

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

Научная статья

УДК 591.3/4

<https://doi.org/10.17021/1992-6499-2025-3-17-33>

3.3.1. Анатомия человека (медицинские науки)

МОРФОГЕНЕЗ ВЕРХНЕЙ ЧЕЛЮСТИ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС В ОНТОГЕНЕЗЕ

Владислав Игоревич Лузин¹, Виталий Николаевич Морозов²,
Елена Николаевна Морозова², Алексей Владимирович Солин²,
Надежда Александровна Мосягина¹

¹Луганский государственный медицинский университет имени Святителя Луки, Луганск, Россия

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Аннотация. Верхняя челюсть крыс является уникальным экспериментальным объектом в медико-биологических исследованиях и используется для моделирования различных патологических процессов: переломов, постменопаузального остеопороза, нарушений дентиногенеза и энамелогенеза. Верхняя челюсть крыс и человека отличаются по ряду морфофункциональных аспектов, связанных с особенностями питания и строением резцов у грызунов, однако всестороннее изучение процессов ее развития, роста и формообразования у крыс в эксперименте будет способствовать дальнейшему пониманию особенностей ее организации у человека. **Цель исследования:** провести анализ отечественной и зарубежной литературы, обобщить и систематизировать сведения о строении верхней челюсти лабораторных крыс на различных этапах онтогенеза. Поиск литературы по тематике представленной работы был проведен с использованием баз данных Elibrary и PubMed до 10.09.2024 г. включительно. Источники литературы были проанализированы вне зависимости от даты, языка и типа (полнотекстовый или только аннотации). Всесторонне рассмотрены вопросы, касающиеся источников и периодов развития, макроскопического строения верхней челюсти, особенностей строения альвеолярной кости и ее реакции на экзогенные стимулы, особенностей структурной организации эмалевого органа, дентина, цемента, пульпы, периодонта, их кровоснабжения и иннервации в различные периоды онтогенеза. Несмотря на различия в структурно-функциональной организации верхней челюсти человека и крыс, базовое устройство их альвеолярной кости, дентина, эмали, пульпы имеет много общего.

Ключевые слова: лабораторная крыса, верхняя челюсть, резец, моляры, альвеолярная кость

Для цитирования: Лузин В. И., Морозов В. Н., Морозова Е. Н., Солин А. В., Мосягина Н. А. Морфогенез верхней челюсти лабораторных крыс в онтогенезе // Астраханский медицинский журнал. 2025. Т. 20, № 3. С. 17–33. <https://doi.org/10.17021/1992-6499-2025-3-17-33>.

SCIENTIFIC REVIEWS

Review article

MORPHOGENESIS OF LABORATORY RAT'S UPPER JAW IN ONTOGENESIS

Vladyslav I. Luzin¹, Vitaliy N. Morozov², Elena N. Morozova²,
Alexey V. Solin², Nadezhda A. Mosyagina¹

¹Sent Luke Lugansk State Medical University, Lugansk, Russia

²Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Abstract. The rat's upper jaw is a unique experimental object in biomedical research and is used to model various pathological conditions: fractures, postmenopausal osteoporosis, disorders of dentinogenesis and enamelogenesis. The rat's upper jaw and humans differ in a number of morpho-functional aspects related to the peculiarities of nutrition and the structure of incisors in rodents. However, a comprehensive study of the processes of its development, growth and formation in rats in the experiment will contribute to further understanding of the features of its organization in humans. The purpose of the research: to analyze the existing domestic and foreign literature, to summarize and systematize the available information about the structure of the laboratory rat's upper jaw at various

stages of ontogenesis. The literature search on the subject of the presented article was conducted using the elibrary and PubMed databases, inclusive, until 09.10.2024. Literature sources were analyzed regardless of date, language and type (full text or abstract only). The presented work comprehensively examines issues related to the sources and periods of development, the macroscopic structure of the upper jaw, the structural features of the alveolar bone and its response to exogenous stimuli, the structural organization of the enamel organ, dentin, cement, pulp, periodontium, their blood supply and innervation during various periods of ontogenesis. Despite the differences in structural and functional organization of the upper jaw of humans and rats, the basic structure of their alveolar bone, dentin, enamel, periodontium and pulp has much in common.

Key words: laboratory rat, upper jaw, incisor, molars, alveolar bone

For citation: Luzin V. I., Morozov V. N., Morozova E. N., Solin A. V., Mosyagina N. A. Morphogenesis of laboratory rat's upper jaw in ontogenesis. Astrakhan Medical Journal. 2025; 20 (3): 17–33. <https://doi.org/10.17021/1992-6499-2025-3-17-33> (In Russ.).

Введение. Верхняя челюсть крыс (*Rattus norvegicus*) является уникальным экспериментальным объектом в медико-биологических исследованиях и используется для моделирования различных патологических процессов. Данная кость скелета используется для изучения особенностей заживления ее переломов после имплантации различных костно-пластиических материалов, особенностей строения альвеолярной кости в постменопаузальном периоде, нарушений дентиногенеза и энамелогенеза при различных экзогенных и эндогенных влияниях [1–4]. При этом особое значение имеет знание исследователем макро- и микроскопических особенностей строения верхней челюсти крыс с целью избежания ложной интерпретации морфологических изменений в этом органе на органном, тканевом, клеточном и субклеточном уровнях организации у человека.

Цель: провести анализ отечественной и зарубежной литературы, обобщить и систематизировать сведения о строении верхней челюсти лабораторных крыс на различных этапах онтогенеза.

Поиск литературы по тематике представленной статьи был проведен с использованием баз данных Elibrary и PubMed до 10.09.2024 г. включительно. Источники анализировали вне зависимости от даты, языка и типа публикации (полнотекстовый или только аннотации). В анализируемых публикациях были изучены списки цитируемой литературы для расширения объема информации, включаемой в обзор. Информационный поиск проводили по следующим ключевым словам: «верхняя челюсть крысы», «резец верхней челюсти крысы», «моляры верхней челюсти крысы», «альвеолярная кость верхней челюсти крыс». Критериями исключения стали аналогичные составляющие верхней челюсти у других животных. В работу были включены результаты оригинальных исследований отечественных и зарубежных авторов по анализируемой тематике, исключены обзоры и метаанализы.

Крысы входят в состав отряда грызунов (Rodentia), который представляет собой самую многочисленную и разнообразную группу млекопитающих (около 40 % от всех видов). Они характеризуются наличием на верхних и нижних челюстях двух хорошо развитых резцов, которые не имеют корней, постоянно растут и прорезываются в течение жизни, что является характерной особенностью зубочелюстного аппарата у представителей этого отряда. В зубной формуле крыс отсутствуют клыки и премоляры [5].

Анатомия верхней челюсти. Макроскопически верхняя челюсть крысы состоит из двух костей с каждой стороны – предчелюстной (premaxilla, os incisivum) и челюстной (maxilla) (рис. 1). С каждой стороны эти кости соединены при помощи sutura premaxillo-maxillaris или sutura incisiva. Сзади верхняя челюсть соединяется с крыловидной костью при помощи sutura pterygomaxillaris, а также соединена с базисфеноидом и небной костью при помощи швов. Участок верхней челюсти от вогнутой стороны резца до первого моляра называется диастемой, а расстояние от альвеолярного гребня на вогнутой (язычной) стороне резца до самой передней точки первого моляра используется в качестве показателя для определения сагиттального роста верхней челюсти [6].

Анатомическими образованиями предчелюстной кости являются альвеола для резца и носослезный канал. Альвеола для резца расположена на верхней поверхности ее тела и заканчивается спереди от верхушки передне-мезиального корня первого моляра. Она содержит базальную пятую часть резца и повторяет его форму. Латеральная стенка альвеолы для резца образует медиальную сторону носослезного канала. Дополнительная костная пластинка окружает данную часть альвеолы, формируя латеральную стенку носослезного канала, а также переднюю границу нижней глазничной щели.

Подглазничная пластинка является вогнутой, гладкой, четырехугольной и начинается от переднелатеральной поверхности тела, направляясь вверх и латерально. Она формирует нижнюю и латеральную стенку подглазничного отверстия, ее передний край образует заднюю границу нижней глазничной щели. Подглазничная пластинка дает начало двум отросткам – лобному, менее крупному, направленному кверху и медиально от ее верхней поверхности и более крупному склеровому, направленному вниз и назад.

