

## Компьютерное моделирование эндо-пародонтального поражения. Возможности использования 3D-модели в образовательном процессе

Аспирант, ассистент **Д.А. Моисеев**

Профессор **В.А. Румянцев**, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой  
Кафедра пародонтологии ТГМУ (Тверь) Минздрава РФ

Доцент **С.И. Волков**, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой  
Кафедра топографической анатомии оперативной хирургии ТГМУ (Тверь)  
Минздрава РФ

Доцент **Е.Г. Родионова**, кандидат медицинских наук

Студентка **Д.В. Журавлева**

Кафедра пародонтологии ТГМУ (Тверь) Минздрава РФ

**Резюме.** Эндо-пародонтальные поражения редко диагностируются, что связано с невысокой информированностью врачей-стоматологов о существовании этой патологии, о способах диагностики и о подходах к лечению. В исследовании теоретически обоснована и создана компьютерная 3D-модель для наглядного изучения в рамках научно-образовательного процесса. На основе реальных образцов челюстных костей путем скульптинга была разработана высокополигональная 3D-модель, после чего интегрирована в интерактивное занятие со студентами IV и V курсов стоматологического факультета. Компьютерная 3D-модель детально демонстрирует особенности строения пульпо-пародонтального комплекса, этапы развития сочетанной патологии и ключевые подходы к лечению. В результате проведенных занятий со студентами, уровень их знаний о распространенности, классификации, этиологии и патогенезе, а также о методах лечения эндо-пародонтальных поражений достоверно повысился.

**Ключевые слова:** пульпа; пародонт, эндо-пародонтальные поражения; компьютерное 3D-моделирование; образование.

### Computer modeling of endo-periodontal lesion. The possibilities of using a 3D model in the educational process

Postgraduate student, Assistant **Denis Moiseev**

Professor **Vitaly Rumyancev**, Doctor of Medical Sciences, Head of the Department  
Department of Periodontology of Tver State Medical University

Associate Professor **Sergey Volkov**, Doctor of Medical Sciences, Head of the  
Department

Department of Regional Anatomy and Operative Surgery of Tver State Medical University

Associate Professor **Elena Rodionova**, Candidate of Medical Sciences

Student **Diana Zhuravleva**

Department of Periodontology of Tver State Medical University

**Summary.** Endo-periodontal lesions are rarely diagnosed, which is due to the low awareness of dentists about the existence of this pathology, diagnostic methods and treatment approaches. The study theoretically substantiated and created a 3D computer model for visual study in the framework of a scientific and educational process. Based on real samples of jaw bones, a highly polygonal 3D model was recreated by sculpting, after which it was integrated into an interactive session with 4th and 5th year students of the Faculty of Dentistry. The 3D computer model demonstrates in detail the features of the structure of the pulpo-periodontal complex, the stages of development of combined pathology and key approaches to treatment. As a result of the classes conducted with students, the level of their knowledge on the prevalence, classification, etiology and pathogenesis, as well as methods of treatment of endo-periodontal lesions significantly increased.

**Keywords:** pulp; periodontal; endo-periodontal lesions; computer three-dimensional modeling, education.

**С**ложный патоморфологический функциональный синдромокомплекс сочетанного поражения пародонта и пульпы зуба получил название эндо-пародонтального поражения. Оно редко диагностируется, что объясняется недостаточной информированностью врачей-стоматологов о существовании такого типа патологии, о способах диагностики и о подходах к лечению [5, 6].

Стоматологам широко известны микроорганизмы, связанные как с возникновением кариеса (*S. mutans*, *S. sanguis*, *S. sobrinus*), так и с развитием воспалительных заболеваний пародонта (*P. gingivalis*, *P. intermedia*, *Tannerella forsythia*, *Eikenella corrodens*, *Fusobacterium nucleatum* и др.). Доказана связь некоторых специфических микроорганизмов (*P. micra-endo*, *P. micra-perio*, а также *Capnocytophaga sputigena*) с развитием сочетанных заболеваний пульпы и пародонта. Усугублять течение заболеваний могут сапрофитные грибковые формы (*Candida albicans*) и вирусы (вирус простого герпеса, Эпштейна – Барр I типа, цитомегаловирус), которые ослабляют иммунную защиту организма [9].

