

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НА КОСТНУЮ ТКАНЬ НИЗКОЧАСТОТНОГО УЛЬТРАЗВУКА И НИЗКОЧАСТОТНОГО ИМПУЛЬСНОГО УЛЬТРАФОНОФОРЕЗА АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ

УО «Белорусский государственный медицинский университет»¹,
ГУ РНПЦ неврологии и нейрохирургии МЗ РБ, Минск²,
ГНУ Институт порошковой металлургии, Минск³

Лечение пациентов с зубочелюстными аномалиями и деформациями в сформированном прикусе затруднено, так как костная ткань в области перемещаемых зубов перестраивается медленно. Для повышения эффективности ортодонтического лечения взрослых пациентов разработаны различные методы локального снижения плотности костной ткани и повышения её пластичности. Но не все они удовлетворяют специалистов и пациентов в полном объёме в силу различных причин. Авторами представлено состояние костной ткани после воздействия низкочастотным импульсным и модулированным ультразвуком, а так же низкочастотным импульсным ультрафонофорезом аскорбиновой кислоты. Приведена сравнительная оценка результатов опытов.

Ключевые слова: импульсный низкочастотный ультразвук, модулированный низкочастотный ультразвук, ультрафонофорез, аскорбиновая кислота, костная ткань.

S. V. Ivashenko, A. A. Ostapovich, S. D. Bezzubik, V. A. Chekan

COMPARISON OF THE INFLUENCE OF LOW-FREQUENCY ULTRASOUND AND LOW-FREQUENCY PULSED PHONOPHORESIS OF ASCORBIC ACID ON BONE TISSUE

Treatment of patients with malocclusion in the formed bite is long and difficult because the bone around teeth rebuilt very slowly. Various methods of local decreasing of bone density and increasing of its plasticity were developed to improve the efficiency of orthodontic treatment of adult patients. But not all of this methods satisfy professionals and patients because of different reasons. The structure and changes of the bone tissue after affect by low frequency pulsed ultrasound, by low frequency modulated ultrasound and by low frequency pulsed phonophoresis of ascorbic acid is presented in article. The comparison of this affects is given.

Key words: pulsed low frequency ultrasound, modulated low frequency ultrasound, phonophoresis, ascorbic acid, bone tissue.

Одной из актуальных проблем современной стоматологии является лечение пациентов с зубочелюстными аномалиями и деформациями в сформированном прикусе, так как распространённость их остаётся высокой [9]. Своевременно не устранённые зубочелюстные аномалии с возрастом усугубляются, способствуют развитию заболеваний периодонта и височно-нижнечелюстного сустава. Вторичные деформации зубных рядов затрудняют

протетические мероприятия. Лечение таких пациентов длительное и часто не приводит к ожидаемым результатам. Это связано с тем, что с возрастом в организме ослабевают обменные процессы, в кости увеличивается содержание кальция и фосфора, из-за чего она становится более плотной и менее пластичной, медленно перестраивается. Поэтому, для оптимизации ортодонтического лечения пациентов с зубочелюстными аномалиями и деформациями

в сформированном прикусе применяют комплексное лечение, при котором костная ткань в области перемещаемых зубов локально ослабляется и повышается её пластичность [1, 2, 3, 6].

Локально ослабить костную ткань можно инвазивными методами: остеотомия, компактоosteотомия, удаление зубов. Однако хирургическое вмешательство сопряжено с рядом осложнений и требует высокой квалификации врача-хирурга. Сами пациенты часто отказываются от подобных вмешательств из-за страха.

Поэтому были предложены неинвазивные методы воздействия на плотность и пластичность костной ткани: вибрационное воздействие, дозированная вакуум, ультразвук высокой частоты, гелий-неоновый и гелий-кадмиевый лазеры, переменное магнитное поле.

Для этих же целей применяются различные лекарственные вещества: лидаза, хлористый литий, уксуснокислый натрий, трилон Б, калий йодид.

