

кой рентгеновской абсорбциометрии [14]. В группе пациентов, умерших к концу наблюдения, выявлены отрицательные корреляции между продолжительностью ЗПТ и всеми биоимпедансометрическими показателями, отражающими «состав тела». Подобное наблюдение может быть трактовано в пользу использования биоимпедансометрии для оценки питательного статуса и прогноза в отношении риска смерти как более чувствительного метода по сравнению с измерением антропометрических показателей. Отсутствие подобных корреляций в группе пациентов, продолжавших получать ЗПТ на конец наблюдения, также может быть трактовано в рамках лучшего состояния питательного статуса среди пациентов, продолживших получать гемодиализную терапию на конец исследования. В когорте пациентов с хронической болезнью почек более низкие показатели жировой массы тела, оцененной биоэлектрическим импедансным анализом, определяют более высокий риск смерти. Полученные результаты обосновывают возможность применения биоэлектрического импедансного анализа в оценке питательного статуса и прогноза пациентов, получающих лечение гемодиализом.

Список литературы:

1. Roderick P.J. Assessing the impact of chronic kidney disease on individuals and populations: Use of relative and absolute measures // *Nephrol. Dial. Transplant.* 2012. Vol. 27. Suppl. 3. PP. iii39-iii42.
2. Roshanravan B. et al. Association between physical performance and all-Cause mortality in CKD // *JASN.* 2013. Vol. 24. PP. 822-830.
3. Вишневский К.А., Беляев Е.А., Мироненко А.Н. Полиморбидность как предиктор летальности у пациентов, находящихся на постоянной заместительной почечной терапии гемодиализом // *Нефрология.* 2015. Т. 19. № 4. С. 89-94.
4. Johns T.S. et al. Neighborhood Socioeconomic Status, Race, and Mortality in Young Adult Dialysis Patients // *JASN.* 2014. Vol. 25. PP. 2649-2657.
5. Mazurenko S.O., Enkin A.A., Vasiliev A.N. BMD and survival in hemodialysis patients // *Osteoporosis International.* 2013. Vol. 24. Suppl. 1. P. 147.
6. Mazurenko S.O. et al. Fractures and clinical outcome in hemodialysis patients // *Osteoporosis International.* 2014. Vol. 25. Suppl 2. P. 161.
7. Ikizler T.A., Hakim R.M. Nutrition in end-stage renal disease // *Kidney International.* 1996. Vol. 50. PP. 343-357.

8. Kalantar-Zadeh K., Block G., Humphreys M.H., Kopple J.D. Reverse epidemiology of cardiovascular risk factors in maintenance dialysis patients // *Kidney International.* 2003. Vol. 63. PP. 793-808.
9. Stenvinkel P. et al. Strong associations between malnutrition, inflammation and atherosclerosis in chronic renal failure // *Kidney International.* 1999. Vol. 55. PP. 1899-1911.
10. Kalantar-Zadeh K. et al. Malnutrition-inflammation complex syndrome in dialysis patients: Causes and consequences // *Am. J. Kidney Dis.* 2003. Vol. 42. PP. 864-881.
11. Fouque D. et al. EBP guideline on nutrition // *Nephrol. Dial. Transplant.* 2007. Vol. 22. Suppl 2. PP. ii45-ii87.
12. Kato A. et al. Influence of body composition on 5 year mortality in patients on regular haemodialysis // *Nephrol. Dial. Transplant.* 2003. Vol. 18. № 2. PP. 333-340.
13. Noori N. et al. Survival predictability of lean and fat mass in men and women undergoing maintenance hemodialysis // *Am. J. Clin. Nutr.* 2010. Vol. 92. № 5. PP. 1060-1070.
14. Zoccali C. et al. Assessment of obesity in chronic kidney disease: What is the best measure? // *Curr. Opin. Nephrol. Hypertens.* 2012. Vol. 21. № 6. PP. 641-646.

