

# Применение ультразвуковой денситометрии для оценки состояния костной ткани пародонта у лиц с физиологической окклюзией (экспериментально-клиническое исследование)

© Текучева С.В., Фокина А.А., Ермольев С.Н., Персин Л.С.

«Московский государственный медико-стоматологический университет», Москва, Россия

## Резюме:

**Цель** Совершенствования методов оценки состояния костной ткани челюстей на основе применения ультразвуковой теневой денситометрии.

**Материалы и методы.** В качестве метода исследования применялась новейшая разработка – велосимметрический ультразвуковой денситометр с оригинальным программным обеспечением, ультразвуковыми датчиками и электронным позиционером. Материалом экспериментального исследования послужили макропрепараты животного вида «Свинья домашняя», где выделялось губчатое и кортикальное вещество костной ткани, и оценивалась скорость прохождения ультразвука (СУЗ) через них. В клинической части исследования проводилась ультразвуковая диагностика альвеолярной кости зубов верхней и нижней челюстей у 38 человек с физиологической окклюзией в различных анатомо-функциональных зонах.

**Результаты.** Экспериментальной части исследования показали, что максимальная СУЗ отмечалась через кортикальное вещество костной ткани с оральной стороны, а минимальная – через губчатое вещество. В клинической части исследования регистрация измерений СУЗ через альвеолярную кость выявила статистически значимые различия и показала, что наибольшая плотность костной ткани определялась во фронтальном отделе нижней челюсти слева и справа. Наименьшая плотность костной ткани определялась в боковых отделах верхней челюсти слева и справа.

**Выводы.** На основании проведенных исследований была разработана диагностическая карта ультразвуковой плотности костной ткани пародонта, которая может дополнить протокол стоматологического обследования пациента. Полученные результаты прохождения СУЗ через костную ткань в различных анатомо-функциональных зонах верхней и нижней челюстей у лиц с физиологической окклюзией могут быть приняты за нормированные показатели в оценке плотности костной ткани. Ультразвуковая денситометрия показала себя как информативный, безопасный, неинвазивный метод, который возможно применять для исследования плотности костной ткани челюстей *in vivo*.

**Ключевые слова:** Ультразвуковая денситометрия, костная ткань, плотность, физиологическая окклюзия, эксперимент, клиническое исследование.

**Статья поступила:** 21.02.2023; **исправлена:** 29.03.2023; **принята:** 30.03.2023.

**Конфликт интересов:** Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарности:** Финансирование и индивидуальные благодарности для декларирования отсутствуют.

**Для цитирования:** Текучева С.В., Фокина А.А., Ермольев С.Н., Персин Л.С. Применение ультразвуковой денситометрии для оценки состояния костной ткани пародонта у лиц с физиологической окклюзией (экспериментально-клиническое исследование). *Эндодонтия today*. 2023; 21(1):67-74. DOI: 10.36377/1683-2981-2023-21-1-67-74.

## The application of ultrasonic densitometry for assessing the state of periodontal bone tissue in persons with physiological occlusion (experimental clinical study)

© È Svetlana V. Tekucheva, Alexandra A. Fokina, Sergey N. Ermoljev, Leonid S. Persin

Moscow State University of Medicine and Dentistry», Moscow, Russia

**Abstract:**

*Aim.* To improve the methods for assessing the state of the jaw bone tissue based on the use of ultrasonic shadow densitometry.

*Materials and methods.* As a research method, there was used the latest development – velocimetric ultrasonic densitometer with an original software, ultrasonic sensors and an electronic positioner. The material of the experimental study were the macropreparations of the animal species "Domestic Pig", where the spongy and cortical substance of the bone tissue was isolated, and the speed of passage of ultrasound (SUS) through them was estimated. In the clinical part of the study, ultrasound diagnostics of bone tissue was performed in 38 people with physiological occlusion in various anatomical and functional areas.

*Results.* Part of the study showed that the maximum SUS was observed through the cortical bone tissue from the oral side, and the minimum – through the spongy substance. In the clinical part of the study, the registration of SUS measurements through the bone tissue revealed statistically significant differences and showed that the highest bone density was determined in the anterior left and right parts of the mandible. The lowest bone density was determined in the lateral left and right sections of the upper jaw.

*Conclusions.* Based on the conducted studies, there was developed a diagnostic map of the ultrasonic density of the periodontal bone tissue, which can complement the protocol of the patient's dental examination. The obtained results of SUS passage through the bone tissue in various anatomical and functional zones of the upper and lower jaws in examined persons with physiological occlusion can be taken as normalized indicators in assessing bone density. Ultrasound densitometry has proven to be a safe, non-invasive method that can be used to study jaw bone density in vivo.

**Keywords:** Ultrasonic densitometry, bone tissue, density, physiological occlusion, experiment, clinical study.

**Received:** 21.02.2023; **revised:** 29.03.2023; **accepted:** 30.03.2023.

**Conflict of interests:** The authors declare no conflict of interests.

**Acknowledgments:** There are no funding and individual acknowledgments to declare.

**For citation:** Svetlana V. Tekucheva, Alexandra A. Fokina, Sergey N. Ermoljev, Leonid S. Persin. The application of ultrasonic densitometry for assessing the state of periodontal bone tissue in persons with physiological occlusion (experimental clinical study). *Endodontics today*. 2023; 21(1):67-74. DOI: 10.36377/1683-2981-2023-21-1-67-74.

**ВВЕДЕНИЕ**

В современной стоматологии изучение состояния костной ткани пародонта человека является одной из наиболее актуальных задач, о чем свидетельствуют данные о глобальной распространенности стоматологических заболеваний, в патогенез которых вовлечена костная ткань [3, с. 55; 8, с. 112]. Костная ткань челюстей никогда не пребывает в состоянии метаболического покоя. Являясь динамичной структурой, она обладает высокой пластичностью и находится в состоянии постоянной перестройки матрикса по линиям механического напряжения. Развитие скелета и его функционирование в течение жизни обеспечиваются процессами моделирования и ремоделирования [5, с. 27; 17, с. 54].

