

Научная статья

УДК 611.314+611.16+611.839:616-053.2
doi:10.18499/2225-7357-2023-12-2-72-78
1.5.22 – клеточная биология
3.3.1 – анатомия человека



Микрососудистое русло и адренергические нервные окончания пульпы в процессе прорезывания постоянных зубов

Н. Н. Чучкова¹✉, О. Л. Полякова², А. Е. Шкляев¹, В. М. Чучков³,
М. В. Сметанина¹, К. А. Пазиненко¹

¹Ижевская государственная медицинская академия, Ижевск, Россия

²Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия

³Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

Аннотация. Цель исследования – выявление ассоциаций между численностью функционирующих микрососудов и становлением адренергического контроля (нервных окончаний, содержащих катехоламин) пульпы зуба у детей и подростков Удмуртии в период прорезывания постоянных зубов. **Материал и методы.** Исследовали сосудисто-нервный пучок пульпы зуба, удаленного по медицинским показаниям, в возрасте от 5 до 14 лет. На светооптическом уровне проводили подсчет числа функционирующих капилляров, для качественной оценки микрососудистого русла использовался электронно-микроскопический метод. Выявление катехоламинов и подсчет числа адренергических нервных окончаний проводили гистохимическим методом с использованием глиоксиловой кислоты. **Результаты.** Процесс прорезывания постоянных зубов сопровождается интенсивным ростом числа функционирующих капилляров и увеличением плотности расположения адренергических нервных окончаний. Количество функционирующих микрососудов существенно увеличивается (в 3,36 раза) в период детства (от 5 до 9 лет), в подростковом возрасте количество капилляров стабилизируется. Прирост количества нервных окончаний к завершению периода детства (9 лет) составляет $45,2 \pm 12,4\%$ в сравнении с 5-летним возрастом. При этом адренергические нервные окончания изменяются качественно: выраженное разнообразие форм, содержащих медиатор, сменяется изоморфным их фенотипом. С возрастом усиливается тенденция к преимущественному распространению нервных окончаний по ходу сосудов микроциркуляторного русла. **Заключение.** Активное формирование микрососудистого русла при прорезывании постоянных зубов сопровождается зависимым от возраста увеличением плотности расположения и качественной перестройкой адренергических нервных окончаний, что обеспечивает полноценный катехоламинергический контроль со стороны симпатической нервной системы.

Ключевые слова: пульпа зуба; адренергические нервные окончания; капилляры пульпы; прорезывание постоянных зубов; период детства; подростковый период

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Чучкова Н.Н., Полякова О.Л., Шкляев А.Е., Чучков В.М., Сметанина М.В., Пазиненко К.А. Микрососудистое русло и адренергические нервные окончания пульпы в процессе прорезывания постоянных зубов // Журнал анатомии и гистопатологии. 2023. Т. 12, №2. С. 72–78. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2023-12-2-72-78>

ORIGINAL ARTICLES

Original article

Microvascular Bed and Adrenergic Nerve Endings of the Pulp During Permanent Teeth Eruption

N. N. Chuchkova¹✉, O. L. Polyakova², A. E. Shklyayev¹, V. M. Chuchkov³,
M. V. Smetanina¹, K. A. Pazinenko¹

¹Izhevsk State Medical Academy, Izhevsk, Russia

²I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

³Udmurt State University, Izhevsk, Russia

Abstract. The aim of the study was to reveal associations between the number of functioning microvessels and formation of adrenergic control (nerve endings containing catecholamine) of the dental pulp in children and adolescents of Udmurtia during the period of permanent teeth eruption. **Material and methods.** The study included neurovascular bundle of the pulp of teeth extracted for medical reasons at the age of 5 to 14 years.

At the light-optical level, the number of functioning capillaries was counted; an electron microscopic technique was used to qualitative assess the microvascular bed. Identification of catecholamines and counting the number of adrenergic nerve endings were performed histochemically using glyoxylic acid. **Results.** The process of permanent teeth eruption is accompanied by an intensively increased number of functioning capillaries and an increased density of adrenergic nerve endings. The number of functioning microvessels increases significantly (by 3.36 times) during childhood (from 5 to 9 years); the number of capillaries stabilizes in adolescence. The increased number of nerve endings by the end of the childhood period (9 years) is $45.2 \pm 12.4\%$ compared with the age of 5 years. Notably, adrenergic nerve endings modify qualitatively: a pronounced variety of mediator-containing forms is replaced by their isomorphic phenotype. With age, predominant distribution of nerve endings along the vessels of the microvasculature tends to increase. **Conclusion.** Active formation of the microvascular bed during the eruption of permanent teeth is accompanied by an age-dependent increase in the density of localization and qualitative restructuring of adrenergic nerve endings, which provides full catecholaminergic control from the sympathetic nervous system.

