

УДК 611.314.018:57.045

ББК 28.706+56.6

О.Л. ПОЛЯКОВА, Н.Н. ЧУЧКОВА, М.В. СМЕТАНИНА,  
В.М. ЧУЧКОВ, Н.В. КОРМИЛИНА**ГИСТОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ  
ПУЛЬПАРНО-ДЕНТИННОГО КОМПЛЕКСА  
ПРИ ПРОРЕЗЫВАНИИ ПОСТОЯННЫХ ЗУБОВ  
В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГО-ТЕХНОГЕННОГО СТРЕССА**

**Ключевые слова:** прорезывание постоянных зубов, пульпарно-дентинный комплекс зуба, эколого-техногенный стресс.

Сроки, длительность, качество прорезывания постоянных зубов находятся в прямой зависимости от морфологических характеристик тканей зуба, становление которых определяется условиями формирования.

**Цель** – гистоморфологическое исследование пульпарно-дентинного комплекса зуба при прорезывании постоянных зубов у детей и подростков, проживающих в условиях эколого-техногенного стресса.

**Материалы и методы.** Объект исследования – материал зубов детей и подростков Удмуртии в 5 лет (начало прорезывания) и в 14 лет (окончание прорезывания). Забор материала осуществлялся с добровольного письменного согласия ребенка и его родителей. Группы детей формировали исходя из условий их проживания в относительно благополучных поселениях и местности с повышенной эколого-техногенной нагрузкой на основании данных, представленных в Государственном докладе «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Удмуртской Республике». Научные исследования одобрены Комитетом по биомедицинской этике ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» Минздрава России (апликационный № 391 от 05.11.2013 г.). Гистологические препараты пульпарно-дентинного комплекса окрашивали гематоксилином и эозином, пикрофуксином, фотографировали и подвергали качественной оценке.

**Результаты.** Пульпарно-дентинный комплекс зуба у детей, проживающих в условиях эколого-техногенного стресса на момент прорезывания постоянных зубов (5 лет), соответствовал показателям морфологической зрелости. Незначительные отклонения были представлены единичными облитерированными канальцами, неоднородностью дентинного слоя, наличием полей со слабоизвествленным дентином. К моменту окончания прорезывания постоянных зубов (14 лет) формировались участки реактивно-измененного дентина, зоны разрежения основного вещества с преобладанием межканальцевого дентина, области с чередующимися слоями минерализованного дентина, неравномерностью расположения дентинных канальцев, наличием расширенных кровеносных микрососудов с явлениями стаза форменных элементов.

**Выводы.** Прорезывание постоянных зубов у детей и подростков, проживающих в условиях эколого-техногенного стресса, сопровождается негативными изменениями пульпарно-дентинного комплекса зуба. Данные по особенностям формирования пульпы в неблагоприятных условиях развития необходимо учитывать в детской стоматологии при лечении детей и формировании алгоритма проведения профилактических или корректирующих процедур.

**Введение.** Качество пульпы постоянного зуба закономерно отражает состояние качества здоровья индивида. В физиологических условиях пульпа зуба выполняет защитную функцию, обеспечивает восстановительную способность и регулирует механизмы при патологических процессах. Целостность пульпарно-дентинного комплекса обеспечивают клеточно-метаболические процессы, происходящие в его составных частях [4, 12, 15], что необходимо учитывать в диагностике и планировании лечения в детской стоматологии и ортодонтии.

Важным этапом развития зуба, влияющим на последующий онтогенез зубной системы, является прорезывание постоянных зубов (ППЗ). Хотя ППЗ в большой степени находится под генетическим контролем, на этот процесс оказывают влияние как внутренние условия развития (минеральный обмен, гормональные нарушения, общесоматическая патология и т.п.), так и факторы внешней среды (например, алиментарная недостаточность, социальные условия, эколого-региональные особенности) [5, 9]. При этом важно знать не только сроки прорезывания постоянных зубов у населения того или иного региона, но и учитывать возможность изменения тканей зуба у детей, находящихся под влиянием неблагоприятных факторов внешней среды.