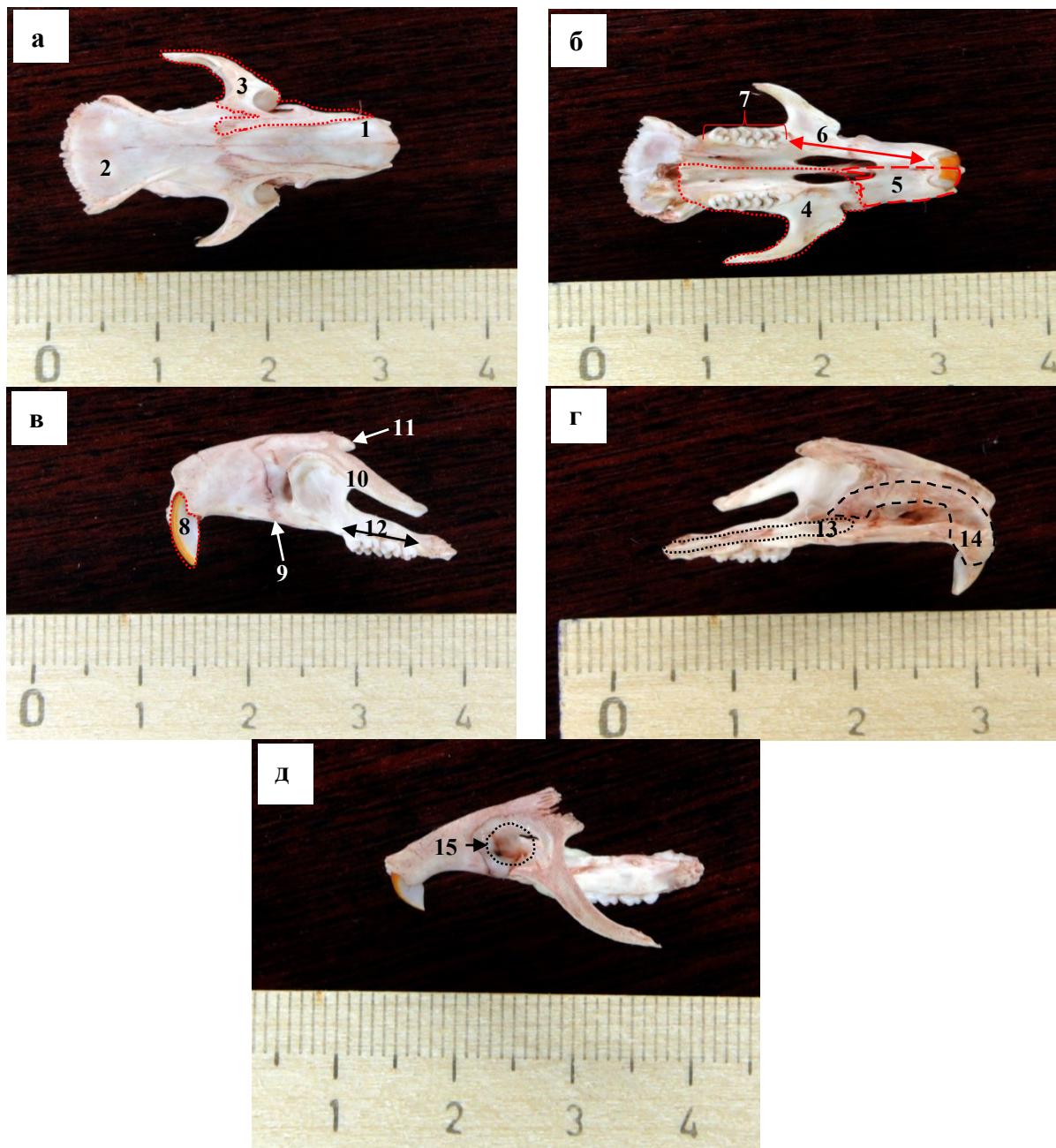


Рисунок 1*. Особенности строения черепа белой беспородной половозрелой крысы-самца:
 а – череп (вид сверху); б – череп (вид снизу); в – верхняя челюсть (вид сбоку); г – верхняя челюсть
 (вид изнутри); д – верхняя челюсть (вид сверху и сбоку): 1 – носовая кость, 2 – лобная кость, 3 – верхняя че-
 люсть, которая состоит из 4 – maxilla, 5 – premaxilla (os incisivum), 6 – диастема, 7 – молярный ряд, 8 – резец,
 9 – sutura premaxillo-maxillaris, 10 – скуловой отросток, 11 – лобный отросток, 12 – альвеолярный отросток,
 13 – небный отросток, 14 – альвеола резца, 15 – подглазничное отверстие

Figure 1. Features of the skull structure of a white outbred mature male rat: а – skull (top view); б – skull (bottom view); в – upper jaw (side view); г – upper jaw (inside view); д – upper jaw (top and side view): 1 – nasal bone, 2 – frontal bone, 3 – upper jaw, which consists of 4 – maxilla, 5 – premaxilla (os incisivum), 6 – diastema, 7 – molar row, 8 – incisor, 9 – sutura premaxillo-maxillaris, 10 – zygomatic process, 11 – frontal process, 12 – alveolar process, 13 – palatine process, 14 – alveolus of the incisor, 15 – infraorbital foramen

*Фотографии взяты из архива кафедры анатомии человека, оперативной хирургии и топографической анатомии Луганского государственного медицинского университета им. Святителя Луки.

Photographs taken from the archive of the Department of Human Anatomy, Operative Surgery and Topographic anatomy of Sent Luke Lugansk State Medical University.

Альвеолярный отросток шире спереди, чем сзади, отходит вниз от тела верхней челюсти и содержит альвеолы для корней трех моляров.

Небный отросток отходит медиально от тела верхней челюсти и соединяется с аналогичным отростком противоположной верхней челюсти, вместе формируя большую часть костного неба. Спереди небный отросток визуализируется как небольшая ость и соединяется с аналогичной структурой предчелюстной кости, образуя носонебный канал.

Решетчатый отросток является тонкой костной пластинкой, начинается позади альвеолы резца, идет вверх и латерально и при помощи шва соединяется с решетчатой костью сразу ниже ее продырявленной пластинки [7].

В развитии верхней челюсти можно выделить три периода:

- первый начинается с 16 дня эмбрионального развития и характеризуется скоплением мезенхимальных клеток, формирующих зачатки стенки носовой полости и верхней челюсти;
- второй (от 17 до 20 дней) соответствует началу роста верхней челюсти до периода образования швов;
- третий (от 20 дня эмбрионального развития до 30 дней после рождения) характеризуется преобладанием роста в области швов.

На 17 день эмбрионального развития в соединительнотканной закладке верхней челюсти появляется одна точка окостенения, расположенная спереди от молярной зубной пластинки и кнаружи латерального хряща носа. В этот срок большинство отростков верхней челюсти уже различимы. Необходимо учитывать то, что верхняя челюсть не является самостоятельным образованием, а представляет собой часть черепа, растет и формируется в гармонии с ростом и перемещением других его структурных компонентов. В ранние сроки развития рост этого органа в различных направлениях является результатом аппозиции костной ткани на поверхностях верхней челюсти и в области ее швов. Процесс аппозиции костной ткани уравновешивается процессом костной резорбции. Также верхняя челюсть в процессе своего развития синхронно с окружающими структурами осуществляет свое перемещение в черепе.

Под аппозиционным ростом в области швов подразумевается костеобразование не в месте соединений костей, а под ними. Швы верхней челюсти играют важную роль в процессе ее роста. В продольном направлении верхняя челюсть растет за счет sutura premaxillo-maxillaris, sutura zygomatico-maxillaris и sutura maxillo-palatinus. Рост верхней челюсти в высоту и ее смещение книзу в процессе развития обеспечивается sutura fronto-maxillaris и sutura ethmoido-maxillaris, а в ширину – sutura palatina mediana. Дополнительную роль в поперечном росте верхней челюсти играет аппозиция костной ткани вдоль верхнелатеральной поверхности скулового отростка с соответствующей резорбцией на его нижнемедиальном крае. Sutura palatina mediana, расположенный по срединной линии между небными отростками верхних челюстей, представляет собой хрящ и образует так называемый верхнечелюстной симфиз. К 4-дневному возрасту в участке хряща, прилежащего к небному отростку, обнаруживается отек хондроцитов и увеличивается базофилия межклеточного вещества. В медиальных участках хряща определяются признаки его аппозиционного роста, который продолжается до 30 дней после рождения [7].

Особенности строения альвеолярной кости. Альвеолярная кость является специализированной частью верхней челюсти и служит механической опорой зуба. Стенка зубной альвеолы, сформированная из альвеолярной кости, является местом прикрепления волокон периодонтальной связки, которые передают механическую нагрузку от зуба к ней [8].

Установлено, что альвеолярная кость реагирует на метаболические изменения организма иначе, чем костная ткань других костей скелета [9]. В частности, альвеолярная кость, формирующая стенку зубной альвеолы, обладает способностью к быстрому обновлению своей структуры, а также адаптируется к новому положению зубов при функциональной нагрузке на них или физиологических смещениях, что имеет место в процессе роста челюсти [10].

Гистологически альвеолярная кость, по сравнению с губчатым веществом трубчатой кости, имеет большую костную массу, меньшее число костномозговых полостей, которые более узки, а также более минерализованные костные трабекулы. По гистоархитектонике альвеолярная кость больше напоминает компактный слой кости, чем губчатый [11].

Нагрузка, которая воздействует на отдельные зубы, может оказывать влияние не только на прилежащую альвеолярную кость, но и на слой окружающей ее компактной кости. Остеоциты воспринимают нагрузку через интерстициальную жидкость, присутствующую в каналцах и собственных лакунах, и генерируют сигналы, воздействующие на близлежащие клетки, а также на те, которые

расположены на отдалении [12]. В исследовании показано, что слой компактной кости на уровне первого моляра у крыс в возрасте 8 месяцев толстый и гистологически состоит из остеоцитов, остеобластов, остеокластов умеренной функциональной активности. При создании ортодонтических нагрузок слой компактной кости истончается и увеличивается активность остеобластов. В условиях дефицита эстрогенов после проведенной овариэктомии слой компактной кости также истончается и на одну треть ширины состоит из грубоволокнистой костной ткани с низкой активностью остеобластов, остеокластов и сниженным количеством остеоцитов [13].

В исследованиях установлена прогрессирующая с возрастом потеря массы альвеолярной кости. У крыс-самцов наиболее быстрое снижение параметров, характеризующих костеобразование и резорбцию, зафиксировано с 6-недельного до 30–40-недельного возраста. После 40 недель значения параметров продолжают снижаться до 100-недельного возраста, однако не статистически значимо. Также установлено, что в ходе наблюдения в мезиальной стенке зубной альвеолы наблюдаются более высокие, чем в дистальной, значения параметров, характеризующих костеобразование, а в дистальной стенке – более высокие значения параметров, характеризующих костную резорбцию. Это свидетельствует о том, что процессы ремоделирования в альвеолярной кости являются сайто-специфичными [8].

В исследовании на крысах-самках в возрасте 30–60 дней (молодые), 220–430 дней (взрослые), 640–850 дней (среднего возраста) и более 850 дней (сенильные) установлено, что резорбция альвеолярной кости верхней челюсти постепенно прогрессирует до достижения ими возраста 850 дней, а затем ее темпы снижаются [14].