Keywords: dental pulp; adrenergic nerve endings; pulp capillaries; eruption of permanent teeth; childhood; adolescence

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interests.

For citation: Chuchkova N.N., Polyakova O.L., Shklyaev A.E., Chuchkov V.M., Smetanina M.V., Pazinenko K.A. Microvascular bed and adrenergic nerve endings of the pulp during permanent teeth eruption. *Journal of Anatomy and Histopathology.* 2023. V. 12, №2. P. 72–78. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2023-12-2-72-78>

Введение

Гомеостаз организма как в целом, так и на органном уровне, во многом определяется симпатической нервной системой, которая влияет на различные физиологические процессы, включая иммунный ответ и реакцию на внешние стрессорные стимулы [1, 2]. Симпатическая регуляция функции органов основана на тесных контактах между нейронами и мишенями, устанавливаемых во время эмбрионального и раннего постнатального развития [3, 4, 5, 6]. Обменные процессы в пульпе при прорезывании постоянных зубов происходят с большей скоростью, чем в других тканях зуба [7, 8]. Это связано с присутствием в ней различного типа клеток, кровеносных сосудов, нервов. Прорезывание постоянных зубов (ППЗ) оказывает влияние на формирование лица. Начало, темпы и сроки ППЗ обусловлены множеством факторов, среди которых значение имеют климатогеографическая зона [9], этническая принадлежность [10, 11]. Для детей Удмуртии установлены более ранние сроки начала прорезывания постоянных зубов, начальный период которого приходится на возраст 5 лет [10, 12]. Работы, учитывающие взаимосвязь ППЗ, активность регенерации и васкуляризации [9, 13], нервный контроль этих процессов [14] единичны, что и определило актуальность нашего исследования.

Целью работы стало выявление ассоциаций между численностью функционирующих (визуально выявляемых на гистологических препаратах) микрососудов и становлением адренергического контроля (нервных окончаний, содержащих катехоламин) пульпы зуба у детей и подростков Удмуртии в период прорезывания постоянных зубов.

Материал и методы исследования

Материалом для гистологического исследования стал сосудисто-нервный пучок

пульпы зубов, удаленных по медицинским показаниям в результате травмы, у детей и подростков в возрасте 5–14 лет (с годовым интервалом между ними), обоюбого пола, родившихся и постоянно проживающих на территории Удмуртии. В работе придерживались общепризнанной в настоящее время схемы возрастной периодизации, принятой на VII Всесоюзной научной конференции по возрастной морфологии, физиологии и биохимии АПН СССР в Москве (1965). Научные исследования одобрены Комитетом по биоэтической этике ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» Минздрава России (апликационный №391 от 05.11.2013 г.). Взятие материала осуществлялось с добровольного письменного согласия ребенка и его представителей.

Материал для исследования был разделен на 10 групп. В каждой возрастной группе исследовали 8 удаленных зубов (по четыре от мальчиков и от девочек). Всего исследовано 800 сосудисто-нервных пучков, с которых изготовлено 960 гистологических препаратов. После технической обработки (промывания) зуб подвергался поперечному и продольному распилам, после чего пульпу извлекали. Извлеченный материал фиксировали в забуференном 10% растворе формалина при pH 7,4, заливали в парафиновую среду Histomix (BioVitrum, Россия), готовили серийные срезы толщиной 5 мкм, окрашивали гематоксилином и эозином, пикрофуксином. В работе использовались расходные материалы для заливки гистологических препаратов и гистологические красители компании-производителя BioVitrum (Россия). Световая микроскопия применялась для визуализации и подсчета функционирующих капилляров, общей оценки клеточных структур ткани пульпы. Подсчет количества функционирующих капилляров (КФК) осуществлялся при увеличении $\times 400$ с помощью точечных окулярных сеток Г.Г. Автандилова [15] в 100 полях зрения (на 1 зуб) с последующим перерасчетом количества

