

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНЫМ И МОДУЛИРОВАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОМ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ДЕНСИТОМЕТРИИ

Ивашенко С.В.<sup>1</sup>, Остапович А.А.<sup>1</sup>, Мартинович А.А.<sup>2</sup>  
 Белорусский государственный медицинский университет, Минск<sup>1</sup>  
 6-я клиническая больница, Минск<sup>2</sup>

Ivashenko S.V.<sup>1</sup>, Ostapovich A.A.<sup>1</sup>, Martinovich A.A.<sup>2</sup>  
 Belarusian State Medical University, Minsk<sup>1</sup>  
 6-th clinical hospital, Minsk<sup>2</sup>

Assessment of bone after exposure of pulsed and modulated low frequency ultrasound by facts of computer densitometer

**Резюме.** В статье описаны результаты компьютерного денситометрического исследования костной ткани нижней челюсти кроликов после воздействия импульсным и модулированным ультразвуком частотой 22, 44, 60 кГц.

**Ключевые слова:** импульсный низкочастотный ультразвук, модулированный низкочастотный ультразвук, денситометрия.

**Summary.** The article describes the results of densitometric studies of mandible bone tissue of rabbits after exposure pulsed and modulated ultrasound frequency 22, 44 and 60 kHz.

**Keywords:** pulsed low frequency ultrasound, modulated low frequency ultrasound, densitometry.

Большинство пациентов, обращающихся к врачу-стоматологу за специализированной помощью, нуждаются в ортопедическом лечении. При несвоевременном обращении часто развиваются деформации зубных рядов, которые затрудняют протезирование. По данным различных авторов, распространенность данной патологии в сформированном прикусе варьирует от 28,8 до 55% [3].

Устранить деформации зубных рядов можно ортопедическим, хирургическим и ортодонтическим методами. Ортодонтический метод заключается в сошлифовывании тканей зуба, зачастую с предварительным его депульпированием и последующим покрытием искусственной коронкой. При значительной атрофии костной ткани альвеолярного отростка в области выдвинувшихся зубов применяют хирургический метод. При интактной костной ткани и незначительной атрофии применяют ортодонтический метод лечения, основным принципом которого является создание повышенной функциональной нагрузки в периодонте сместившихся зубов и окружающей их костной ткани, что приводит к перестройке самой костной ткани. Метод позволяет сохранить зубы интактными, однако данное лечение длительное и не всегда приводит к ожидаемым результатам. Это связано с тем, что к моменту развития деформаций зубных рядов костная ткань становится более

плотной, а ее пластичность снижается [1, 2, 8]. Для сокращения активного периода ортодонтического лечения у взрослых необходимо предварительно ослабить костную ткань челюстей в области проекции корней перемещаемых зубов. В последнее время для этой цели применяют низкочастотный ультразвук, который может быть непрерывным, импульсным и модулированным. Установлено, что непрерывный ультразвук низкой частоты снижает плотность костной ткани и способствует ее локальной обратимой деминерализации [4, 9, 10]. Влияние импульсного и модулированного ультразвука на костную ткань изучено недостаточно.

**Цель исследования** – денситометрическая оценка плотности костной ткани нижней челюсти экспериментальных животных после воздействия импульсным и модулированным ультразвуком низкой частоты.

Наиболее точный и удобный метод определения плотности костной ткани – денситометрия с помощью компьютерной томографии (КТ). Данный метод позволяет определить оптическую плотность костной ткани; погрешность метода не превышает 1%.

Сканирование как диагностический метод предполагает регистрацию сигнала при перемещении источника излучения и/или воспринимающего устройства вдоль объекта исследования. При КТ сканирование осуществляется в резуль-

тате вращения источника излучения вокруг объекта. Ослабленное рентгеновское излучение регистрируется детекторами, которые преобразуют его в электрический сигнал, а затем кодируют в числовое значение коэффициента ослабления (attenuation volumes, AV). Вычисленные коэффициенты ослабления рентгеновского излучения выражаются в относительных величинах, так называемых единицах Хаунсфилда (Hounsfield units, HU). Единицы Хаунсфилда образуют шкалу, в которой за ноль принят коэффициент ослабления воды, а нижняя граница (-1000 HU) соответствует коэффициенту ослабления воздуха.

Верхняя граница шкалы переменна, так как соответствует коэффициенту ослабления кортикального слоя кости. Этот показатель определяется разрешающей способностью аппарата и может достигать +1000 – +40000 HU.

Недостаток данного метода в том, что сравнение денситометрических показателей может быть объективным только при одинаковых физико-технических условиях выполнения исследования [7, 4].