Денис Михайлович Крутько,
клинический ординатор,
Сергей Олегович Мазуренко,
д-р мед. наук, зав. кафедрой,
профессор, выполняющий клиническую работу,
кафедра пропедевтики внутренних болезней,
ФГБУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный университет»,
Константин Георгиевич Старосельский,
зав. отделением диализа,
ГБУЗ «Городская больница № 26»,
Лариса Геннадьевна Ермолаева,
канд. мед. наук, доцент,
Игорь Григорьевич Иванов,
ассистент,
кафедра пропедевтики внутренних болезней,
ФГБУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный университет»,
г. С.-Петербург,
e-mail: s.mazurenko@spbu.ru

Е.А. Киреева, А.А. Еманов, А.Л. Шастов, Н.В. Тушина, Д.Ю. Борзунов

Стимуляция замещения костных дефектов воздействием электромагнитного излучения терагерцового диапазона

Аннотация

В эксперименте 10 взрослым беспородным собакам для стимуляции замещения дефекта костей голени осуществляли локальное воздействие электромагнитными волнами терагерцового диапазона аппаратом КВЧ-терапии «Орбита». Животным контрольной группы ($n = 6$) физиопроцедуры не применяли. В результате исследования обнаружен эффект стимуляции костной репарации, выражавшийся в ингибировании остеолитических процессов и приводивший к достоверному ($p = 0,017$) снижению срока фиксации у собак опытной группы.

Введение

На сегодняшний день остается актуальной проблема лечения пациентов с приобретенными дефектами длинных трубчатых костей [1]. Варианты хирургического замещения обширных (более чем на 8...10 см) дефектов длинных костей в 1,6...13,8 % клинических наблюдений приводят к замедлению остеогенеза в очаге дефекта [2], [3]. В настоящее время обнаружено, что одним из способов, оказывающих корректирующее влияние как на регенерацию костной ткани, так и на структурно-функцио-

нальные изменения других опорных тканей, является воздействие на зону регенерации электромагнитным облучением терагерцового диапазона [4], [5]. В этом плане оценка возможности стимуляции репарации костной ткани при замещении дефектов длинных трубчатых костей под воздействием электромагнитных волн терагерцового диапазона представляет значительный интерес для практической ортопедии.

Цель исследования – оценка эффективности и безопасности воздействия электромагнитных волн терагерцового диапазона на дистракционный остеогенез при замещении дефекта ко-

стей голени в условиях чрескостного остеосинтеза аппаратом Илизарова.

Материалы и методы

Теоретическая база исследования

В качестве источника излучения заданного диапазона нами был использован аппарат КВЧ-терапии «Орбита» (регистрационное удостоверение № ФСР 2009/05497, срок действия не ограничен, производство ООО «Стрела», ДП ОАО «ЦНИИИА»). Аппарат рекомендован для применения в кардиологии, комбустиологии, онкологии, стоматологии, неврологии, акушерстве и гинекологии. Однако опыта применения данного прибора в практике травматологии и ортопедии нет, хотя представляется возможным его использование для оптимизации остеорепаративных процессов. С целью получения доказательств эффективности и безопасности применения аппарата КВЧ-терапии «Орбита» в ортопедии нами было проведено комплексное экспериментальное исследование.

Экспериментальный раздел

Эксперимент был выполнен на 16 взрослых беспородных собаках в возрасте от 1 до 4 лет, массой 15...24 кг. 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-е сутки distraction осуществляли открытую адаптацию костных отломков. Далее животным опытной группы ($n = 10$) на 25-е сутки замещения дефекта осуществляли локальное воздействие электромагнитными волнами терагерцового диапазона на зону distraction-онного регенерата. Для данной манипуляции использовали аппарат КВЧ-терапии «Орбита», который применяли по 10 мин ежедневно, 1 раз день, в течение 10 дней. В контрольной группе ($n = 6$) 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. Контрольную рентгенографию производили на переносном рентгеновском аппарате «Toshiba» («Rotanode», Япония), модель E7239, до операции, после моделирования дефекта, через 7, 14, 21, 30 суток distraction, далее каждые две недели последующей фиксации и на момент снятия аппарата.

На проведение экспериментального исследования получено разрешение комитета по этике при ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава РФ.