Ряд авторов, отвечая на вопрос о том, с какой патологии начинается развитие эндо-пародонтального поражения, предложили несколько классификаций. Сегодня самой популярной считается классификация Р.В. Симон с соавт. (1972). По данным М.К. Макеевой, чаще патология начинается с пародонтита (в 9,39% случаев), реже (в 7,71% случаев) встречается первичное поражение пульпы с вторичным вовлечением тканей пародонта. Истинно комбинированные поражения встречаются редко – в 0,67% случаев. В среднем распространенность поражений среди взрослого населения составляет 17,7% [2].

Основной пусковой фактор развития эндо-пародонтального поражения – проникновение инфекции из тканей пародонта в пульпу зуба и наоборот. Инфекция проникает через апикальное отверстие корня зуба, латеральные и дополнительные каналы. В то же время нельзя забывать, что основная ткань зуба – дентин – пронизан массой дентинных трубочек, которые тоже могут служить «дорогой» для микроорганизмов в системе «пародонт – эндодонт» как в прямом, так и в обратном направлении. Обтурировать латеральные и фуркационные каналы на этапах лечения непросто, а дентинные трубочки – еще сложнее. Их малый диаметр (около 800 нм) создает трудности для проникновения в них как антисептических, так и обтурирующих препаратов. А это, в свою очередь, обезоруживает врача, имеющего в арсенале только традиционные стоматологические материалы и классические методы лечения [1, 3, 9, 10].

В последние годы одним из векторов развития стоматологии стало использование нанотехнологий, в частности, методики гальванофоретической наноимпрегнации и обтурации просвета дентинных трубочек нанопрепаратами [8]. При лечении важно, чтобы препарат хорошо проникал на достаточную глубину в дентинные трубочки и качественно их обтурировал со стороны как системы корневых каналов, так и пародонтального кармана [4, 7, 8]. Один из таких эффективных нанопрепаратов, обладающих выраженным противомикробным, противовоспалительным и обтурирующим дентинные трубочки действием, – «Купрал» (Humanchemie GmbH, Германия). Это гидроксид меди-кальция. Наночастицы препарата можно доставлять в дентинные трубочки с помощью гальванического тока.

Для демонстрации особенностей патогенеза и диагностики, а также новых методов лечения эндо-пародонтальных поражений с использованием нанотехнологий была создана высокополигональная компьютерная 3D-модель.

## Цель исследования

Визуализировать особенности развития и лечения эндо-пародонтальных поражений, повысить уровень знаний студентов об этой патологии с помощью впервые созданной компьютерной 3D-модели.

## Материалы и методы

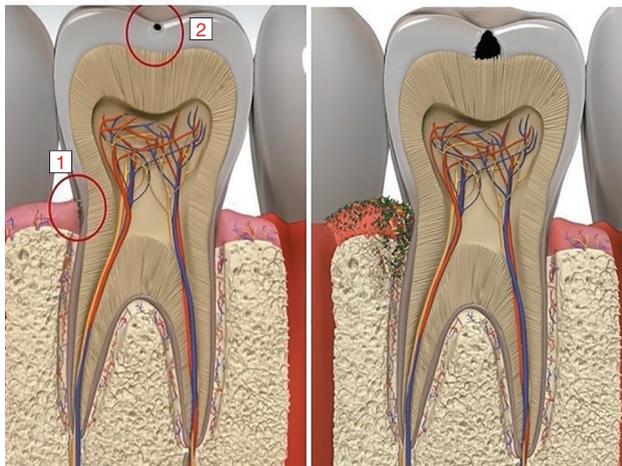
Работа проведена в два этапа. На первом на основе реальных образцов челюстных костей, после их детального изучения и консультирования с экспертами-патоморфологами, на персональном компьютере путем скульптинга была воссоздана высокополигональная 3D-модель (лепка, аналогичная пластилиновой), ставшая основой для структур и тканей полости рта. Схожим образом отдельно смоделировали каждый зуб. Также на основе микрофотографий, полученных ранее, были смоделированы дентинные трубочки и костные структуры зубной альвеолы [4]. По реальным образцам стоматологических инструментов созданы их 3D-модели.

