

С.В. Ивашенко, А.А. Остапович, С.Д. Беззубик

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА КОСТНОЙ ТКАНИ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНЫМ НИЗКОЧАСТОТНЫМ УЛЬТРАЗВУКОМ

УО «Белорусский государственный медицинский университет»,
ГУ РНПЦ неврологии и нейрохирургии МЗ РБ

Изучены изменения в костной ткани челюсти опытных животных после воздействия импульсным низкочастотным ультразвуком частотой 22, 44, 60 кГц.

Ключевые слова: импульсный низкочастотный ультразвук, костная ткань, гистология, ортодонтия, перемещение зубов.

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

MORPHOLOGICAL STRUCTURE OF BONE AFTER EXPOSURE PULSED LOW FREQUENCY ULTRASOUND

After exposure of pulsed low frequency ultrasound of 22, 44, 60 kHz were studied the changes in jaw bone of experimental animals.

Key words: pulsed low frequency ultrasound, bone tissue, histology, orthodontic, teeth movement.

Одной из важных проблем современной стоматологии является лечение пациентов с зубочелюстными аномалиями и деформациями в сформированном прикусе. Не устранённые в детском возрасте аномалии у взрослых проявляются в более тяжёлой форме. Они вызывают эстетические и функциональные нарушения челюстно-лицевой области, способствуют заболеваниям периодонта, являются одним из пусковых факторов заболеваний височно-нижнечелюстного сустава, влияют на психику взрослого человека. Вторичные деформации зубных рядов усложняют или препятствуют изготовлению зубных протезов [2, 4].

Для лечения зубочелюстных аномалий и деформаций в сформированном прикусе в настоящее время широко применяют ортодонтический метод. Как известно, ортодонтическое лечение основывается на том принципе, что при оказании длительного давления на зуб происходит его перемещение. Кость в области перемещаемого зуба избирательно разрушается в одних участках и отстраивается в других. Скорость перестройки костной ткани зависит от выраженности обменных процессов в организме, степени минерализации и пластичности кости. В детском и юношеском возрасте костная ткань достаточно пластичная. Это обеспечивает высокую эффективность ортодонтического лечения. С возрастом в организме ослабевают обменные процессы, в кости увеличивается содержание кальция и фосфора из-за чего она становится более плотной, менее пластичной. Поэтому у взрослых пациентов ортодонтическое лечение длительное и не всегда приводит к ожидаемым результатам. Часто наблюдаются рецидивы [1, 6, 7, 11, 13].

В связи с этим в сформированном прикусе целесообразно проводить комплексное ортодонтическое лечение, при котором локально ослабляется костная ткань и повышается её пластичность. Хороших результатов

можно добиться, применяя физические методы воздействия на уровень минеральной насыщенности костной ткани. К таким методам относятся: вибрационное воздействие, ультразвуковое высокочастотное и низкочастотное воздействие, индуктотермия, лазеры, переменное магнитное поле.

На наш взгляд эффективно деминерализовать костную ткань и повысить её эластичность можно с помощью ультразвукового воздействия.

Сегодня известно, что ультразвук вызывает многообразные тканевые и клеточные реакции в области озвучивания. Ультразвуковые волны нормализуют кровообращение и лимфообращение, улучшают обмен веществ, оказывают нормализующее влияние на все системы организма, обладают обезболивающим, спазмолитическим, противовоспалительным и десенсибилизирующим действиями [8].

Вероятно, главным эффектом, возникающим в кости при ультразвуковом воздействии является нагрев надкостницы. Из-за относительно высокой теплопроводности кости (трубчатая кость – 1,44 см²/с, кровь – 1,2 см²/с), эффект нагревания хорошо распространяется и в губчатую часть костной ткани [9].

Barth и Wachsmann рассмотрели влияние ультразвука на кости собак разного возраста как при стационарном положении преобразователя, так и при его перемещении. Оказалось, что в молодых костях возникло утолщение, приводящее к потере надкостницы. Интенсивность воздействия была в пределах 0,5 – 1 Вт/см² [10].

