

DOI: 10.37988/1811-153X_2023_4_140

[А.С. Коршунов](#)¹,

к.м.н., доцент кафедры стоматологии ДПО

[В.Д. Вагнер](#)²,д.м.н., профессор, зав. отделом
организации стоматологической службы,
лицензирования и аккредитации[Л.В. Бельская](#)³,к.х.н., зав. научно-исследовательской
лабораторией биохимии[К.Н. Курятников](#)¹,

ассистент кафедры стоматологии ДПО

[Д.О. Серов](#)⁴,стоматолог-хирург отделения стоматологии
общей практики[В.А. Краснов](#)⁴,стоматолог-хирург отделения стоматологии
общей практики[Д.Д. Шульмейстер](#)¹,студент V курса стоматологического
факультета[И.А. Бондарь](#)¹,студент I курса стоматологического
факультета¹ ОмГМУ, 644099, Омск, Россия² ЦНИИСиЧЛХ, 119021, Москва, Россия³ ОмГПУ, 644099, Омск, Россия⁴ Городская клиническая
стоматологическая поликлиника № 1,
644043, Омск, Россия

Оценка влияния дисплазии соединительной ткани на морфологические и биохимические перестройки в органическом и минеральном матриксе нижних третьих моляров на разных этапах прорезывания

Реферат. Цель работы — оценить зрелость твердых тканей нижних третьих моляров, находящихся на различных стадиях прорезывания, при дисплазии соединительной ткани (ДСТ), опираясь на результаты микроскопических и биохимических методов. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 84 женщины в возрастных группах 14—17, 18—21, 22—26, 27—31, 32—36 лет с ДСТ и без нее, у которых по ортодонтическим или неотложным показаниям удаляли зубы 3.8, 4.8, находящиеся на разных стадиях прорезывания. После подготовки по собственным методикам образцов дентина, эмали и эмалево-дентинного соединения проводили микроскопическое исследование с помощью растрового электронного микроскопа Jeol JSM-5700, оценивали морфологию твердых тканей зуба на продольном срезе, а также выполняли биохимическое исследование методом ИК-спектроскопии, определяли на всех этапах положение и интенсивность полос поглощения (ПП). **Результаты.** Между возрастными группами при ДСТ выявлены статистически значимые отличия в поверхностном отделе: в возрастной группе 22—26 лет на стадиях зачатка ($p=0,0001$), до уровня десны ($p=0,02$), до уровня коронки второго моляра ($p=0,002$); в возрастной группе 14—17 лет на стадии прорезывания до уровня коронки второго моляра ($p=0,02$). В глубоком отделе отличия уставлены только в возрасте 14—17 лет на стадии до уровня коронки второго моляра ($p=0,02$). Интенсивность ПП фосфатов (967 см^{-1}) снижается при ДСТ на всех стадиях прорезывания, кроме стадии зачатка, однако именно в этой стадии также снижается интенсивность ПП 1050 см^{-1} , что в целом свидетельствует о снижении содержания минеральной составляющей твердых тканей зубов при ДСТ. Интенсивность ПП коллагена (1202 и 1249 см^{-1}) при ДСТ растет в дентине и снижается в эмали. **Заключение.** Результаты микроскопического и биохимического исследования твердых тканей нижних третьих моляров показывают, что наличие коллагеновых волокон в дентине влияет на биохимические и механические свойства эмали через эмалево-дентинное соединение за счет прочного сцепления и правильной упаковки коллагеновых фибрилл.

Ключевые слова: нарушение прорезывания, нижний третий моляр, растровая электронная микроскопия, спектроскопия, коллагеновые волокна, эмаль, дентин, эмалево-дентинное соединение

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Коршунов А.С., Вагнер В.Д., Бельская Л.В., Курятников К.Н., Серов Д.О., Краснов В.А., Шульмейстер Д.Д., Бондарь И.А. Оценка влияния дисплазии соединительной ткани на морфологические и биохимические перестройки в органическом и минеральном матриксе нижних третьих моляров на разных этапах прорезывания. — *Клиническая стоматология*. — 2023; 26 (4): 140—150. DOI: 10.37988/1811-153X_2023_4_140

