

Асташина Н.Б.¹, Рогожникова Е.П.¹, Никитин В.Н.²,
Карпинская Ю.В.³

DOI 10.25694/URMJ.2020.09.14

Интеграция современных экспериментальных и клинических методов оценки подвижности зубов для оптимизации подходов к ортопедическому стоматологическому лечению пародонтита

¹ ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера» Министерства Здравоохранения Российской Федерации, г. Пермь; ² ФГБОУ ВО «Пермский национально-исследовательский политехнический университет» Министерства образования Российской Федерации, г. Пермь; ³ ООО «Клиника немецкой стоматологии "Гутен Таг"», г. Пермь

Astashina N.B., Rogozhnikova E.P., Nikitin V.N., Karpinskaya Yu.V.

Integration of modern experimental and clinical methods for assessing tooth mobility to optimize approaches orthopedic dental treatment of periodontitis

Резюме

Достаточно высокая распространенность, а также возникающие риски прогрессирования и утяжеления пародонтита у лиц молодого возраста, требует выбора оптимальных научно-обоснованных методов лечения. Использование современных методов аппаратной диагностики и методик биоинженерного моделирования способно расширить существующие знания об изменении адекватного функционирования структур пародонтального комплекса при начальной стадии пародонтита и оценить возможные варианты исхода в различных клинических ситуациях. Целью исследования являлась оценка амплитуды смещения зубов с помощью биомеханического моделирования и периотестометрии у лиц с интактным пародонтом и у пациентов хроническим генерализованным пародонтитом легкой степени тяжести, а также выявление взаимосвязи между полученными результатами, для выбора оптимального варианта лечения, обеспечивающего полноценное функционирование зубочелюстного аппарата. Решение поставленных в ходе исследования биомеханических задач проводили на построенной конечно-элементной модели нижней челюсти с помощью программного обеспечения ANSYS 19.1 (ANSYS, Inc). Клиническую оценку амплитуды смещения зубов у лиц, входящих в исследование, проводили методом периотестометрии прибором Periotest M, с помощью специальной каппы – позиционера. Установлено, что снижение уровня альвеолярной кости в пределах 1/4 длины корня при генерализованном пародонтите легкой степени тяжести, по результатам биомеханического анализа численного определения величины смещения зубов приводит к ее увеличению в 1,6 – 2,6 раза, порождая тем самым возрастание контактных напряжений, и повышению показателей периотестометрии в 3,3 раза в сравнении с показателями, полученными при обследовании лиц с интактным пародонтом. Результаты клинических и экспериментальных исследований имеют прямую достоверную связь (коэффициент корреляции составляет 0,9). Для ограничения амплитуды смещения зубов до нормальных значений и равномерного перераспределения функциональных нагрузок по всему зубному ряду вне зависимости от направления нагрузки целесообразно проведение иммобилизации зубов

Ключевые слова: пародонтит, подвижность зубов, метод конечных элементов, биомеханическое моделирование, периотестометрия, шинирование зубов

Для цитирования: Асташина Н.Б., Рогожникова Е.П., Никитин В.Н., Карпинская Ю.В., Интеграция современных экспериментальных и клинических методов оценки подвижности зубов для оптимизации подходов к ортопедическому стоматологическому лечению пародонтита, Уральский медицинский журнал, №09 (192) 2020, с. 66 - 71, DOI 10.25694/URMJ.2020.09.14