Удмуртская Республика является промышленно-развитым, в том числе нефтедобывающим, регионом. Основными источниками загрязнения окружающей среды в Удмуртии являются предприятия нефтедобычи, черной металлургии, машиностроения и теплоэнергетики (ОАО «Ижсталь», Ижевский механический завод и другие), автомобильный транспорт. Уже несколько лет подряд Ижевск попадает в рейтинги городов с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Согласно Государственному докладу «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Удмуртской Республике» [2], наиболее загрязненный воздух (превышающий ПДК по взвешенным веществам) в столице Удмуртии – Ижевске. Но Удмуртия – это и родниковый край. Все поверхностные источники водоснабжения, согласно данным Государственного доклада, соответствуют санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам и ниже российских показателей, тогда как качество водопроводной воды может не соответствовать нормативным показателям (г. Ижевск, с. Камбарка). Наиболее благополучными по указанным показателям считаются Алнашский и Дебесский районы, расположенные на Юго-Западе (с. Алнаши) и Восточной части Республики (с. Дебесы).

**Цель работы** – гистоморфологическое исследование пульпарно-дентинного комплекса зуба при прорезывании постоянных зубов у детей и подростков, проживающих в условиях эколого-техногенного стресса.

**Материалы и методы.** Объектом гистологического исследования стал материал зубов у детей и подростков Удмуртии в 5 лет (начало прорезывания постоянных зубов) и в 14 лет (окончание прорезывания). В каждой возрастной группе исследовали материал от 8 удаленных в результате травмы зубов (по четыре от мальчиков и от девочек). Забор материала осуществлялся с добровольного письменного согласия ребенка и его родителей. Научные исследования одобрены Комитетом по биомедицинской этике ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» Минздрава России (аппликационный № 391 от 05.11.2013).

Группы детей для исследования формировали исходя из условий проживания в поселениях, выбранных на основании территориального анализа, представленного в Государственном докладе «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Удмуртской Республике» [2]. К первой группе (благоприятные условия проживания) относились дети, родившиеся и проживающие в условиях, приближенных к благоприятным: сельское поселение с минимальными показателями загрязненности воздуха, воды и почвы (с. Алнаши, с. Дебесы), бытовые условия приравнены к современному городскому типу; вторая (группа сравнения) – родившиеся и проживающие в условиях повышенной эколого-техногенной нагрузки (г. Ижевск, г. Камбарка).

Зубы после изъятия и технической обработки промыванием подвергались поперечному и продольному распилу, после чего пульпу извлекали и фиксировали в забуференном 10%-м растворе формалина при pH 7,4, заливали в парафиновую среду Histomix (BioVitrum, Россия), готовили серийные срезы толщиной 5 мкм не менее 50 с одного препарата зуба. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином, пикрофуксином (использованы красители фирмы BioVitrum, Россия). Окрашенные срезы просматривали и подвергали качественной оценке в микроскопе Primo Star (Carl Zeiss) при увеличении в 400–1000 крат, фотографировали, фотоснимки обрабатывали в Adobe Photoshop CS-2, версия 9.0.2. При обработке допускалась умеренная балансировка яркости контраста.

**Результаты исследования.** В 5–6-летнем возрасте (начало ППЗ) у детей первой группы полость зуба была полностью заполнена пульпой. В однокорневых зубах коронковая пульпа плавно переходила в корневую без каких-либо видимых границ, в многокорневых зубах отмечалось наличие четко выраженной границы между ними. Канальцевый аппарат с дентинными канальцами первичного (околопульпарного) дентина был хорошо развит и представлен плотно упакованными канальцами. Канальцы плащевого дентина структурированы, параллельность хода и регулярное соотношение с межканальцевым дентином соблюдались. Количество одонтобластов было неодинаково в различных отделах вещества зуба (в среднем от 4 до 6), в местах их наибольшего скопления (в периферических отделах пульпы) обнаруживалась повышенная концентрация сосудов микроциркуляторного ряда. Во внутреннем слое мякоти исследованных зубов определялись макрофаги и лимфоциты, а также клетки фибробластического ряда. На серийных срезах мякоти зуба выявлялись хорошо развитые сосуды микроциркуляторного русла. В целом результаты, полученные при исследовании пульпы зуба у детей, проживающих в условно благоприятной местности на момент прорезывания постоянных зубов, соответствуют нормальной гистологической картине и характеризуются чертами их морфологической зрелости.

Для детей, проживающих в районах с повышенной эколого-техногенной нагрузкой, начало прорезывания постоянных зубов сопровождается рядом незначительных изменений, которые могут быть связаны с факторами, воздействующими на организм в процессе его развития. Так, в пульпе зуба в 5–6 лет обнаруживались участки с единичными отдельно расположенными облитерированными канальцами. Межканальцевые зоны могли быть сужены и иметь незначительное количество дентина; выявлялась относительная неоднородность дентинного слоя и наличие полей со слабоизвествленными участками дентина.