Биохимические методы исследования

Забор крови проводили до операции (исходные значения), на сроках distraction, фиксации и на момент снятия аппарата. В качестве биохимических тестов для оценки эффективности метода стимуляции использовали изучение в сыворотке крови активности щелочной (ЩФ) и костной (тарtrate-резистентной) изофермента кислой (ТрКФ) фосфатаз, концентрации глюкозуриновых (ГУК) и сиаловых кислот (КК), показателей минерального обмена – общего и ионизированного кальция, неорганического фосфата, магния. Состояние мягких тканей оценивали по сывороточной активности креатинкиназы (КК), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), концентрации продуктов гликолиза – лактата (МК) и пирувата (ПВК) [6], [7].

Для оценки безопасности методики в сыворотке крови на сроках наблюдения определяли активность аминотрансфераз (АлАТ, АсАТ), концентрации общего белка, мочевины, креатинина, глюкозы, триглицеридов, общего холестерина, натрия, калия, хлоридов, продуктов перекисного окисления белка (ПОБ).

Активность ферментов, а также концентрацию в сыворотке крови общего белка, мочевины, креатинина, глюкозы, триглицеридов, общего холестерина, МК, общего кальция, неорганического фосфата, магния определяли на автоматическом биохимическом анализаторе «Hitachi/BM 902» («F.Hoffmann-La Roche Ltd. / Roche Diagnostics GmbH», Япония), используя наборы реагентов фирмы «Vital Diagnostics» (Россия). Продукты ПОБ в сыворотке крови определяли в белковом осадке по реакции с 2,4-динитрофенилгидразином, продукты реакции регистрировали при длине волны 270 нм [8]. В депротенизированной сыворотке определяли концентрацию пирувата по реакции с 2,4-динитрофенилгидразином, содержание ГУК – по реакции с карбазолом [9], содержание натрия, калия и хлоридов – на ионселективном блоке биохимического анализатора «Hitachi/BM 902». Концентрацию сиаловых кислот определяли наборами реагентов «Сиалотест 100» (Россия).

Таблица 1

Динамика биохимических показателей обмена компонентов костной ткани у собак опытной и контрольной групп ($X_i \pm SD$)

Показатель	Группа	До операции	14-е сутки distraction	30-е сутки distraction	15-е сутки фиксации	30-е сутки фиксации	Конец фиксации
ЩФ, Е/л	О	46 ± 23	67 ± 21*	70 ± 29*	58 ± 30	61 ± 18	49 ± 25
	К	40 ± 10	74 ± 17*	72 ± 16*	54 ± 12	62 ± 17	68 ± 10*
ТрКФ, Е/л	О	4,10 ± 0,63	3,95 ± 1,60	3,80 ± 1,24	4,50 ± 0,90	3,00 ± 0,86	3,55 ± 0,95
	К	4,45 ± 0,84	4,30 ± 1,04	4,25 ± 1,08	6,80 ± 1,70*	3,70 ± 0,79	4,70 ± 0,91
Кальций, ммоль/л	О	2,72 ± 0,12	2,68 ± 0,07	2,80 ± 0,11	2,77 ± 0,11	2,80 ± 0,06	2,62 ± 0,14
	К	2,70 ± 0,13	2,68 ± 0,08	2,81 ± 0,13	2,90 ± 0,17	2,61 ± 0,11	2,61 ± 0,11
Магний, ммоль/л	О	0,81 ± 0,11	0,76 ± 0,06	0,77 ± 0,06	0,78 ± 0,08	0,75 ± 0,11	0,84 ± 0,06
	К	0,83 ± 0,08	0,78 ± 0,05	0,78 ± 0,10	0,76 ± 0,08	0,78 ± 0,06	0,78 ± 0,07
Фосфор, ммоль/л	О	1,50 ± 0,22	1,45 ± 0,09	1,44 ± 0,09	1,41 ± 0,11	1,44 ± 0,08	1,29 ± 0,22
	К	1,53 ± 0,20	1,39 ± 0,28	1,41 ± 0,24	1,41 ± 0,27	1,41 ± 0,29	1,22 ± 0,06
ГУК, ммоль/л	О	3,96 ± 0,44	4,46 ± 1,03	3,76 ± 1,39	2,97 ± 0,33*	3,25 ± 0,80	3,09 ± 0,52
	К	4,20 ± 0,54	4,24 ± 0,49	4,28 ± 0,72	4,39 ± 0,52	4,27 ± 1,43	4,23 ± 0,99
СК, ммоль/л	О	2,38 ± 0,59	3,42 ± 0,54*	3,16 ± 0,78	2,97 ± 0,32	2,89 ± 0,52	2,87 ± 0,56
	К	2,56 ± 0,27	3,25 ± 0,57*	3,15 ± 1,11	2,95 ± 0,89	3,12 ± 0,30	3,07 ± 0,89