Но не все предложенные методы локального ослабления костной ткани удовлетворяют специалистов в полном объеме. У некоторых пациентов выбор физиопроцедур ограничен в связи с индивидуальной непереносимостью, либо в связи с наличием в полости рта несъемных металлических зубных протезов. И не все пациенты переносят те или иные лекарственные вещества. Поэтому ведётся постоянный поиск новых методов локального воздействия на уровень минеральной насыщенности, плотность и пластичность костной ткани.

В последнее время в лечебную практику стал активно внедряться низкочастотный ультразвук, который характеризуется высокой биологической активностью и простотой применения. Он оказывает комплексное биологическое воздействие: вызывает микромассаж клеточных структур, тепловой эффект, химические изменения [3].

Ультразвук, стимулируя внутриклеточный биосинтез и регенераторные процессы, вызывает расширение кровеносных сосудов и увеличение регионарного кровотока в 2–3 раза, инициирует благоприятные изменения в микроциркуляторном русле. Одним из специфических свойств ультразвука является «разволокняющее» действие, которое приводит к размягчению сформировавшейся рубцовой ткани вследствие расщепления пучков коллагеновых волокон на отдельные фибриллы, их отделения от аморфного цементирующего вещества соединительной ткани [10, 11, 12, 13, 14].

Так же низкочастотный ультразвук повышает проницаемость клеточных мембран и улучшает проникновение лекарственных веществ [10]. С. В. Ивашенко, А. А. Остапович проводили низкочастотный импульсный ультрафонофорез 15%-ной мази аскорбиновой кислоты на костную ткань. Аскорбиновая кислота (Acidum ascorbinicum, Vitaminum C) представляет собой белый кристаллический порошок кислого вкуса. Легко растворим в воде (1:3,5), медленно растворим в спирте. Играет важную роль в жизнедеятельности организма. Благодаря наличию в молекуле диенольной группы (-СОН=СОН-) она обладает сильно выраженными восстановительными, антиоксидантными свойствами. Витамин С нейтрализует супероксид-анион радикал до перекиси водорода, регулирует транспорт водорода во многих биохимических реакциях, улучшает синтез коллагена, и проколлагена, ускоряет регенерацию тканей [8].

Цель настоящей работы – сравнить морфологические изменения, прочностные показатели и минеральную насыщенность костной ткани после воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком 60 кГц, низкочастотным модулированным ультразвуком 60 кГц и низкочастотным импульсным ультрафонофорезом 15%-ной мази аскорбиновой кислоты для выбора наиболее оптимального метода лечения.

Материалы и методы

Эксперимент проведен на 29 кроликах породы шиншилла, самцах одинакового веса и возраста, 24 опытных и 5 контрольных. Опытных животных разделили на 3 группы. В первой группе проводили озвучивание костной ткани и слизистой альвеолярного отростка нижней челюсти в области центральных резцов импульсным ультразвуком частотой 60 кГц по 10 процедур. Параметры воздействия: режим – импульсный, частота – 60 кГц, интенсивность – 0,4 Вт/см², период воздействие/пауза – 5/5 секунд, длительность процедуры – до 10 минут. Во второй группе проводили озвучивание костной ткани и слизистой альвеолярного отростка нижней челюсти в той же области модулированным ультразвуком частотой 60 кГц также 10 процедур. Параметры воздействия: режим – модулированный, частота – 60 кГц, интенсивность – 0,2–0,6 Вт/см², период изменения интенсивности – 5 секунд, длительность процедуры – до 10 минут. В первой и второй группах в качестве контактной среды излучателя со слизистой использовали вазелиновое масло. В третьей группе на костную ткань и слизистую альвеолярного отростка нижней челюсти опытных животных воздействовали низкочастотным импульсным ультрафонофорезом 15%-ной мази аскорбиновой кислоты. Параметры воздействия: режим – импульсный, частота – 60 кГц, интенсивность – 0,4 Вт/см², период воздействие/пауза – 5/5 секунд, длительность процедуры – до 10 минут. Контактной средой излучателя со слизистой служила 15%-ная мазь аскорбиновой кислоты. Для проведения процедур использовали аппарат для низкочастотной ультразвуковой терапии «АНУЗТ-1-100» ТУЛЬПАН, разработанный на кафедре ортопедической стоматологии БГМУ совместно с Институтом прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко БГУ и Институтом физиологии НАН РБ.