Внутренняя граница дентина, прилегающая к пульпе, на отдельных участках имела неровные края. Толщина клеточного слоя включала приблизительно 5–7 рядов клеток, изредка достигая 8–9 слоев. Выявлялось значительное число клеток с пикнотическими ядрами, отмечалось появление редко расположенных кровеносных сосудов.

В тканевых структурах цемента отчетливо прослеживались клеточная и бесклеточная зоны, имеющие неравномерную структуру, определялись зоны с повышенной активностью минерализации, с участками облитерированных лакун.

К моменту окончания ППЗ (14 лет) у подростков, проживающих в условиях эколого-техногенной нагрузки, на гистологических срезах тканевых структур зубов определялись участки реактивно-формирующегося дентина с первичной (конституционально-детерминантной) зоной (рис. 1).

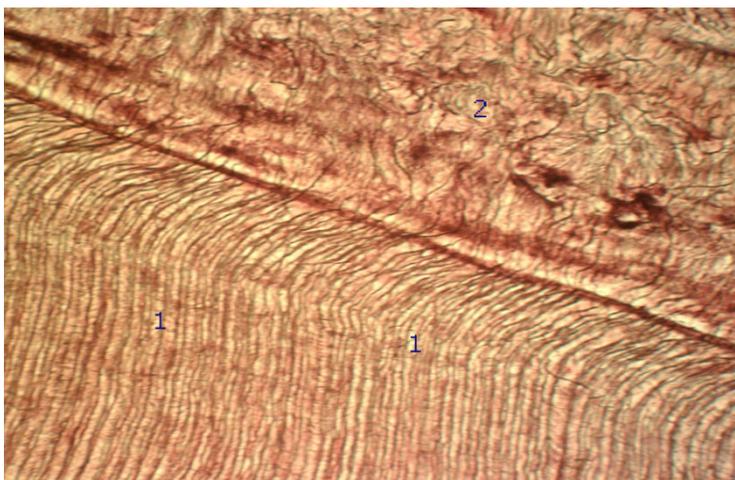


Рис. 1. Реактивно-формирующийся дентин и предентин с измененной границей между первичными и вторичными участками. Возраст 14 лет. Эколого-техногенный стресс. Окраска пикрофуксином. Об.  $\times 60$ , ок.  $\times 10$ :  
1 – первичный дентин; 2 – вторичный дентин

В первичном дентине значительных морфологических изменений не отмечалось, в нем сохранялась параллельность хода дентинных канальцев, тогда как в зоне плащевого дентина определялась иррегулярность расположения и хаотичное направление канальцев. Для вторичного дентина было характерно наличие отчетливых изменений, что проявлялось появлением участков реактивно-формирующегося дентина, снижением плотности дентинных канальцев по сравнению с межканальцевым дентином, наблюдалось расширение просвета дентинных канальцев, отмечалось разнообразие их форм. Внутренняя граница дентина, прилежащая к пульпе, имела неровные края, наблюдались участки с формирующимися пристеночными дентиклями (рис. 2), формирование которых связывают с возрастными особенностями, воспалительными процессами, ишемизацией пульпы и т.д. [1, 10, 13].

Тканевая структура цемента имела места с зонами повышенной минерализации, с облитерированными лакунами. Подобный эффект формирования минерализованной ткани наблюдается в участках ее гипоксического состояния за счет активации комплекса HIF-1 [10].

В кровеносном русле пульпы постоянного зуба выявлялись зоны с умеренными и значительно расширенными кровеносными микрососудами, явлениями стаза форменных элементов крови, но лейкоцитарная инфильтрация при этом не выявлялась, что указывает на невоспалительный характер изменений.

В периферическом слое пульпы зуба, в периодонтально-альвеолярной зоне у подростков в возрасте 14 лет было выявлено увеличенное количество расширенных кровеносных капилляров, сосудистый рисунок которых нередко был изменен, присутствовали разнообразные формы капиллярных петель.

Отмечено, что различные раздражители (внутренние или внешние) могут изменять уровни концентрации кислорода, важно, чтобы эти изменения регулировались посредством васкуляризации, обеспечивая гомеостаз пульпы зуба [8]. По всей видимости, именно этот процесс мы наблюдаем при ППЗ на фоне неблагоприятных факторов.