В последние годы в лечебную практику активно внедряется низкочастотный ультразвук (от 16 до 200 кГц), отличающийся более высокой биологической активностью и простотой применения по сравнению с высокочастотным ультразвуком. Установлено, что низкочастотный ультразвук глубоко проникает в ткани, обладает

более выраженным бактерицидным, противоотечным, разрыхляющим и деполимеризующим действиями, проявляет большую форетическую активность, оказывает более выраженный противовоспалительный эффект по сравнению с высокочастотным ультразвуком. Для низкочастотного ультразвука тело человека и его внутренние органы акустически «полупрозрачны», что дает возможность воздействовать на них через участки кожи, на которые они проецируются. Низкочастотным ультразвуком целесообразно озвучивать глубокорасположенные внутренние органы человека, а также суставы и кости опорно-двигательного аппарата [8].

Накоплен достаточный опыт клинического применения низкочастотного ультразвука. Известно, что воздействие на костную ткань непрерывным низкочастотным ультразвуком частотой 22 – 100 кГц позволяет уменьшить минерализацию компактной пластинки и губчатого вещества костной ткани. При этом снижаются прочностные показатели костной ткани, что позволяет сократить сроки активного периода ортодонтического лечения. По данным гистологических исследований низкочастотный непрерывный ультразвук стимулирует переход костной ткани в волокнистую соединительную, а остеоцитов – в фибробласты и фиброциты, остеобластическая функция преобразовывается в остеокластическую [2].

Воздействие на костную ткань импульсным ультразвуком низкой частоты также приводит к снижению содержания кальция и фосфора в компактной пластинке и губчатом веществе костной ткани [3]. Однако изменения костной ткани после воздействия импульсным ультразвуком низкой частоты изучены недостаточно.

Поэтому, целью исследования явилось изучение морфологической структуры костной ткани после воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком частотой 22, 44 и 60 кГц.

Материал и методы

Эксперимент проведен на 23 кроликах породы шиншилла, самцах одинакового веса и возраста, 18 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 22 кГц по 5, 10 и 15 процедур. Во второй группе проводили озвучивание костной ткани и слизистой альвеолярного отростка нижней челюсти в той же области импульсным ультразвуком частотой 44 кГц по 5, 10 и 15 процедур. В третьей группе на костную ткань и слизистую альвеолярного отростка нижней челюсти опытных животных воздействовали импульсным ультразвуком частотой 60 кГц также по 5, 10 и 15 процедур. Источником импульсного ультразвука был 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. В соответствии с инструкцией к аппарату настраивали следующие параметры ультразвукового воздействия: режим – импульсный, интенсивность – 0,4 Вт/см², период воздействия/пауза – 5/5 секунд, длительность процедуры – 8-10 минут.

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 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.

Результаты и обсуждение

В костной ткани контрольной группы животных наблюдаются сравнительно узкие межбалочные пространства, с клеточно-фиброзным костным мозгом, крупными остеобластами. Умеренная мозаичность и интенсивная окрашиваемость основного вещества нормальных и несколько утолщенных костных балочек. Отсутствие гиперемии.

После 5 процедур воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком 22 кГц принципиальная структура костной ткани сохранена, но окраска препаратов была неоднородной. Это указывает на различную степень восприимчивости костной ткани к гистологическим красителям. Срезы выглядели «пёстрыми». Участки более интенсивной базофилии неравномерно чередовались с очагами выраженной эозинофилии. В кортикальных пластинках и костных балочках многочисленные базофильные линии склеивания имели неравномерное поперечное сечение, распространялись в различных направлениях и вокруг гаверсовых каналов (Рис. 1). Всё это придавало костной ткани выраженную мозаичную структуру. Костные балочки частично были истончены, межбалочные лакуны расширены. В отдельных полях зрения выявлялись единичные очаги волокнистой структуры.

После 10 процедур воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком 22 кГц интенсивность изменений в костной ткани возрастала. На фоне усиления общей эозинофилии препаратов определялась резкая мозаичность. Значительно увеличилось количество линий склеивания, которые неравномерно распространялись в различных направлениях, имели неоднородную толщину. Отмечалась их выраженная базофилия, особенно в компактной части костной ткани (Рис. 2). Балочки губчатой костной ткани были с неравномерным истончением и базофилией, тонкими линиями склеивания. Межбалочные полости расширены, заполнены отёчным костным мозгом с выраженной гиперемией сосудов. В редких полях зрения выявлялись признаки эндоссального костеобразования. Надкостница уплотнена с интенсивной неравномерной базофилией, фиброзом и утолщением базального слоя, гиперемией мелких артерий, резким утолщением, склерозом стенок отдельных из них.