Summary

The high prevalence and emerging risks of periodontitis progression and aggravation in young people require the choice of

optimal scientifically-based treatment methods. Use of modern diagnostic methods and bio-engineering modeling techniques can expand existing knowledge about changes in the adequate functioning of the structures of the periodontal complex at the initial stage of. The aim of the study was to assess a amplitude of displacement of teeth using biomechanical modeling and and to identify the relationship between the obtained results for choosing the best treatment option to ensure proper functioning of the dental-facial apparatus. The solution of the biomechanical tasks set in the course of the study was performed on the constructed finite element model of the lower jaw using the software ANSYS 19.1 (ANSYS, Inc). Clinical assessment of the amplitude of tooth displacement in the study subjects was performed by the method of periotestometry with the device Periotest M, using a special mouth guard-positioner. It is established that decrease in f level of alveolar bone with in of root length in case of generalized periodontitis mild severity, the results of biomechanical analysis of numerical calculation of the shift amount of teeth leads to its increase by 1.6 – 2.6 times, giving rise to thereby increase contact pressure, and improved periotestometry 3.3 times in comparison with figures obtained in examination of persons with intact periodontium. The results of clinical and experimental studies have a direct reliable relationship (the correlation coefficient is 0.9). Dental immobilization is appropriate for limiting the amplitude of tooth displacement to normal values and evenly redistributing functional loads along the entire dentition, regardless of the direction of the load

Key words: periodontitis, tooth mobility, finite element method, biomechanical modeling, periotestometry, splinting of teeth

For citation: Astashina N.B., Rogozhnikova E.P., Nikitin V.N., Karpinskaya Yu.V., Integration of modern experimental and clinical methods for assessing tooth mobility to optimize approaches orthopedic dental treatment of periodontitis, Ural Medical Journal, No. 09 (192) 2020, p. 66 - 71, DOI 10.25694/URMJ.2020.09.14

Введение

Высокая распространенность тяжелых форм пародонтита среди трудоспособного населения экономически развитых стран мира, в том числе России, подтверждает тот факт, что использование только терапевтических методов лечения хронического генерализованного пародонтита, не всегда способно обеспечить длительную ремиссию заболевания, а также эффективную профилактику прогрессирования и утяжеления патологического процесса [1-3].

При интактном пародонте корень зуба получает адекватную нагрузку, не выходящую за пределы нормы. Резорбция костной ткани альвеол при хроническом генерализованном пародонтите приводит к нарушению оптимального соотношения вне- и внутриальвеолярных частей зуба, формируя при этом наружный рычаг [4 - 8]. Прогрессирующая атрофия альвеолы приводит к увеличению амплитуды смещения зуба, в связи с чем, возрастает нагрузка на оставшиеся ткани пародонта, происходит нарушение окклюзионных взаимоотношений, вызывая травматическую окклюзию и функциональную перегрузку [7].

По мнению большинства отечественных и зарубежных ученых, появление признаков патологической подвижности свидетельствует о декомпенсированном состоянии пародонта и является показанием к иммобилизации зубов [1 – 3, 6], однако признаки функциональной перегрузки появляются уже на ранней стадии хронического генерализованного пародонтита до возникновения выраженных клинических проявлений [8, 10].

Достаточно часто оценка подвижности зубов в амбулаторно-поликлинических условиях проводится рутинным методом при помощи стоматологических инструментов. Величину показателя подвижности зубов оценивают по классификации Энтина или по шкале Миллера. Отсутствие уловимых глазом микроэкскурсий счи-

тают физиологической подвижностью, оценить величину которой данным методом невозможно [9]. В проведенных ранее экспериментальных исследованиях было установлено, что перемещения зубов при ощутимом его покачивании становятся заметными в пределах от 28 до 33 мкм (Морозов К.А., 2004), однако подобная клиническая картина характерна скорее для пародонтита средней степени тяжести, когда атрофия костной ткани достигает ½ длины корня [10].

Современный уровень оказания стоматологической помощи предъявляет повышенные требования к лечению и реабилитации пациентов и направлен на оценку возможных рисков и последствий любого врачебного вмешательства в организм человека. Для решения подобных задач в ортопедической стоматологии в настоящее время успешно применяются методы биоинженерного моделирования, суть которых заключается в возможности прогнозирования и оценки результативности предлагаемого метода лечения [11 - 13].