### Материалы и методы

Эксперимент проведен на 46 кроликах породы шиншилла: 36 опытных и 10 контрольных. Опытных животных разделили на 6 групп. Проводили озвучивание костной ткани и слизистой альвеолярного отростка нижней челюсти

Таблица 1

**Коэффициенты ослабления рентгеновского излучения костной ткани после воздействия импульсным ультразвуком низкой частоты (НУ,  $M \pm m$ )**

Группа	22 кГц		44 кГц		60 кГц	
	Наружная	Внутренняя	Наружная	Внутренняя	Наружная	Внутренняя
Компактная пластинка						
5 процедур	1732±9,0*	1709±5,5*	1697±5,2*	1676±2,8*	1671±4,1*	1662±4,1*
10 процедур	1640±5,7*	1618±5,1*	1626±3,1	1618±3,6*	1584±3,6*	1590±4,0*
15 процедур	1583±7,2*	1576±5,9*	1584±4,3*	1576±4,9	1571±3,9*	1563±4,3*
Контроль	1886±8,21	1828±6,78	1886±8,21	1828±6,78	1886±8,21	1828±6,78

Примечание: \*  $p < 0,05$  при сравнении с группой «контроль».

в области центральных резцов. В первой, второй и третьей группах воздействовали импульсным ультразвуком частотой 22, 44 и 60 кГц по 5, 10 и 15 процедур соответственно. Период воздействия/пауза составил 5/5 секунд, интенсивность озвучивания – 0,4 Вт/см<sup>2</sup>, длительность процедуры – до 10 минут.

В четвертой, пятой и шестой опытных группах применяли модулированный ультразвук частотой 22, 44 и 60 кГц, также по 5, 10 и 15 процедур. Процедура длилась 10 минут. За это время интенсивность воздействия модулированного ультразвука фиксированной частоты увеличивалась каждые 5 секунд на 0,2 Вт/см<sup>2</sup> (от 0,2 до 0,8 Вт/см<sup>2</sup>), после чего цикл смены интенсивности повторялся.

Для проведения эксперимента использовали разработанный нами аппарат низкочастотной ультразвуковой терапии «АНУЗТ-1-100» ТУЛЬПАН с плоской излучающей головкой диаметром 1 см. Процедуры проводили по стабильной методике. В качестве контактной среды использовали вазелиновое масло.

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

участок нижней челюсти в области резцов с наружной и внутренней компактной пластинкой, губчатым веществом и фиксировали в 10%-ном растворе формалина. Исследование образцов костной ткани проводили на многосрезовом спиральном компьютерном томографе «Somatom-Volum Zoom» (Сименс). Образцы укладывались на плоскую деку стола и сканировались по общепринятой методике. Реконструировали изображения образцов сканами толщиной 1–2 мм. Плотность структуры костной ткани изучалась при помощи одной из программных функций томографа – денситометрии.

Результаты исследования обработаны с помощью прикладных программ Statistica 6.0 и Microsoft Excel с вычислением средней арифметической величины ( $M$ ), стандартной ошибки ( $m$ ), критериев достоверности Стьюдента ( $t$ ), вероятности достоверности сравниваемых величин ( $P$ ). Различия рассматривались как достоверные при  $P < 0,05$  [5].

**Результаты и обсуждение**

Из полученных нами и представленных в табл. 1 данных следует, что после воздействия импульсным ультразвуком частотой 22 кГц оптическая плотность наружной компактной пластинки костной ткани статистически достоверно умень-

шилась по сравнению с контролем в 1,09 раза после 5 процедур озвучивания, в 1,15 раза – после 10 физиопроцедур и в 1,19 раз – после 15 процедур.

Оптическая плотность внутренней компактной пластинки статистически достоверно уменьшилась в 1,07 раза после 5 процедур, в 1,13 раза – после 10 процедур и в 1,15 раза – после 15 процедур озвучивания.

Аналогично статистически достоверно снизилась оптическая плотность костной ткани после воздействия импульсным ультразвуком частотой 44 кГц. Так, плотность наружной компактной пластинки уменьшилась в 1,11 раза после 5 процедур, в 1,16 раза – после 10 процедур и в 1,19 раза – после 15 процедур озвучивания.

Также статистически достоверно снизилась оптическая плотность внутренней компактной пластинки костной ткани: в 1,09 раза – после 5 процедур, в 1,13 раза после 10 процедур и в 1,16 раза – после 15 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 44 кГц.

При воздействии импульсным ультразвуком частотой 60 кГц оптическая плотность наружной компактной пластинки костной ткани статистически достоверно уменьшилась в 1,13 раза после 5 процедур озвучивания, в 1,19 раза – после 10 физиопроцедур и в 1,2 раза – после 15 процедур.