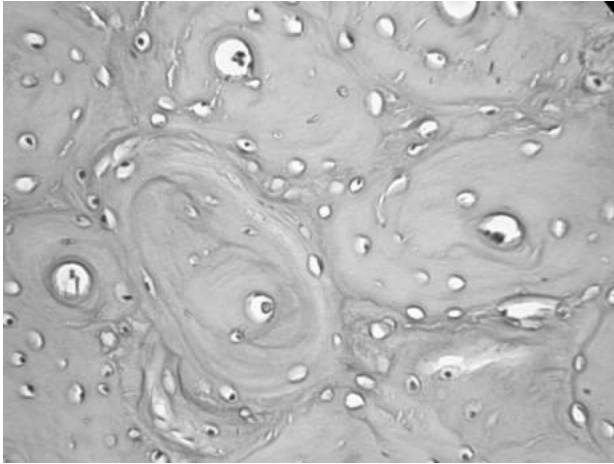


Рис. 1. Костная ткань после 5 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 22 кГц. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение 200.

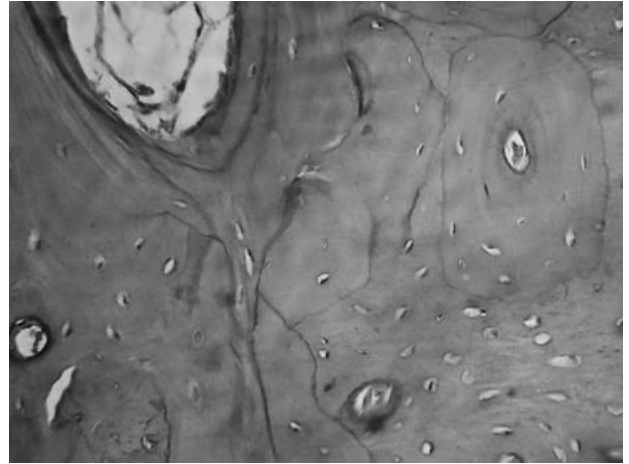


Рис. 2. Костная ткань после 10 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 22 кГц. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение 200.

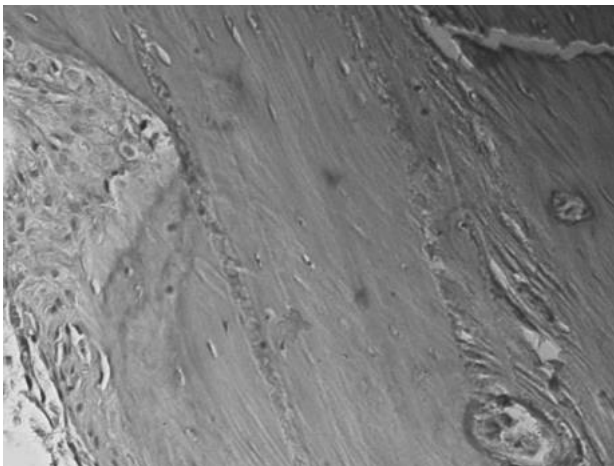


Рис. 3. Костная ткань после 15 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 22 кГц. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение 200.

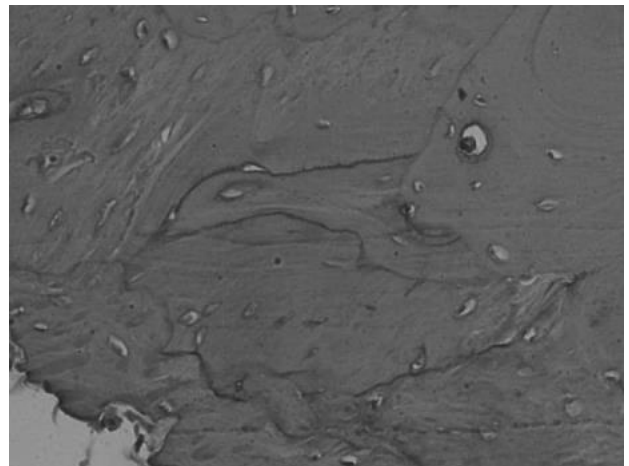


Рис. 4. Костная ткань после 5 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 44 кГц. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение 200.