С возрастом наблюдается изменение гистоархитектоники и минеральной плотности альвеолярной кости между корнями моляров. У крыс к возрасту 30 дней в межкорневой альвеолярной кости наблюдается незначительное преобладание площади костномозговых полостей над площадью, занимаемой костными трабекулами. К 90 дню имеет место увеличение минеральной плотности костной ткани, а к 180 дню относительное количество межкорневой альвеолярной кости составляет около 70 % от такового в возрасте 1 года. В возрасте от 360 до 720 дней минеральная плотность межкорневой альвеолярной кости постепенно уменьшается. При световой микроскопии показано, что у молодых животных костномозговые полости широкие и более чем на половину заняты красным костным мозгом. У крыс старшего возраста узкие костномозговые полости занимают меньшую площадь межкорневой альвеолярной кости и содержат желтый костный мозг или соединительную ткань. У животных после 1 года эти полости в одной четвертой или третьей пришеечной части межкорневой альвеолярной кости содержат соединительную ткань, иногда определяются эпителий и признаки воспаления. Встречаются большие по площади полости в альвеолярной кости между корнями зубов [15].

В процессе ремоделирования альвеолярной кости верхней челюсти крыс клетки остеогенной линии неизбежно погибают и преобразуются в апоптозные тельца, элимируемые остеобластами. В исследовании показано, что у крыс в возрасте 11–19 дней после рождения на начальных стадиях формирования альвеолярной кости выявляется большое количество крупных остеобластов с выраженной полярностью, сплошным слоем расположенных на поверхности кости. На гистологических препаратах, окрашенных гематоксилином-эозином, обнаружены образования округлой или овальной формы, содержащие плотные тельца, которые интенсивно окрашены гематоксилином. В некоторых случаях данные образования располагаются в непосредственной близости к остеобластам типичной морфологии, а иногда цитоплазматические отростки крупных остеобластов окружают эти структуры. Часто эти плотные тельца были окружены прозрачным светлым ободком. Электронно-микроскопически в цитоплазме некоторых типичных по морфологии остеобластов определялись округлые или овальные структуры. Одни представляют собой компактные электронно-темные тельца, а другие содержат остатки органелл. Иногда в остеобластах обнаруживались крупные вакуоли, содержащие зернистый материал и электронно-темные тельца неправильной формы, похожие на конденсированный хроматин. Метод TUNEL показывает фрагментацию ДНК, которая является обязательной частью каскада событий, происходящих во время гибели клеток. Предполагается, что выявленные тельца являются апоптозными и, вероятно, происходят от погибающих костных клеток, которые поглощаются остеобластами на поверхности кости на ранних стадиях формирования альвеолярной кости вокруг моляров [16].

Особенности строения зубов. У резцов верхней челюсти крыс губная поверхность покрыта эмалью, а язычная – цементом. Из-за этого предполагается, что у крыс дентин со стороны губной поверхности соответствует дентину коронки зуба человека, а дентин со стороны язычной поверхности – дентину корня зуба. Дентин коронки зуба образуется одонтобластами после их индукции со стороны

эпителиоцитов внутреннего эмалевого эпителия, а дентин корня – одонтобластами, стимулированными эпителием корня зуба (рис. 2). В связи с этим дентин корня зуба и дентин коронки отличаются как по составу органического матрикса, так и по механизму кальцификации [17].

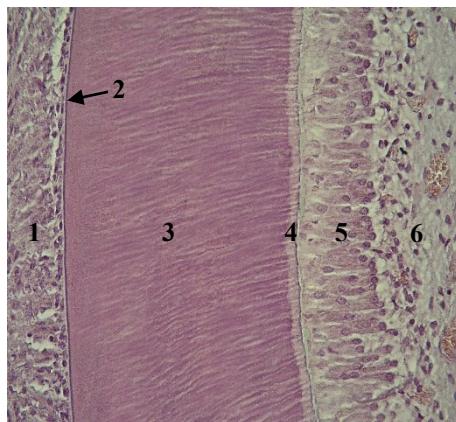


Рисунок 2*. Микроскопическое строение участка резца верхней челюсти половозрелой беспородной крысы-самца: 1 – периодонт; 2 – эмаль; 3 – дентин; 4 – предентин; 5 – одонтобласти; 6 – пульпа.

Окраска: гематоксилин-эозин. Объектив 40×, окуляр 10×

Figure 2. Microscopic structure of a section of the upper jaw incisor of outbred mature male rat:
1 – periodontium; 2 – enamel; 3 – dentin; 4 – predentin; 5 – odontoblasts; 6 – pulp. Staining: hematoxylin and eosin.
Objective 40×, eyepiece 10×

В исследовании на крысах половозрелого возраста было установлено, что гистологически при окраске гематоксилином-эозином в язычном дентине кальцосфериты (участки минерализованного дентина) в предентине были плоскими, небольшими (средний диаметр 4,5 мкм), распределенными неравномерно. В язычном дентине инкрементальные линии (контурные линии Оуэна), отражающие суточный ритм отложения дентина одонтобластами, были интенсивно окрашены гематоксилином. В губном дентине кальцосфериты в предентине были шаровидными, крупными (средний диаметр 9,8 мкм), их по числу значительно больше, чем в язычном дентине. Флюоресцентное окрашивание с тетрациклином и импрегнация серебром по Бильшовскому показали идентичные результаты: в язычном дентине инкрементальные линии были линейными, а в губном дентине они волнообразно проходили от среднего слоя к поверхностному (обходя крупные кальцосфериты), но были линейными в глубоком слое.

Методом поляризационной световой микроскопии установлено, что в язычном дентине коллагеновые волокна и кристаллы гидроксиапатита расположены почти перпендикулярно дентинным канальцам и ориентируются параллельно продольной оси резца верхней челюсти. При этом ориентация коллагеновых волокон и кристаллов гидроксиапатита в губном дентине была разной в его поверхностном, среднем и глубоком слоях.

При сканирующей электронной микроскопии установлено, что в язычном дентине отростки одонтобластов (волокна Томса) присутствовали в его глубоком слое и были менее заметны в поверхностном, кальцосфериты отсутствовали. В губном дентине отростки одонтобластов располагались перпендикулярно его поверхности. В среднем слое выявляется межглобулярный дентин и кальцосфериты [18].

Непрерывное постоянное прорезывание и дентиногенез в резцах верхней челюсти крыс уравновешиваются их стиранием. У крыс в возрасте 150 дней было обнаружено, что интенсивность дентиногенеза увеличивается в направлении от верхушечной части резца, достигая максимума в его средней части, а затем уменьшается в направлении базальной части. В частности, скорость дентиногенеза в верхушечной части резца составляет 12 мкм/сут., в средней – 28 мкм/сут., в базальной – 8 мкм/сут. Полное обновление резцов происходит примерно каждые 50 сут. [19].

Для обеспечения дентиногенеза важное значение имеет быстрое и достаточное поступление необходимых веществ с кровотоком по сосудам пульпы. В исследовании дентиногенеза в молярах

*Фотографии взяты из архива кафедры анатомии человека, оперативной хирургии и топографической анатомии Луганского государственного медицинского университета им. Святителя Луки.

Photographs taken from the archive of the Department of Human Anatomy, Operative Surgery and Topographic anatomy of Sent Luke Lugansk State Medical University.

верхней челюсти у крыс в возрасте от 18,5 дней эмбрионального развития до 100 дней после рождения установлено, что скорость отложения дентина в мезиальной части коронки постепенно увеличивается с момента начала дентиногенеза, через 25–30 дней снижается и через 60 дней практически прекращается. Наибольшая скорость отложения дентина была зафиксирована на 15–20 дни и равнялась 17–20 мкм/сутки. На ранней стадии развития моляров кровеносные сосуды, проникающие в пульпу, формировали крупнопетлистую сеть, состоящую из капилляров диаметром 20–40 мкм. На стадии дифференцировки одонтобластов плотность капиллярной сети постепенно увеличивается, а их диаметр уменьшается (10–15 мкм) по сравнению с предыдущей стадией. На этапе начала дентиногенеза плотность капиллярной сети увеличивается, наружный контур капилляров становится волнистым. Однако через некоторое время последняя особенность исчезает, капиллярная сеть становится плоской, плотной и состоит из капилляров диаметром около 5 мкм. Венозная сеть в пульпе моляров верхней челюсти развита слабо [20].

До момента дифференцировки одонтобластов и в ее начале кровеносные капилляры не имеют тесной связи с одонтобластами. Ультрамикроскопически на поперечном срезе капилляр состоит из нескольких эндотелиальных клеток. В процессе дифференцировки одонтобластов кровеносные капилляры постепенно смещаются к периферическим отделам пульпы, уменьшаются в диаметре и располагаются уже непосредственно под слоем одонтобластов. Последние после старта дентиногенеза лежат в один слой и приобретают призматическую форму (высота 30–40 мкм). Ядра одонтобластов локализуются в проксимальной части клеток, их органеллы развиты. На поперечном срезе капилляры состоят из 2–3 слоев эндотелиальных клеток и залегают под слоем одонтобластов, но не проникают в этот слой. По мере секреции предентина высота одонтобластов постепенно увеличивается. При достижении общей ширины предентина и дентина значения 30 мкм капилляры начинают проникать в слой одонтобластов, их просвет суживается, и они вплотную достигают слоя предентина.

В процессе активной секреции предентина одонтобласти достигают высоты 60–90 мкм, их синтетический аппарат развит. По мере секреции предентина полость пульпы уменьшается из-за его смещения внутрь, одонтобласти прижимаются друг к другу и образуют картину многорядного эпителия. Капилляры, состоящие из 1–2 эндотелиальных клеток, располагаются близко к предентину, а большинство ядер этих клеток смещено в сторону пульпы. В дальнейшем капилляры возле слоя предентина приобретают фенестрированный вид, а количество фенестр возрастает по мере увеличения активности дентиногенеза.

Через 40–50 дней после рождения капилляры также располагаются в слое одонтобластов, однако число фенестр постепенно уменьшается с момента уменьшения высоты одонтобласта до 40–50 мкм в центральной части коронки моляра. Через 60–70 дней высота одонтобластов уже составляет 30–40 мкм, капилляры постепенно смещаются от границы с предентином до одонтобласта, в них выявляются единичные фенестры. Через 100 дней одонтобласти заметно уменьшаются в высоту до 10–20 мкм, капилляры в их слое отсутствуют, они локализуются только под слоем одонтобластов и имеют строение соматического капилляра [20]. В процессе формирования reparативного дентина проникновения кровеносных капилляров в слой одонтобластов и приобретения ими фенестр не происходит [21]. Одонтобласти соединяются друг с другом при помощи плотных контактов только спустя некоторое время с момента начала процесса дентиногенеза [22]. Вышеуказанные изменения свидетельствуют о том, что изменения скорости дентиногенеза тесно связаны с высотой одонтобластов и положением кровеносных капилляров.