В процессе ортодонтического лечения происходят значительные изменения в структуре костной ткани челюстей. Объективные данные о физико-механических характеристиках костной ткани необходима врачу-ортодонт для выбора оптимальной нагрузки при перемещении зубов, выбора оптимальной зоны инсталляции ортодонтических имплантатов, что обеспечивает качественное планирование ортодонтического лечения, а также позволяет проводить мониторинг ретенционного периода [3, с. 154].

Для оценки структурно-функционального состояния альвеолярной кости применяются различные физические и лучевые методы исследования. Наиболее часто используемым является рентгенологический. По результатам проводимых ранее исследований, помимо наличия ионизирующего излучения, стоит отметить следующие недостатки рентгенологических методов: значительное влияние толщины объекта на результат исследования, влияние яркости и контрастности рентгеновской аппаратуры на объективную интерпретацию получаемых результатов [5, с. 28; 15, с. 11]. С метрологи-

ческой точки зрения стандартные рентгенологические признаки деминерализации костной ткани определяются только на этапах активного развития деструктивного процесса, тогда как ранние этапы патологических изменений не имеют визуальных рентгеновских признаков [1, с. 65].

Современные научные работы, посвященные изучению патологических изменений структуры костной ткани, связаны с микроскопическими исследованиями – поляризационная, электронная и трансмиссионная микроскопия, гистоморфометрия, радиоизотопное сканирование, микрорадиография [9, с. 70]. Большинство вышеуказанных исследований являются лабораторными, использование которых в полости рта не представляется возможным.

Методы ультразвукового (УЗ) исследования, применяемые ранее для изучения структурно-функциональных особенностей костной ткани челюстей оценки состояния костной ткани (эхостеометрия и ультрасонометрия), имели ряд недостатков: внеротовой способ исследования и значительное влияние мягких тканей на результаты измерений, а также технические трудности при проведении исследования челюстно-лицевой области (ЧЛО) [1, с. 66; 4, с. 89]. Таким образом, поиск и разработка внутриротовых, эргономичных, неинвазивных, точных методов изучения альвеолярной кости являются актуальными.

На сегодняшний день среди ультразвуковых методов диагностики, применяемых для оценки структурно-функционального состояния альвеолярной кости, самым современным и безопасным методом, в основе которого лежит способность УЗ упругих колебаний распространяться в твердых и мягких телах, создавая акустическую тень, является ультразвуковая теневая денситометрия. Метод еще не нашел широкого приме-

нения в стоматологии, чем объясняется отсутствие в современной литературе нормированных ультразвуковых показателей и описания нормальной ультразвуковой анатомии костной ткани челюстей [1, с. 65; 5, с. 30; 6, с. 82; 12, с. 785].

Ультразвуковая теневая денситометрия является высокоинформативным методом, исключает воздействие лучевой нагрузки на организм и предназначена для диагностики структурного и функционального состояния костной ткани за счет определения изменений ультразвуковых характеристик в зависимости от степени минеральной плотности и деструкции костных структур [6, с. 82; 11, с. 244]. Диагностика основана на расчете скорости прохождения ультразвука через исследуемый участок альвеолярной кости [7, с. 32; 16, с. 277]. Помимо применения данного метода в ортодонтии, он также может применяться в терапевтической стоматологии, детской стоматологии, хирургической стоматологии для качественного планирования лечения и наблюдения за динамикой изменений как в костной ткани пародонта, так и в твердых тканях зуба в течение лечебного процесса. Высокая информативность метода обеспечивает должный уровень диагностики патологических процессов, а возможность применения непосредственно у кресла пациента позволяет вовремя провести профилактику и лечение [5, с. 33; 6, с. 82; 9, с. 72].

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Совершенствование методов оценки состояния костной ткани челюстей на основе применения ультразвуковой теневой денситометрии.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В рамках гранта МГМСУ им. А.И. Евдокимова совместно с Национальным исследовательским университетом «МЭИ» для исследования костной ткани пародонта использовался разработанный нами прибор «ВУД 01.00.22» – велосиметрический ультразвуковой

денситометр на базе высокопроизводительного процессора с ультразвуковыми преобразователями (датчиками) с рабочей поверхностью в 1 мм и частотой зондирующего сигнала 5 МГц (рис. 1). Для точности измерения применялся электронный позиционер-штангенциркуль для УЗ преобразователей и адаптационные акустические манжеты для обеспечения оптимального прилегания датчиков к рельефу исследуемого участка и локализации геля для ультразвукового исследования [2]. Для денситометрического исследования было разработано оригинальное программное обеспечение «Denta.32» (рис. 2). В автоматическом режиме вычислялись амплитудно-частотные показатели и скорость прохождения УЗ (СУЗ) сигнала через исследуемый объ-

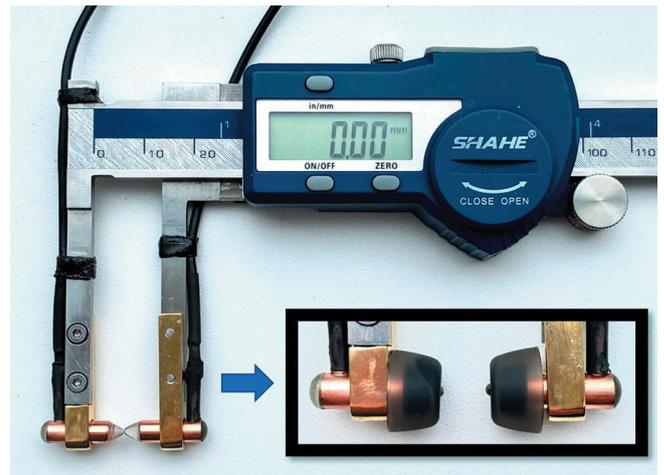


Рис. 1. Электронный позиционер-штангенциркуль с ультразвуковыми преобразователями (датчиками) и адаптационными акустическими манжетами.