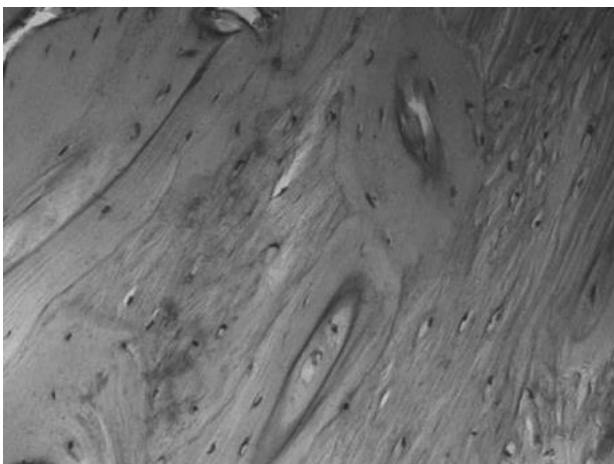


Рис. 5. Костная ткань после 10 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 44 кГц. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение 200.

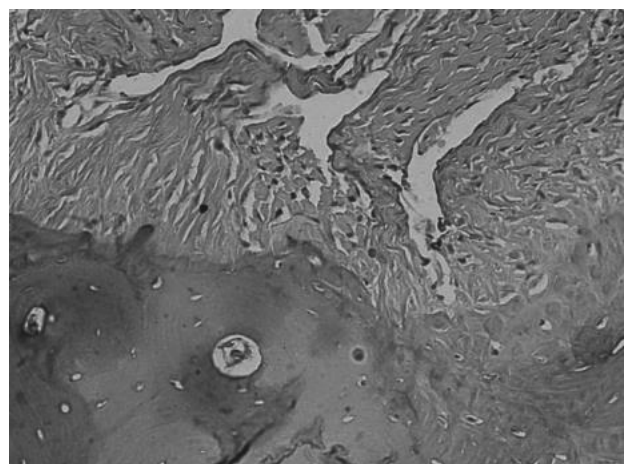


Рис. 6. Костная ткань после 15 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 44 кГц. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение 200.

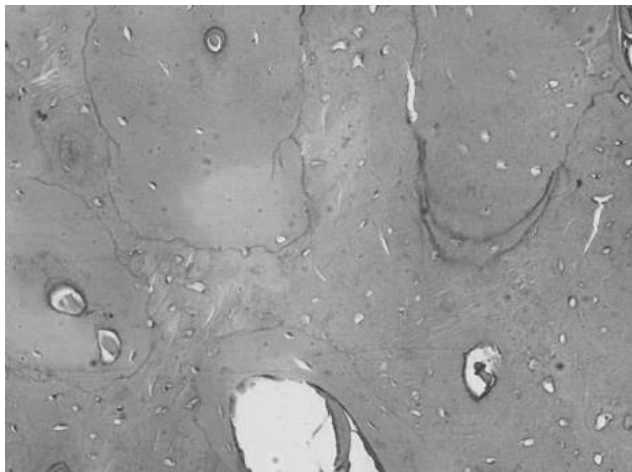


Рис. 7. Костная ткань после 5 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 60 кГц. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение 200.

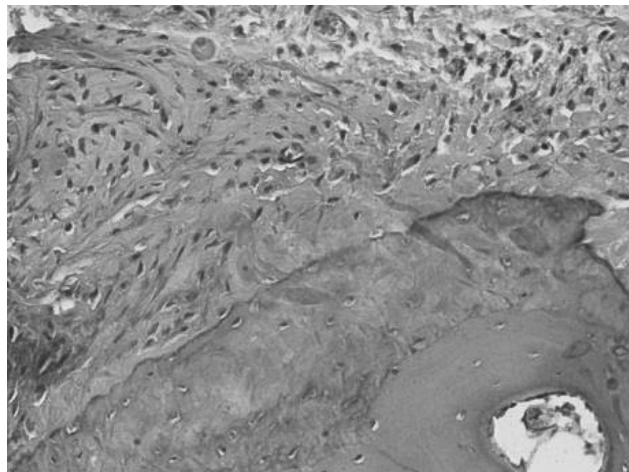


Рис. 8. Костная ткань после 10 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 60 кГц. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение 200.