В исследовании на крысах в возрасте 10, 15, 30, 60, 90, 125 и 400 дней установлены возрастные особенности гистологического строения пульпы моляров верхней челюсти.

В возрасте животного 10 дней первый моляр не полностью сформирован и не прорезывается в ротовую полость. Форма коронки имеет дефинитивный вид таковой у зрелого моляра, развитие корня зуба еще не начинается. Объем пульпы большой, она характеризуется высокой плотностью клеток. Ее окружает тонкий слой дентина. Одонтобласти сплошным слоем занимают положение в периферическом отделе пульпы. Эти клетки имеют призматическую форму (длина 50–70 мкм, ширина 10 мкм), овальной формы базофильное ядро с сетеобразной структурой хроматина и базофильную цитоплазму. Мезенхимальные клетки равномерно распределены в пульпе за исключением области, прилегающей к внутреннему корневому эпителиальному влагалищу и дну пульпарной камеры. В этих областях плотность клеток выше. В участках пульпы, примыкающих к слою одонтобластов, мезенхимальные клетки имеют грушевидную и веретеновидную форму. Капилляры равномерно распределены в пульпе, некоторые из них определяются между одонтобластами. Клеточный состав пульпы представлен гистиоцитами, макрофагами, фибробластами и экстравазальными эритроцитами.

Преобладают тонкие ретикулярные волокна, равномерно распределенные в пульпе. Возле зубного фолликула выявляются пучки коллагеновых волокон, которые начинаются от эпителиального корневого влагалища Гертвига и покрывают конец формирующегося корня. Эпителиальное корневое влагалище Гертвига представляет собой группу активно делящихся клеток в области шейной петли развивающегося зуба, которые инициируют дентиногенез в корне путем дифференцировки клеток зубного сосочка в одонтобласти. Впоследствии это корневое влагалище исчезает в процессе развития зуба. Между одонтобластами определяются волокна Корфа, которые начинаются от зубного сосочка и в спиральном направлении окружают эти клетки. Считается, что появление этих волокон в пульпе является признаком начала дентиногенеза.

В возрасте 15 дней начинается формирование корня, но прорезыванием зуба оно не сопровождается. Ширина слоя дентина в коронке в несколько раз больше, чем предентина, а в корне ширина дентина и предентина практически аналогичная. Распределение клеток в пульпе, их видовые представители такие же, как и на 10 день наблюдения, однако их пролиферативная активность достигает пика в этот срок наблюдения. Коллагеновые волокна выявляются в пульпе формирующихся корней.

В возрасте 30 дней вторичный дентин в области рогов пульпы четко отделяется базофильной линией. Эта линия является интенсивно окрашенной контурной линией Оуэна и отделяет каждый кальцифицированный слой дентина. Вторичный дентин окрашивается светлее, чем первичный дентин и содержит меньше дентинных канальцев. После 30 дней формирование дентина корня зуба завершается, и он прорезывается в ротовую полость. Это событие сопряжено с резким падением популяции клеток пульпы примерно на 50 % [23].

В ходе следующих сроков наблюдения – 30, 60, 90 и 125 дней – слой вторичного дентина утолщается, объем пульпы уменьшается, а ее клеточный состав остается относительно постоянным. К 400 дню вторичный дентин в области рогов пульпы образует конус, верхушкой направленный в сторону пульпарной камеры, плотность клеток здесь более высокая, чем в предыдущих возрастных группах, и они концентрируются ближе к ее стенкам. Эта скученность клеток в пульпе напоминает внешне аналогичную в слое одонтобластов, дающую вид многорядного эпителия. Хотя к 400 дню плотность клеток была выше, их общий размер, как и размер ядер, был меньше, чем в младших возрастных группах. При этом с возрастом ядра клеток пульпы окрашиваются красителями более интенсивно, а их границы становятся более размытыми. Число коллагеновых волокон увеличивается пропорционально ретикулярным волокнам, особенно в пульпе корня моляра, по сравнению с возрастом 10–15 дней. В целом отмечается тенденция к утолщению волокон и преобладанию коллагеновых над ретикулярными как в пульпе корня, так и в коронке [23].

В исследовании на крысах сходных возрастных групп в пульпе моляров верхней челюсти были обнаружены митотически активные клетки, что свидетельствует о том, что пульпа моляров способна к обновлению клеток по меньше мере в течение 400 дней. В возрасте 10 дней наблюдается значительная активность пролиферации клеток мезенхимального происхождения и признаки ее увеличения к 15 дням. Этот период совпадает с началом формирования корней моляров, что ведет к увеличению объема пульпы. Часть пролиферирующих клеток дифференцируется в одонтобласти, но большинство остается в пределах пульпы. Вышеуказанное является важным физическим фактором, способствующим прорезыванию зуба в ротовую полость. В возрасте от 15 до 30 дней при завершении формирования корней активность пролиферации клеток резко снижается, как и клеточный состав пульпы. В 30-дневном возрасте завершается прорезывание первого моляра в ротовую полость, и пульпа обеспечивает низкое, но постоянное обновление популяции мезенхимальных клеток и клеток, дифференцирующихся из них. Пульпарная полость уменьшается в размерах из-за вторичной аппозиции дентина, однако количество клеток на единицу площади в ней с течением времени увеличивается из-за повышения плотности расположения клеток и уменьшения содержания межклеточного вещества. На 400 день скорость обновления популяции клеток пульпы лишь немногим меньше таковой в возрасте 60, 90, 125 дней [24].

Становление иннервации пульпы моляров верхней челюсти крыс состоит из двух этапов: линейная инвазия нервных волокон в пульпарную камеру параллельно кровеносным сосудам и распространение нервных волокон к дентину коронки. При этом проникновение нервных волокон в пульпарную камеру резца может остановиться на первом этапе. В исследовании показано, что у крыс 3-дневного возраста пульпа резцов и моляров еще не иннервирована, а в возрасте 7 дней нервные волокна обнаружены по ходу кровеносных сосудов пульпы. Характер иннервации резца и моляров схож в этом возрасте. У крыс в возрасте 15, 27 и 41 день после рождения в пульпе моляров выявляется хорошо выраженное сплетение нервных волокон под слоем одонтобластов пульпы (субодонтальное

сплетение), которое проникает в дентин, а в пульпе резцов аналогичное сплетение отсутствует и не участвует в иннервации дентина [25].

Активность пролиферации клеток тканей резца верхней челюсти крыс зависит от времени суток. В исследовании на крысах в возрасте 32 дней установлено, что митотическая активность преамелобластов, клеток промежуточного слоя эмали, одонтобластов и клеток пульпы резцов верхней челюсти крысы подвергается выраженным циклическим изменениям в течение суток. Циркадные ритмы преамелобластов и клеток пульпы очень сходны. При этом аналогичные ритмы клеток промежуточного слоя и одонтобластов менее похожи с циркадными ритмами у преамелобластов и клеток пульпы. Однако при сравнении таковых всех четырех типов клеток выявлены некоторые сходства: наибольшая митотическая активность наблюдается в 11 часов утра и в 3 часа ночи с максимальным значением в 11 часов дня, а наиболее низкая – с 6 до 10 часов утра, в 3 часа дня и в 1 час ночи [26].

Корни моляров верхней челюсти крыс покрыты твердой минерализованной тканью – цементом. Микроскопически выделяется клеточный и бесклеточный цемент. В клеточном цементе содержатся цементоциты в собственных полостях – лакунах. Данные клетки характеризуются наличием многочисленных отростков, отходящих от их тел и проходящих в канальцах. Отростки цементоцитов, в свою очередь, ветвятся и контактируют с аналогичными отростками соседних клеток при помощи щелевых контактов, что показывает их сходство в этой особенности с остеоцитами костной ткани [27].

Однако в исследовании моляров верхней челюсти у крыс в возрасте 10 недель установлено, что плотность канальцев в матриксе цемента меньше, чем в костной ткани, выявляется много участков без их наличия. В отличие от цемента зубов человека, у моляров верхней челюсти крыс отсутствуют канальцы, идущие в радиальном направлении от цементобластов к поверхности цемента [28, 29]. Форма лакун, в которых локализуются цементоциты, варьирует от овальной до трубчатой, в то время как лакуны остеоцитов бывают неизменно овальной формы [28]. Как и в костной ткани, процесс минерализации цемента подразделяется на первичную и вторичную фазы. Первичная фаза находится под контролем цементобластов, покрывающих цемент, а во вторичной установлена возможная роль цементоцитов в этом процессе, как и остеоцитов в костной ткани [30]. Также в исследованиях показано, что цемент не подвергается резорбции при физиологических движениях зубов (напротив, осуществляется формирование неминерализованного цемента), в отличие от костной ткани, которая рассасывается в участках, подверженных компрессии [31]. Предполагается, что это может быть связано с вышеуказанной меньшей плотностью канальцев в матриксе цемента, что сказывается на активности трансдукции сигнала между цементоцитами и меньшей чувствительностью их к физиологическим воздействиям, чем в костной ткани [28].

В цементе выделено два типа волокон периодонтальной связки. Шарпейевые волокна – главные волокна цемента, концы которых в него погружены, и собственные волокна, которые ориентированы параллельно его поверхности. Бесклеточный цемент содержит только Шарпейевые волокна, а клеточный содержит оба вида волокон [32].

В резце верхней челюсти крыс слой цемента тонкий в области базального конца и утолщается к верхушечному концу зуба. Пучки волокон периодонтальной связки прикрепляются к цементу и проходят в регулярном правильном порядке в плоскости, перпендикулярной к продольной оси зуба. Цементобласти расположены близко к поверхности цемента и выявляются между пучками волокон периодонтальной связки. Ближе к центру связки определяются фибробласты. В стенке альвеолы, напротив язычного изгиба резца имеются многочисленные отверстия. Через них сосуды и нервы входят в периодонтальное пространство. От сосудов, входящих в периодонтальное пространство, отходят сосуды большего диаметра, которые идут вдоль стенки зубной альвеолы до эмалево-цементной границы. В местах прохождения сосудов и нервов остаются только небольшие участки стенки зубной альвеолы, в которые веерообразно вплетаются волокна периодонтальной связки. Эти участки стенки альвеолы имеют фестончатые края из-за постоянно протекающих процессов аппозиции и резорбции костной ткани. В местах резорбции костной ткани происходит отложение новой костной ткани, в которое вплетаются пучки коллагеновых волокон.