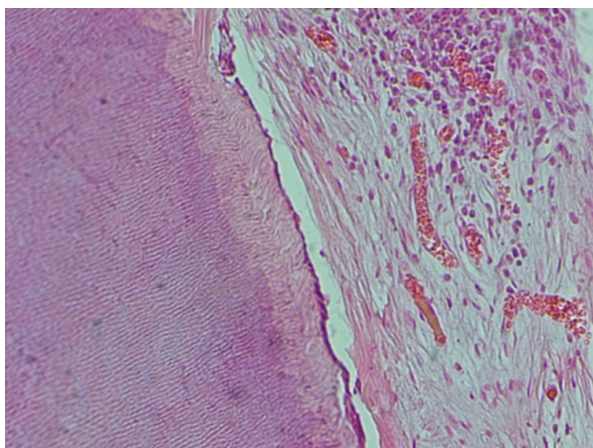


Рис. 1. Микрососуды пульпы. Пациент в возрасте 5 лет. Окраска гематоксилином и эозином. Об. 40, ок. 10.

Fig. 1. Pulp microvessels. Patient at the age of 5 years old. Staining with hematoxylin and eosin. Ob. 40, oc. 10.

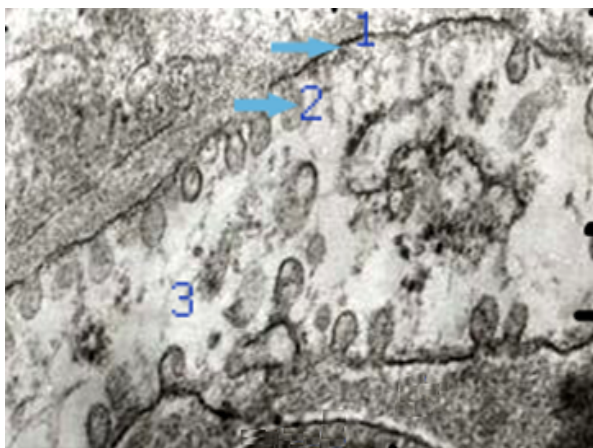


Рис. 2. Участок эндотелиоцита кровеносного капилляра пульпы с пиноцитозными пузырьками. Возраст пациента – 9 лет. 1 – базальная мембрана; 2 – пиноцитозные пузырьки; 3 – цитоплазма эндотелиоцита. Трансмиссионная электронная микроскопия. Ув. 40000.

Fig. 2. An endothelial cell section of the blood capillary of the pulp with pinocytotic vesicles. Patient's age – 9 years old. 1 – basement membrane; 2 – pinocytotic vesicles; 3 – endotheliocyte cytoplasm. Transmission electron microscopy. Magnification 40000.

структурных элементов на единицу объема ткани (1 мм³). Для электронно-микроскопического исследования биологический материал фиксировали в 2,5% глутаральдегиде с дофиксацией по методике G. Millonig (1962), промывали, обезжировали в спиртах и ацетоне восходящей концентрации, заключали в смесь смол эпон–аралдит. Материал контрастировали осмием в процессе заливки, ультратонкие срезы контрастировали уранилацетатом и свинцом. Ультратонкие срезы толщиной 100–150 нм помещали на палладиевые сетки и изучали при увеличении 40000–80000 в электронном микроскопе «HU–7A» (Hitachi, Japan).

Для люминесцентного выявления катехоламинов в пульпе была применена методика с использованием глиоксиловой кислоты с

целью стабилизации катехоламинов в тканевых структурах постоянного зуба перед их высушиванием [16]. После инкубации сосудисто-нервного пучка пульпы зуба (0,25 см³) в буферном растворе Хенкса с флуорохромом биологическую ткань замораживали жидким азотом. Криостатные срезы препаратов помещали в полистирол, просматривали их под люминесцентным микроскопом ЛЮМАМ-Р8 (ЛОМО, Россия). Контроль гистохимической реакции в каждом препарате проводили под микроскопом с увеличением $\times 400$. Подсчет числа адренергических нервных окончаний (АНО) проводили на каждом препарате в 100 полях зрения (1 поле зрения соответствует площади препарата 100 мкм²). Количество АНО представляли поштучно в поле зрения.

В работе использовался статистический метод с применением программ «Statistica 10.0», определением средней арифметической (M), ее ошибки (m). Уровень значимости различий, согласно критерию Стьюдента, считался достоверным при $p < 0,05$. Предварительно данные были проверены на нормальность распределения с помощью критерия Шапиро–Уилка. Проблема множественного сравнения данных решалась с использованием дисперсионного анализа MANOVA.