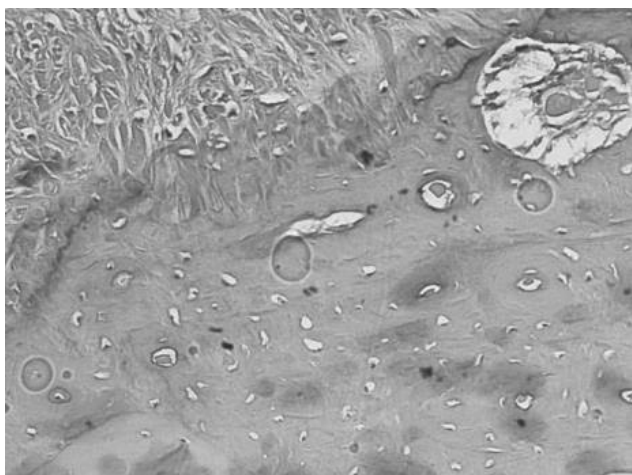


Рис. 9. Костная ткань после 15 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 60 кГц. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение 200.

После 15 процедур воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком 22 кГц наблюдается значительное возрастание признаков перестройки костной ткани. Компактный слой истончен, с более интенсивной базофилией, особенно по границе с базальной частью надкостницы, в которой отмечается усиление фиброза, резкая гиперемия сосудов. Отёчность остецитов с частичной атрофией и гибелью отдельных из них с образованием полостей. В губчатой кости наблюдалось истончение значительной части балочек, снижение их базофилии. Межбалочные пространства расширены, содержат отёчный жировой костный мозг с резко расширенными полнокровными сосудами. Повсеместно выявляются поля замещения костной ткани волокнистой соединительной тканью (Рис. 3).

После 5 процедур воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком 44 кГц наблюдалось истончение компактной пластинки костной ткани. Линии склеивания с выраженной базофилией, неравномерной толщины. Они очерчивают участки костной тка-

ни различной величины и формы, создавая резкую мозаичность (Рис. 4). Большинство остецитов резко набухшие и вакуолизированы. Балочки губчатой кости неоднородны по толщине: участки истончения чередуются с гипертрофией. Межбалочные лакуны заполнены жировым костным мозгом с признаками склероза. Повсеместно выявляются поля коллагеновых волокон.

После 10 процедур воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком 44 кГц выражена общая мозаичность костной ткани на фоне неравномерной эозинофилии. Выявляются признаки гомогенизации балочек губчатой кости и истончение компактного слоя с резким отёком остецитов. Повсеместно наблюдается расширение просветов сосудов и их полнокровие. Появляются поля замещения кости волокнистой соединительной тканью, очаги эндостального остеобразования, в межбалочных полостях жировой костный мозг с признаками склероза (Рис. 5).

После 15 процедур воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком 44 кГц изменения во всех тканях выражены более интенсивно. Волокнистая ткань во многих местах замещает значительную часть кости (Рис. 6). Появляются крупные толстостенные сосуды. Количество линий склеивания уменьшилось. Они очерчивали крупные поля, создавая неравномерную мозаичность. Отмечалось набухание, отёк остецитов, редификация костной ткани, истончение, атрофия костных балочек. Межбалочные полости расширены, заполнены склерозированным костным мозгом.

После 5 процедур воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком 60 кГц выражено полнокровие сосудов и отёчность тканей. Наблюдаются признаки пролиферации клеток базального слоя надкостницы. По ходу костных балочек и в питательных каналах появляются остеобластические элементы с образованием гомогенного эозинофильного пояса остеоида. В отдельных полях зрения выявляются

островки остеокластических элементов, признаки резорбции, rareфикации. Стенки сосудов утолщены за счёт пролиферации адвенции (рис. 7).