Примечание. * Достоверные отличия с дооперационными значениями при $p < 0,05$.

Жирным шрифтом выделены достоверные отличия между группами при $p < 0,05$.

Математические методы

В таблицах результаты приведены в виде средней арифметической и стандартного отклонения ($\bar{X} \pm SD$). Достоверность различий между показателями, полученными у собак на сроках эксперимента, сравнивали с дооперационными значениями с помощью W-критерия Вилкоксона для независимых выборок. Достоверность межгрупповых различий определяли с помощью непараметрического критерия Крускала-Уоллиса с последующим множественным сравнением с использованием критерия Данна.

Результаты

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-м суткам distraction. В большинстве случаев на третьи сутки после операции собаки пользовались конечностью в статике, к середине distraction приступали в динамике. К моменту демонтажа аппарата животные активно пользовались конечностью, определялась хромота опирающегося типа. У всех животных к концу distraction определяли сгибательную контрактуру коленного сустава (разгибание 165...170°). Через 30 суток после снятия аппарата у всех животных функция конечности полностью восстанавливалась без ограничения движения смежных суставов.

Изменения биохимических показателей сыворотки крови, отражающие обмен компонентов костной ткани (критерии эффективности) у экспериментальных животных в динамике наблюдения, приведены в табл. 1. Обнаружено, что достоверные различия между группами наблюдались на 15-е сутки фиксации: в сыворотке крови собак опытной группы относитель-

но контрольной группы были ниже активность ТрКФ и концентрация ГУК.

Изменения показателей, позволяющих оценивать состояние мягких тканей (критерии эффективности), в большинстве случаев также не имели межгрупповых отличий (табл. 2). В сыворотке крови собак контрольной группы на 15-е сутки фиксации увеличилось содержание ПВК относительно исходных значений и показателей животных опытной группы.

Динамика изменения трех показателей (из табл. 1, 2), которые имели достоверные межгрупповые отличия, отмечена на рис. 1 в виде прироста/снижения этих маркеров относительно срока 14-е сутки distraction как срока, предшествующего началу стимуляции.

Обнаружено, что через одну неделю после окончания стимуляции в сыворотке крови собак опытной группы, в отличие от животных контрольной группы, не отмечалось нарастания активности ТрКФ и накопления ПВК. В опытной группе также отмечалось более значимое снижение концентрации ГУК после процедур стимуляции. Эти данные указывают на эффективность методики стимуляции в части ингибирования процессов костной резорбции. Однако необходимо отметить, что отмеченные межгрупповые отличия зафиксированы только на сроке 15-е сутки фиксации (неделя после стимуляции), тогда как в последующие сроки все изученные показатели у собак обеих групп не имели значимых отличий как относительно дооперационного уровня, так и относительно друг друга. Это наблюдение позволяет определить, что метаболические эффекты после применения метода стимуляции были непродолжительными.