Результаты и их обсуждение

Начало прорезывания постоянных зубов у детей Удмуртии соотносится с 5-летним возрастом [3, 4]. В это время в пульпе зуба визуализируется развитая сеть кровеносных капилляров (рис. 1).

Количество выявляемых функционирующих капилляров в пульпе зуба в процессе прорезывания представлено в таблице 1.

Проведенный многофакторный анализ (MANOVA) выявил статистически значимые различия в количестве капилляров в зависимости от возраста: $F(9,159) = 451,953$, $p < 0,0001$.

Достоверные различия согласно тесту Тьюки, наблюдались при сравнении показателей количества КФК в детском и подростковом возрастах (табл. 1).

С возрастом количество функционирующих микрососудов испытывало естественный прирост, наибольшие значения приходились на период от 7 до 8 (прирост 40,2%) и от 8 до 9 лет (прирост 85,1%). К моменту окончания детского возраста (9 лет) количество КФК возрастало в 3,4 раза в сравнении с 5-летним возрастом (начало ППЗ). В подростковом возрасте количество капилляров в ткани пульпы зуба относительно стабилизировалось, прирост незначителен и составлял на момент окончания ППЗ 13,5–14%. Таким образом, максимальные значения прироста КФК приходились на период окончания детства.

В этот же период в эндотелиоцитах отмечалось обилие пиноцитозных пузырьков (рис. 2).

Таблица 1 / Table 1

Возрастная динамика количества функционирующих капилляров в пульпе прорезавшегося постоянного зуба (шт/мкм³, M±m)

Age dynamics of the number of functioning capillaries in the pulp of an erupted permanent tooth (pcs/μm³, M±m)

Возрастной период	Детский возраст (лет)				
	5	6	7	8	9
Количество функционирующих капилляров	275,7±19,4	349,3±20,7*	357,3±15,8*	500,8±19,3*	927,2±14,8*
Возрастной период	Подростковый возраст (лет)				
	10	11	12	13	14
Количество функционирующих капилляров	818,2±15,7	827,3±14,7	882,6±13,5*	932,7±39,9*	928,4±36,1*

Примечание: * – различия статистически значимы при $p < 0,0001$ при сравнении внутри возрастных групп (5–9 лет и 10–14 лет).

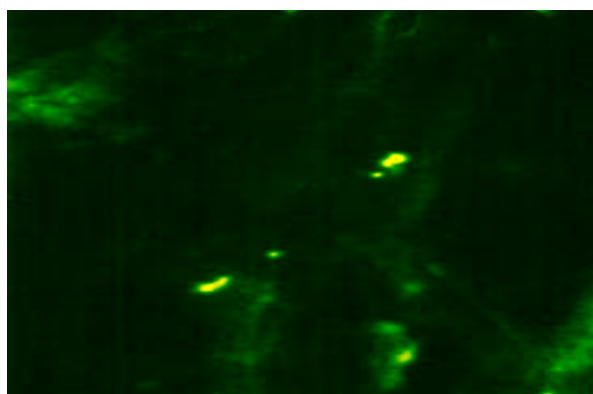


Рис. 3. Адренергические нервные окончания в пульпе зуба пациента в возрасте 6 лет. Окраска глиоксильной кислотой. Люминесцентная микроскопия. Об. 40, ок. 10.

Fig. 3. Adrenergic nerve endings in the dental pulp of a patient at the age of 6 years. Staining: glyoxylic acid. Luminescence microscopy. Ob. 40, oc. 10.

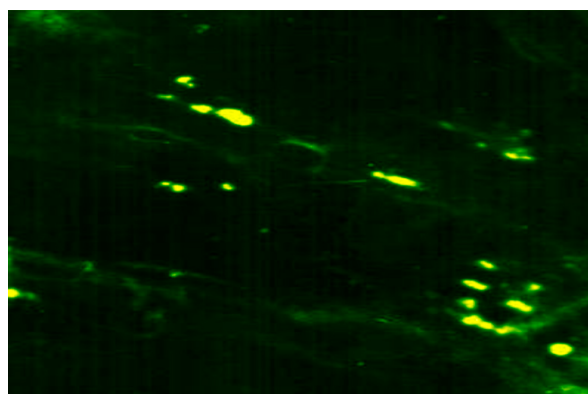


Рис. 4. Адренергические нервные окончания формируют группы. Пациент в возрасте 10 лет. Окраска глиоксильной кислотой. Люминесцентная микроскопия. Об. 20, ок. 10.