В средней части резца, по сравнению с базальной, более заметна разница между более клеточным составом центра периодонтальной связки и более фибрillлярным строением ее периферической части. На стенках зубной альвеолы, обращенных к боковым поверхностям резца, определяется меньше отверстий для кровеносных сосудов и нервов, поэтому площади прикрепления волокон связки больше, чем в базальной части зуба.

В резцовой трети коронки зуба пучки периодонтальной связки, прикрепляющиеся к цементу, состоят из небольшого количества волокон. Ядра фибробластов, расположенных ближе к поверхности

зуба гиперхромные, а ближе к центру связки – гипохромные. Уменьшается диаметр отверстий в альвеолярной кости в области язычного изгиба резца и латеральных сторон в направлении к верхушечному концу зуба. Это создает большую площадь для прикрепления волокон периодонтальной связки [33].

Кроме фибробластов в периодонтальной связке, соответствующей язычной поверхности резца, иммуногистохимически в большом количестве выявлены антигенпредставляющие клетки – макрофаги и дендритные клетки [34].

Иммуногистохимически волокна периодонтальной связки состоят из коллагена первого и третьего типов. Основное вещество периодонтальной связки состоит из протеогликанов – хондритансульфата и дерматансульфата, которые играют важную роль в передаче давления и, как следствие, в уменьшении механического воздействия на клетки [35].

Периодонтальная связка моляров верхней челюсти крысы состоит из веретенообразных фибробластоподобных клеток и коллагеновых фибрилл. Коллагеновые фибриллы идут параллельно друг другу, образуя волокна диаметром около 1 мкм, а фибробластоподобные клетки локализуются в промежутках между ними. Микроскопически коллагеновые фибриллы состоят из субъединиц шириной 10 нм, проходящих параллельно их длинной оси, но в некоторых участках они спиралевидно ориентированы. Некоторые субъединицы отделяются от коллагеновой фибриллы и сливаются с соседней. Промежутки между коллагеновыми фибриллами соединены стержнеобразными структурами шириной около 10 нм. Данные структуры не определяются на поверхности коллагеновых фибрилл. Местами стержнеобразные структуры одной ширины локализуются в более широких промежутках между коллагеновыми фибриллами и образуют сетчатые образования [36].

В процессе развития зуба, формирование сосудистой сети периодонтальной связки тесно взаимосвязано с таковым в эмалевом органе. В сосудистой сети эмалевого органа сосуды впервые появляются в области шейной петли в начале стадии формирования корня моляра (10 день после рождения). Сосудистая сеть эмалевого органа представляет собой мелкоячеистую структуру, в то время как сосудистая сеть периодонтальной связки состоит из сосудов, идущих параллельно оси корня зуба. Граница между сосудистыми сетями периодонтальной связки и эмалевого органа становится все более очевидной по мере роста корня, поскольку добавляются боковые сосудистые соединения в области шейной петли эмалевого органа. У основания зачатка зуба имеется корзинообразная сосудистая сеть с несколькими капиллярными петлями.

По мере продвижения зачатка зуба к эпителию ротовой полости (к 15 дню после рождения) сосуды периодонтальной связки также вытянуты в продольном направлении вдоль длинной оси корня и соединены друг с другом боковыми ответвлениями, образующими крупную сеть. Граница сосудистой сети эмалевого органа и периодонтальной связки четкая, они соединяются в области шейной петли эмалевого органа. Граница между этими двумя сетями проходит по эмалево-цементному соединению. Сосуды, проходящие через каналы Фолькмана альвеолярной кости, разветвляются в обеих сетях. Сосудистая сеть в базальной области все еще имеет корзинообразную структуру с несколькими капиллярными петлями.

На 20 день после рождения животного коронка моляра прорезывается в ротовую полость и корни зуба удлиняются. Это проводит к смещению сосудистой сети эмалевого органа в направлении ротовой полости и ее расположению на уровне сосудистой сети внутреннего эпителия десны. Строение сосудистой сети периодонтальной связки в целом соответствует таковому на 15 день после рождения, однако она еще более вытянута в продольном направлении от сосудистой сети внутреннего эпителия десны. В области средней части корня сосудистая сеть периодонтальной связки имеет меньшую плотность кровеносных сосудов.

На 30 день после полного прорезывания зуба сосудистая сеть периодонтальной связки продолжает вытягиваться в продольном направлении, плотность сосудов в ней продолжает уменьшаться, особенно в области средней трети корня. При этом в базальной части сосудистая сеть продолжает быть корзинообразной с выраженным петлями кровеносных капилляров. Граница между сосудистой сетью периодонтальной связки и внутреннего эпителия десны остается на уровне эмалево-цементного соединения.

После полного прорезывания моляра в ротовую полость периодонтальная связка получает новый источник кровоснабжения из сосудистой сети наружного эпителия десны [37]. Последняя формирует связи с сосудистым сплетением внутреннего эпителия десны [38].

Распределение нервных волокон в периодонте резцов и их терминали сильно отличается от такового в молярах. Толстые пучки нервных волокон проникают в периодонтальную связку со стороны язычной поверхности резца через щели в середине зубной альвеолы и заканчиваются тельцами,

напоминающими тельца Руффини. Со стороны губной поверхности периодонтальная связка содержит нервные волокна, заканчивающиеся свободными окончаниями. Выявление телец, напоминающих тельца Руффини (рецепторов растяжения), со стороны язычной поверхности обусловлено постоянным растяжением этой области при жевании. В отличие от моляров, нервные волокна (часть из них имеет бисерообразную форму) периодонтальной связки резца проходят в центре пульпы в направлении верхушечного конца и не образуют субодонтального сплетения Рацкова. Иммуногистохимически показано, что нервные волокна в периодонтальной связке резца в основном миелиновые [39].

Резец крысы является удобной модельной системой для изучения вопросов, связанных с амелогенезом. При этом результаты, полученные на крысах, не могут в полной мере быть экстраполированы на человека, что связано с постоянным прорезыванием резца и особым расположением эмалевых призм. В сформированном, зрелом состоянии эмаль, начиная от дентина, на губной поверхности резца состоит из четырех слоев: начального, наружного, внутреннего и конечного. Эмалевые призмы являются линейными структурами, которые четко очерчены и могут быть реконструированы в серийных срезах для световой микроскопии во внутреннем и наружном слоях. Межпризменное вещество располагается между эмалевыми призмами, имеется во всех слоях эмали и полностью образует начальный и конечный слои. В наружном и внутреннем слоях межпризменное вещество разделяет отдельные эмалевые призмы. Различие между эмалевыми призмами и межпризменным веществом определяется как на светооптическом, так и ультрамикроскопическом уровнях.

В начальном слое амелобласты, примыкающие к дентину, обладают призматической формой и не имеют отростков Томса. Эти клетки расположены рядами до начала своей секреторной активности. Старт секреции эмали сопряжен с появлением очаговых кальцифицированных участков между концами коллагеновых волокон в дентино-эмалевом соединении, которые расположены в углублениях на неровной апикальной поверхности амелобластов. В этих участках кристаллы лежат параллельно друг другу, но перпендикулярно поверхности дентина. В дальнейшем данные кальцифицированные участки сливаются и формируют начальный сплошной слой эмали, секретируемый амелобластами без отростков Томса. С завершением формирования этого слоя межклеточное пространство между боковыми поверхностями амелобластов возле их верхушек начинает заполняться эмалью, продолжаясь в начальный слой эмали. При этом кристаллиты последнего можно проследить до эмали (имеет вид «зубцов»), формирующие межпризменное вещество. Каждый зубец заканчивается возле боковой складчатости плазмолеммы амелобластов или выступающего участка их цитоплазмы (участки роста межпризменного вещества). В трехмерном изображении зубцы представляют собой перегородки межпризменного вещества, которые отделяют контактирующие части отростков Томса и очерчивают боковые стенки полостей, содержащие эти отростки. Появление зубцов знаменует начало процесса формирования внутреннего слоя эмали.

Внутренний слой. В стадии формирования внутреннего слоя поверхность эмали состоит из ряда ямкообразных углублений, расположенных правильными поперечными рядами параллельно плоскости поперечного сечения резца. Отдельные углубления имеют прямоугольную форму, длинные стороны которых находятся внутри рядов, а короткие – между соседними рядами. В пределах каждого ряда внутренние поверхности углублений наклонены либо в мезиальном, либо дистальном направлении и чередуются в соседних рядах. В этих углублениях отростки Томса повторяют направление наклона углублений и пересекают друг друга в соседних рядах. Эмалевые призмы формируются внутри полости межпризменного вещества, когда стенки этой полости завершают формирование. Эмалевые призмы начинают формироваться на одной поверхности волокна Томса и начинаются от стенки прямоугольной полости, расположенной наиболее близко от апикального конца зуба. Плазмолемма амелобласта, прилегающая к формирующемуся эмалевым призмам, имеет неправильную складчатость, а прилегающий к ней участок эмали называется зоной её роста. Последняя формируется только с апикальной поверхности отростков Томса, поэтому другая поверхность данных отростков гладкая и прилегает к сформированной ранее межпризменной эмали. Края всех перегородок являются межпризменными зонами роста, где наружная их сторона контактирует со складчатой мембраной на апикальной части боковых поверхностей амелобластов, а внутренняя сторона перегородок прилегает к отростку Томса. Следует отметить, что боковая складчатость мембранны амелобласта связана со складчатостью отростков Томса, что объясняет сходную ориентацию кристаллитов в межпризменной эмали и следующей за ней формирующейся призменной эмали, но только вначале. По мере роста и увеличения в ширину эмалевых призм ориентация кристаллитов меняется по отношению к межпризменной эмали. Односторонний рост эмалевой призмы относительно отростка Томса выталкивает последний на противоположную сторону полости, в конце концов он исчезает.