Тем не менее зафиксированные отличия между группами позволяют сделать некоторые выводы, касающиеся механизмов стимулирующего влияния использованной методики. В основе наблюдаемого эффекта, по-видимому, лежала актива-

Таблица 2

Динамика биохимических показателей в оценке мягких тканей у собак опытной и контрольной групп ($\bar{X} \pm SD$)

Показатель	Группа	До операции	14-е сутки distraction	30-е сутки distraction	15-е сутки фиксации	30-е сутки фиксации	45-е сутки фиксации
КК, Е/л	О	126 ± 38	146 ± 42	143 ± 49	117 ± 43	131 ± 35	123 ± 27
	К	126 ± 33	148 ± 43	140 ± 39	93 ± 36	124 ± 40	116 ± 36
ЛДГ, Е/л	О	166 ± 27	257 ± 67	236 ± 65	189 ± 72	192 ± 55	198 ± 46
	К	221 ± 57	206 ± 73	250 ± 65	133 ± 34	182 ± 42	269 ± 85
МК, ммоль/л	О	2,64 ± 0,76	2,69 ± 0,98	2,75 ± 0,81	2,68 ± 0,71	2,88 ± 0,81	2,56 ± 0,52
	К	2,58 ± 0,36	2,78 ± 0,61	2,54 ± 0,62	2,98 ± 0,90	2,27 ± 0,95	2,77 ± 0,40
ПВК, мкмоль/л	О	265 ± 93	235 ± 23	251 ± 38	211 ± 44	218 ± 63	217 ± 33
	К	247 ± 48	273 ± 32	276 ± 48	284 ± 12*	234 ± 43	236 ± 17

Примечание. * Достоверные отличия с дооперационными значениями при $p < 0,05$.

Жирным шрифтом выделены достоверные отличия между группами при $p < 0,05$.

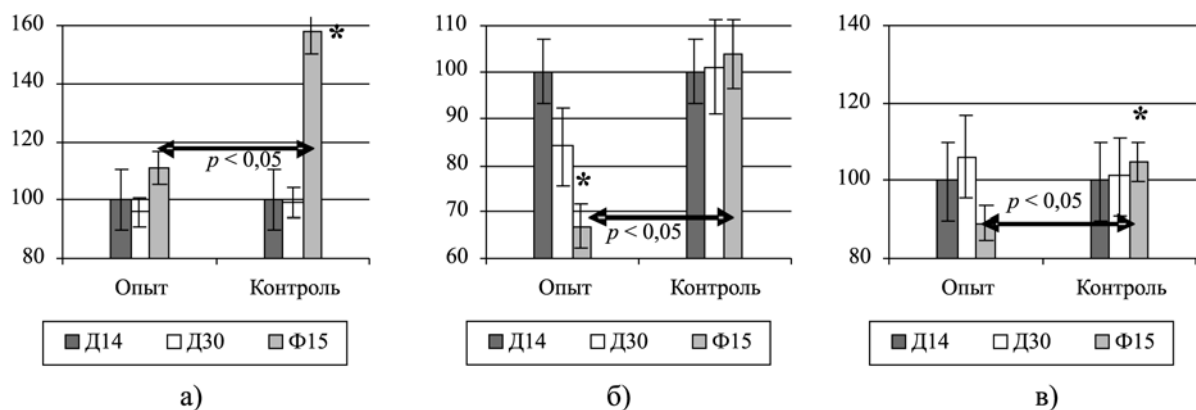


Рис. 1. Изменение активности ТрКФ (а), ГУК (б) и ПВК (в) (в процентах относительно срока 14 суток distraction, принятого за 100 %) на сроках наблюдения у собак опытной и контрольной групп: Д14 – 14-е сутки distraction; Д30 – 30-е сутки distraction; Ф15 – 15-е сутки фиксации (* Достоверные отличия с дооперационными значениями при $p < 0,05$)

ция локального кровотока, приводившая к повышению в тканях оперированной конечности аэробных реакций энергетического обмена, что вызывало наблюдаемое снижение в сыворотке крови собак опытной группы концентрации недоокисленных продуктов распада (в частности ПВК). Далее локальное снижение концентрации кислых метаболитов могло приводить к ингибированию процессов остеолитиза, о чем свидетельствовало наблюдаемое снижение активности ТрКФ у собак опытной группы. Таким образом, предполагаемый эффект применяемой методики в большей степени состоял в ингибировании остеолитиза, нежели в активации остеосинтетических процессов.