Fig. 1. Electronic positioner-caliper with ultrasonic transducers (sensors) and adaptive acoustic cuffs.

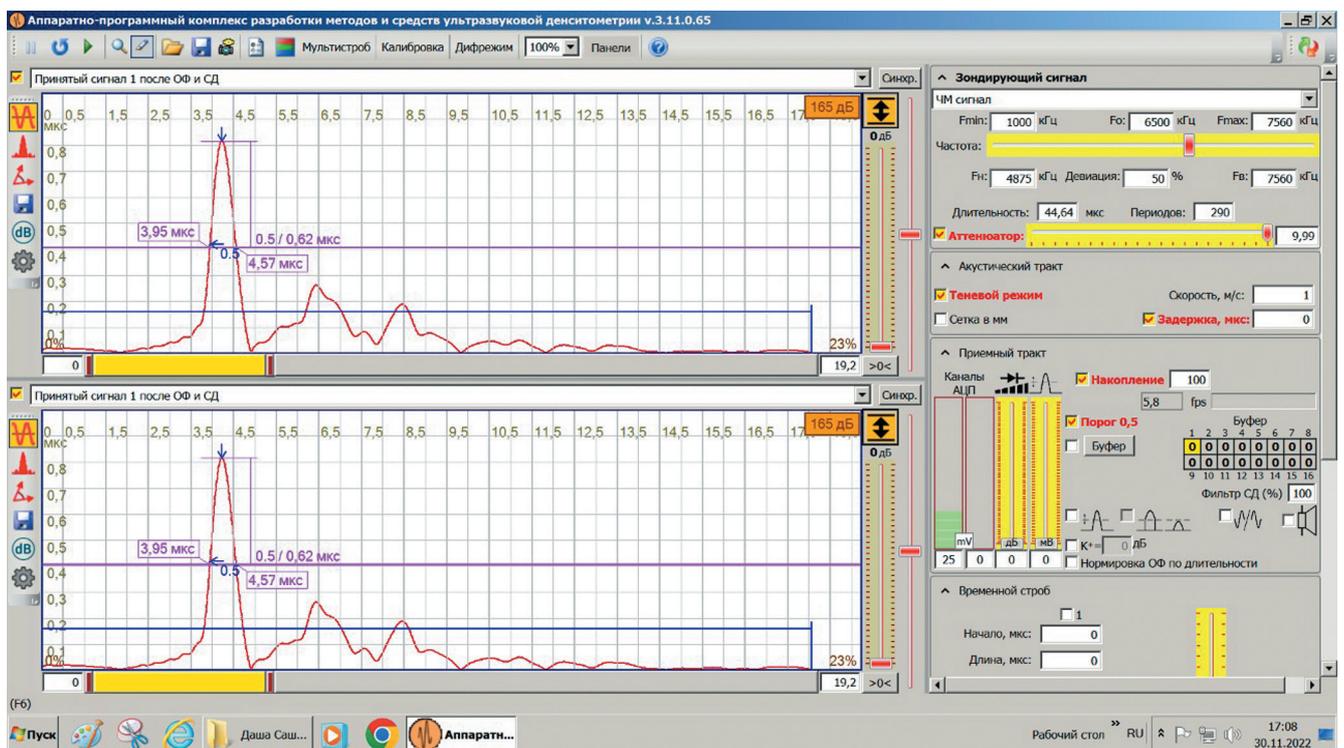


Рис. 2. Интерфейс программы «Denta.32» с ровными эпюрами ультразвуковых сигналов.

Fig. 2. The interface of the program "Denta.32" with smooth plots of ultrasonic signals.

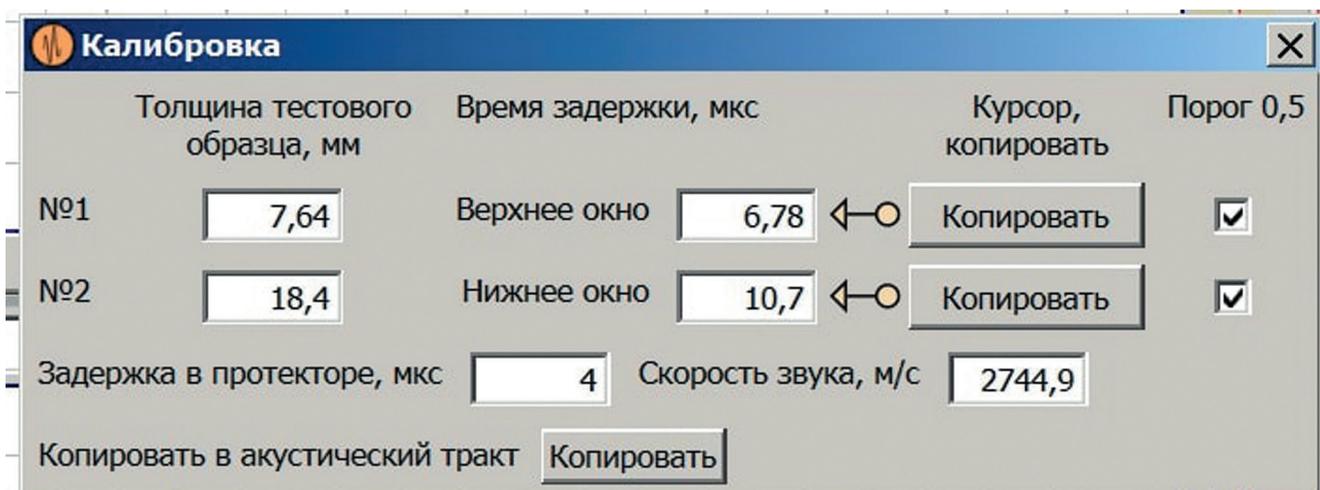


Рис. 3. Окно калибровки в программе «Denta.32» для настройки прибора «ВУД 01.00.22».