Fig. 4. Adrenergic nerve endings forming groups. Patient at the age of 10 years old. Staining: glyoxylic acid. Luminescence microscopy. Ob. 20, oc. 10.

Адренергические нервные окончания у детей в возрасте 5–6 лет были представлены единичными сетевидными структурами, образующими концевые расширения различного вида (округлые, овальные, вытянутые, извилистые) варьирующих размеров (0,2–0,9 мкм в диаметре) (рис. 3).

К началу подросткового периода (10 лет) АНО формировали группы, сплетения приобретали характер рыхло расположенных сетей с наличием умеренно флюоресцирующих утолщений (рис. 4).

Разнообразие форм АНО, отмеченное в период детства, становилось менее выраженным в подростковом периоде. К завершению ППЗ разнообразие вариантов нервных окончаний нивелировалось, концевые расширения приобретали тенденцию к изоморфности, и определялись на микропрепаратах как оптически однородные включения преимущественно округлого (изредка овального) вида. К моменту окончания ППЗ (14 лет) наблюдалась максимальная плотность нервных сплетений с признаками значительного накопления медиатора (рис. 5).

Проведенный многофакторный анализ (MANOVA) выявил статистически значимые различия в количестве адренергических терминалей в зависимости от возраста: $F(9,159) = 91,893, p < 0,0001$.

Достоверные различия, согласно тесту Тьюки, наблюдались при сравнении показателей количества АНО к моменту окончания детского возраста и подросткового периода (табл. 2).

Концентрация адренергических терминалей в пульпе прорезавшегося зуба увеличивалась с возрастом. Так, к моменту окончания периода детства (9 лет) прирост количества АНО составлял 45,2±12,4% в сравнении с 5-летним возрастом (начало ППЗ). В подростковом периоде темпы прироста замедлялись, и увеличение количества терминалей к моменту окончания ППЗ в сравнении с 10-летним возрастом составляло 23,19±9,3%. Количество АНО в пульпе зуба за период прорезывания постоянных зубов (5–14 лет) увеличивалось в 2,02 раза.

Таким образом, процесс прорезывания постоянных зубов сопровождался интенсив-

Таблица 2 / Table 2

Возрастная динамика количества адренергических нервных окончаний в пульпе прорезавшегося постоянного зуба(шт/поле зрения, M±m)

Age-related dynamics of the number of adrenergic nerve endings in the pulp of an erupted permanent tooth (pcs/field of view, M±m)

Возрастной период	Детский возраст (лет)				
	5	6	7	8	9
Количество АНО	4,2±0,01	4,5±0,009*	4,8±0,008*	5,4±0,04*	6,1±0,05*
Возрастной период	Подростковый возраст (лет)				
	10	11	12	13	14
Количество АНО	6,9±0,05	7,2±0,05*	7,9±0,05*	8,5±0,03*	8,5±0,05*

Примечание: * – различия статистически значимы при $p < 0,0001$ при сравнении внутри возрастных групп (5–9 лет и 10–14 лет).

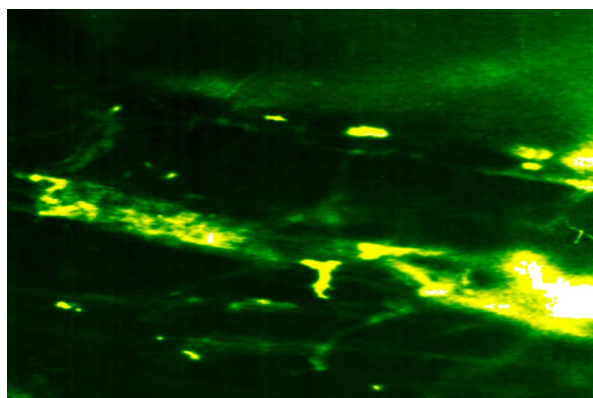


Рис. 5. Адренергические нервные окончания в пульпе зуба формируют сплетения. Пациент в возрасте 14 лет. Окраска глиоксиловой кислотой. Люминесцентная микроскопия. Об. 40, ок. 10.

Fig. 5. Adrenergic nerve endings in the dental pulp forming plexuses. Patient at the age of 14 years old. Staining: glyoxylic acid. Luminescence microscopy. Ob. 40, oc. 10.