Таким образом, актуальным является выявление взаимосвязи между результатами экспериментальных и клинических данных об изменении амплитуды перемещения зубов под воздействием окклюзионной нагрузки, чтобы при помощи наукоемких подходов изучить уровень распределения функциональных нагрузок в тканях пародонта при начальной стадии патологического процесса и обосновать показания для проведения иммобилизации зубов у пациентов с данной патологией.

Цель исследования – оценить амплитуду смещения зубов с помощью биомеханического моделирования и периотестометрии у лиц с интактным пародонтом и у пациентов хроническим генерализованным пародонтитом легкой степени тяжести, а также выявить взаимосвязи между полученными результатами, для выбора оптимального варианта лечения, обеспечивающего полноценное функционирование зубочелюстного аппарата.

Материалы и методы

Построение конечно-элементной математической модели и проводили с помощью лицензионного программного обеспечения ANSYS 19.1 (ANSYS, Inc) на базе кафедры прикладной математики и механики ФГБОУ ВО ПНИПУ. Средние значения высоты костной ткани альвеолы в норме и при патологии были получены путем измерения расстояния от основания альвеолы до вершины альвеолярного гребня по данным КЛКТ пациентов с интактным пародонтом и хроническим генерализованным пародонтитом легкой степени тяжести. Послойные растровые изображения, областей, соответствующие различным органам и тканям челюстно-лицевой области компьютерных томограмм пациентов, входящих в исследования, были преобразованы в векторный формат при помощи программного обеспечения: «InVesalius» (Испания) и «MeshMixer» (Autodesk Inc., США).

Суммарную величину нагрузки, равную 160 Н — среднестатистическому значению жевательной нагрузки в положении центральной окклюзии, распределяли по отдельным зубам, имитируя воздействие верхнего зубного ряда на нижний. Вертикальные силы направлялись по оси зуба, а горизонтальные — в вестибуло-оральном направлении.

Для более точного описания изучаемых явлений использовали термин «амплитуда физиологического смещения зубов», позволяющий в числовом выражении, провести оценку величины физиологической подвижности зуба в результате воздействия на него жевательной нагрузки.

Клиническая часть исследования проведена в период с 2017 по 2019 год на базе кафедры ортопедической стоматологии ФГБОУ ВО ПГМУ имени академика Е.А. Вагнера. Обследовано 267 пациентов молодого возраста (от 19 до 38 лет), обратившихся на прием к терапевту-стоматологу с целью планового осмотра или санации полости рта, из которых на основании критериев включения и невключения были отобраны 78 человек с диагнозом «хронический генерализованный пародонтит легкой степени тяжести в стадии ремиссии» (из них 52 женщины и 26 мужчин).

Критериями включения пациентов в группы наблюдения были: добровольное согласие на участие в исследовании; наличие хронического генерализованного пародонтита легкой степени тяжести с глубиной пародонтальных карманов — менее 3,5 мм и рентгенологической убыли костной ткани в пределах $\frac{1}{4}$ длины корня; отсутствие патологической подвижности зубов, дефектов зубного ряда на нижней челюсти и вторичных деформаций.

Критериями невключения в группы наблюдения являлось: наличие у пациентов: хронического генерализованного пародонтита средней и тяжелой степени тяжести; пародонтальных карманов глубиной более 3,5 мм, рецессий десны; дефектов зубного ряда на нижней челюсти; патологии височно-нижнечелюстного сустава и жевательных мышц; повышенной стираемости зубов; хронических заболеваний слизистой оболочки полости

рта; гнатических, зубоальвеолярных форм аномалий окклюзии 2 и 3 степеней выраженности, аномалий положения отдельных зубов, приводящих к деформации формы зубного ряда, ортодонтических и ортопедических конструкций на нижней челюсти; тяжелой общесоматической патологии; острых и хронических заболеваний в стадии обострения; гематологических заболеваний; сахарного диабета.

В группу контроля вошли 10 человек молодого возраста с интактным зубными рядами.