[A.S. Korshunov](#)¹,PhD in Medical sciences, associate professor
of the Dentistry Department[V.D. Vagner](#)²,PhD in Medical Sciences, full professor
of the Dental service organization, licensing
and accreditation Department[L.V. Belskaya](#)³,PhD in Chemical Sciences, head
of the Biochemistry research Lab[K.N. Kuryatnikov](#)¹,

assistant at the Dentistry Department

[D.O. Serov](#)⁴,

dental surgeon at the general dentistry ward

Evaluation of the influence of connective tissue dysplasia on morphologic and biochemical rearrangements in the organic and mineral matrix of lower third molars at different stages of eruption

Abstract. Purpose of the work is to evaluate the maturity of the hard tissues of the lower third molars at different stages of eruption in connective tissue dysplasia, based on the results of microscopic and biochemical methods. **Material and methods.** The study involved 84 women in the age groups 14—17, 18—21, 22—26, 27—31, 32—36 years with and without connective tissue dysplasia who had teeth 38, 48, which were at different stages of eruption, extracted for

V.A. Krasnov⁴,

dental surgeon at the general dentistry ward

D.D. Shulmeyster¹,

5th year student at the Dental Faculty

I.A. Bondar¹,

1st year student at the Dental Faculty

¹ Central Research Institute
of Dental and Maxillofacial
Surgery, 119021, Moscow, Russia

² Omsk State Medical University,
644099, Omsk, Russia

³ Omsk State Pedagogical University,
644099, Omsk, Russia

⁴ Municipal Dental Polyclinic no. 1,
644043, Omsk, Russia

orthodontic or emergency indications. After preparation of dentin, enamel and enamel-dentin junction samples according to our own methods, microscopic examination was carried out using a scanning electron microscope Jeol JCM-5700, the morphology of dental hard tissues was evaluated on a longitudinal section, as well as biochemical examination by IR spectroscopy, the position and intensity of absorption bands (AB) were determined at all stages. **Results.** Statistically significant differences between age groups in CTD were found in the superficial section: in the age group 22–26 years at the stages of rudiment ($p=0.0001$), up to the gingival level ($p=0.02$), up to the level of the crown of the second molar ($p=0.002$); in the age group 14–17 years at the stage of eruption up to the level of the crown of the second molar ($p=0.0200$). In the deep section, differences were established only at the age of 14–17 years at the stage up to the level of the crown of the second molar ($p=0.0200$). The intensity of AB phosphate (967 cm^{-1}) decreases in CTD at all stages of eruption except for the rudimentary stage, but it is at this stage that the intensity of AB 1050 cm^{-1} also decreases, which generally indicates a decrease in the mineral content of dental hard tissues in CTD. The AB intensity of collagen (1202 and 1249 cm^{-1}) in CTD increases in dentin and decreases in enamel. **Conclusions.** The results of microscopic and biochemical examination of the hard tissues of lower third molars show that the presence of collagen fibers in dentin affects the biochemical and mechanical properties of enamel through enamel-dentin junction, due to strong adhesion and proper packing of collagen fibrils.

Key words: teething disorder, lower third molar, scanning electron microscopy, spectroscopy, collagen fibers, enamel, dentin, enamel-dentin junction

FOR CITATION:

Korshunov A.S., Vagner V.D., Belskaya L.V., Kuryatnikov K.N., Serov D.O., Krasnov V.A., Shulmeyster D.D., Bondar I.A. Evaluation of the influence of connective tissue dysplasia on morphologic and biochemical rearrangements in the organic and mineral matrix of lower third molars at different stages of eruption. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2023; 26 (4): 140—150 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2023_4_140

ВВЕДЕНИЕ

Прорезывание нижних третьих моляров — многофакторный процесс, опирающийся на механизмы, позволяющие зачатку зуба подниматься вверх. Хорошо изучены вопросы костного и пародонтального ремоделирования, которые активно протекают во время движения зуба к окклюзионной плоскости [1]. Процессы ремоделирования необходимы для поддержания функциональной целостности всей зубочелюстной системы и для сопротивления тканей во время движения зуба [2]. Исходя из полученных данных можно утверждать, что все зубы, включая нижние третьи моляры, имеют важное значение для гомеостаза всех органов и тканей рта. Именно нижний третий моляр проходит сложный каскад морфологических и биохимических перестроек на пути своего движения к окклюзионной плоскости [3, 4].