Далее была предварительно создана база данных фотографий, схем и рисунков из литературных источников. На основе анализа этих изображений, а также собственных исследований, смоделирован патологический процесс. После завершения моделирования зубов и челюстей модель окрасили и текстурировали по имеющимся примерам изображений. Ветви сосудов и нервов покрасили в соответствии с их функциями: красным цветом – артериальные сосуды, синим – венозные сосуды, желтым – нервные волокна. Аналогично были выделены другие структуры 3D-модели (в том числе, интерпретация микроорганизмов и наночастиц препарата). При сравнении разных вариантов визуализации было решено, что некоторые детали следует упростить, а некоторым, наоборот, придать анатомическую точность. Были продуманы варианты движения камеры и объектов, создана их анимация, смоделированы изменения участков челюсти при развитии патологии.

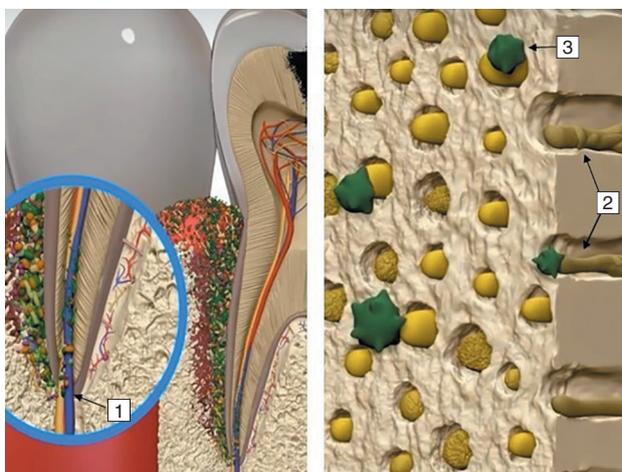
После создания 3D-модели, исходя из анализа литературных данных и результатов собственных исследований, создан сценарий голосового озвучивания с помощью профессионального диктора.

Конечным шагом первого этапа стал процесс лицензирования 3D-модели. На сайте [www.autodesk.ru](http://www.autodesk.ru) была загружена программа Autodesk Maya, там же получена образовательная лицензия. Видео обработано и смонтировано в видеоредакторе DaVinci Resolve, взятом с сайта [blackmagicdesign.com/ru/products/davinciresolve](http://blackmagicdesign.com/ru/products/davinciresolve).

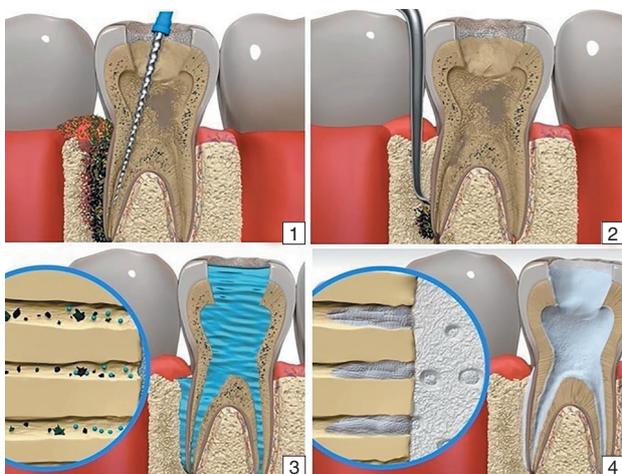
На втором этапе проведено анкетирование студентов IV и V курсов стоматологического факультета Тверского государственного медицинского университета. Всего в исследовании приняли участие 187 человек. Анкетирование выполняли до и после интерактивного занятия на тему «Эндо-пародонтальные поражения: классификация, особенности развития, диагностики и комплексного лечения» с использованием новой 3D-модели. Анкета включала в себя вопросы, касающиеся классификации, распространенности, этиологии и патогенеза, особенностей лечения. Для их статистической обработки результатов анкетирования выбрали критерий Мак-Немара (для



▲ Рис. 1 Возникновение очагов инфекции: 1 – микробиота пародонтального кармана; 2 – кариесогенная микробиота



▲ Рис. 2 Пути проникновения инфекции: 1 – апикальное отверстие; 2 – дентинные трубочки с отростками одонтобластов; 3 – патогенные микроорганизмы



▲ Рис. 3 Этапы лечения эндо-пародонтального поражения: 1 – механическая обработка корневых каналов; 2 – механическая обработка пародонтального кармана; 3 – антимикробная обработка нанопрепаратом; 4 – импрегнация нанопрепаратом

сравнения двух связанных групп по альтернативному описательному признаку).

### Результаты и их обсуждение

В результате была получена 3D-модель, наглядно демонстрирующая этиологию и патогенез, а также особенности современного комплексного лечения эндо-пародонтальных поражений.