ным ростом числа функционирующих капилляров, выявляемых в пульпе прорезавшегося зуба, и увеличением плотности расположения адренергических нервных окончаний. Наиболее выраженными темпами прироста анализируемых показателей характеризовался детский период с последующей относительной стабилизацией в подростковом возрасте, причем активность прироста микрососудов опережала увеличение количества АНО. При этом адренергические нервные окончания качественно изменялись. Выраженное разнообразие форм концевых расширений, содержащих медиатор, сменялось к 10-летнему возрасту изоморфным фенотипом синаптических окончаний. С возрастом усиливалась тенденция к преимущественному распространению нервных окончаний по ходу сосудов микроциркуляторного русла, что предполагало повышение степени нервного контроля над кровеносными сосудами.

Интерес к исследованию кровоснабжения пульпы зуба как в целом, так и в отношении становления структуры и функции его терминального отдела (капиллярного русла), остается открытым и в большой степени дискуссионным до настоящего времени. Имею-

щиеся в научной литературе публикации описывают структурные особенности, распределение сосудов зубов в эмбриогенезе [17, 18], формирование системы кровоснабжения при прорезывании молочных зубов [18], характеристику микроциркуляторного русла при воспалительных заболеваниях [19, 20]. Однако становление микрососудистого русла в процессе прорезывания постоянных зубов у человека представлено лишь обобщенными описаниями либо данными экспериментальных работ [21], которые не содержат количественных характеристик исследуемой ткани или не учитывают их развитие во взаимосвязи со структурами, обеспечивающими медиаторный контроль [22]. Известно, что кровеносные сосуды и нервы нередко располагаются рядом друг с другом, функционально и физически взаимосвязаны [23]. Отмеченный нами параллелизм в количественном становлении сосудов микроциркуляторного русла и параметров катехоламинергического контроля (характеристика адренергических нервных окончаний) тем не менее показывает, что, особенно в период детства, прирост числа функционирующих капилляров значительно опережает прирост количества АНО. Подобное формирование паттерна крупных кровеносных сосудов (но не капилляров, как в нашем исследовании) и нервов (но не нервных окончаний, что представлено в нашей работе) во время формирования зубов и регуляция этого процесса в эмбриогенезе животных описывается в работе O. Shadad с соавт. [18].

Заключение

Своевременное и полноценное прорезывание зубов должно быть обеспечено соответствующим морфологически зрелым нейротрофическим базисом. Процессы становления и формирования трофической регуляции – количество сосудов микроциркуляторного русла и их распределение в пульпе – взаимосвязаны и происходят параллельно с процессами нейрорегуляции. Динамика формирования микрососудистого русла (количества микрососудов в единице объема ткани)

сопровождается зависимым от возраста увеличением плотности расположения нервных окончаний, содержащих катехоламин, сменой диффузного распределения нервных окончаний на преимущественное расположение вблизи сосудов с формированием сосудисто-нервных сплетений. Наиболее активный период прироста изучаемых показателей, приходящийся на возраст 7–10 лет (увеличение числа микрососудов и количества АНО, плотности их расположения в ткани, разнообразие форм концевых расширений), в последующем демонстрирует снижение темпов прироста и количественную стабилизацию к моменту окончания ППЗ (13–14 лет), что обеспечивает необходимый уровень нейротрофического контроля и устойчивость приобретенных морфологических признаков. Представленная взаимосвязь и поэтапность формирования сосудисто-нервных взаимоотношений в пульпе в процессе прорезывания постоянных зубов предоставляет возможность для контроля регенерации сосудистой сети зубной пульпы при решении ряда проблем в эндодонтии.