Животные находились на стандартном рационе вивария. После окончания эксперимента животных выводили из опыта под наркозом.

Для гистологического исследования брали озвученный фрагмент нижней челюсти опытных и контрольных животных с наружной и внутренней компактной пластинкой и губчатым веществом, фиксировали в 10%-ном растворе нейтрального формалина. В течение 72 часов декальцинировали в 7%-ном растворе азотной кислоты. Материал проводили через спирты восходящей концентрации (30–96°) и заливали в целлоидин. Срезы приготавливали в достаточном количестве на ультратоме LKB-III, окрашивали гематоксилином и эозином. Изучали препараты на световом микроскопе Leica DMD 110 с выводом изображения на монитор персонального компьютера.

Для изучения прочностных показателей отделяли фрагмент костной ткани с компактной пластинкой и губчатым веществом размером 5×8 мм. Испытание образцов костной ткани на сжатие проводили в Испытательном Цент-

ре ГНУ «Институт порошковой металлургии» на машине Instron-1195. Регистрировали значения максимальной нагрузки (F_{max}) перед разрушением образца. Разрушающее напряжение при сжатии (σ_{cp}) вычисляли в МПа по формуле:

$$\sigma_{cp} = \frac{F}{A_0},$$

где F – нагрузка перед разрушением, A_0 – площадь минимального начального сечения образца, мм².

Определение элементного состава проводили на сканирующем электронном микроскопе «CamScan 4» с энергодисперсионным микрорентгеноспектральным анализатором «INCA 350» фирмы «Oxford Instruments» (Англия).

Точность полученных количественных данных, вносимых в таблицы, определялись точностью измерений тех методов или приборов с которых были сняты показания.

Результаты исследования обработаны с помощью компьютерной программы Statistica 6.0 с вычислением медианы, средней арифметической, верхнего и нижнего квартилей, критериев достоверности Манна-Уитни (U), вероятности достоверности сравниваемых величин (p). Различия рассматривались как достоверные при $p < 0,05$ [7].

Результаты и обсуждения

Гистологические исследования

После 10 процедур воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком 60 кГц надкостница неравномерно истончена, определялись значительные площади замещения кости волокнистой соединительной тканью с большими участками коллагеновых волокон. Выявлялось значительное количество остеокластов с наличием многоядерных элементов. Отмечалась резорбция, узурирование костной ткани, оксифильная гомогенность межучточного вещества, большое количество линий склеивания, образование остеоида. Определялись истонченные костные балочки губчатой части и крупные межбалочные полости, заполненные полнокровным жировым костным мозгом (рис. 1).

После 10 процедур воздействия низкочастотным модулированным ультразвуком 60 кГц морфологическая картина костной ткани сходна с предыдущим опытом, хотя

изменения в костной ткани выражены слабее. В меньшей степени выражены гиперемия, пролиферация адвенции сосудов питательных каналов, резорбция костной ткани. Эти процессы сопровождались истончением костных балочек и увеличением межкостных лакун, образованием остеоида. В губчатом веществе наблюдалось развитие остеобластических элементов с образованием остеоида. Эти процессы сопровождались разрушением и замещением костных балочек с образованием межкостных лакун, заполненных жировым вакуолизованным костным мозгом и истончением костных балочек с отдельными тонкими линиями склеивания. Выявлялись небольшие, по сравнению с предыдущим опытом, участки замещения костной ткани волокнистой соединительнотканной структурой (рис. 2).