Отмеченные молекулярные изменения в целом приводили к очевидному клиническому эффекту. Средние сроки фиксации у собак опытной группы составили ($52,5 \pm 8,2$) суток, у животных контрольной группы – ($70,0 \pm 15,4$) суток, различия между группами достоверны при $p = 0,017$.

Изменения показателей, позволяющих оценивать безопасность примененного способа стимуляции, приведены в табл. 3. Обнаружено отсутствие статистически значимых изменений у животных опытной группы на сроках наблюдения как относительно нормы, так и относительно значений животных контрольной группы. Индивидуальный анализ биохимических показателей в целях определения и выявления нежелательных событий при применении апробируемого устройства, к которым относят любые отмеченные в ходе исследования отклонения от нормы биохимических показателей сыворотки крови (ГОСТ Р ИСО 14155-2014 «Клинические исследования. Надлежащая клиническая практика»), показал, что изученные маркеры у всех животных опытной группы в ходе применения ме-

тодики находились в границах соответствующей физиологической нормы.

Заключение

Таким образом, представленные результаты позволяют заключить, что у собак опытной группы эффективность тестируемой методики была связана с механизмами ингибирования процессов остеолитиза, что позволило в более короткие сроки восстановить анатомическую целостность поврежденного сегмента. Однако данный эффект неустойчив во времени, что требует необходимости применения методики только в случаях (или на этапах лечения), когда в процессе остеосинтеза наблюдается избыточная активация остеолитиза. Оценка безопасности изделия не выявила ни одного нежелательного события в виде отклонения от нормы биохимических показателей сыворотки крови у собак опытной группы. Очевидно, что в дальнейшем аппарат КВЧ-терапии может найти применение в практике ортопедии.

Список литературы:

1. Ортопедия. Нац. руководство / Под ред. С.П. Миронова, Г.П. Котельникова. – М., 2008. С. 554-589.
2. Ахметьянов Р.Ф. Особенности первичной инвалидности вследствие травм и других внешних воздействий в Российской Федерации // Медико-соц. экспертиза и реабилитация. 2005. № 1. С. 37-40.
3. Новикова К.Н. О состоянии инвалидности и мерах по ее снижению в Республике Татарстан // Медико-соц. экспертиза и реабилитация. 2004. № 2. С. 45-47.

Таблица 3

Динамика биохимических показателей в оценке безопасности применяемой методики у собак опытной и контрольной групп ($X_i \pm SD$)