Наружный слой. Отростки Томса в данном слое становятся тонкими и уплощаются, соответственно поверхность наружной эмали имеет ямки яйцевидной формы, которые окружены толстыми перегородками межпризменной эмали и не расположены поперечными рядами.

Конечный слой. Амелобласты имеют гладкую апикальную поверхность, поэтому эмаль состоит только из межпризменного вещества, а их кристаллиты заканчиваются перпендикулярно верхушкам амелобластов [40].

У резцов крыс амелобласты в зоне созревания выполняют дополнительную функцию: они выделяют железосодержащий пигмент и откладывают его в поверхностном слое зрелой эмали. Пигмент был обнаружен на губной поверхности прорезавшейся части резцов крысы, что позволило предположить, что его количество постепенно увеличивается с возрастом крысы [41, 42]. Выявлено, что пигмент состоит из неорганического соединения железа. Железосодержащее соединение в эмали крыс встречается в виде отдельного кристаллического образования, представляющего собой оксид железа. С другой стороны, исследования с помощью электронной микроскопии показали, что железо находится внутри амелобластов и оно может быть связано с кристаллами гидроксиапатита [43].

В базальном конце резца верхней челюсти крыс в возрасте 5 месяцев на поздней стадии формирования матрикса эмали в области соединения амелобластов с эмалью концентрация кальция и фосфора составляет 1–2 и 0,5–1 % соответственно, на расстоянии 15–18 мкм от амелобластов вглубь эмали – около 7 и 3 %, а вблизи эмалево-дентинной границы – 18 и 9 %. В направлении от базального до верхушечного конца резца концентрация кальция и фосфора постепенно увеличивается. В зрелой эмали резца (от верхушечного конца до конца пигментированной части резца) содержание кальция и фосфора колеблется на уровне 35 и 17 % соответственно [44].

Известно, что размер зубов зависит от генетических факторов, после прорезывания размеры зубов остаются постоянными при условии отсутствия их патологических изменений, которые не зависят от условий окружающей среды, за исключением стирания [45]. Однако установлены данные, свидетельствующие о том, что факторы окружающей среды, например, особенности пищевого рациона, влияют на размеры зубов [46].

У крыс размеры моляров верхней челюсти в целом увеличиваются с 20 по 360 дни наблюдения: для мезиодистального диаметра коронки моляров среднее общее увеличение составляет 3,5 %, а для щечно-язычных диаметров коронки – 5,8 %. Наибольшее изменение мезиодистального диаметра коронки имеет место у вторых моляров верхней челюсти, тогда как для щечно-язычных диаметров коронки наибольшие изменения происходят в третьем и первом больших коренных зубах верхней челюсти. При этом имеются данные, противоречащие этому утверждению. Согласно им, амелогенез завершается в возрасте 11 дней для первого, 13 дней для второго и 21 день для третьего моляра [47].

Заключение. Верхняя челюсть лабораторных крыс в процессе онтогенеза подвергается выраженным изменениям морфофункциональной организации, которые касаются не только ее альвеолярной кости, но и твердых, мягких тканей резца и моляров. Несмотря на различные эмбриональные источники развития альвеолярной кости и тканей зубов, процессы их дифференцировки, роста, формообразования протекают параллельно в процессе онтогенеза и оказывают влияние друг на друга. Диффинитивное строение верхней челюсти и ее положение в черепе является результатом не только внутренних структурных преобразований ее составляющих, но и результатом роста, формообразования и перемещения других костей черепа в процессе онтогенеза. Несмотря на имеющиеся различия в структурно-функциональной организации верхней челюсти человека и крыс, в первую очередь, связанные с постоянным прорезыванием и стачиванием резцов при употреблении твердой пищи последними, базовое устройство альвеолярной кости, дентина, эмали, периодонта и пульпы имеет много общего. Данное обстоятельство обуславливает непрекращающийся интерес исследователей к этому органу как объекту для моделирования различных экзо- и эндогенных влияний в медико-биологических исследованиях.

Раскрытие информации. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Disclosure of information. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMUE. В. И. Лузин: концепция и дизайн исследования, написание текста статьи. В. Н. Морозов, Е. Н. Морозова: сбор, анализ и обобщение литературных данных, написание текста статьи. А. В. Солин, Н. А. Мосягина: анализ и обобщение литературных данных, написание текста статьи.

Authors contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMUE criteria. V. I. Luzin: the concept and design of the study, writing the text of the article. V. N. Morozov,

E. N. Morozova: collection, analysis and generalization of literature data, writing the text of the article. A. V. Solin, N. A. Mosyagina: analysis and generalization of literature data, writing the text of the article.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

Список источников

1. Соловьева И. В., Пилавов А. М., Рябков В. С., Труфанова М. С. Влияние имплантации в дефект больших берцовых костей гидроксилапатитного материала ОК-015 на структуру межрадикулярной альвеолярной кости верхней челюсти // Морфологический альманах имени В. Г. Ковешникова. 2023. Т. 21, № 2. С. 79–84.
2. Соловьева И. В., Пилавов А. М., Рябков В. С., Труфанова М. С. Влияние имплантации в дефект больших берцовых костей гидроксилапатитного материала ОК-015 на формообразование верхней челюсти белых крыс // Морфологический альманах имени В. Г. Ковешникова. 2023. Т. 21, № 3. С. 80–85.
3. Yang H., Pan H., Yu F., Chen K., Shang G., Xu Y. A novel model of bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaw in rats // International Journal of Clinical and Experimental Pathology. 2015. Vol. 8, no. 5. P. 5161–5167.
4. Akiba Y., Eguchi K., Akiba N., Uoshima K. Biological Evaluation of Implant Drill Made from Zirconium Dioxide // Clinical Implant Dentistry and Related Research. 2017. Vol. 19, no. 2. P. 306–315. doi: 10.1111/cid.12452.
5. Mancinelli E., Capello V. Anatomy and Disorders of the Oral Cavity of Rat-like and Squirrel-like Rodents // Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice. 2016. Vol. 19, no. 3. P. 871–900. doi: 10.1016/j.cvex.2016.04.008.
6. Yamada S. Inhibitory action of sodium salicylate on the growth of upper jaw and tibia in rats // Japanese Journal of Pharmacology. 1977. Vol. 27, no. 2. P. 303–310. doi: 10.1254/jjp.27.303.
7. Mohammed C. I. Growth pattern of the rat maxilla from 16 days' insemination age to 30 days after birth // American Journal of Anatomy. 1957. Vol. 100, no. 1. P. 115–165. doi: 10.1002/aja.1001000106.
8. Misawa Y., Kageyama T., Moriyama K., Kurihara S., Yagasaki H., Deguchi T., Ozawa H., Sahara N. Effect of age on alveolar bone turnover adjacent to maxillary molar roots in male rats: A histomorphometric study // Archives of Oral Biology. 2007. Vol. 52, no. 1. P. 44–50. doi: 10.1016/j.archoralbio.2006.06.012.
9. Liu C. C., Baylink D. J. Differential response in alveolar bone osteoclasts residing at two different bone sites // Calcified Tissue International. 1984. Vol. 36. P. 182–188.
10. Sodek J., McKee M. D. Molecular and cellular biology of alveolar bone // Periodontology. 2000. Vol. 24. P. 99–126.
11. Zhou S., Yang Y., Ha N., Zhang P., Ma X., Gong X., Hong Y., Yang X., Yang S., Dai Q., Jiang L. The Specific Morphological Features of Alveolar Bone // Journal of Craniofacial Surgery. 2018. Vol. 29, no. 5. P. 1216–1219. doi: 10.1097/SCS.0000000000004395.
12. Gluhak-Heinrich J., Gu S., Pavlin D., Jiang J. X. Mechanical loading stimulates expression of connexin 43 in alveolar bone cells in the tooth movement model // Cell Communication & Adhesion. 2006. Vol. 13. P. 115–125.
13. Tsolakis A. I., Khaldi L., Makou M., Lyritis G. P., Spyropoulos M. N., Dontas I. A. Cortical bone response adjacent to applied light orthodontic forces in ovariectomized rats // Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions. 2008. Vol. 8, no. 4. P. 375–378.
14. Arai K., Tanaka S., Yamamoto-Sawamura T., Sone K., Miyaishi O., Sumi Y. Aging changes in the periodontal bone of F344/N rat // Archives Gerontology and Geriatrics. 2005. Vol. 40, no. 3. P. 225–229. doi: 10.1016/j.archger.2004.08.005.
15. López Otero R., Carranza F. A. Jr, Cabrini R. L. Histometric study of age changes in interradicular bone of Wistar rats // Journal of Periodontal Research. 1967. Vol. 2, no. 1. P. 40–45. doi: 10.1111/j.1600-0765.1967.tb01994.x.
16. Cerri P. S. Osteoblasts engulf apoptotic bodies during alveolar bone formation in the rat maxilla // Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology. 2005. Vol. 286, no. 1. P. 833–840. doi: 10.1002/ar.a.20220.
17. Suzuki A. Ultrastructural and cytochemical studies on the dentinogenesis of rat incisors at the lingual side // Japanese Journal of Oral Biology. 1985. Vol. 27. P. 215–253.
18. Mishima H., Sakae T. Demonstration of structural variation in rat incisor dentin as determined by the x-ray Laue method // Journal of Dental Research. 1986. Vol. 65, no. 6. P. 932–934. doi: 10.1177/00220345860650061501.
19. Ahlgren S. A. Normal rate of formation of dentine in upper incisors of white rats // Archives of Oral Biology. 1967. Vol. 12, no. 7. P. 907–908. doi: 10.1016/0003-9969(67)90113-6.
20. Yoshida S., Ohshima H. Distribution and organization of peripheral capillaries in dental pulp and their relationship to odontoblasts // Anatomical Record. 1996. Vol. 245, no. 2. P. 313–326. doi: 10.1002/(SICI)1097-0185(199606)245:2<313::AID-AR14>3.0.CO;2-S.
21. Ohshima H. Ultrastructural changes in odontoblasts and pulp capillaries following cavity preparation in rat molars // Archives of Histology and Cytology. 1990. Vol. 53, no. 4. P. 423–438. doi: 10.1679/aohc.53.423.