Проведение экспериментальных и клинических исследований одобрено разрешением локального этического комитета ФГБОУ ВО ПГМУ имени академика Е. А. Вагнера Минздрава России — протокол №10 от 22.11.2017 г.

Оценку амплитуды смещения зубов у лиц, входящих в исследование, проводили методом периотестометрии прибором Periotest M (Periotest, Германия; (рис.1). Для объективной оценки показателей применен способ регистрации репрезентативных данных о подвижности изучаемых зубов с помощью специальной каппы — позиционера (рис. 2). Результаты проведенных ранее исследований показали высокую точность проведения периотестометрии, с возможностью ее мониторинга в процессе лечения. Всем пациентам были изготовлены каппы из жесткой пластмассы толщиной 5,0 мм, методом вакуумного прессования. В проекции центра клинического экватора вестибулярной поверхности исследуемых зубов в каппе были сформированы отверстия, соответствующие форме сопла датчика прибора Periotest[14]. Это позволило размещать сопло в заданном положении на всех этапах мониторинга подвижности зубов.

Периотестометрию проводили на 5 зубах левой половины нижней челюсти (резцы, клык и премоляры). Полученные данные фиксировались в медицинской карте пациента. Значения в интервале от –08 до +09 у.е. считали критерием физиологической подвижности.

Статистическая обработка результатов исследования произведена при помощи компьютерной программы Microsoft Excel 2018 и программного статистического пакета Statistika 10.0. Определялись средняя арифметическая ($\pm M$) и ошибка средней арифметической ($\pm m$). Достоверность различий полученных данных оценивали с использованием t-критерия Стьюдента. За пороговый уровень статистической достоверности принято значение $p \leq 0,05$. Для изучения связи результатов экспериментальных и клинических исследований вычисляли непараметрический коэффициент корреляции Спирмана (r_s), статистическая достоверность рассчитывалась при уровне значимости $p = 0,05$. Степень корреляции оценивали в зависимости от значения коэффициента $|r| < 0,3$ — слабая, $0,3 < |r| < 0,7$ — умеренная, $|r| < 0,7$ — сильная корреляция.

Результаты и обсуждение

Для решения поставленных в ходе исследования биомеханических задач создана трехмерная геометрическая модель нижней челюсти, включающая в себя разно-

родные по своему строению и биомеханическим характеристикам ткани и структуры, такие как: костная ткань челюсти, периодонтальная связка и зубы (рис 3).

Анализ амплитуды смещения зубов при воздействии вертикальных и горизонтальных окклюзионных сил, а также напряжений, возникающих на поверхности контакта корня зуба и пародонта, проведен с помощью МКЭ, встроенного в пакет ANSYS. В таблице 1 представ-

лены средние значения этих величин, полученные при расчетах.

Полученные данные свидетельствуют о том, что воздействие на зуб нагрузки в горизонтальном направлении при интактном пародонте приводит к смещению зубов в диапазоне от 4,1 до 9,5 мкм, корень зуба получает адекватную нагрузку, не выходящую за пределы нормы. Снижение уровня альвеолярной кости при генерализо-



Рисунок 1. Прибор Periotest M (Periotest, Германия)