После 10 процедур импульсного ультрафонофореза 15%-ной мази аскорбиновой кислоты морфологическая картина костной ткани характеризуется более выраженными изменениями, по сравнению с предыдущими опытами. Надкостница с выраженным разволокнением, с умеренной базофилией её базального слоя. В пограничной зоне костной ткани наблюдается большое количество остеокластических элементов и выраженные признаки резорбции. Линии склеивания различной протяженности и направленности, слабобазофильные. Питательные каналы расширены, стенки сосудов неравномерно утолщены, с пролиферацией клеток адвенции и признаками резорбции в пограничной костной ткани. Просветы сосудов расширены и полнокровны. В некоторых из них стазы с плотной упаковкой форменных элементов крови (сладж-феномен). Участки замещения костной ткани волокнистой соединительной тканью превосходят по площади аналогичные участки в предыдущих опытах. Межбалочные лакуны расширены, сливаются и образуют крупные пазухи. Балочки с выраженным истончением и прерывистостью. В эндостальной выстилке преобладают остеокласты. Остеобласты расположены в виде отдельных островковых скоплений и единичных клеток, равномерно по всей площади. Остеоциты различны по величине, неравномерно расположены в гомогенном эозинофильном веществе (рис. 3).

Из приведенного выше описания видно, что воздействие импульсным, модулированным ультразвуком частотой 60 кГц и низкочастотным импульсным ультрафонофорезом

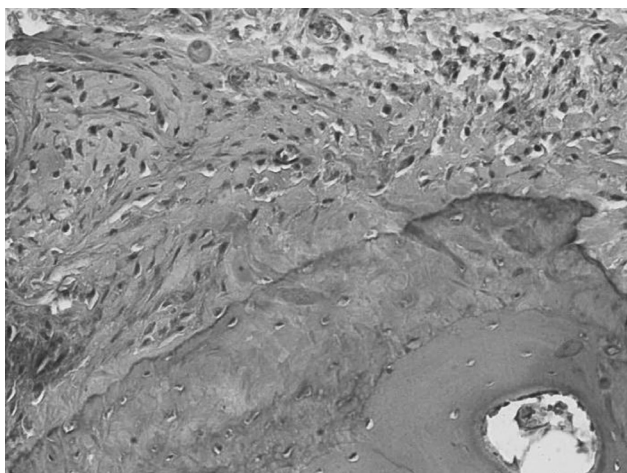


Рис. 1. Костная ткань после 10 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 60 кГц. Окраска гематоксилином и эозином. X- 20

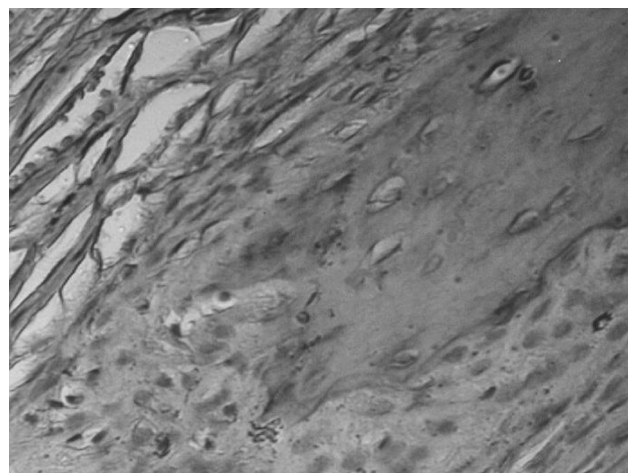


Рис. 2. Костная ткань после 10 процедур воздействия модулированным ультразвуком частотой 60 кГц. Окраска гематоксилином и эозином. X-20

15%-ной мази аскорбиновой кислоты вызывает в различной степени идентичные выраженные морфологические изменения костной ткани. Низкочастотный импульсный ультразвук 60 кГц стимулировал описанные выше изменения и замещение костной ткани волокнистой соединительной тканью. Эти процессы после воздействия низкочастотным модулированным ультразвуком 60 кГц проявлялись в меньшей степени. Определялись меньшие площади замещения костной ткани волокнистой соединительной тканью и менее выраженные резорбтивные процессы, характеризующиеся истончением костных балочек и расширением межбалочных лакун. Эти морфологические признаки указывают на выраженную перестройку костной ткани в результате деминерализации.