После 10 процедур воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком 60 кГц значительно увеличилась площадь замещения кости волокнистой соединительной тканью с большими участками коллагеновых волокон. Появились очаги скопления остеокластов с наличием многоядерных элементов с признаками резорбции, узурирования костной ткани. Выражены истончение костных балочек, оксифильная гомогенность межучасточного вещества, образование остеоида, крупных межбалочных полостей, которые заполнены жировым костным мозгом (Рис. 8).

После 15 процедур воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком 60 кГц крупные поля костной ткани замещены волокнистой соединительной тканью из полигональных и веретеновидных клеток. Выражено формирование коллагеновых пучков. В отдельных участках костная ткань замещена жировой тканью сливающейся с жировым костным мозгом межбалочных полостей. Последние содержат скопления клеток, которые резорбируют окружающее костное вещество. Выявлена гиперемия всех тканей. Выявляются участки пустых лакун (Рис. 9).

Применение импульсного ультразвука частотой 22 кГц стимулировало наименьшие изменения в костной ткани, иногда возникало замещение кости волокнистой соединительной тканью.

Импульсный ультразвук частотой 44 кГц вызывал не только деминерализацию, но и выраженный переход костной ткани в волокнистую соединительную, а остеоцитов — в фибробласты и фиброциты.

Наиболее выраженные изменения происходили в опытах с применением импульсного ультразвука частотой 60 кГц. В них, по сравнению с предыдущими опытами, сильнее выражены дистрофические изменения клеток, межучасточного вещества, процессы резорбции и замещение костной ткани волокнистой соединительной.

Выводы

1. Низкочастотный импульсный ультразвук частотой 22, 44 и 60 кГц способствует изменениям морфологической структуры костной ткани. Выраженность изменений в костной ткани после воздействия низкочастотным импульсным ультразвуком усиливается с увеличением количества процедур и частоты озвучивания. Как показали дальнейшие исследования, жизнеспособность костной ткани сохранялась.

2. Можно допустить, что наиболее эффективным для локального ослабления костной ткани является применение 10 процедур воздействия импульсным ультразвуком 60 кГц. Больше количество процедур вызывали и более выраженную rareфикацию, что может замедлить восстановление костной ткани.

Литература

1. Добровольская, О.В. Минеральная плотность костной ткани у пациентов старше 50 лет, перенес-

ших малотравматичные переломы // Добровольская О.В., Торопцова Н.В., Никитинская О.А., Демин Н.В., Беневоленская Л.И. – 2010. – №3(31). – С.18.

2. 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. – 42с.

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

4. 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. – 42с.

5. Щетинин, В.В. Комплексная рентгенодиагностика изменений скелета кисти у работающих в условиях ультразвука / Щетинин В.В., Дружинин В.Н., Черний А.Н., Ратобильский Г.В. // Вестник медицинского стоматологического института. – 2008. – №4. – С. 14 – 18.

6. Максикова, Т.М. Динамическое исследование минеральной плотности костной ткани у подростков / Максикова Т.М., Меньшиков А.М., Меньшикова Л.В. // Сибирский медицинский журнал. – 2007. – №7(т. 74) . – С. 93 – 95.

7. Проффит, У.Р. Современная ортодонтия. Перевод с английского / Проффит У.Р., под ред. Л.С. Персина. М., 2008.

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

9. Хилл, К. Ультразвук в медицине. Физические основы применения / К. Хилл, Дж. Бэмбера, Г.тер Хаар. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 544 с.

10. Barth, G. Biological effects of ultrasound therapy / Barth G., Wachsmann F. // Erlanger Ultraschall Tagung. – 1997. – pp. 162-205.

11. Ghita, A. Monitoring the mineralisation of bone nodules in vitro by space- and time-resolved Raman micro-spectroscopy / Ghita A, Pascut FC, Sottile V, Notingher I. // Analyst. – 2013. – Oct 24.

12. Ohman, C. Human bone hardness seems to depend on tissue type but not on anatomical site in the long bones of an old subject / Ohman C, Zwierzak I, Baleani M, Viceconti // M. Proc Inst Mech Eng H. – 2013. – Feb;227(2) . – P.200-6.

13. Wise, GE. Mechanisms of tooth eruption and orthodontic tooth movement / Wise GE, King GJ. // J Dent Res . – 2008 May . – № 87(5) . – p.414-34.

Поступила 10.12.2013 г.