Рисунок 2. Капа-позиционер в полости рта пациента

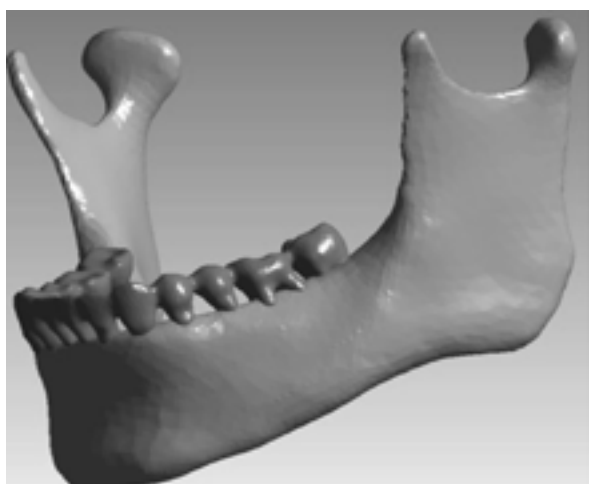


Рисунок 3. Модель исследуемой области

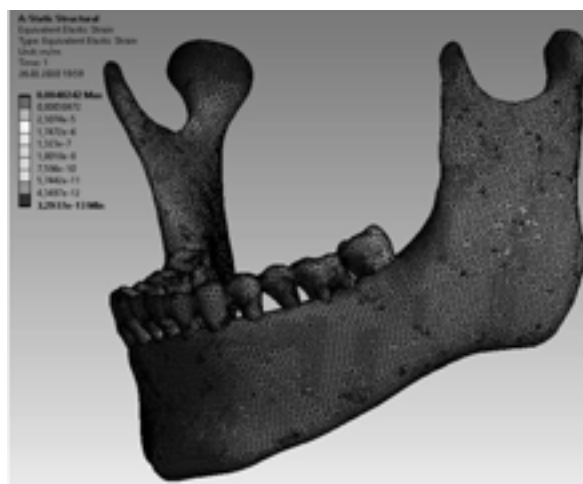


Рисунок 4. Интенсивность деформаций по Мизесу

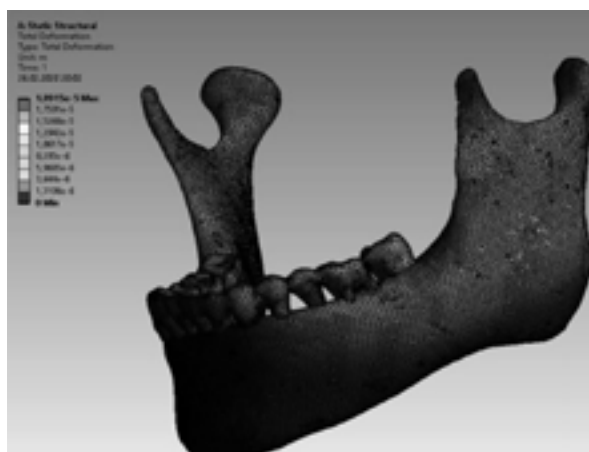


Рисунок 5. Перемещения в области зубного ряда при начальной стадии пародонтита

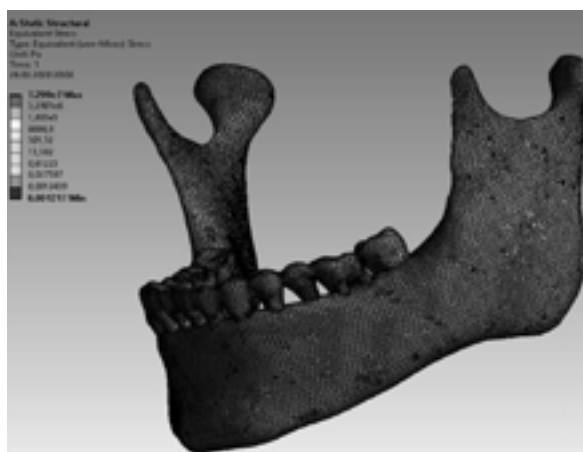


Рисунок 6. Интенсивность напряжений по Мизесу

Таблица 1. Смещение и напряжения под действием вертикальных и горизонтальных сил при интактном пародонте и начальной стадии пародонтита

Номер зуба	Общее максимальное смещение зуба (мкм)		Максимальное общее контактное напряжение на корне зуба (МПа)	
	<i>Интактный пародонт</i>	<i>Пародонтит легкой степени тяжести</i>	<i>Интактный пародонт</i>	<i>Пародонтит легкой степени тяжести</i>
3.1	9,5±1,43	14,5±2,36	0,546±0,09	0,901±0,035
3.2	9,1±1,27	13,8±1,74	0,627±0,017	0,981±0,064
3.3	4,1±1,05	7,7±1,39	0,169±0,04	0,268±0,041
3.4	9,4±1,28	12,3±2,05	0,406±0,024	0,68±0,063
3.5	8,7±2,04	11,7±3,54	0,380±0,015	0,42±0,055