22. Turner D. F., Marfurt C. F., Sattelberg C. Demonstration of physiological barrier between pulpal odontoblasts and its perturbation following routine restorative procedures: A horseraddish peroxidase tracing study in the rat // *Journal of Dental Research*. 1989. Vol. 68. P. 1262–1268.
23. Pinzon R. D., Kozlov M., Burch W. P. Histology of rat molar pulp at different ages // *Journal of Dental Research*. 1967. Vol. 46, no. 1. P. 202–208. doi: 10.1177/00220345670460011101.
24. Pinzon R. D., Toto P. D., O'Malley J. J. Kinetics of rat molar pulp cells at various ages // *Journal of Dental Research*. 1966. Vol. 45, no. 3. P. 934–938. doi: 10.1177/00220345660450037101.
25. Nishikawa S. Developmental changes in pulpal sensory innervation of rat incisors and molars shown on a single injection of the fluorescent dye AM1-43 // *Anatomical Science International*. 2007. Vol. 82, no. 4. P. 227–232. doi: 10.1111/j.1447-073X.2007.00190.x.
26. Kiely M. L., Wilde J. L. Circadian mitotic rhythms in the cervical tissues of the rat maxillary incisor // *Journal of Dental Research*. 1974. Vol. 53, no. 6. P. 1432–1438. doi: 10.1177/00220345740530062401.
27. MacNeil R. L., Somerman M. J. Molecular factors regulating development and regeneration of cementum // *Journal of Periodontal Research*. 1993. Vol. 28 (6 Pt 2). P. 550–559. doi: 10.1111/j.1600-0765.1993.tb02123.x.
28. Kagayama M., Sasano Y., Mizoguchi I., Takahashi I. Confocal microscopy of cementocytes and their lacunae and canaliculi in rat molars // *Anatomy and Embryology (Berlin)*. 1997. Vol. 195, no. 6. P. 491–496. doi: 10.1007/s004290050068.
29. Armitage G. C. Cementum // *Orban's Oral histology and embryology* / ed. S. N. Bhaskar. Mosby: London, 1990. 180–203.
30. Kagayama M., Sasano Y., Hirata M., Mizoguchi I., Takahashi I. An improved mounting method for observation of thick specimen using confocal microscopy // *Biotechnic and Histochemistry*. 1996. Vol. 71. P. 231–233.
31. Kagayama M., Akita H., Sasano Y., Kindaichi K. Localization of uncalcified cementum in adult rat molar roots and its relation to physiological tooth movement // *Archives of Oral Biology*. 1994. Vol. 39. P. 829–832.
32. Schroeder H. E. Periodontal ligament // *The periodontium* / ed. H. E. Schroeder. Springer, Berlin, 1986b. S. 170–232.
33. Matena V. Periodontal ligament of a rat incisor tooth // *Journal of Periodontology*. 1973. Vol. 44, no. 10. P. 629–635. doi: 10.1902/jop.1973.44.10.629.
34. Kawahara I., Takano Y., Sato O., Maeda T., Kannari K. Histochemical and immunohistochemical demonstration of macrophages and dendritic cells in the lingual periodontal ligament of rat incisors // *Archives of Histology and Cytology*. 1992. Vol. 55, no. 2. P. 211–217. doi: 10.1679/aohc.55.211.
35. Häkkinen L., Oksala O., Salo T., Rahemtulla F., Larjava H. Immunohistochemical localization of proteoglycans in human periodontium // *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*. 1993. Vol. 41. P. 1689–1699.
36. Kuroiwa M., Tachikawa T., Izumiyama N., Takubo K., Yoshiki S., Higashi S. Ultrastructure of the rat periodontal ligament as observed with quick-freeze, deep-etch and replica methods: arrangement of collagen and related structures // *Acta Anatomica (Basel)*. 1996. Vol. 157, no. 4. P. 291–302. doi: 10.1159/000147891.
37. Imai H., Ri S., Nobuto T., Tanda H., Yanagawa K., Yamaoka A. A Study on periodontal microvasculature // *Journal of Japanese Society of Periodontology*. 1994. Vol. 36. P. 578–585.
38. Yoshida S. Changes in the vasculature during tooth eruption of the rat molar // *Japanese Association for Oral Biology*. 1984. Vol. 26. P. 94–115.
39. Sato O., Maeda T., Kobayashi S., Iwanaga T., Fujita T., Takahashi Y. Innervation of periodontal ligament and dental pulp in the rat incisor: an immunohistochemical investigation of neurofilament protein and glia-specific S-100 protein // *Cell and Tissue Research*. 1988. Vol. 251, no. 1. P. 13–21. doi: 10.1007/BF00215442.
40. Warshawsky H., Josephsen K., Thylstrup A., Fejerskov O. The development of enamel structure in rat incisors as compared to the teeth of monkey and man // *Anatomical Record*. 1981. Vol. 200, no. 4. P. 371–399. doi: 10.1002/ar.1092000402.
41. Halse A. Location and first appearance of rat incisor pigmentation // *Scandinavian Journal of Dental Research*. 1972. Vol. 80, no. 5. P. 428–433. doi: 10.1111/j.1600-0722.1972.tb00308.x
42. Halse A., Selvig K. A. Incorporation of iron in rat incisor enamel // *Scandinavian Journal of Dental Research*. 1974. Vol. 82, no. 1. P. 47–56. doi: 10.1111/j.1600-0722.1974.tb01900.x.
43. Selvig K. A., Halse A. The ultrastructural localization of iron in rat incisor enamel // *Scandinavian Journal of Dental Research*. 1975. Vol. 83, no. 2. P. 88–95. doi: 10.1111/j.1600-0722.1975.tb00423.x.
44. Halse A., Selvig K. A. Mineral content of developing rat incisor enamel // *Scandinavian Journal of Dental Research*. 1974. Vol. 82, no. 1. P. 40–46. doi: 10.1111/j.1600-0722.1974.tb01899.x.
45. Moorrees C. F. A., Reed R. B. Changes in dental arch dimensions expressed on the basis of tooth eruption as a measure of biologic age // *Journal of Dental Research*. 1965. Vol. 44. P. 129–141.
46. Garn S. M., Lewis A. B., Kerewsky R. S. Genetic, nutritional and maturational correlates of dental development // *Journal of Dental Research*. 1965. Vol. 44. P. 228–242.
47. Schour I., Massler M. The teeth // Farris E. J., Griffith, J. Q. *The rat in laboratory investigation*. 2nd ed. Lippincott: Philadelphia, 1949. P. 104–165.

References

1. Soloveva I. V., Pilavov A. M., Ryabkov V. S., Trufanova M. S. The effect of implantation of hydroxylapatite material OK-015 into the tibial defect on the structure of the maxillary interradicular alveolar bone. *Morfologicheskiy almanakh imeni V. G. Koveshnikova = V. G. Koveshnikov Morphological Almanac.* 2023; 21 (2): 79–84.
2. Soloveva I. V., Pilavov A. M., Ryabkov V. S., Trufanova M. S. The effect of implantation of hydroxylapatite material OK-015 into the tibial defect on the form formation of the maxilla. *Morfologicheskiy almanakh imeni V. G. Koveshnikova = V. G. Koveshnikov Morphological Almanac.* 2023; 21 (3): 80–85.
3. Yang H., Pan H., Yu F., Chen K., Shang G., Xu Y. A novel model of bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaw in rats. *International Journal of Clinical and Experimental Pathology.* 2015; 8 (5): 5161–5167.
4. Akiba Y., Eguchi K., Akiba N., Uoshima K. Biological Evaluation of Implant Drill Made from Zirconium Dioxide. *Clinical Implant Dentistry and Related Research.* 2017; 19 (2): 306–315. doi: 10.1111/cid.12452.
5. Mancinelli E., Capello V. Anatomy and Disorders of the Oral Cavity of Rat-like and Squirrel-like Rodents. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice.* 2016; 19 (3): 871–900. doi: 10.1016/j.cvex.2016.04.008.
6. Yamada S. Inhibitory action of sodium salicylate on the growth of upper jaw and tibia in rats. *Japanese Journal of Pharmacology.* 1977; 27 (2): 303–310. doi: 10.1254/jjp.27.303. PMID: 886661.
7. Mohammed C. I. Growth pattern of the rat maxilla from 16 days' insemination age to 30 days after birth. *American Journal of Anatomy.* 1957; 100 (1): 115–165. doi: 10.1002/aja.1001000106.
8. Misawa Y., Kageyama T., Moriyama K., Kurihara S., Yagasaki H., Deguchi T., Ozawa H., Sahara N. Effect of age on alveolar bone turnover adjacent to maxillary molar roots in male rats: A histomorphometric study. *Archives of Oral Biology.* 2007; 52 (1): 44–50. doi: 10.1016/j.archoralbio.2006.06.012.
9. Liu C. C., Baylink D. J. Differential response in alveolar bone osteoclasts residing at two different bone sites. *Calcified Tissue International.* 1984; 36: 182–188.
10. Sodek J., McKee M. D. Molecular and cellular biology of alveolar bone. *Periodontology.* 2000; 24: 99–126.
11. Zhou S., Yang Y., Ha N., Zhang P., Ma X., Gong X., Hong Y., Yang X., Yang S., Dai Q., Jiang L. The Specific Morphological Features of Alveolar Bone. *Journal of Craniofacial Surgery.* 2018; 29 (5): 1216–1219. doi: 10.1097/SCS.0000000000004395.
12. Gluhak-Heinrich J., Gu S., Pavlin D., Jiang J. X. Mechanical loading stimulates expression of connexin 43 in alveolar bone cells in the tooth movement model. *Cell Communication & Adhesion.* 2006; 13: 115–125.
13. Tsolakis A. I., Khaldi L., Makou M., Lyritis G. P., Spyropoulos M. N., Dontas I. A. Cortical bone response adjacent to applied light orthodontic forces in ovariectomized rats. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions.* 2008; 8 (4): 375–378.
14. Arai K., Tanaka S., Yamamoto-Sawamura T., Sone K., Miyaishi O., Sumi Y. Aging changes in the periodontal bone of F344/N rat. *Archives Gerontology and Geriatrics.* 2005; 40 (3): 225–229. doi: 10.1016/j.archger.2004.08.005.
15. López Otero R., Carranza F. A. Jr, Cabrini R. L. Histometric study of age changes in interradicular bone of Wistar rats. *Journal of Periodontal Research.* 1967; 2 (1): 40–45. doi: 10.1111/j.1600-0765.1967.tb01994.x.
16. Cerri P. S. Osteoblasts engulf apoptotic bodies during alveolar bone formation in the rat maxilla. *Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology.* 2005; 286 (1): 833–840. doi: 10.1002/ar.a.20220.
17. Suzuki A. Ultrastructural and cytochemical studies on the dentinogenesis of rat incisors at the lingual side. *Japanese Journal of Oral Biology.* 1985; 27: 215–253.
18. Mishima H., Sakae T. Demonstration of structural variation in rat incisor dentin as determined by the x-ray Laue method. *J Dent Res.* 1986; 65 (6): 932–934. doi: 10.1177/00220345860650061501.
19. Ahlgren S. A. Normal rate of formation of dentine in upper incisors of white rats. *Archives of Oral Biology.* 1967; 12 (7): 907–908. doi: 10.1016/0003-9969(67)90113-6.
20. Yoshida S., Ohshima H. Distribution and organization of peripheral capillaries in dental pulp and their relationship to odontoblasts. *Anatomical Record.* 1996; 245 (2): 313–326. doi: 10.1002/(SICI)1097-0185(199606)245:2<313::AID-AR14>3.0.CO;2-S.
21. Ohshima H. Ultrastructural changes in odontoblasts and pulp capillaries following cavity preparation in rat molars. *Archives of Histology and Cytology.* 1990; 53 (4): 423–438. doi: 10.1679/aohc.53.423.
22. Turner, D. F., Marfurt C. F., Sattelberg C. Demonstration of physiological barrier between pulpal odontoblasts and its perturbation following routine restorative procedures: A horseraddish peroxidase tracing study in the rat. *Journal of Dental Research.* 1989; 68: 1262–1268.
23. Pinzon R. D., Kozlov M., Burch W. P. Histology of rat molar pulp at different ages. *Journal of Dental Research.* 1967; 46 (1): 202–208. doi: 10.1177/00220345670460011101.
24. Pinzon R. D., Toto P. D., O'Malley J. J. Kinetics of rat molar pulp cells at various ages. *Journal of Dental Research.* 1966; 45 (3): 934–938. doi: 10.1177/00220345660450037101.
25. Nishikawa S. Developmental changes in pulpal sensory innervation of rat incisors and molars shown on a single injection of the fluorescent dye AM1-43. *Anatomical Science International.* 2007; 82 (4): 227–232. doi: 10.1111/j.1447-073X.2007.00190.x.
26. Kiely M. L., Wilde J. L. Circadian mitotic rhythms in the cervical tissues of the rat maxillary incisor. *Journal of Dental Research.* 1974; 53 (6): 1432–1438. doi: 10.1177/00220345740530062401.