3D-модель представляет собой видеоролик с 3D-визуализацией истинного комбинированного эндо-пародонтального поражения, сопровождающийся комментариями (голосовым озвучиванием) с объяснением происходящих на экране процессов. В самом начале видеоролика вниманию зрителя представляется определение эндо-пародонтального поражения. В это время на экране демонстрируется развитие двух отдельных патологий – пародонтита и осложненного кариеса, которые пока еще никак не связаны между собой (рис. 1).

Прогрессирование двух отдельных заболеваний и их дальнейшее слияние дает начало эндо-пародонтальному поражению. В видеоролике показывается, как пародонтопатогенная микробиота (обозначенная зеленым цветом) разрушает связочный аппарат и костные структуры, а затем проникает в пульпу зуба через апикальное отверстие, дополнительные каналы и дентинные трубочки (рис. 2). Одновременно с этим зритель видит на экране распространение кариесогенной микробиоты (обозначенной черным цветом), которая запускает воспалительный процесс в пульпе зуба. Давление в пульпарной камере повышается, что дает толчок к распространению эндотоксинов к апикальному отверстию, где встречаются патологические процессы, определяющие становление эндо-пародонтального поражения.

Особое внимание уделяется визуализации процесса сообщения пульпы зуба с тканями пародонта через дентинные трубочки, которые в норме заполнены дентинной жидкостью и отростками одонтобластов. При развитии патологического процесса дентинные трубочки заполняются микроорганизмами, токсины которых вызывают деминерализацию дентина и гибель отростков одонтобластов (при этом инфицирование может происходить как со стороны пародонта, так и из системы корневых каналов).

На экране зритель видит последствия разрушающего действия патогенной микробиоты: дезинтеграция пульпы и ее частичный или полный некроз, разрушение волокон периодонта, резорбция альвеолярной кости и цемента корня зуба. Это дает понимание особенностей развития патологии и подводит к мысли о важности междисциплинарного взаимодействия при лечении.

Во второй части видеоролика демонстрируются все этапы комбинированного лечения: механическая обработка корневых каналов, антисептическая обработка и obturation корневого канала, механическая обработка поверхности корня (рис. 3). В 3D-модели подчеркивается эффективность использования нанопрепаратов: в результате обработки возможно достичь деконтаминации системы корневых каналов, пародонтального кармана и дентинных трубочек.

На следующем этапе демонстрируется импрегнация дентинных трубочек нанопрепаратом. Зритель видит, что препарат работает как со стороны пародонта, так и со стороны полости зуба. Под увеличением показано проникновение активных частиц нанопрепарата в просвет дентинных трубочек, литическое действие на заселяю-

▼ Результаты анализа эффективности использования 3D-модели эндо-пародонтального поражения в образовательном процессе

Сравниваемые показатели	Тематика вопросов анкеты			
	Классификация	Распространенность	Этиология и патогенез	Лечение
Число студентов, давших правильные ответы до занятия, абс. (%)	60 (32%)	88 (47%)	65 (35%)	95 (51%)
Число студентов, давших правильные ответы после занятия, абс. (%)	118 (63%)	144 (77%)	120 (64%)	155 (83%)
Значение критерия Мак-Немара	54,258	47,515	48,016	54,545
Уровень значимости, <i>p</i>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

щие их микроорганизмы и надежная obturация просвета дентинных трубочек. Таким образом работает «Купрал» (Humanchemie GmbH, Германия): ионы гидроксида меди-кальция контактируют с дентинной или тканевой жидкостью, в результате чего образуются мельчайшие частицы (30–100 нм) сульфида меди, обладающие выраженной бактерицидной активностью и, как «пробки», закупоривающие просвет дентинных трубочек [7]. Для более качественной obturации многочисленных дентинных трубочек дополнительно можно использовать и другой нанопрепарат, например «Дентин-герметизирующий ликвид» (Humanchemie GmbH, Германия). После этого корневые каналы пломбируют классическими методами.

В большинстве случаев спрогнозировать заболевания эндодонтической и пародонтальной природы по отдельности несложно. Труднее предсказать развитие комбинированных поражений, так как прогноз в большей степени зависит от тяжести и степени поражения тканей пародонта. Важно понимать, что эндодонтическое лечение более предсказуемо, но его успех зависит от завершения и эффективности пародонтальной терапии. Комплексный подход к лечению имеет важное значение для успешных долгосрочных результатов.