Другим немаловажным показателем, оценивающим прорезывание нижних третьих моляров, является его время. Под временем прорезывания понимается своевременность проникновения зуба в вышележащие отделы десны и появление его во рту, начиная с раннего образования корня и перемещения зачатка [5].

Развивающиеся зубы должны пройти сложный каскад минерализованных и неминерализованных соединительных тканей. С. Choukroune (2017) в своих наблюдениях высказывается о многоэтапных механизмах, протекающих во время прорезывания нижних третьих моляров [2].

Эмаль образует изолирующий барьер, который при благоприятных условиях защищает зуб от физических,

химических и тепловых воздействий, в некоторых случаях неполноценность ее структуры может утяжелять течение стоматологических болезней [6, 7]. По мнению В.К. Леонтьева (2016), эмаль не содержит коллагена, однако в литературе появляются единичные публикации, доказывающие его наличие в этой уникальной биологической ткани [8, 9].

На самом раннем этапе формирования зуба происходят перекрестные эпителиально-мезенхимальные молекулярные взаимоотношения внутри твердых тканей. Первоначально эпителиальные клетки, предназначенные для создания эмали, совместно с мезенхимой дентина начинают дифференцироваться с образованием амелобластов, а лежащая в основе нейронная мезенхима, образованная гребнем, дифференцируется в клетки, которые формируют оставшуюся часть зуба [10]. Образование кристаллов эмали (их зарождение) происходит в матрице эмали. Недавние исследования зарубежных ученых ставят под сомнение общепринятые научные факты, а их авторы предполагают, что рост кристаллов эмали инициируется минерализованными коллагеновыми волокнами из дентина. Затем эти кристаллы проходят через эмалево-дентинное соединение к мембране амелобластов и распространяются по всей поверхности эмали. Подобное строение позволяет создать соединительные комплексы, в которых секреторные амелобласты образуют полупроницаемый барьер для межклеточных перемещений минералов, ионов, свободно циркулирующих в матрице эмали. По указанным соединительным комплексам возможны межклеточные перемещения жидкостей, нейтрализующих pH в матрице эмали [11].

Наличие коллагеновых волокон в твердых тканях зубов представляет существенное научное и практическое значение для стоматологии. Современные бесчелюстные рыбы (миксины и миноги) демонстрируют структуру, напоминающую зубы, но они хрящевые, в отличие от зубов человека, происходящие из эктомезенхимы. Зубы акулы сформированы из эмалоида, содержат компонент коллагена, в отличие от эмали человека. Установлено, что у человека амелогенины и энамелины взаимодействуют с членами семейства коллагенов во внутрикостную стадию прорезывания [10]. Коллагены являются продуктом одонтобластов и присутствуют в дентине, в то время как амелогенины являются продуктом амелобластов и содержатся в эмали. Было показано, что коллаген IV типа экспрессируется непосредственно в ЭДС, коллагены I и VII типов проходят из дентина через ЭДС в эмаль. Значение таких взаимодействий амелогенин-коллаген и энамелин-коллаген, расширение коллагенов дентина во внутреннюю матрицу эмали помогает объяснить предназначение и биохимические свойства эмалево-дентинной границы [12].

Появление детей и подростков-акселератов, которые быстро развиваются в биологическом и половом аспекте, ставит под сомнение вопрос о раннем развитии зубочелюстного аппарата. Подобные научные исследования изучены недостаточно, хотя можно предположить, что определенные органы и системы рта (зубы, десны, мышечный каркас) опережают в развитии другие (челюстные кости, височно-нижнечелюстной сустав). Данные процессы отражаются на эстетическом, косметическом, функциональном результатах из-за глубоких морфологических изменений, приводящих к нарушению прикуса, увеличению размеров отдельных зубов [13–15]. Дисбаланс в развитии всего организма, отдельных органов рта изменяет сроки и механизмы прорезывания временных и постоянных зубов [16]. Поэтому оправдано изучать прорезывание зубов с учетом современных условий существования индивидуума. Необходимо пересматривать сроки прорезывания зубов в силу существенных акселерационных изменений молодых людей.