Fig. 3. Calibration window in the program "Denta.32" for setting up the device "VUD 01.00.22".

ект. Расчет скорости прохождения УЗ производится по формуле  $V = (L/H) \times 1000$ , где  $V$  – скорость распространения ультразвука в метрах в секунду (м/с),  $L$  – толщина исследуемого участка кости в миллиметрах (мм),  $H$  – время прохождения ультразвука на этом участке кости в микросекундах (мкс). Измерение плотности костной ткани определяли по скорости прохождения УЗ волны в м/с [5, с. 29; 6, с. 82; 12, с. 789]. Для анализа полученных данных применяли методы дескриптивной статистики. Оценка статистической значимости различий групповых средних ультразвуковой плотности костной ткани с дифференцировкой по полу и анатомо-функциональным зонам производилась с применением t-критерия Стьюдента в программном обеспечении «STATISTICA 12».

Для реализации задач исследования были запланированы два этапа: экспериментальный и клинический. Перед проведением исследования были получены одобрения Межвузовского комитета по этике (выписка из протокола № 02 от 17.02.2022 и №12-22 от 15.12.22).

Для настройки прибора «ВУД 01.00.22» и работы УЗ преобразователей в программе «Denta.32» проводилась калибровка путем регистрации показателей скорости прохождения ультразвукового сигнала через стандартный эталонный шаблон из органического стекла (рис. 3).

В экспериментальной части исследования для оценки плотности костной ткани *in vitro* исследовались 2 макропрепарата нижней челюсти парнокопытного животного вида «Свинья домашняя» (*Sus scrofa domestica*). При помощи турбинного наконечника с пиковидным бором проводилось выделение фрагмента альвеолярной части нижней челюсти макропрепарата. Для дифференцированной оценки плотности губчатого и кортикального вещества с помощью сепарационного диска во фрагменте костного блока с вестибулярной и оральной стороны выделяли кортикальные и губчатую части, где проводилась регистрация денситометрических параметров (рис. 4).

В клинической части исследования измеряли плотность костной ткани в межальвеолярных перегородках на уровне пришеечной трети корней зубов: 1.6/1.5, 1.2/1.1, 2.1/2.2, 2.5/2.6, 3.5/3.6, 3.1/3.2, 4.1/4.2, 4.5/4.6 у 38 добровольцев (20 женщин и 18 мужчин) с физиологической окклюзией в возрастном диапазоне от 18 до 25 лет, что соответствовало этапу сформированной окклюзии

постоянных зубов (рис. 5 а, б). Критериями для включения добровольцев в исследование явились: нейтральное смыкание боковых зубов; наличие скученности зубов во фронтальном отделе нижней челюсти не более 4 мм; подписанное информированное добровольное согласие (ИДС) на проведение исследования. Критериями не включения добровольцев в исследование послужили: наличие в анамнезе ортодонтического лечения; наличие тяжелой сопутствующей соматической, системной патологии; наличие сопутствующих заболеваний костной ткани (остеопороз, остеопения); наличие заболеваний височно-нижнечелюстных суставов, бруксизма, парафункции жевательных мышц; наличие врожденных пороков развития ЧЛО. Добровольцы, отказавшиеся подписывать ИДС, исключались из исследования.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

При регистрации денситометрических показателей скорости прохождения ультразвуковой волны через губчатое и кортикальное вещество с оральной и вестибулярной сторон нижней челюсти экспериментального животного были получены следующие результаты: максимальная скорость прохождения ультразвука отмечалась через кортикальное вещество костной ткани с оральной стороны и составила 4563 м/с, а минималь-



Рис. 4. Фрагмент костной ткани макропрепарата, дифференцированный на губчатое и кортикальное вещество.

Fig. 4. Fragment of bone tissue of a macropreparation, differentiated into spongy and cortical substance.

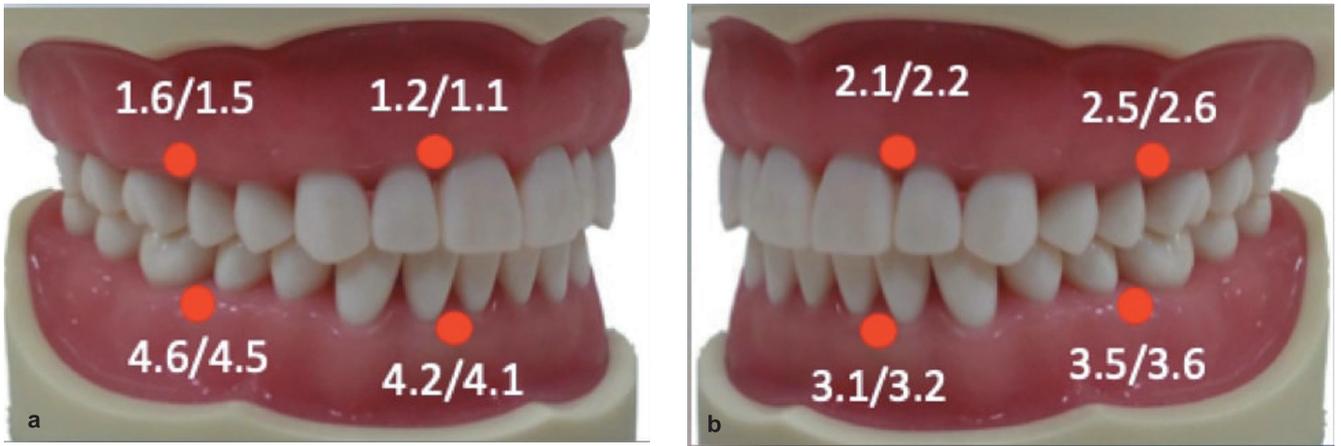


Рис. 5 а,б. Анатомо-функциональные зоны исследования костной ткани челюстей.  
Fig. 5 a, b. Anatomical and functional zones of the study of the bone tissue of the jaws.