Список источников / References

1. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия. М., 1990.
Avtandilov GG. Meditsinskaya morfometriya. Moscow, 1990. (In Russ.).
2. Алешкина О.Ю., Чепендюк Т.А., Окушко В.Р. Изменчивость анатомических структур, обеспечивающих процесс прорезывания зуба. Морфологические ведомости. 2016; 24 (3):86–89.
Aleshkina OYu, Chependyuk TA, Okushko VR. Variability of the Anatomical Structures Providing Eruption's Process of Tooth. Morphological Newsletter. 2016; 24 (3):86–89. (In Russ.).
3. Полякова О.Л. Сроки прорезывания верхних и нижних центральных резцов, их гендерные различия у детей, проживающих в южном регионе Удмуртской Республики. Медицинский Вестник Башкортостана. 2012; 7(1):86–88.
Polyakova OL. Periods of the Eruption of Superior and Inferior Central Cutting Teeth and Their Gender Difference of Children, Living in the South Region of the Udmurt Republic. Meditsinskii Vestnik Bashkortostana. 2012;7(1):86–8. (In Russ.).
4. Чучкова Н.Н., Полякова О.Л., Николенко В.Н., Чучков В.М. Сравнительная этноморфологическая характеристика зубов у подростков финно-угорской группы и русской национальности, проживающих на территории Удмуртии. Здоровье, демография, экология финно-угорских народов. 2021;4:19–21.
Chuchkova NN, Polyakova OL, Nikolenko VN, Chuchkov VM. Comparative Ethno-Morphological Characteristics of Teeth in Adolescents of Finno-Ugric and Russian Ethnic Groups Living in Udmurtia. Zdorov'e, demografiya, ekologiya finno-ugorskih narodov. 2021; 4:19–21. (In Russ.).
5. Швалев В.Н., Жучкова Н.И. Простой способ выявления адренергических нервных структур с применением глиоксиловой кислоты. Архив АГЭ. 1979;76(6):114–6.
Shvalev VN, Zhuchkova NI. Prostoi sposob vyavleniya adrenergicheskikh nervnykh struktur s primeneniem glioksilovoi kisloty. Arkhiv AGE. 1979;76(6):114–6. (In Russ.).
6. Alen NV, Deer LK, Hostinar CE. Autonomic nervous system activity predicts increasing serum cytokines in children. Psychoneuroendocrinology. 2020 Sep;119:104745. doi: 10.1016/j.psyneuen.2020.104745
7. Carmeliet P, Tessier-Lavigne M. Common mechanisms of nerve and blood vessel wiring. Nature. 2005 Jul;436(7048):193–200. doi: 10.1038/nature03875
8. Ernsberger U, Rohrer H. Sympathetic tales: subdivisions of the autonomic nervous system and the impact of developmental studies. Neural Development [Internet]. 2018 Sep 13;13(1):20. doi: 10.1186/s13064-018-0117-6
9. Guo H, Zhao W, Liu A, Wu M, Shuai Y, Li B, et al. SHED promote angiogenesis in stem cell-mediated dental pulp regeneration. Biochemical and Biophysical Research Communications. 2020 Sep;529(4):1158–64. doi: 10.1016/j.bbrc.2020.06.151
10. Iijima T, Zhang JQ. Three-dimensional wall structure and the innervation of dental pulp blood vessels. Microscopy Research and Technique. 2002 Jan 1;56(1):32–41. doi: 10.1002/jemt.10007
11. Ling JQ, Mao J. State of the art and perspective of pulp regeneration. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi. 2018; Jun 9;53(6):361–6. (In Chinese). doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2018.06.001
12. Malanchuk VA, Volovar OS, Oblap MV, Brodetskiy IS, Dobryi-Vechir TV, Hryhorovskiy VV, et al. Clinical and Morphological Correlation Dependencies and Their Significance in Patients with Complications of Labored Eruption of the Lower Third Molars. Wiadomości Lekarskie. 2021;74(3):441–9. doi: 10.36740/wlek202103111
13. Marchionni C, Bonsi L, Alviano F, Lanzoni G, Di Tullio A, Costa R, et al. Angiogenic Potential of Human Dental Pulp Stromal (STEM) Cells. International Journal of Immunopathology and Pharmacology. 2009 Jul;22(3):699–706. doi: 10.1177/039463200902200315
14. Nicholls AJ, Wen SW, Hall P, Hickey MJ, Wong CHY. Activation of the sympathetic nervous system modulates neutrophil function. Journal of Leukocyte Biology. 2017 Dec 21;103(2):295–309. doi: 10.1002/JLB.3MA0517-194RR
15. Quach DH, Oliveira-Fernandes M, Gruner KA, Tourtellotte WG. A Sympathetic Neuron Autonomous Role for Egr3-Mediated Gene Regulation in Dendrite Morphogenesis and Target Tissue Innervation. The Journal of Neuroscience. 2013 Mar 6;33(10):4570–83. doi: 10.1523/JNEUROSCI.5481-12.2013
16. Ricucci D, Siqueira JF, Rôças IN, Lipski M, Shiban A, Tay FR. Pulp and dentine responses to selective caries excavation: A histological and histobacteriological human study. Journal of Dentistry. 2020 Sep 1;100:103430. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103430
17. Rodd HD, Boissonade FM. Immunocytochemical investigation of neurovascular relationships in human tooth pulp. Journal of Anatomy. 2003 Feb;202(2):195–203. doi: 10.1046/j.1469-7580.2003.00153.x