Разработанную 3D-модель интегрировали в интерактивное занятие со студентами на тему «Эндо-пародонтальные поражение: классификация, особенности развития, диагностики и комплексного лечения». Методом анкетирования были получены два массива данных – результаты тестирования студентов до интерактивного занятия с применением 3D-модели и результаты тестирования после занятия (таблица). После проведенного занятия на вопросы, связанные с распространенностью эндо-пародонтальных поражений, студенты ответили лучше в среднем на 30%, на вопросы о классификации – на 31%, на вопросы об этиологии и патогенезе – на 29%, на вопросы о лечении – на 32%. Различия между показателями до и после занятия статистически значимы ( $p < 0,001$ ).

## Выводы

Созданная компьютерная 3D-модель эндо-пародонтального поражения детально отражает анатомические особенности строения зуба и тканей пародонта, наглядно демонстрирует этапы развития сочетанной эндо-пародонтальной патологии и современного комплексного лечения с использованием нанопрепаратов. Применение 3D-модели в научно-образовательном процессе способно

повысить качество знаний обучающихся о данной патологии.

### Координаты для связи с авторами:

+7 (915) 729-39-11, [moiseeff.den@yandex.ru](mailto:moiseeff.den@yandex.ru) – Моисеев Денис Александрович; +7 (906) 554-35-07, [rummyancev\\_v@tvergma.ru](mailto:rummyancev_v@tvergma.ru) – Румянцев Виталий Анатольевич; +7 (910) 640-40-03, [volkov\\_si@mail.ru](mailto:volkov_si@mail.ru) – Волков Сергей Иванович; +7 (900) 111-12-13, [egrodionova@gmail.com](mailto:egrodionova@gmail.com) – Родионова Елена Георгиевна; +7 (996) 922-10-41, [diana0909.dg@gmail.com](mailto:diana0909.dg@gmail.com) – Журавлева Диана Вячеславовна

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гиляева В.В., Ханова И.А. Клинико-морфологический профиль пульпы при эндодонтических поражениях с признаками воспалительной деструкции. – Медико-фармацевтич. журн. «Пульс», 2019, № 4 (21). – С. 17–20.
2. Грудянов А.И., Макеева М.К., Пятигорская Н.В. Современные представления об этиологии, патогенезе и подходах к лечению эндо-пародонтальных поражений. – Вестн. РАМН, 2013, № 8 (68). – С. 34–36.
3. Денисова Ю.Л., Герасимович А.И., Росеник Н.И. Клинико-патоморфологические изменения тканей периодонта у пациентов с эндодонтизом. – Медицинский журнал, 2018, № 2 (64). – С. 42–47.
4. Моисеев Д.А., Румянцев В.А., Волков С.И. с соавт. Морфологические аспекты взаимоотношения тканей пародонта и пульпы зубов. – Проблемы стоматологии, 2021, № 2 (17). – С. 77–83.
5. Мороз П.В. Эндо-пародонтальный синдром: анатомические предпосылки развития, этиология, классификация и тактика лечения. – Институт стоматологии, 2014, № 2 (63). – С. 91–94.
6. Росеник Н.И., Денисова Ю.Л. Распространенность эндодонтиза у пациентов с болезнями периодонта. – Инновации в медицине и фармации, 2016. – С. 357–361.
7. Румянцев В.А., Некрасов А.В., Моисеев Д.А. с соавт. Биопленка в эндодонтии. Часть II. Методы борьбы с биопленкой при эндодонтическом лечении зубов (обзор литературы). – Эндодонтия today, 2018, № 2. – С. 38–42.
8. Румянцев В.А., Федотова Т.А., Заблочкая М.В. с соавт. Новый метод комплексного лечения эндодонто-пародонтальных поражений с помощью наноимпрегнации и купрал-кюретажа. – Верхневолж. мед. журн., 2017, № 4 (16). – С. 4–9.
9. Bonaccorso A., Tripi T. Endo-perio lesion: diagnosis, prognosis and decision-making. – ENDO, 2014, v. 8 (2). – P. 105–127.
10. Gong A.-X., Zhang J.-H., Li J. et al. Comparison of gene expression profiles between dental pulp and periodontal ligament tissues in humans. – Int. J. Molec. Med., 2017, v. 3 (40). – P. 647–660.