Показатель	Группа	До операции	14-е сутки дистракции	30-е сутки дистракции	15-е сутки фиксации	30-е сутки фиксации	Конец фиксации
Общий белок, г/л	О	66 ± 6	70 ± 6	76 ± 5	76 ± 9	75 ± 7	71 ± 9
	К	67 ± 9	68 ± 13	72 ± 9	70 ± 10	72 ± 9	66 ± 11
АлАТ, Е/л	О	30 ± 11	36 ± 10	34 ± 11	32 ± 14	29 ± 11	34 ± 7
	К	34 ± 5	30 ± 7	21 ± 4	26 ± 15	33 ± 9	28 ± 11
АсАТ, Е/л	О	27 ± 5	25 ± 10	23 ± 6	20 ± 6	21 ± 4	23 ± 4
	К	28 ± 8	29 ± 7	25 ± 9	21 ± 12	24 ± 10	17 ± 9
Мочевина, ммоль/л	О	$4,8 \pm 1,0$	$3,7 \pm 1,1$	$4,6 \pm 2,4$	$3,9 \pm 1,1$	$5,0 \pm 1,5$	$3,9 \pm 1,0$
	К	$4,3 \pm 1,2$	$3,4 \pm 0,5$	$3,6 \pm 1,2$	$4,6 \pm 1,3$	$4,1 \pm 1,3$	$3,7 \pm 1,2$
Креатинин, мкмоль/л	О	103 ± 6	$86 \pm 8^*$	91 ± 11	85 ± 12	86 ± 14	85 ± 14
	К	102 ± 8	$86 \pm 7^*$	87 ± 11	88 ± 14	100 ± 9	93 ± 7
Глюкоза, ммоль/л	О	$5,4 \pm 0,5$	$4,8 \pm 0,5$	$4,9 \pm 0,4$	$5,0 \pm 0,7$	$4,9 \pm 0,3$	$4,7 \pm 0,3$
	К	$4,8 \pm 0,7$	$5,1 \pm 0,5$	$4,9 \pm 0,8$	$5,3 \pm 0,4$	$5,2 \pm 1,0$	$5,0 \pm 0,6$
Триглицериды, ммоль/л	О	$0,47 \pm 0,18$	$0,46 \pm 0,10$	$0,62 \pm 0,27$	$0,58 \pm 0,11$	$0,51 \pm 0,19$	$0,49 \pm 0,12$
	К	$0,69 \pm 0,17$	$0,77 \pm 0,19$	$0,70 \pm 0,28$	$0,62 \pm 0,08$	$0,62 \pm 0,09$	$0,79 \pm 0,28$
Холестерин, ммоль/л	О	$5,7 \pm 0,7$	$4,8 \pm 1,5$	$5,6 \pm 1,3$	$5,4 \pm 1,1$	$4,7 \pm 1,4$	$4,9 \pm 1,2$
	К	$5,0 \pm 1,8$	$6,1 \pm 1,4$	$5,8 \pm 1,0$	$4,5 \pm 1,5$	$6,2 \pm 1,5$	$3,8 \pm 1,0$
Натрий, ммоль/л	О	146 ± 3	143 ± 8	148 ± 7	145 ± 4	146 ± 7	142 ± 4
	К	148 ± 5	147 ± 3	145 ± 9	145 ± 2	147 ± 7	142 ± 6
Калий, ммоль/л	О	$4,7 \pm 0,2$	$4,6 \pm 0,4$	$4,8 \pm 0,3$	$4,8 \pm 0,2$	$4,7 \pm 0,3$	$4,8 \pm 0,3$
	К	$5,0 \pm 0,3$	$4,8 \pm 0,3$	$4,8 \pm 0,3$	$4,8 \pm 0,3$	$4,6 \pm 0,6$	$4,6 \pm 0,6$
Хлориды, ммоль/л	О	109 ± 1	109 ± 6	110 ± 6	109 ± 4	106 ± 6	109 ± 3
	К	107 ± 6	110 ± 2	110 ± 11	107 ± 2	109 ± 6	106 ± 6
ПОБ, ед. о. пл /мг белка	О	222 ± 31	262 ± 52	263 ± 25	241 ± 48	230 ± 75	224 ± 51
	К	230 ± 47	250 ± 26	246 ± 28	232 ± 38	232 ± 29	269 ± 31

Примечание. * Достоверные отличия с дооперационными значениями при $p < 0,05$.

4. Еманов А.А., Дюрягина О.В., Чибиров Г.М., Стогов М.В., Солдатов Ю.П. Влияние электромагнитных волн терагерцового диапазона на параартикулярные ткани локтевого сустава после моделирования остеоартроза (экспериментальное исследование) // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. С. 194.
5. Богомолова Н.В., Дулатов Р.М., Киреев С.И. Комплексное экспериментальное и клиническое исследование эффективности КВЧ-терапии на частотах оксида азота в восстановительном лечении пациентов с переломами костей // Вестник новых медицинских технологий. 2010. № 1. С. 107-110.
6. Лулева С.Н., Ткачук Е.А., Стогов М.В. Биохимические показатели в оценке репаративного остеогенеза у пациентов с различными типами скелетной травмы // Гений ортопедии. 2010. № 1. С. 112-115.
7. Стогов М.В. Оценка метаболического статуса организма при скелетной травме // Гений ортопедии. 2009. № 3. С. 103-106.
8. Вьюшина А.В., Вайдо А.И., Герасимова И.А., Ширяева Н.П., Флерова М.А. Различия в процессах перекисного окисления белков у беременных крыс, селективных по порогу возбудимости нервной системы // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2002. № 3. С. 292-294.
9. Bitter T., Muir H.M. A modified uronic acid carbazole reactions // Anal. Biochem. 1962. Vol. 4. № 4. PP. 330-334.