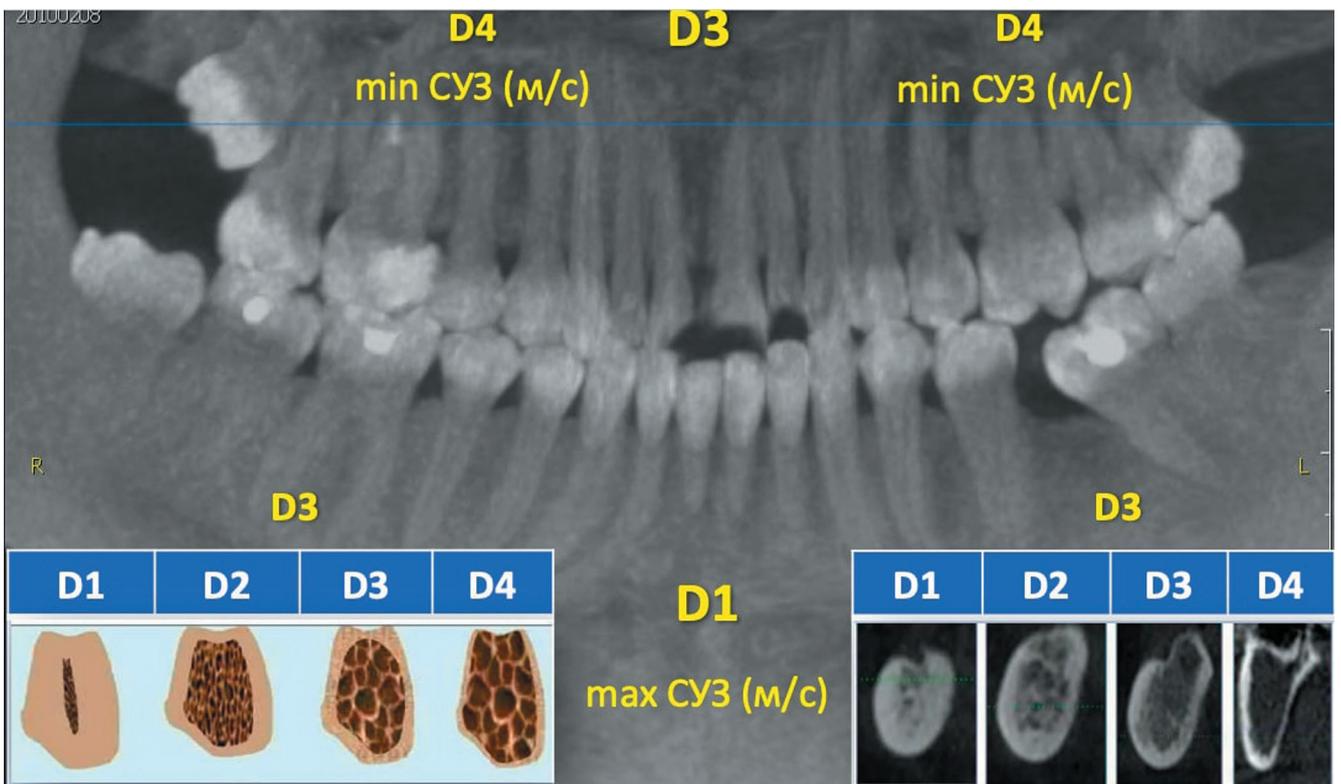


Рис. 6. Сравнение результатов УЗ денситометрии со структурой костной ткани по классификации Misch (1992).

Fig. 6. Comparison of the results of ultrasound densitometry with the structure of bone tissue according to the classification of Misch (1992).

ная – через губчатое вещество – 2204 м/с. СУЗ через кортикальную пластинку с вестибулярной стороны составила 2765 м/с.

Средний возраст добровольцев мужского пола составил  $20 \pm 2$  лет, женского пола –  $22,5 \pm 2,5$  года. Регистрация измерений СУЗ через костную ткань у добровольцев как мужского, так и женского пола с физиологической окклюзией в установленных анатомо-функциональных зонах показала, что наибольшая плотность костной ткани определялась во фронтальном отделе нижней челюсти в зонах 3.2/3.1, 4.1/4.2 (у мужчин  $2313 \pm 13$  и  $2355 \pm 17$  м/с, у женщин  $3392 \pm 12$  и  $2998 \pm 18$  м/с соответственно), наименьшая – в боковых отделах верхней челюсти в зонах 1.6/1.5, 2.5/2.6 (у мужчин  $1488 \pm 8$  и  $1579 \pm 18$  м/с, у женщин  $1520 \pm 9$  и  $1499 \pm 7$  м/с соответ-

ственно). Отличительной особенностью у лиц женского пола явилось наличие минимального значения СУЗ также в боковом отделе справа на нижней челюсти ( $1499 \pm 9$  м/с) (табл. 1).

Результатами исследования выявили гендерные различия в показателях СУЗ через альвеолярную кость во всех исследованных областях ( $p < 0,05$ ). Наибольшие различия между показателями СУЗ среди лиц мужского и женского пола наблюдались в области резцов на верхней и нижней челюстях: 1.2/1.1, 2.1/2.2, 3.2/3.1, 4.1/4.2 ( $p = 0,02, 0,03, 0,01, 0,02$  соответственно).