Цель — оценить зрелость твердых тканей нижних третьих моляров, находящихся на различных стадиях прорезывания, при дисплазии соединительной ткани (ДСТ), опираясь на результаты микроскопических и биохимических методов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Клиническое исследование

В исследовании приняли участие 84 женщины в возрастных группах 14–17, 18–21, 22–26, 27–31, 32–36 лет, которые находились на диспансерном наблюдении и лечении у ортодонта и стоматолога-хирурга в отделении стоматологии общей практики Омской городской клинической стоматологической поликлиники № 1 и в Центре диагностики и лечения дисплазии соединительной ткани ОмГМУ. В 2021–2022 гг. всем

участникам по ортодонтическим или неотложным показаниям проводилось удаление зубов 3.8 и 4.8 на разных стадиях прорезывания.

Стадия прорезывания нижних третьих моляров оценивали по компьютерным томограммам и систематизировали на 4 группы: зачаток, до уровня десны, до середины коронки второго моляра, полное прорезывание.

Диагностика ДСТ и забор твердых тканей зубов для биохимических исследований проведены по методикам, описанным нами ранее [17, 18].

Микроскопическое исследование

Применение описанного способа позволяет исследовать морфологию эмали, дентина, эмалево-дентинного соединения на продольном срезе в растровом электронном микроскопе. На первом этапе зуб после экстракции фиксируют в столярной струбине, с помощью алмазного диска выполняют сепарацию зуба в мезиодистальном направлении, получая продольный срез. Подготовленный фрагмент зуба помещают в патрон из ПВХ-трубки срезом вниз, заливают двухкомпонентной эпоксидной смолой на 24 ч, и таким образом получают препарат.

На втором этапе препарат обрабатывают на шлифовально-полировальном станке шлифовальными кругами зернистостью 800, 1500, 2000 и 2500 grit. Окончательное полирование проводят с использованием полировального круга из войлока с пастой ГОИ для пластмасс. Протравливают поверхность препарата 37%-ной ортофосфорной кислотой (H_3PO_4) в течение 20 секунд в зоне эмали, в течение 15 секунд в зоне дентина. Высушивают препарат с использованием салфетки из целлюлозы. Препарат укладывают на предметный стол растрового электронного микроскопа Jeol JSM-5700 для исследования.

Спектрометрическое исследование

Применение метода инфракрасной (ИК) спектроскопии позволяет определить функционально-групповой состав образцов эмали, дентина, эмалево-дентинного соединения. Полученные данные позволяют оценить изменения в минеральной и органической составляющей твердых тканей зубов.

Образцы эмали, дентина и эмалево-дентинного соединения высушивали до постоянной массы при $105^\circ C$ в течение 6 ч и определяли массовую долю влаги. Порошки исследовали в таблетках, спрессованных в смеси с бромидом калия (соотношение 1:100, диаметр — 3,5 мм). В качестве опорного спектра использован спектр чистого бромистого калия, предварительного высушенного при температуре $\sim 600^\circ C$ в течение 6 ч. ИК-спектры поглощения регистрировали на ИК Фурье-спектрометре ФТ-801 (СИМЕКС, Новосибирск) в диапазоне $500\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ (число сканов 32, разрешение 4 см^{-1}). Коррекция базовой линии и нормализация спектров проведена с использованием программного обеспечения ZaiR 3.5 (СИМЭКС). На всех спектрах определяли положение и интенсивность полос поглощения (ПП).

Статистическая обработка данных

При анализе полученных данных применяли непараметрический метод с использованием критерия Вилкоксона в зависимых группах, в независимых группах — U -критерия Манна—Уитни. Выборку описывали с помощью подсчета медианы и межквартильного размаха в виде 25-го и 75-го перцентилей (Q_1 — Q_3). Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,02$.