Примечание: Различия в группах статистически достоверны

Таблица 2. Среднее значение показателей периотестометрии зубов

Номер зуба	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
Интактный пародонт	2,64±0,45	2,57±0,39	1,37±0,36	1,96±0,39	1,74±0,35
Пародонтит легкой степени тяжести	6,77±0,22*	5,15±0,31*	3,10±0,29*	4,11±0,36*	3,89±0,39*

Примечание: *различия в группах достоверны, $p \geq 0,05$

ванном пародонтите легкой степени тяжести в пределах $\frac{1}{4}$ длины корня приводит к увеличению упруго-пластичных деформаций (рис. 4) и подвижности зубов при действии горизонтальных сил в 1,6 – 2,6 раза (рис.5). При этом повышение амплитуды смещения зуба вызывает возрастание контактных напряжений в 1,2 – 1,5 раза до 0,26 – 0,98 МПа (рис. 6).

Таким образом, методом биомеханического моделирования установлено, что при генерализованном пародонтите даже легкой степени тяжести уже возникает значительная перегрузка периодонта зубов. Поведение максимального смещения в области контакта корня зуба и периодонта коррелирует с поведением максимального контактного напряжения.

Определение подвижности зубов у пациентов, входящих в группы исследования, рутинным методом показало отсутствие патологических смещений, вызванных в результате воздействия на зуб стоматологического инструмента, что по шкале Миллера (Miller S. C.) в модификации Флезара (Fleazar et al., 1980) соответствует понятию «физиологической подвижности».

Анализ данных, полученных при оценке амплитуды смещения зубов у пациентов методом периотестометрии, свидетельствует об отсутствии патологической подвижности зубов во всех группах наблюдения, при этом полученные показатели соответствуют крайним нижним границам нормы (таб. 2).

Сравнительный анализ данных периотестометрии у пациентов экспериментальной группы показал, что они статистически достоверно выше показателей, зарегистрированных, у лиц с интактным пародонтом. Увеличение амплитуды смещения зубов в пределах физиологической нормы при наличии начальной стадии пародонтита имеет прямую достоверную связь с резуль-

татами биомеханического анализа численного определения величины смещения зубов (коэффициент корреляции Спирмена 0,9).

Установленное методом биомеханического моделирования и периотестометрии увеличение амплитуды смещения зубов, а также возникновение контактных напряжений и деформаций при пародонтите легкой степени тяжести подчеркивает необходимость снижения данных параметров в заданном пределе нормы для адекватного функционирования пародонтального комплекса и зубочелюстного аппарата в целом. Для равномерного перераспределения функциональных нагрузок по всему зубному ряду, плавно переходящего на костную ткань альвеолярной части нижней челюсти, а также ограничения амплитуды смещения зубов до нормальных значений вне зависимости от направления нагрузки целесообразно применение шинирующей конструкции.

Заключение

Наличие воспалительно-деструктивных изменений в тканях пародонтального комплекса при начальной стадии пародонтита приводит к увеличению амплитуды физиологического смещения зубов в 1,3 – 2,6 раза и контактных напряжений в 1,1 – 1,5 раза, что свидетельствует о компенсированной перегрузке периодонта зубов и отклонении от показателей нормы. Стоматологический статус пациентов молодого возраста с пародонтитом легкой степени тяжести характеризуется отсутствием визуальной подвижности зубов и увеличением показателей периотестометрии в 3,3 раза в сравнении с показателями лиц с интактным пародонтом. Прямая тесная взаимосвязь результатов экспериментальных и клинических исследований, отражающих увеличение амплитуды смещения зубов, а также возникновении контактных напряжений