Елена Анатольевна Киреева,
канд. биол. наук, ст. научный сотрудник,
лаборатория биохимии,
Андрей Александрович Еманов,
канд. ветеринарных наук, ст. научный сотрудник,
лаборатория реконструктивного эндопротезирования,
Александр Леонидович Шастов,
врач травматолог-ортопед, мл. научный сотрудник,
лаборатория гнойной остеологии
и замещения дефектов,
Наталья Владимировна Тушина,
канд. биол. наук, научный сотрудник,
лаборатория биохимии,
Дмитрий Юрьевич Борзунов,
д-р мед. наук, зам. директора по научной работе,
ФГБУ «Российский научный центр
«Восстановительная травматология
и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова»
Минздрава России,
г. Курган,
e-mail: ea_tkachuk@mail.ru

Ф.Ю. Блынский, К.С. Бразовский

Система автоматизированной дистракции с электрической стимуляцией процесса костеобразования

Аннотация

Разработан прототип системы программно-управляемой дистракции с электрической стимуляцией образования костной мозоли. Предложена электрическая принципиальная схема устройства. Реализован метод измерения дистракционных усилий с использованием индуктивного датчика. Представлено описание программного приложения для дистанционного управления процессом удлинения конечности и визуализации графической зависимости натяжения костной ткани от периода дистракции.

Введение

Компрессионно-дистракционный остеосинтез является хирургической процедурой, направленной на дозированное удлинение верхних или нижних конечностей тела человека, закрепленных в узлах и опорах аппарата внешней фиксации [1]. Основная цель дистракции/компрессии костной ткани заключается в устранении врожденных (укорочение или деформация конечностей) или приобретенных (последствия травм) патологий костно-мышечной системы.

Согласно статистике, приведенной в работе [2], количество врожденных аномалий развития скелета у детей увеличилось с 1966 года на 41,8 %, а число приобретенных заболеваний опорно-двигательного аппарата возросло на 53,6 %. Таким образом, направление исследований, связанное с разработкой и совершенствованием методов и технических средств для дистракции костной ткани человека, остается актуальным. В клинической практике нашли применение как механические, так и автоматизированные системы удлинения костной ткани.

К механическим методам следует отнести: эндодисрактор Блискунова [3], внутрикостный кинетический дистрактор «Orthofix» [4], аппарат Вагнера [5], аппарат внешней фиксации «Taylor» [6], аппарат Илизарова [1].

Преимущество автоматизированных систем заключается в возможности установки очень маленького приращения натяжения (высокая дробность дистракции), что позволяет приблизиться к биологически непрерывному эволюционно сформировавшемуся росту конечности [7] и снижает до потенциально минимума болезненность процедуры удлинения. Исследования, проведенные в работе [8], показывают, что при

непрерывной дистракции интенсивность образования костного регенерата выше, чем при низкой дробности дистракции (например, один раз в сутки).

В литературе наиболее часто упоминаются следующие автоматизированные аппараты: автоматизированный компрессионно-дистракционный аппарат [9], аппарат автоматизированной дистракции АД-1 [10], спице-стержневой аппарат для удлинения бедра с автономным автоматическим управлением каждым узлом перемещения [11].

Несмотря на преимущества автоматизированной дистракции при удлинении деформированных конечностей, существующие системы имеют ряд недостатков, которые заключаются в отсутствии учета индивидуальных параметров пациентов (пол, вес, возраст), невозможности автономного управления процессом удлинения и контроля основных параметров дистракции, отсутствии стимуляции процесса костеобразования, отсутствии обратной связи в системе аппарат-организм. В настоящее время устройства с подобными характеристиками серийно не выпускаются и недоступны для клинического применения.

В настоящей статье представлена реализация системы программно управляемой дистракции с электрической стимуляцией процесса костеобразования, позволяющая на практике исследовать новые методики удлинения костной ткани и коррекции формы конечности человека.

Материалы и методы

Для получения объективных данных о ходе дистракционного процесса необходимо введение модуля биологической обратной связи, обеспечивающего контроль состояния удли-