кузьмичев, М.И. Перельман // *Тез. докл. Всероссийск. конф. хирургов*. – Пермь, 1985. – С. 5–8.
3. *Гапеев А.Б.* Механизмы биологического действия электромагнитного излучения крайневсочастот на уровне организма / А.Б. Гапеев, Н.К. Чемерис // *Биомедицинская радиоэлектроника*. – 2007. – № 8–9. – С. 30–46.
4. *Гапеев А.Б.* Фармакологический анализ противовоспалительного действия низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайневсочастот / А.Б. Гапеев // *Биофизика*. – 2006. – Т. 51. – Вып. 6. – С. 1055–1068.
5. *Голобородько Н.К.* Общие принципы диагностики, реанимации и хирургической тактики при травматическом шоке / Н.К. Голобородько, В.В. Булага // *Метод. реком.: ХНИИОНХ*. – Харьков, 1987. – 19 с.
6. *Девятков Н.Д.* Миллиметровые волновые процессы жизнедеятельности / В.Н. Девятков, М.Б. Голант, О.В. Бецкий. // М.: Радио и связь. – 1991. – 167 с.
7. *Закрытая травма сердца* / П.Н. Замятин, В.Е. Шапкин, В.А. Шевчук, К.Г. Михневич [метод. рекомендации]. – Харьков: ХГМУ, 2000. – 12 с.
8. *Казначеев В.П.* Биоинформационная функция естественных электромагнитных полей / В.П. Казначеев, Л.П. Михайлова // *Новосибирск.: Наука*. – 1985. – 170 с.
9. *Шейн А.Г.* Некоторые аспекты воздействия СВЧ излучения сантиметрового диапазона на зерно / А.Г. Шейн // *Биомедицинская радиоэлектроника*. – 2001. – № 4. – С. 4–7.
10. *Karmakar M.K.* Acute pain management of patients with multiple fractured ribs / Karmakar M.K, Ho A.M. // *Trauma*. – 2003. – №3. – P. 615–625.
11. *Resonant microwave absorption of selected DNA molecules* / G.S. Edwards, C.C. Davis, J.D. Saffer, M.I. Swicord // *Phys. Rev. Letters*. – 1983. – Vol. 53. - №13. – P. 1284–1288.
12. *Walker J.* External fixation of sternum after infected due to shotgun wound: case report / J. Walker, P. Keamey, A. Rosemurgy // *J. Trauma*. – 1991. – № 2. – P. 226 – 228.

ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ
РЕПАРАТИВНОГО
ОСТЕОГЕНЕЗУ ПІД
ВПЛИВОМ НАДВИСОКОГО
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ В
ЕКСПЕРИМЕНТІ

*В.В. Бойко, Ю.В. Іванова,
В.К. Іванов, Є.В. Мушенко,
О.С. Фатєєв, Л.Г. Білоусова,
А.С. Лаврінєнко*

EXPERIMENTAL STUDY
OF PARTICULARITIES
OF REPARATIVE
OSTEOGENESIS
UNDER EXTREMELY
HIGH FREQUENCY
ELECTROMAGNETIC
IRRADIATION INFLUENCE

*V.V. Boyko, Yu. V. Ivanova,
V.K. Ivanov, E.V. Mushenko,
A.S. Fateev, L.G. Belousova,
A.S. Lavrinenko*

Резюме. У роботі наведено експериментальне обґрунтування використання НВЧ опромінення в посттравматичному періоді при моделюванні тупої травми грудної клітини з порушенням цілісності реберного каркасу. Використання міліметрового випромінювання дозволяє знизити прояв запального процесу, прискорити темпи формування кісткового мозолу, а також сприяє формуванню більш щільного регенерату у більш ранішні строки.

Ключові слова. *Тупа травма грудної клітини, переломи ребер, НВЧ опромінювання, експеримент.*

Summary. Experimental motivation of using of EHF irradiation in posttraumatic period in rats with experimental blunt thoracic trauma accompanied with ribs fractures is performed in the article. It was established that using of irradiation in millimeter range allows to decrease level inflammatory processes' manifestation, to accelerate rates of bone callus' formation. It was found also that thicker regenerate appears in more recent terms.

Key words: *blunt thoracic trauma, ribs fractures, EHF irradiation, experiment.*