27. MacNeil R. L., Somerman M. J. Molecular factors regulating development and regeneration of cementum. *Journal of Periodontal Research*. 1993; 28 (6 Pt 2): 550–559. doi: 10.1111/j.1600-0765.1993.tb02123.x.
28. Kagayama M., Sasano Y., Mizoguchi I., Takahashi I. Confocal microscopy of cementocytes and their lacunae and canaliculi in rat molars. *Anatomy and Embryology* (Berlin). 1997; 195 (6): 491–496. doi: 10.1007/s004290050068.
29. Armitage G. C. *Cementum*. Bhaskar S. N. (ed.) *Orban's Oral histology and embryology*. Mosby: London, 1990; 180–203.
30. Kagayama M., Sasano Y., Hirata M., Mizoguchi I., Takahashi I. An improved mounting method for observation of thick specimen using confocal microscopy. *Biotechnic and Histochemistry*. 1996; 71: 231–233.
31. Kagayama M., Akita H., Sasano Y., Kindaichi K. Localization of uncalcified cementum in adult rat molar roots and its relation to physiological tooth movement. *Archives of Oral Biology*. 1994; 39: 829–832.
32. Schroeder H. E. Periodontal ligament. In: Schroeder H.E. (Ed) *The periodontium*. Springer, Berlin, 1986b. 170–232.
33. Matena V. Periodontal ligament of a rat incisor tooth. *Journal of Periodontology*. 1973; 44 (10): 629–635. doi: 10.1902/jop.1973.44.10.629.
34. Kawahara I., Takano Y., Sato O., Maeda T., Kannari K. Histochemical and immunohistochemical demonstration of macrophages and dendritic cells in the lingual periodontal ligament of rat incisors. *Archives of Histology and Cytology*. 1992; 55 (2): 211–217. doi: 10.1679/aohc.55.211.
35. Häkkinen L., Oksala O., Salo T., Rahemtulla F., Larjava H. Immunohistochemical localization of proteoglycans in human periodontium. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*. 1993; 41: 1689–1699.
36. Kuroiwa M., Tachikawa T., Izumiya N., Takubo K., Yoshiki S., Higashi S. Ultrastructure of the rat periodontal ligament as observed with quick-freeze, deep-etch and replica methods: arrangement of collagen and related structures. *Acta Anatomica (Basel)*. 1996; 157 (4): 291–302. doi: 10.1159/000147891.
37. Imai H., Ri S., Nobuto T., Tanda H., Yanagawa K., Yamaoka A. A Study on periodontal microvasculature. *Journal of Japanese Society of Periodontology*. 1994; 36: 578–585.
38. Yoshida S. Changes in the vasculature during tooth eruption of the rat molar. *Japanese Association for Oral Biology*. 1984; 26: 94–115.
39. Sato O., Maeda T., Kobayashi S., Iwanaga T., Fujita T., Takahashi Y. Innervation of periodontal ligament and dental pulp in the rat incisor: an immunohistochemical investigation of neurofilament protein and glia-specific S-100 protein. *Cell and Tissue Research*. 1988; 251 (1): 13–21. doi: 10.1007/BF00215442.
40. Warshawsky H., Josephsen K., Thylstrup A., Fejerskov O. The development of enamel structure in rat incisors as compared to the teeth of monkey and man. *Anatomical Record*. 1981; 200 (4): 371–399. doi: 10.1002/ar.1092000402.
41. Halse A. Location and first appearance of rat incisor pigmentation. *Scandinavian Journal of Dental Research*. 1972; 80 (5): 428–433. doi: 10.1111/j.1600-0722.1972.tb00308.x.
42. Halse A., Selvig K. A. Incorporation of iron in rat incisor enamel. *Scandinavian Journal of Dental Research*. 1974; 82 (1): 47–56. doi: 10.1111/j.1600-0722.1974.tb01900.x.
43. Selvig K. A., Hake H. The ultrastructural localization of iron in rat incisor enamel. *Scandinavian Journal of Dental Research*. 1975; 83 (2): 88–95.
44. Halse A., Selvig K. A. Mineral content of developing rat incisor enamel. *Scandinavian Journal of Dental Research*. 1974; 82 (1): 40–46. doi: 10.1111/j.1600-0722.1974.tb01899.x.
45. Moorrees C. F. A., Reed R. B. Changes in dental arch dimensions expressed on the basis of tooth eruption as a measure of biologic age. *Journal of Dental Research*. 1965; 44: 129–141.
46. Garn S. M., Lewis A. B., Kerewsky R. S. Genetic, nutritional and maturational correlates of dental development. *Journal of Dental Research*. 1965; 44: 228–242.
47. Schour I., Massler M. The teeth; in E. J. Farris and J. Q. Griffith, *The rat in laboratory investigation*; 2nd ed. Lippincott: Philadelphia, 1949. 104–165.

Информация об авторах

В. И. Лузин, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии человека, оперативной хирургии и топографической анатомии, Луганский государственный медицинский университет имени Святителя Луки, Луганск, Россия, ORCID: 0000-0001-8983-2257, e-mail: vladyslav_luzin@mail.ru;

В. Н. Морозов, кандидат медицинских наук, доцент, кафедра анатомии и гистологии человека, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия, ORCID: 0000-0002-1169-4285, e-mail: vitaliy_morozov85@mail.ru;

Е. Н. Морозова, кандидат медицинских наук, доцент, кафедра анатомии и гистологии человека, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия, ORCID: 0000-0002-6117-080x, e-mail: tiger2910@rambler.ru;

А. В. Солин, доктор медицинских наук, доцент, кафедра анатомии и гистологии человека, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия, ORCID: 0000-0002-6277-3506, e-mail: medps@yandex.ru;

N. A. Мосягина, ассистент кафедры анатомии человека, оперативной хирургии и топографической анатомии, Луганский государственный медицинский университет имени Святителя Луки, Луганск, Россия, ORCID: 0000-0001-9176-8549, e-mail: mosyaginan@bk.ru.

Information about the authors

V. I. Luzin, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department, Sent Luke Lugansk State Medical University, Lugansk, Russia, ORCID: 0000-0001-8983-2257, e-mail: vladyslav_luzin@mail.ru;

V. N. Morozov, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia, ORCID: 0000-0002-1169-4285, e-mail: vitaliyymorozov85@mail.ru;

E. N. Morozova, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia, ORCID: 0000-0002-6117-080x, e-mail: tiger2910@rambler.ru;

A. V. Solin, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia, ORCID: 0000-0002-6277-3506, e-mail: medps@yandex.ru;

N. A. Mosyagina, Assistant Professor of the Department, Sent Luke Lugansk State Medical University, Lugansk, Russia, ORCID: 0000-0001-9176-8549, e-mail: mosyaginan@bk.ru*.

Статья поступила в редакцию 09.01.2025; одобрена после рецензирования 10.06.2025; принятая к публикации 13.10.2025.

The article was submitted 09.01.2025; approved after reviewing 10.06.2025; accepted for publication 13.10.2025.