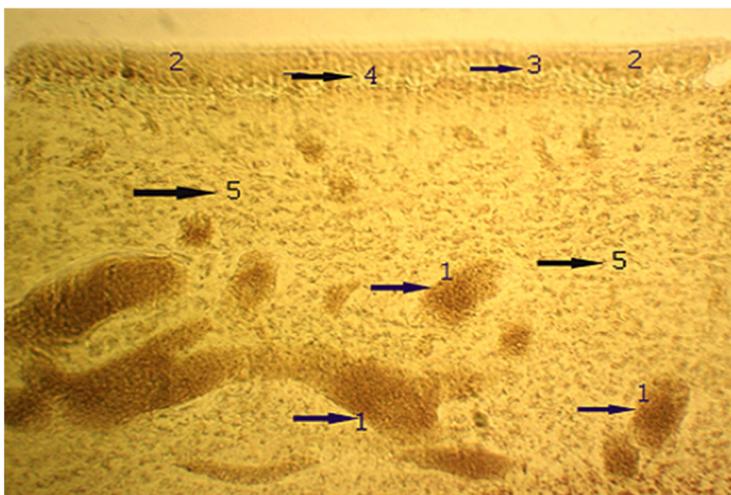


Рис. 2. Периферическая зона пульпы постоянного зуба. Возраст 14 лет.

Эколого-техногенный стресс. Окраска пикрофуксином. Об.× 40, ок. ×10:

- 1 – расширенные микрососуды с явлениями стаза; 2 – деминерализованный дентин;  
3 – внутренняя граница дентина; 4 – гиперминерализованный дентин; 5 – одонтобласты

У подростков группы сравнения на срезах зубов обнаруживались зоны относительного разрежения основного вещества с преобладанием межканальцевого дентина; выявлялись отдельные области со слоями минерализованного (перитубулярного) дентина, наблюдалось изменение диаметра просвета канальцев; неравномерность их расположения, но при этом они сохраняли свою компактность и структурированность.

Таким образом, у детей, проживающих в зонах с повышенной эколого-техногенной нагрузкой, в процессе прорезывания постоянных зубов отмечаются изменения тканевых структур зуба, гистологическая картина которых отличается от таковой, характерной для нормального развития. Подобные отклонения в морфологическом строении пульпарно-дентинного комплекса при воздействии инфекционных и токсических раздражителей отмечают многие исследователи [7, 13, 14]. Так, наличие реактивно-измененного дентина можно связать с ответом на негативное воздействие факторов внешней среды, в которых развивался организм. Известно, что в ответ на умеренную стимуляцию одонтобласты создают реакционный дентин, повышая свою базовую секреторную активность, однако, когда при чрезмерных раздражениях это приводит к гибели одонтобластов, для замены этих клеток инициируется дифференцировка популяций стволовых клеток в одонтобластоподобные клетки. Эти вновь дифференцированные клетки секретируют репаративный дентин, который имеет аморфную структуру, атубулярную форму и заключенные клетки [14].

Патология формирования пульпарно-дентинного комплекса у детей и подростков в процессе прорезывания постоянных зубов не обязательно обусловлена прямым действием отдельных неблагоприятных факторов окружающей среды или их совокупностью. Эта связь может проявляться и опосредованно, через наличие воспалительных заболеваний полости рта, тем более что подобная патология в изучаемых нами поселениях встречалась чаще [3].

Созревание тканевых структур зуба обычно синхронизировано с повышением их кровоснабжения [6], что отмечено нами и в условиях экологического неблагополучия, однако количество и качество внутрипульпарных сосудисто-нервных сплетений могут сильно варьировать [11] и зачастую строго индивидуальны.

**Выводы.** Таким образом, у детей, проживающих в зонах с повышенной экологической опасностью, в процессе прорезывания постоянных зубов отмечаются реактивные изменения тканей зуба, сопровождающиеся перестройками микрососудистого русла, что необходимо учитывать в процессе лечения детей и формирования алгоритма проведения профилактических и/или корректирующих процедур.