Гистологические изменения после 10 процедур воздействия низкочастотным импульсным ультрафонофорезом 15%-ной мази аскорбиновой кислоты отличались более выраженными изменениями структурных элементов костной ткани. При этом, как и после воздействия импульсным низкочастотным ультразвуком 60 кГц и модулированным низкочастотным ультразвуком 60 кГц выявляется большое количество неизменённых структурных элементов, сохранивших жизнеспособность, что в последующем является гарантией репаративного восстановления костной ткани.

Исследование прочностных показателей костной ткани

Как видно из данных, представленных в таблице 1 максимальная нагрузка, предшествующая разрушению контрольных образцов костной ткани составила 289,75 Н. После 10 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 60 кГц максимальная нагрузка, предшеству-

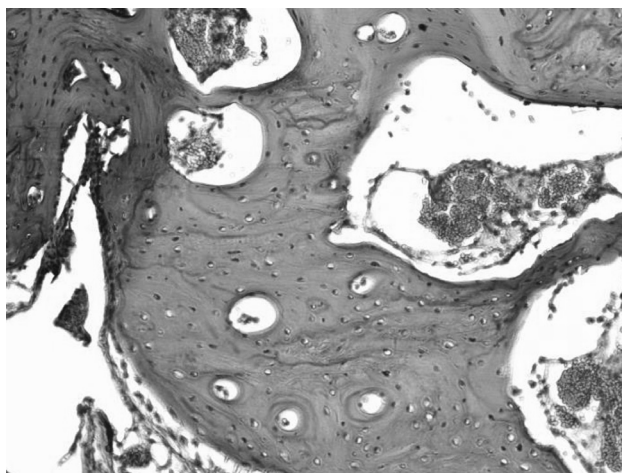


Рис. 3. Костная ткань после 10 процедур воздействия импульсным низкочастотным ультрафонофорезом 15%-ной мази аскорбиновой кислоты. Окраска гематоксилином и эозином. X-10

ющая разрушению, статистически достоверно уменьшилась в 1,95 раза и составила 148,29 Н. После 10 процедур воздействия модулированным ультразвуком 60 кГц этот показатель статистически достоверно уменьшился в 1,82 раза и составил 159,2 Н. 10 процедур воздействия импульсным ультрафонофорезом 15%-ной мази аскорбиновой кислоты приводит к наибольшему, по сравнению с предыдущими опытами, уменьшению разрушающей нагрузки. Она составила 132,83 Н, что статистически достоверно меньше контрольного значения в 2,18 раза.

Таблица 1. Показатели максимальной нагрузки (F_{max}) и напряжения (σ_{cp}) контрольных и опытных образцов костной ткани после 10 процедур воздействия низкочастотным ультразвуком и низкочастотным импульсным ультрафонофорезом 15%-ной аскорбиновой кислоты

Группа	Статистические показатели	Импульсный ультразвук 60 кГц		Модулированный ультразвук 60 кГц		Низкочастотный импульсный ультрафонофорез 15%-ной мази аскорбиновой кислоты	
		F_{max} , Н	σ_{cp} , Мпа	F_{max} , Н	σ_{cp} , Мпа	F_{max} , Н	σ_{cp} , Мпа
10 процедур	Медиана	149,13*	4,12*	161,32*	4,01*	131,19*	4,05*
	Квартили	(141,48; 154,27)	(3,94; 4,29)	(154,43; 166,64)	(3,95; 4,52)	(129,97; 133,19)	(3,91; 4,24)
	Среднее	148,29	4,12	159,2	4,31	132,83	4,03
Контроль	Медиана	291,63	9,24	291,63	9,24	291,63	9,24
	Квартили	(284,41; 293,21)	(9,05; 9,31)	(284,41; 293,21)	(9,05; 9,31)	(284,41; 293,21)	(9,05; 9,31)
	Среднее	289,75	9,20	289,75	9,20	289,75	9,20

* Статистически достоверные различия при сравнении с группой «контроль» ($p < 0,05$).

Напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, предшествующей разрушению, в образцах костной ткани контрольной группы составило 9,2 Мпа. После 10 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 60 кГц напряжение статистически достоверно уменьшилось в 2,23 раза и составило 4,12 Мпа. После 10 процедур воздействия модулированным ультразвуком частотой 60 кГц этот показатель статистически достоверно уменьшился в 2,13 раза и составил 4,31 Мпа. После 10 процедур воздействия низкочастотным импульсным ультрафонофорезом 15%-ной мази аскорбиновой кислоты напряжение соответствующее максимальной нагрузке составило 4,03 Мпа, что статистически достоверно меньше контрольного значения в 2,28 раза.

Исследование минеральной насыщенности костной ткани

Из данных, представленных в таблице 2 видно, что содержание кальция в компактной пластинке костной ткани

контрольной группы животных составило 20,3 весовых%. После 10 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 60 кГц содержание кальция в компактной пластинке костной ткани статистически достоверно снизилось в 1,73 раза и составило 11,73 весовых%. 10 процедур воздействия модулированным ультразвуком частотой 60 кГц привело к менее выраженному, по сравнению с предыдущим опытом, снижению содержания кальция в компактной пластинке костной ткани до 12,32 весовых%, что статистически достоверно меньше контрольного значения в 1,65 раза. Наибольшего, по сравнению с предыдущими опытами, уменьшения содержания кальция в компактной пластинке удалось достичь после 10 процедур импульсного ультрафонофореза 15%-ной мази аскорбиновой кислоты. Так содержание кальция в компактной пластинке костной ткани этой группы составило 9,41 весовых%, что статистически достоверно меньше контрольного значения в 2,16 раза.

Таблица 2. Содержание (в весовых%) кальция и фосфора в компактной пластинке костной ткани после 10 процедур воздействия низкочастотным ультразвуком и низкочастотным импульсным ультрафонофорезом 15%-ной аскорбиновой кислоты

Группа	Статистические Показатели	Импульсный ультразвук 60 кГц		Модулированный ультразвук 60 кГц		Низкочастотный импульсный ультрафонофорез 15%-ной мази аскорбиновой кислоты	
		Ca	P	Ca	P	Ca	P
10 процедур	Медиана	11,67*	6,75*	12,32*	6,82*	9,45*	5,97*
	Квартили	(11,61; 11,95)	(6,68; 6,97)	(12,11; 12,49)	(6,75; 6,87)	(9,1; 10,03)	(5,59; 6,98)
	Среднее	11,73	6,70	12,32	6,78	9,41	6,03
Контроль	Медиана	20,37	11,25	20,37	11,25	20,37	11,25
	Квартили	(19,67; 20,81)	(11,21; 11,93)	(19,67; 20,81)	(11,21; 11,93)	(19,67; 20,81)	(11,21; 11,93)
	Среднее	20,30	11,45	20,30	11,45	20,30	11,45

* Статистически достоверные различия при сравнении с группой «контроль» (p < 0,05).

Содержание фосфора в компактной пластинке костной ткани контрольной группы животных составило 11,45 весовых%. После 10 процедур воздействия импульсным ультразвуком 60 кГц этот показатель статистически достоверно уменьшился в 1,7 раза, и составил 6,7 весовых%. После 10 процедур воздействия модулированным ультразвуком 60 кГц содержание фосфора в компактной пластинке статистически достоверно уменьшилось в 1,6 раза и составило 6,78 весовых%. Воздействие низкочастотным импульсным ультрафонофорезом 15%-ной мази аскорбиновой кислоты привело к наибольшему, по сравнению с предыдущими опытами, снижению содержания фосфора в компактной пластинке. Этот показатель составил 5,46 весовых%, что статистически достоверно меньше контрольного значения в 1,9 раза.