Оптическая плотность внутренней компактной пластинки статистически достоверно снизилась по сравнению с контролем в 1,1 раза после 5 процедур, в 1,15 – раза после 15 процедур и в 1,17 раза – после 15 процедур воздействия импульсным ультразвуком частотой 60 кГц.

Из представленных в табл. 2 данных следует, что после воздействия модулированным ультразвуком частотой 22 кГц оптическая плотность наружной компактной пластинки костной ткани статистически достоверно уменьшилась по сравнению с контролем в 1,07 раза после 5 процедур озвучивания, в 1,09 раза – после 10 физиопроцедур и в 1,15 раз – после 15 процедур.

Оптическая плотность внутренней компактной пластинки статистически достоверно уменьшилась в 1,05 раза после 5 процедур, в 1,07 раза – после 10 процедур и в 1,12 раза – после 15 процедур озвучивания модулированным ультразвуком частотой 22 кГц.

Аналогично статистически достоверно снижается оптическая плотность костной ткани после воздействия модулирован-

Таблица 2

**Коэффициенты ослабления рентгеновского излучения костной ткани после воздействия модулированным ультразвуком (НУ,  $M \pm m$ )**

Группа	22 кГц		44 кГц		60 кГц	
	Наружная	Внутренняя	Наружная	Внутренняя	Наружная	Внутренняя
Компактная пластинка						
5 процедур	1762±4,0*	1741±3,7*	1746±2,8*	1725±2,1	1730±2,9*	1741±3,16*
10 процедур	1730±3,0*	1709±3,5*	1683±2,4	1662±3,75*	1654±3,1	1633±2,4*
15 процедур	1640±3,2*	1633±4,1*	1612±4,0*	1604±4,1*	1598±4,7*	1576±3,1*
Контроль	1886±8,21	1828±6,78	1886±8,21	1828±6,78	1886±8,21	1828±6,78

Примечание: \*  $p < 0,05$  при сравнении с группой «контроль».

ным ультразвуком частотой 44 кГц. Так, оптическая плотность наружной компактной пластинки уменьшилась в 1,08 раза после 5 процедур, в 1,12 раза после 10 процедур и в 1,17 раза – после 15 процедур озвучивания.

Также статистически достоверно снижается оптическая плотность внутренней компактной пластинки: в 1,06 раза после 5 процедур, в 1,1 раза – после 10 процедур и в 1,14 раза после 15 процедур воздействия модулированным ультразвуком частотой 44 кГц.

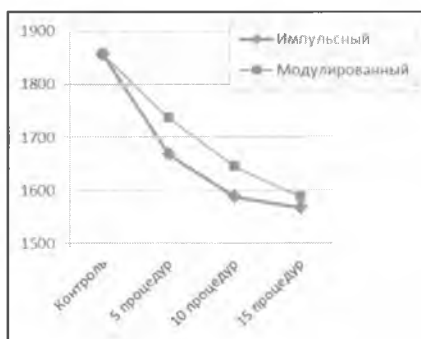
При воздействии модулированным ультразвуком частотой 60 кГц оптическая плотность наружной компактной пластинки костной ткани статистически достоверно уменьшилась по сравнению с контролем в 1,09 раза после 5 процедур озвучивания, в 1,14 раза – после 10 физиопроцедур и в 1,18 раза – после 15 процедур.

Оптическая плотность внутренней компактной пластинки статистически достоверно снизилась по сравнению с контролем в 1,05 раза после 5 процедур, в 1,12 раза – после 15 процедур и в 1,16 раза – после 15 процедур воздействия модулированным ультразвуком частотой 60 кГц.

Сравнивая воздействие импульсным и модулированным ультразвуком низкой частоты, можно отметить, что импульсный ультразвук частотой 22 кГц оказал большее влияние на оптическую плотность наружной компактной пластинки костной ткани. Она уменьшилась в 1,02 раза после 5 процедур, в 1,06 раза – после 10 процедур и в 1,03 раза – после 15 процедур озвучивания соответственно по сравнению с воздействием модулированным ультразвуком частотой 22 кГц.

Импульсный ультразвук частотой 44 кГц также оказал более выраженный эффект на оптическую плотность наружной компактной пластинки костной ткани по сравнению с воздействием модулированным ультразвуком частотой 44 кГц. Она снизилась в 1,03 раза после 5 процедур, в 1,04 раза – после 10 процедур и в 1,02 раза – после 15 процедур озвучивания соответственно.