#### Литература

1. Морфогенетические и ростовые факторы в механизмах повреждения дентино-пульпарного комплекса и периодонта / С.С. Едранов, С.Г. Калинин, Н.В. Матвеева, И.В. Ковалева // Тихоокеанский медицинский журнал. 2024. № 1. С. 11–16. DOI: 10.34215/1609-1175-2024-1-11-16.
2. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Удмуртской Республике в 2022 году: Государственный доклад / Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Удмуртской Республике. Ижевск, 2023. 142 с.
3. Оценка клинического состояния тканей пародонта у детей в возрасте от 5 до 14 лет, проживающих в районах с техногенным загрязнением / О.Л. Полякова, Н.Н. Чучкова, В.М. Чучков, В.Н. Николенько // Волгоградский научно-медицинский журнал. 2021. № 3. С. 33–36.
4. De Farias J.O., Rezende T.M.B. Dental pulp and apical papilla cells senescence: causes, consequences, and prevention. *Biogerontology*, 2023, vol. 24(4), pp. 533–539. DOI: 10.1007/s10522-023-10029-y.
5. Fekonja A. Evaluation of the eruption of permanent teeth and their association with malocclusion. *Clin Exp Dent Res.*, 2022, vol. 8(4), pp. 836–842. DOI: 10.1002/cre2.544.
6. Friedlander L.T., Coates D., Seymour G. et al. Vascularity and VEGF/VEGFR2 Signaling in the Dentine-Pulp Complex of Immature and Mature Permanent Teeth. *Eur Endod J.*, 2018, vol. 3(3), pp. 153–159. DOI: 10.14744/eej.2018.07269.
7. Galler K.M., Weber M., Korkmaz Y. et al. Inflammatory Response Mechanisms of the Dentine-Pulp Complex and the Periapical Tissues. *Int J Mol Sci.*, 2021, vol. 22(3), pp. 1480. DOI: 10.3390/ijms22031480.
8. Gomez-Sosa J.F., Cardier J.E., Caviedes-Bucheli J. The hypoxia-dependent angiogenic process in dental pulp. *J Oral Biosci.*, 2022, vol. 64(4), pp. 381–391. DOI: 10.1016/j.job.2022.08.004.
9. Graves D.T., Ding Z., Yang Y. The impact of diabetes on periodontal diseases. *Periodontol.*, 2020, vol. 82(1), pp. 214–224. DOI: 10.1111/prd.12318.
10. Michiels C. Physiological and pathological responses to hypoxia. *Am J Pathol.*, 2004, vol. 164(6), pp. 1875–1882. DOI: 10.1016/S0002-9440(10)63747-9.
11. Murillo B., Mendes Sousa M. Neuronal Intrinsic Regenerative Capacity: The Impact of Microtubule Organization and Axonal Transport. *Dev Neurobiol.*, 2018, vol. 78(10), pp. 952–959. DOI: 10.1002/dneu.22602.
12. Nijkowski K., Ortarszewska M., Jankowski J. et al. The Role of Cellular Metabolism in Maintaining the Function of the Dentine-Pulp Complex: A Narrative Review. *Metabolites*, 2023, vol. 13(4), p. 520. DOI: 10.3390/metabo13040520.
13. Palatyńska-Ulatowska A., Fernandes M.C., Pietrzycka K. et al. The Pulp Stones: Morphological Analysis in Scanning Electron Microscopy and Spectroscopic Chemical Quantification. *Medicina (Kaunas)*, 2021, vol. 58(1), p. 5. DOI: 10.3390/medicina58010005.
14. Ricucci D., Loghin S., Niu L.N. et al. Changes in the radicular pulp-dentine complex in healthy intact teeth and in response to deep caries or restorations: A histological and histobacteriological study. *J Dent.*, 2018, vol. 73, pp. 76–90. DOI: 10.1016/j.jdent.2018.04.007.
15. Van Hassel H. Reprint of: Physiology of the Human Dental Pulp. *J. Endod.*, 2021, vol. 47, pp. 690–695. DOI: 10.1016/j.joen.2021.03.001.

---

ПОЛЯКОВА ОЛЬГА ЛЕОНТЬЕВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры анатомии и гистологии человека, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Россия, Москва (polyakova.olga.00@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3131-9201>).

ЧУЧКОВА НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой медицинской биологии, Ижевская государственная медицинская академия, Россия, Ижевск (mig05@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7777-6825>).

СМЕТАНИНА МАРИНА ВИКТОРОВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры медицинской биологии, Ижевская государственная медицинская академия, Россия, Ижевск (biologiya@igma.udm.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1801-5353>).