Из данных, представленных в таблице 3 видно, что среднее содержание кальция в губчатой части контрольных образцов костной ткани составило 15,1 весовых%.

После 10 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 60 кГц содержание кальция в губчатой части костной ткани статистически достоверно снизилось в 1,72 раза и составило 8,78 весовых%. Десять процедур воздействия модулированным ультразвуком частотой 60 кГц меньше повлияли на этот показатель, по сравнению с предыдущей группой. Так, уровень кальция статистически достоверно уменьшился в 1,67 раза и составил 9,04 весовых%. Десять процедур воздействия низкочастотным импульсным ультрафонофорезом 15%-ной мази аскорбиновой кислоты снижало содержание кальция в губчатой части максимально, по сравнению с предыдущими опытами. Так этот показатель составил 6,97 весовых%, что статистически достоверно меньше контрольного значения в 2,17 раза.

Таблица 3. Содержание (в весовых%) кальция и фосфора в губчатой части костной ткани после 10 процедур воздействия низкочастотным ультразвуком и низкочастотным импульсным ультрафонофорезом 15%-ной аскорбиновой кислоты

Группа	Статистические показатели	Импульсный ультразвук 60 кГц		Модулированный ультразвук 60 кГц		Низкочастотный импульсный ультрафонофорез 15%-ной мази аскорбиновой кислоты	
		Ca	P	Ca	P	Ca	P
10 процедур	Медиана	8,92*	5,61*	9,0*	6,57*	6,93*	5,41*
	Квартили	(8,04; 9,17)	(5,25; 6,38)	(8,92; 9,21)	(6,32; 6,57)	(6,71; 7,15)	(4,92; 5,99)
	Среднее	8,78	5,81	9,04	6,48	6,97	5,46
Контроль	Медиана	15,35	10,35	15,35	10,35	15,35	10,35
	Квартили	(14,69; 15,38)	(10,17; 11,14)	(14,69; 15,38)	(10,17; 11,14)	(14,69; 15,38)	(10,17; 11,14)
	Среднее	15,10	10,63	15,10	10,63	15,10	10,63

* Статистически достоверные различия при сравнении с группой «контроль» (p < 0,05).

Среднее содержание фосфора в губчатой части контрольных образцов костной ткани составило 10,63 весовых%. После 10 процедур воздействия импульсным ультразвуком 60 кГц этот показатель статистически достоверно уменьшился в 1,83 раза и составил 5,81 весовых%. 10 процедур воздействия модулированным ультразвуком 60 кГц привели к снижению содержания фосфора в губчатой части костной ткани до 6,48 весовых%, что статистически достоверно меньше контрольного значения в 1,64 раза. Десять процедур импульсного ультрафонофореза 15%-ной мази аскорбиновой кислоты снизило содержание фосфора в губчатой части костной ткани до 5,46 весовых%, что статистически меньше контрольного значения в 1,94 раза.

Проанализировав полученные данные можно сделать следующие **выводы:**

1. Все применявшиеся воздействия вызывали изменение морфологического строения, снижение прочностных показателей и уменьшение содержания кальция и фосфора в костной ткани и не вызывали изменений, оказывающих отрицательное влияние на жизнеспособность костной ткани. Интенсивность изменений зависела от вида применявшейся процедуры.

2. Наиболее выраженные морфологические изменения в костной ткани наблюдались после воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком 60 кГц и низкочастотным импульсным ультрафонофорезом 15%-ной мази аскорбиновой кислоты.

3. Для повышения пластичности костной ткани при ортодонтическом лечении взрослых пациентов с зубочелюстными аномалиями и деформациями в преактивном периоде рекомендуется применять воздействие низкочастотным импульсным ультразвуком 60 кГц и низкочастотным импульсным ультрафонофорезом 15%-ной мази аскорбиновой кислоты.