18. Rombouts C, Giraud T, Jeanneau C, About I. Pulp Vascularization during Tooth Development, Regeneration, and Therapy. *Journal of Dental Research*. 2016 Oct 11;96(2):137–44. doi: 10.1177/0022034516671688
19. Scott-Solomon E, Boehm E, Kuruvilla R. The sympathetic nervous system in development and disease. *Nature Reviews Neuroscience*. 2021 Oct 1;22(11):685–702. doi: 10.1038/s41583-021-00523-y
20. Shadad O, Chaulagain R, Luukko K, Kettunen P. Establishment of tooth blood supply and innervation is developmentally regulated and takes place through differential patterning processes. *Journal of Anatomy*. 2019 Feb 21;234(4):465–79. doi: 10.1111/joa.12950
21. Simonnet É, Brunet I. Les fonctions de l'innervation sympathique artérielle. *médecine/sciences*. 2019 Aug;35(8-9):643–50. (In French). doi: 10.1051/medsci/2019131
22. Yoshida S, Ohshima H. Distribution and organization of peripheral capillaries in dental pulp and their relationship to odontoblasts. *The Anatomical Record*. 1996 Jun;245(2):313–26. doi: 10.1002/(sici)1097-0185(199606)245:2<313::aid-ar14>3.0.co;2-s
23. Yu X, Zheng F, Du Y, Tang K, Wang W, Zhang S. Semaphorin 3A gets involved in the establishment of mouse tooth eruptive pathway. *Journal of Molecular Histology*. 2019 Jul 3;50(5):427–34. doi: 10.1007/s10735-019-09838-8

Информация об авторах

✉ Чучкова Наталья Николаевна – д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой медицинской биологии Ижевской государственной медицинской академии; ул. Коммунаров, 281, Ижевск, 426034, Россия; mig05@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7777-6825>
 Полякова Ольга Леонтьевна – канд. мед. наук, доцент кафедры анатомии и гистологии человека Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова; polyakova.olga.00@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3131-9201>
 Шкляев Алексей Евгеньевич – д-р мед. наук, профессор кафедры факультетской терапии с курсами эндокринологии и гематологии, ректор Ижевской государственной медицинской академии; rector@igma.udm.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4479-508X>
 Чучков Виктор Михайлович – д-р мед. наук, профессор кафедры физиологии, клеточной биологии и биотехнологии Удмуртского государственного университета; vmchuchkov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7713-0976>
 Сметанина Марина Викторовна – канд. мед. наук, старший преподаватель кафедры медицинской биологии Ижевской государственной медицинской академии; lisenoko910@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1801-5353>
 Пазиненко Ксения Андреевна – канд. биол. наук, ассистент кафедры медицинской биологии Ижевской государственной медицинской академии; k.pazinenko@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3390-4343>

Information about the authors

✉ Natal'ya N. Chuchkova – Doct. Sci. (Med.), Professor, head of the Department of Medical Biology of Izhevsk State Medical Academy; ul. Kommunarov, 281, Izhevsk, 426034, Russia; mig05@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7777-6825>
 Olga L. Polyakova – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Anatomy and Histology of I.M. Sechenov First Moscow State Medical University; polyakova.olga.00@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3131-9201>
 Aleksei E. Shklyayev – Doct. Sci. (Med.), Professor of the Department of Faculty Therapy with Courses in Endocrinology and Hematology, rector of Izhevsk State Medical Academy; rector@igma.udm.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4479-508X>
 Viktor M. Chuchkov – Doct. Sci. (Med.), Professor of the Department of Physiology, Cell Biology and Biotechnology Udmurt State University; vmchuchkov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7713-0976>
 Marina V. Smetanina – Cand. Sci. (Med.), senior lecturer of the Department of Medical Biology of Izhevsk State Medical Academy; lisenoko910@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1801-5353>
 Kseniya A. Pazinenko – Cand. Sci. (Biol.), teaching assistant of the Department of Medical Biology of Izhevsk State Medical Academy; k.pazinenko@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3390-4343>

Статья поступила в редакцию 1.02.2023; одобрена после рецензирования 3.04.2023; принята к публикации 26.06.2023.
 Submitted 1.02.2023; Revised 3.04.2023; Accepted 26.06.2023.