ЧУЧКОВ ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ – доктор медицинских наук, профессор кафедры физиологии, клеточной биологии и биотехнологии, Удмуртский государственный университет, Россия, Ижевск (vmchuchkov@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9959-689X>).

КОРМИЛИНА НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА – кандидат биологических наук, доцент кафедры медицинской биологии, Ижевская государственная медицинская академия, Россия, Ижевск (nvkor1110@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2885-5882>).

Olga L. POLYAKOVA, Natalya N. CHUCHKOVA, Marina V. SMETANINA,  
Viktor M. CHUCHKOV, Natalia V. KORMLILINA

### HISTOMORPHOLOGICAL STATE OF THE PULPODENTIN COMPLEX DURING PERMANENT TEETH ERUPTION UNDER CONDITIONS OF ECOLOGICAL AND TECHNOGENIC STRESS

**Key words:** eruption of permanent teeth, pulpodentin complex, ecological and technogenic stress.

The timing, duration and quality of permanent teeth eruption are directly dependent on the morphological characteristics of dental tissues, whose formation is determined by the conditions of formation.

The aim is a histomorphological study of the pulpodentin complex of a tooth during permanent teeth eruption in children and adolescents living under environmental and technogenic stress conditions.

**Materials and methods.** The object of the study is the dental material of children and adolescents of Udmurtia at the age of 5 years (eruption beginning) and at the age of 14 years (eruption completed). The material was collected with the voluntary written consent of the child and his parents. Groups of children were formed based on the conditions of their residence in relatively prosperous settlements and areas with increased environmental and technogenic stress on the basis of data presented in the State Report «On the State of Sanitary and Epidemiological Welfare of the Population in the Udmurt Republic». Scientific research was approved by the Committee on Biomedical Ethics of the FSBEI of HE «Izhevsk State Medical Academy» under the Health Ministry of the Russian Federation (application № 391 dated 05.11.2013). Histological preparations of the pulpodentin complex were stained with hematoxylin and eosin, picrofuxin, photographed and subjected to a qualitative assessment.

**Results.** The dental pulpodentin complex in children living under environmental and technogenic stress conditions at the time of permanent teeth eruption (5 years old) corresponded to the indicators of morphological maturity. Minor deviations were represented by single obliterated tubules, heterogeneity of the dentine layer, and the presence of fields with poorly calcified dentine. By the time when permanent teeth eruption was completed (14 years old), areas of reactive-altered dentin, zones of the basic substance dilution with a predominance of inter-tubular dentin, areas with alternating layers of mineralized dentin, uneven arrangement of dentine tubules, the presence of dilated blood microvessels with the phenomena of stasis of shaped elements were formed.

**Conclusions.** Permanent teeth eruption in children and adolescents living under environmental and technogenic stress is accompanied by negative changes in the dental pulpodentin complex. Data on the peculiarities of pulp formation in adverse developmental conditions should be taken into account in pediatric dentistry in the treatment of children and developing the algorithm for preventive or corrective procedures.

#### References

1. Edranov S.S., Kalinichenko S.G., Matveeva N.V., Kovaleva I.V. *Morfogeneticheskie i rostovye faktory v mekhanizмах povrezhdeniya dentino-pul'parnogo kompleksa i periodonta* [Morphogenetic and growth factors in the mechanisms of damage to the dentin-pulp complex and periodontium]. *Tihookeanskii medicinskii zhurnal*, 2024, no. 1, pp. 11–16. DOI: 10.34215/1609-1175-2024-1-11-16.

2. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Удмуртской Республике в 2022 году: Государственный доклад [On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Udmurt Republic in 2022: State report]. Izhevsk, 2023, 142 p.
3. Polyakova O.L., Chuchkova N.N., Chuchkov V.M., Nikolenko V.N. Otsenka klinicheskogo sostoyaniya tkanei parodonta u detei v vozraste ot 5 do 14 let, prozhivayushchikh v raionakh s tekhnogennym zagryazneniem [Assessment of the clinical condition of periodontal tissues in children aged 5 to 14 years living in areas with man-made pollution]. *Volgogradskii nauchno-meditsinskii zhurnal*, 2021, no. 3, pp. 33–36.
4. De Farias J.O., Rezende T.M.B. Dental pulp and apical papilla cells senescence: causes, consequences, and prevention. *Biogerontology*, 2023, vol. 24(4), pp. 533–539. DOI: 10.1007/s10522-023-10029-y.
5. Fekonja A. Evaluation of the eruption of permanent teeth and their association with malocclusion. *Clin Exp Dent Res.*, 2022, vol. 8(4), pp. 836–842. DOI: 10.1002/cre2.544.
6. Friedlander L.T., Coates D., Seymour G. et al. Vascularity and VEGF/VEGFR2 Signaling in the Dentine-Pulp Complex of Immature and Mature Permanent Teeth. *Eur Endod J.*, 2018, vol. 3(3), pp. 153–159. DOI: 10.14744/eej.2018.07269.
7. Galler K.M., Weber M., Korkmaz Y. et al. Inflammatory Response Mechanisms of the Dentine-Pulp Complex and the Periapical Tissues. *Int J Mol Sci.*, 2021, vol. 22(3), pp. 1480. DOI: 10.3390/ijms22031480. PMID: 33540711; PMCID: PMC7867227.
8. Gomez-Sosa J.F., Cardier J.E., Caviedes-Bucheli J. The hypoxia-dependent angiogenic process in dental pulp. *J Oral Biosci.*, 2022, vol. 64(4), pp. 381–391. DOI: 10.1016/j.job.2022.08.004.
9. Graves D.T., Ding Z., Yang Y. The impact of diabetes on periodontal diseases. *Periodontol.*, 2020, vol. 82(1), pp. 214–224. DOI: 10.1111/prd.12318.
10. Michiels C. Physiological and pathological responses to hypoxia. *Am J Pathol.*, 2004, vol. 164(6), pp. 1875–1882. DOI: 10.1016/S0002-9440(10)63747-9.
11. Murillo B., Mendes Sousa M. Neuronal Intrinsic Regenerative Capacity: The Impact of Microtubule Organization and Axonal Transport. *Dev Neurobiol.*, 2018, vol. 78(10), pp. 952–959. DOI: 10.1002/dneu.22602.
12. Nijakowski K., Ortarzewska M., Jankowski J. et al. The Role of Cellular Metabolism in Maintaining the Function of the Dentine-Pulp Complex: A Narrative Review. *Metabolites*, 2023, vol. 13(4), p. 520. DOI: 10.3390/metabo13040520.
13. Palatyńska-Ulatowska A., Fernandes M.C., Pietrzycka K. et al. The Pulp Stones: Morphological Analysis in Scanning Electron Microscopy and Spectroscopic Chemical Quantification. *Medicina (Kaunas)*, 2021, vol. 58(1), pp. 5. DOI: 10.3390/medicina58010005.
14. Ricucci D., Loqhin S., Niu L.N. et al. Changes in the radicular pulp-dentine complex in healthy intact teeth and in response to deep caries or restorations: A histological and histobacteriological study. *J Dent.*, 2018, vol. 73, pp. 76–90. DOI: 10.1016/j.jdent.2018.04.007.
15. Van Hassel H. Reprint of: Physiology of the Human Dental Pulp. *J. Endod.*, 2021, vol. 47, pp. 690–695. DOI: 10.1016/j.joen.2021.03.001.

---

**OLGA L. POLYAKOVA** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Human Anatomy and Histology, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenovskiy University), Russia, Moscow (polyakova.olga.00@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3131-9201>).

**NATALYA N. CHUCHKOVA** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Medical Biology, Izhevsk State Medical Academy, Russia, Izhevsk (mig05@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7777-6825>).

**MARINA V. SMETANINA** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Medical Biology, Izhevsk State Medical Academy, Russia, Izhevsk (biologya@igma.udm.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1801-5353>).

**VIKTOR M. CHUCHKOV** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Physiology, Cell Biology and Biotechnology, Udmurt State University, Russia, Izhevsk (vmchuchkov@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9959-689X>).

**NATALIA V. KORMILINA** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Medical Biology, Izhevsk State Medical Academy, Russia, Izhevsk (nvkor1110@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2885-5882>).

---

**Формат цитирования:** Гистоморфологическое состояние пульпарно-дентинного комплекса при прорезывании постоянных зубов в условиях эколого-техногенного стресса [Электронный ресурс] / О.Л. Полякова, Н.Н. Чучкова, М.В. Сметанина и др. // Acta medica Eurasica. 2024. № 4. С. 56–63. URL: <http://acta-medica-eurasica.ru/single/2024/4/6>. DOI: 10.47026/2413-4864-2024-4-56-63.