и деформаций при пародонтите легкой степени тяжести подчеркивает необходимость снижения данных параметров, в заданном пределе нормы, путем применения различных вариантов шинирующих конструкций. Использование современных методов диагностики и программ компьютерного проектирования позволило получить достаточно точные сведения об изменении функционирования пародонтального комплекса при хроническом генерализованном пародонтите, в частности: оценить влияние прогрессирующей деструкции костной ткани на изменение амплитуды смещения зубов и характер распределения функциональных нагрузок в тканях пародонта, а также выбрать оптимальный метод лечения пародонтита легкой степени тяжести. ■

Асташина Наталия Борисовна — д.м.н., доцент, заведующая кафедрой ортопедической стоматологии ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России; **Рогожникова Евгения Павловна** — аспирант кафедры ортопедической стоматологии ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России; **Никитин Владислав Николаевич** — к.м.н., доцент кафедры прикладной математики и механики ФГБОУ ВО «Пермский национально-исследовательский политехнический университет» Министерства образования Российской Федерации; **Карпинская Юлия Владимировна** — стоматолог-ортопед, главный врач клиники немецкой стоматологии "Гутен Таг". Автор, ответственный за переписку: Асташина Н.Б., astashina.nb@gmail.com

Литература:

1. Ортопедическая стоматология: национальное руководство: Москва: «ГЭОТАР-МЕД»; 2019.
2. Цепов Л. М., Николаев А. И., Наконечный Д. А., Нестерова М. М. Современные подходы к лечению воспалительных генерализованных заболеваний пародонта (обзор литературы). *Пародонтология*. 2015; 2 (75): 3 – 9.
3. Фрезерованные шины для иммобилизации подвижных зубов: Москва: «Новик»; 2015.
4. Ряховский А.Н., Логинова Н.К., Котенко С.А. Влияние механической нагрузки на ткани пародонта. *Стоматология*. 2010; 3: 72.
5. Фастовец Е.А., Матвеев Р.Ю. Влияние окклюзионной перегрузки на характер течения генерализованного пародонтита. *Медицинские новости*. 2015; 7 (250): 67 – 69.
6. Ибрагимов Г.С. Биомеханические основы шинирования при заболеваниях пародонта. *Бюллетень медицинских интернет – конференций*. 2016; 6 (6): 1080.
7. Ortún-Terrazas J., Cegoñino J., Santana-Penín U., Santana-Mora U., Palomar A. P. Approach towards the porous fibrous structure of the periodontal ligament using micro-computerized tomography and finite element analysis; *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2018; (79): 135 – 149.
8. Begum M. S., Dinesh M. R., Tan K. F., Jairaj V., Khali K. M., Singh V. P. Construction of a three-dimensional finite element model of maxillary first molar and its supporting structures. *J. Pharm. Bioallied. Sci*; 2015; 7(2); 443–450.
9. Тимофеев А. А., Ушко Н. А., Ярифа М. А., Фесенко Е. И. Показатели периостометрии зубов у здоровых людей. *Современная стоматология*. 2016; (3) 71 – 73.
10. Морозов К.А. Комплексный анализ параметров подвижности. Дисс. д — ра мед. наук. Москва; 2004.
11. Наумович С.С., Наумович С.А. Современные возможности и практическое применение математического моделирования в стоматологии; *Современная стоматология*. 2011; (1) 38 – 42.
12. Mishra P. S., Marawar P. P., Mishra S. S. A cross-sectional, clinical study to evaluate mobility of teeth during pregnancy using periotest. *Indian Journal of Dental Research*. 2017; 28 (1): 10.
13. Geramy, A., Retrouvey, J. M., Sobuti, F., Salehi, H. Anterior teeth splinting after orthodontic treatment: 3D analysis using finite element method. *Journal of dentistry*. 2012; 9(2): 90.
14. Арутюнов С.Д., Янушевич О.О., Манин А.И., Богатырева Р.М. Способ определения подвижности зубов. Патент РФ на изобретение № 2555104; 2014.