Наиболее значимые отличия воздействия импульсного и модулированного ультразвуком низкой частоты наблюдались при озвучивании частотой 60 кГц. Применение импульсного ультразвуком частотой



Сравнительное влияние импульсного и модулированного ультразвука низкой частоты на оптическую плотность костной ткани при частоте 60 кГц (НУ, количество процедур)

60 кГц больше снизило оптическую плотность наружной компактной пластинки костной по сравнению с озвучиванием модулированным ультразвуком частотой 60 кГц. Она снизилась в 1,04 раза после 5 и 10 процедур воздействия и в 1,02 раза – после 15 процедур озвучивания соответственно.

Аналогично импульсный ультразвук низкой частоты оказал более выраженное воздействие на оптическую плотность внутренней компактной пластинки по сравнению с воздействием модулированным ультразвуком той же частоты.

Так, применение импульсного ультразвуком частотой 22 кГц больше снизило оптическую плотность внутренней пластинки костной ткани, чем воздействие модулированным ультразвуком частотой 22 кГц. Оптическая плотность отличается в 1,02 раза после 5 процедур, в 1,06 раза – после 10 процедур и в 1,04 раза – после 15 процедур озвучивания.

Модулированный ультразвук частотой 44 кГц меньше снизил оптическую плотность внутренней компактной пластинки костной ткани по сравнению с импульсным ультразвуком частотой 44 кГц в 1,03 раза после 5 и 10 процедур озвучивания и в 1,02 раза – после 15 физиопроцедур.

Сравнительное влияние импульсного и модулированного ультразвуком низкой частоты на оптическую плотность костной ткани при частоте 60 кГц представлено на рисунке.

Воздействие на костную ткань импульсным ультразвуком частотой 60 кГц больше снизило оптическую плотность внутренней компактной пластинки по

сравнению с применением модулированного ультразвуком частотой 60 кГц: в 1,05 раза после 5 процедур, в 1,03 раза – после 10 процедур и в 1,01 раза – после 15 процедур озвучивания.

Выводы:

1. Воздействие импульсным и модулированным ультразвуком низкой частоты снижает оптическую плотность костной ткани.

2. Плотность костной ткани уменьшается с увеличением количества процедур и частоты озвучивания импульсным и модулированным ультразвуком низкой частоты.

3. Импульсный ультразвук низкой частоты оказывает более выраженное влияние на денситометрические показатели костной ткани, чем модулированный ультразвук.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белодед, Л.В. Механизм развития вертикальных зубоальвеолярных деформаций и совершенствование методов их лечения с применением индуктотермоэлектрофореза трилона Б: автореф. дис. ...канд. мед. наук / Л.В.Белодед; Белорус. гос. мед. ун-т. – Минск, 2005. – 18 с.
2. Величко, Л.С. Подготовка больного к зубному протезированию учеб.-метод. пособие / Л.С.Величко, Л.В.Белодед. – Минск: БГМУ. – 2009. – 28 с.
3. Железный С.П. Распространенность и характеристика вторичных деформаций зубных рядов в разных возрастных группах / С.П.Железный, В.А.Иванов, И.А.Маслов, А.К.Базин // Институт стоматологии. – 2007. – №4. – С.52–53.
4. Иващенко С.В. Денситометрическая оценка состояния костной ткани после воздействия низкочастотным ультразвуком в эксперименте с помощью компьютерной томографии / С.В.Иващенко, Ю.В.Ваганов, А.Ю.Томашева // Мед. журн. – №3. – 2008. – С.90–92.
5. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA: учеб. пособие / О.Ю.Реброва. – М.: Медиа Сфера, 2002. – 306 с.
6. Тугарин В.А. Комплексное лечение пациентов с дистальной окклюзией, осложненной деформациями зубных рядов / В.А.Тугарин, Л.С.Персин // Ортодентинфо. – 2000. – №4. – С.17–26.
7. Щетин В.В. Изучение топографии оптической плотности костной ткани нижней челюсти методом компьютерно-томографической денситометрии / В.В.Щетин, Д.М.Гарафудинов, С.Л.Архаров // Рос. стом. журн. – 2000. – №4. – С.41–45.
8. Diagnostic ultrasound treatment increases the bone fracture-healing rate in an internally fixed rat femoral osteotomy model / N.Heybeli [et al.] // Ultrasound Med. – 2002. – Vol.21, N 12. – P.1357–1363.
9. Effect of low intensity ultrasounds on the growth of osteoblasts / S.H.Chen [et al.] // Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. – 2007. – Vol.1. – P.5834–5837.
10. Low-intensity pulsed ultrasound accelerates fracture healing by stimulation of recruitment of both local and circulating osteogenic progenitors / K.Kumagai [et al.] // Orthop. Res. – 2012. – Vol.13, N 2. – P.36–49.

Поступила 28.05.2012