**ОБСУЖДЕНИЕ**

Полученные данные СУЗ через эталонный шаблон свидетельствовали о том, что получаемые значения не

Таблица 1. Средние значения СУЗ у обследованных добровольцев в исследуемых анатомо-функциональных зонах ( $M \pm m$ ) (м/с).

Table 1. The average values of the SUS in the examined volunteers in the studied anatomical and functional areas ( $M \pm m$ ) (m/s).

Средние значения СУЗ у обследованных добровольцев ( $M \pm m$ ) (м/с)			
Области исследования	Мужчины	Женщины	p*
1.6/1.5	1579 ± 18	1499 ± 7	< 0,05
1.2/1.1	2061 ± 13	2544 ± 13	0,02
2.1/2.2	1937 ± 12	2390 ± 16	0,03
2.5/2.6	1488 ± 8	1520 ± 9	< 0,05
3.6/3.5	1800 ± 16	1685 ± 15	< 0,05
3.2/3.1	2313 ± 13	3392 ± 12	0,01
4.1/4.2	2355 ± 17	2998 ± 18	0,02
4.5/4.6	1748 ± 16	1499 ± 9	< 0,05

\* p – уровень значимости различий

зависят от толщины исследуемого объекта в отличие от рентгеновской денситометрии (рис. 3).

В экспериментальной части исследования, анализируя данные прохождения СУЗ через кортикальную пластинку, наблюдалась большая разница в значениях с оральной и вестибулярной стороны, что связано с анатомо-топографическими особенностями: вестибулярная сторона тоньше и менее минерализована, в отличие от оральной стороны, которая, напротив, наиболее утолщенная и плотная, что является результатом специфического распределения жевательной нагрузки [3, с. 124; 8, с. 235]. Губчатое вещество неоднородно по своей структуре за счет наличия лакун, костномозговых пространств и запустевших сосудов, которые приводят к задержке прохождения ультразвуковой волны [11, с. 325].

Результаты клинической части исследования свидетельствуют о наличии закономерности полученных значений СУЗ в различных анатомо-функциональных зонах вне зависимости от половой принадлежности, что может быть связано со спецификой распределения жевательной нагрузки по зубным рядам. Это подтверждается анатомическими данными о морфофункциональной особенности строения челюстей [10, с. 409; 13, с. 195]. Наиболее известная классификация структуры костной ткани по Misch, включающая 4 класса кости, где D1 – наиболее плотная кость, представленная почти полностью гомогенным компактным слоем, а D4 – наименее плотная, с превалированием губчатого слоя, совпадает с результатами нашего исследования по данным ультразвуковой теневой денситометрии [14, с. 1263] (рис. 6). Боковая группа зубов на верхней челюсти выполняет жевательную функцию с долговременным амортизирующим эффектом, поэтому плотность костной ткани в области данной группы адаптивно снижается. Фронтальная группа зубов на нижней челюсти в большей степени предназначена для разрезания и откусывания пищи; такая особенность обеспечивает наибольшую плотность опорной

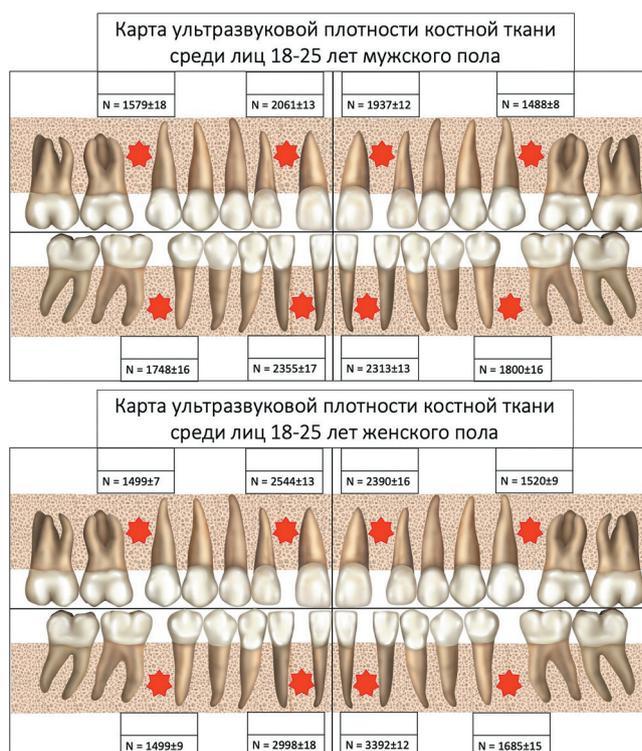


Рис. 7. Диагностическая карта ультразвуковой плотности костной ткани пародонта у лиц мужского (а) и женского пола (б).

Fig. 7. Diagnostic map of ultrasonic density of periodontal bone tissue in male (a) and female (b) persons.

костной ткани за счет высокой и кратковременной нагрузки [8, с. 433; 10, с. 410; 13, с. 195].

На основании проведенных исследований была разработана диагностическая карта ультразвуковой плотности костной ткани пародонта для регистрации и оценки денситометрических показателей у лиц 18-25 лет мужского и женского пола, которая может дополнить протокол стоматологического обследования пациента (рис. 7 а, б).