Литература

1. Гунько, И. И. Клинико-экспериментальное обоснование применения физиотерапевтических методов в комплексном лечении зубочелюстных аномалий сформированного прикуса : автореф. дис. ... д-ра мед. наук : 14.00.21 / И. И. Гунько ; Белорус. гос. мед. ун-т. – Минск, 2004. – 42 с.
2. Гунько, Т. И. Результаты комплексного лечения аномалий зубочелюстной системы с применением магнитофореза калия йодида / Т. И. Гунько // Стоматол. журн. – 2010. – Т. 11, № 3. – С. 213–214.

3. *Ивашенко, С. В.* Лечение зубочелюстных аномалий и деформаций в сформированном прикусе с применением физических и физико-фармакологических методов (экспериментально-клиническое исследование): Автореф. дис. док.мед. наук. – Минск, 2011. – 42 с.

4. *Ивашенко, С. В.* Содержание основных элементов и прочностные показатели костной ткани после воздействия модулированным низкочастотным ультразвуком / С. В. Ивашенко, А. А. Остапович, В. А. Чекан // Медицинский журнал. – 2012. – № 2. – С. 55–58.

5. *Ивашенко, С. В.* Физические свойства и элементный состав костной ткани после воздействия импульсным низкочастотным ультразвуком / С. В. Ивашенко, А. А. Остапович, В. А. Чекан // Современная стоматология. – 2012. – № 1. – С. 70–73.

6. *Наумович, С. А.* Повышение эффективности комплексного (ортопедо-хирургического) лечения аномалий и деформаций зубочелюстной системы в сформированном прикусе: Автореф. дис. д-ра мед. наук: 14.00.21 / Бел. гос. мед. унт. – Минск, 2001. – 42 с.

7. *Реброва, О. Ю.* Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA: учеб. пособие / О. Ю. Реброва – Москва: Медиа Сфера, 2002. – 306 с.

8. *Тимен, Л. Я.* / Аскорбиновая кислота и глюкоза в коррекции процессов свободнорадикального окисления экспериментальное исследование // Тимен Л. Я., Шерцингер А. Г., Чичук Т. В., Варданян Э. С., Трубицына И. Е., Чикунова Б. З., Жигалова С. Б., Мусин Р. А., Ильина С. Е., Ольховский П. А., Сгоногин С. В., Кле-

банов Г. И. – Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2005. – № 5. – С. 74–78.

9. *Токаревич, И. В.* Диагностика и планирование лечения сагиттальных аномалий прикуса с применением автоматизированных систем : автореф. дис. д-ра мед. наук : 14.00.21 / И. В. Токаревич ; Белорус. гос. мед. ун-т. – Минск , 2005. –37 с.

10. *Улащик, В. С.* Новые данные о физиологическом и лечебном действии низкочастотного ультразвука / Улащик В. С. // Физиотерапевт. – 2012. – № 8 . – С. 3–6.

11. *Хилл, К.* Ультразвук в медицине. Физические основы применения / К. Хилл, Дж. Бэмбера, Г.терХаар.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 544 с.

12. *Effect of low-intensity ultrasound stimulation on consolidation of the regenerate zone in a rat model of distraction osteogenesis / С. P. Ebersson [et al.] // J. Pediatr. Orthop. – 2003. – Vol. 23, № 1. – P. 46–51.*

13. *Overview of non-invasive factors (low level laser and low intensity pulsed ultrasound) accelerating tooth movement during orthodontic treatment. Lasers Med Sci. 2014 Jan; 29 (1): 367–72. doi: 10.1007/s10103-012-1199-8. Jawad MM¹, Husein A, Alam MK, Hassan R, Shaari R.*

14. *Stimulation of bone repair with ultrasound: a review of the possible mechanic effects. Padilla F, Puts R, Vico L, Raum K. Ultrasonics. 2014 Jul; 54(5): 1125–45.*