#### ВЫВОДЫ

Ультразвуковая денситометрия – неинвазивный и безопасный метод в оценке плотности костной ткани челюстей in vivo. Результатами экспериментального исследования установлены различия в показателях СУЗ через губчатое и кортикальное вещество костной ткани. По скорости прохождения УЗ волны через костную ткань возможно оценивать её плотность и другие физико-механические параметры. Полученные результаты прохождения скорости ультразвука через костную ткань межальвеолярных перегородок в различных анатомо-функциональных зонах верхней и нижней челюстей у лиц с физиологической окклюзией коррелируют с данными клинической анатомии и морфофункциональными особенностями строения челюстей и могут быть приняты за нормированные показатели в оценке плотности костной ткани. Разработанная диагностическая карта ультразвуковой плотности костной ткани пародонта может применяться на клиническом приеме и дополнить протокол стоматологического обследования пациента.

Таким образом, метод ультразвуковой теневой денситометрии, применяемый для исследования состояния костной ткани пародонта, может служить актуаль-

ным дополнением к комплексу лечебно-диагностических мероприятий в практике врача-стоматолога, однако, необходимо проведение дальнейших исследований для научно-обоснованного подтверждения интерпретации получаемых результатов о плотности костной

ткани в различных анатомо-функциональных зонах, в том числе, для изучения патологических процессов и закономерных изменений костной ткани при ортодонтическом лечении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ермолев С.Н., Надточий А.Г., Седова М.С., Гунько М.В., Крылова О.В. Метод количественной ультрасонографии в стоматологии: Новая медицинская технология. Функциональная диагностика. 2008;3:64-68.
2. Патент на изобретение №2790947 «Способ ультразвуковой вельсиметрии для оценки состояния твердых тканей зубов».
3. Персин Л.С. Ортодонтия. Диагностика и лечение зубочелюстных аномалий: Руководство для врачей – М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2004. – 360 с.: ил. – ISBN 5-225-04819-6
4. Смирнов В.Г., Янушевич О.О., Митронин А.В. Клиническая анатомия челюстей. – М.: Издательство БИНОМ, 2014 – 232с.: ил. ISBN 978-5-9518-0570-6
5. Текучева С.В., Шокурова И.С., Ермолев С.Н., Лежнев Д.А., Петровская В.В. Экспериментальное исследование состояния костной ткани челюстей с применением метода ультразвуковой теневой денситометрии – М.: Ортодонтия №4 (92), 2020 – С. 26-34
6. Фокина А.А., Шокурова И.С., Текучева С.В., Ермолев С.Н. Разработка метода ультразвуковой теневой микроденситометрии для оценки состояния костной ткани челюстей и твердых тканей зубов – М.: Ортодонтия 3(95), 2021 – С. 82
7. Хофер М. Ультразвуковая диагностика. Базовый курс: – М.: Мед. лит., 2006. – 104 с: ил. ISBN 5-89677-046-4
8. Янушевич О. О. Пропедевтика стоматологических заболеваний: учебник – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 800 с. ISBN 978-5-9704-5433-6
9. Banu B Kalpakcioglu, Saam Morshed, Klaus Engelke, Harry K Genant Advanced imaging of bone macrostructure and microstructure in bone fragility and fracture repair. J Bone Joint Surg Am. 2008 Feb; 90 Suppl 1:68-78. DOI: 10.2106/JBJS.G.01506.

#### REFERENCES:

1. Ermoliev S.N., Nadtochiy A.G., Sedova M.S., Gunko M.V., Krylova O.V. Method of quantitative ultrasonometry in dentistry: New medical technology. – М.: Functional diagnostics №3, 2008 – P. 64-68. (In Russ.).
2. Patent for invention №2790947 "Method of ultrasonic velosymmetry for assessing the condition of hard tissues of teeth" (In Russ.).
3. Persin L.S. Orthodontia. Diagnosis and treatment of dentition anomalies: Manual for physicians. Meditsina Publishers.2004:360.
4. Smirnov V.G., Yanushevich O.O., Mitronin A.V. Clinical anatomy of the jaws. Publishing house BINOM.2014:232.
5. Tekucheva S.V., Shokurova I.S., Ermoliev S.N., Lezhnev D.A., Petrovskaya V.V. Experimental study of the state of the bone tissue of the jaws using the method of ultrasonic shadow densitometry.Orthodontics. 2020: 4 (92):26-34 (In Russ.).
6. Fokina A.A., Shokurova I.S., Tekucheva S.V., Ermoliev S.N. Development of a method of ultrasonic shadow microdensitometry for assessing the state of the jaw bone tissue and hard tissues of the teeth. Ortodontiya.2021; 3 (95): 82 (In Russ.).
7. Hofer M. Ultrasonic diagnostics. Basic course. Med. Lit.2006: 104.
8. Yanushevich, O. O. Propaedeutics of dental diseases. GEOTAR-Media. 2020: 800.
9. Banu B Kalpakcioglu, Saam Morshed, Klaus Engelke, Harry K Genant Advanced imaging of bone macrostructure and microstructure in bone fragility and fracture repair. J Bone Joint Surg Am. 2008 Feb; 90 Suppl 1:68-78. DOI: 10.2106/JBJS.G.01506.
10. Benjamin J. D. Le Révérend, Lisa R. Edelson, and Chrystel Loret Anatomical, functional, physiological and behavioural aspects of the development of mastication in early childhood. Br J Nutr. 2014 Feb 14; 111(3): 403–414. DOI: 10.1017/S0007114513002699

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Текучева С. В.* – доцент кафедры ортодонтии, кандидат медицинских наук. ORCID ID: 0000-0002-4628-7372

*Фокина А.А.* – аспирант кафедры ортодонтии, ORCID ID: 0000-0003-0522-2860.

*Ермолев С. Н.* – профессор кафедры пародонтологии, доктор медицинских наук, ORCID ID: 0000-0002-4219-3547.

*Персин Л.С.* – профессор, доктор медицинских наук, член-корр. РАН, заведующий кафедрой ортодонтии, Заслуженный деятель науки РФ.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. 27473, Российская Федерация, Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1

10. Benjamin J. D. Le Révérend, Lisa R. Edelson, and Chrystel Loret Anatomical, functional, physiological and behavioural aspects of the development of mastication in early childhood. Br J Nutr. 2014 Feb 14; 111(3): 403–414. DOI: 10.1017/S0007114513002699

11. Eroschenko, Victor P, and Mariano S. H. di Fiore. Di Fiore's Atlas of Histology with Functional Correlations. 11th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2008. 532 p. ISBN: 978-0-7817-7057-6. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2008.00956

12. Iyad Al Haffar, Frédéric Padilla, Raphael Nefussi, Sami Kolta, Jean-Michel Foucart, Pascal Laugier Experimental evaluation of bone quality measuring speed of sound in cadaver mandibles. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2006 Dec; 102(6): P. 782-791 DOI: 10.1016/j.tripleo.2005.12.026.

13. Luciano Jose Pereira, Maria Beatriz Duarte Gaviao & Andries Van Der Bilt (2006) Influence of oral characteristics and food products on masticatory function, Acta Odontologica Scandinavica, 64:4, 193-201, DOI: 10.1080/00016350600703459

14. Misch K.A., Yi E.S., Sarment D.P. Accuracy of cone beam computed tomography for periodontal defect measurements. J Periodontol. 2006 Jul;77(7):1261-66. DOI: 10.1902/jop.2006.050367.

15. Regine Gradl, Irene Zanette, Maite Ruiz-Yaniz, Martin Dierolf, Alexander Rack, Paul Zaslansky, Franz Pfeiffer Mass Density Measurement of Mineralized Tissue with Grating-Based X-Ray Phase Tomography. PLoS One. 2016 Dec 21; 11(12): e0167797. DOI: 10.1371/journal.pone.0167797

16. Rohn Truell, Charles Elbaum, Bruce B. Chick. Ultrasonic Methods in Solid State Physics. Academic press New York and London. 1969 – 478 p. DOI: 10.1016/C2013-0-12565-2

17. Wolff J. The law of bone remodeling. Springer. Verlag Berlin Heidelberg. 1986 – 126 p. DOI: 10.1007/978-3-642-71031-5

11. Eroschenko, Victor P, and Mariano S. H. di Fiore. Di Fiore's Atlas of Histology with Functional Correlations. 11th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2008. 532 p. ISBN: 978-0-7817-7057-6. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2008.00956

12. Iyad Al Haffar, Frédéric Padilla, Raphael Nefussi, Sami Kolta, Jean-Michel Foucart, Pascal Laugier Experimental evaluation of bone quality measuring speed of sound in cadaver mandibles. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2006 Dec; 102(6): P. 782-791 DOI: 10.1016/j.tripleo.2005.12.026.

13. Luciano Jose Pereira, Maria Beatriz Duarte Gaviao & Andries Van Der Bilt (2006) Influence of oral characteristics and food products on masticatory function, Acta Odontologica Scandinavica, 64:4, 193-201, DOI: 10.1080/00016350600703459

14. Misch K.A., Yi E.S., Sarment D.P. Accuracy of cone beam computed tomography for periodontal defect measurements. J Periodontol. 2006 Jul;77(7):1261-66. DOI: 10.1902/jop.2006.050367.

15. Regine Gradl, Irene Zanette, Maite Ruiz-Yaniz, Martin Dierolf, Alexander Rack, Paul Zaslansky, Franz Pfeiffer Mass Density Measurement of Mineralized Tissue with Grating-Based X-Ray Phase Tomography. PLoS One. 2016 Dec 21; 11(12): e0167797. DOI: 10.1371/journal.pone.0167797

16. Rohn Truell, Charles Elbaum, Bruce B. Chick. Ultrasonic Methods in Solid State Physics. Academic press New York and London. 1969 – 478 p. DOI: 10.1016/C2013-0-12565-2

17. Wolff J. The law of bone remodeling. Springer. Verlag Berlin Heidelberg. 1986 – 126 p. DOI: 10.1007/978-3-642-71031-5

**AUTHOR INFORMATION:**

*Svetlana V. Tekucheva* – associate professor of the Department of orthodontics, Candidate of Medical Sciences, ORCID ID: 0000-0002-4628-7372.

*Alexandra A. Fokina* – graduate student of the Department of orthodontics, ORCID ID: 0000-0003-0522-2860.

*Sergey N. Ermoliev* – professor of the Department of periodontology, Doctor of Medical Sciences, ORCID ID: 0000-0002-4219-3547.

*Leonid S. Persin* – professor, doctor of medical sciences, corresponding member of RAS, Head of the Department of orthodontics, Honored Worker of Science of the Russian Federation.

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. 20c1, Delegatskaya st, Moscow, 27473, Russian Federation.

**ВКЛАД АВТОРОВ:**

*Текучёва С.В.* – подготовка статьи и ее критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания.

*Фокина А.А.* – сбор данных, анализ и интерпретация данных.

*Ермольев С.Н.* – существенный вклад в замысел и дизайн исследования.

*Персин Л.С.* – окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

**AUTHOR'S CONTRIBUTION:**

*Svetlana V. Tekucheva* – drafted the article and revised it critically for important intellectual content.

*Alexandra A. Fokina* – the acquisition, analysis and interpretation of data for the article.

*Sergey N. Ermoliev* – has made a substantial contribution to the concept and design of the article.

*Leonid S. Persin* – approved the version to be published.

**Координаты для связи с авторами/ Correspondent author:**

*С.В. Текучёва/ S.V. Tekucheva, E-mail: tekuchevasv@yandex.ru, +7 (985) 991-90-47.*

*А.А. Фокина/ A.A. Fokina, E-mail: fokina.aleksandra@yandex.ru, +7 (917) 547-03-12,*