Сравнение результатов ИК-спектроскопии твердых тканей зубов проведено методом главных компонент. Предварительно выполнено сравнение интенсивностей основных полос поглощения на ИК-спектрах эмали, дентина и эмалево-дентинного соединения с учетом возраста и стадии прорезывания с использованием критерия Краскела—Уоллиса, выбраны полосы поглощения, для которых различия между группами статистически достоверны на уровне $p < 0,05$. Выбранные полосы поглощения далее использованы для анализа методом главных компонент. Достоверность разделения групп оценивалась по коэффициенту корреляции (r): сильная — от 0,70 до 1,00 (и от -1 до -0,70), средняя — $\pm 0,30$ —0,69, слабая — от 0,00 до $\pm 0,29$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В группе без ДСТ дентинные каналцы берут начало на внутренней поверхности дентина, пересекают ее в направлении кнаружи, перпендикулярно тангенциальным волокнам основного вещества. Коллагеновые волокна, идущие в радиальном и тангенциальном направлениях, определяют топографическую анатомию и правильную ориентацию дентинных каналцев. В молодом возрасте (14—17 и 18—21 лет) дентинные каналцы имеют меньшие размеры, чем в возрастных группах 22—26, 27—31 и 32—36 лет. После 32 лет размеры дентинных каналцев уменьшаются, что связано со снижением трофической функции и минерализации твердых тканей, облитерацией и появлением большого количества дентиклей, что негативно отражается на обменных процессах и может приводить к болезням зубов. По мере движения третьего моляра и его полному прорезыванию дентинные каналцы увеличиваются в размерах, статистически значимо во всех возрастных группах ($p < 0,02$; табл. 1, рис. 1а—е).

Усиление минерализации внутреннего слоя дентинных каналцев на этапе прорезывания нижнего третьего моляра до середины второго моляра отмечено в возрастных группах 21—26 и 27—31 лет. Встречается утолщение

Таблица 1. Размеры дентинного слоя и дентинных трубочек нижних третьих моляров на разных стадиях прорезывания в группе без дисплазии соединительной ткани

Table 1. Dimensions of the dentin layer and dentin tubes of lower third molars at different stages of eruption in the group without connective tissue dysplasia

Возраст, лет	Стадия прорезывания								p_{1-2}	p_{2-3}	p_{3-4}
	1. Зачаток		2. До уровня десны		3. До середины коронки 2-го моляра		4. Полное				
	Me	Q_1 — Q_3	Me	Q_1 — Q_3	Me	Q_1 — Q_3	Me	Q_1 — Q_3			
Толщина дентинного слоя, мм											
14—17	—		2,9	2,7—3,0	3,2	3,0—3,5	3,7	3,6—3,8	—	0,0020	0,0020
18—21	—		2,8	2,6—3,0	3,3	3,1—3,5	3,8	3,6—3,9	—	0,0100	0,0010
22—26	—		3,3	3,1—3,5	3,7*	3,6—3,9	4,1*	4,0—4,3	—	0,0020	0,0200
27—31	—		3,5	3,3—3,8	3,9	3,8—4,0	4,3	4,2—4,5	—	0,0200	0,0010
32—36	—		3,4	3,3—3,6	3,4	3,2—3,6	3,2*	3,1—3,5	—	0,1900	0,1990
Ширина дентинных каналцев в области пульпы, мкм											
14—17	—		2,33	2,31—2,34	2,39	2,37—2,43	2,45	2,44—2,47	—	0,0010	0,0200
18—21	—		2,35	2,33—2,36	2,39*	2,37—2,42	2,43	2,42—2,44	—	0,0200	0,0910
22—26	—		2,41*	2,39—2,43	2,46*	2,45—2,48	2,49*	2,48—2,51	—	0,0200	0,0010
27—31	—		2,41	2,40—2,43	2,45	2,44—2,47	2,48	2,47—2,49	—	0,0200	0,2200
32—36	—		2,41	2,40—2,43	2,34*	2,32—2,35	2,31	2,29—2,32	—	0,0001	0,3400
Ширина дентинных каналцев в области эмалево-дентинного слоя, мкм											
14—17	1,21	1,19—1,26	3,24	3,21—3,28	3,31	3,29—3,31	3,35	3,32—3,39	0,0001	0,0200	0,0200
18—21	1,23	1,19—1,28	3,26	3,23—3,29	3,33*	3,32—3,35	3,36	3,33—3,39	0,0001	0,0100	0,1700
22—26	1,25	1,22—1,28	3,41*	3,39—2,44	3,45*	3,43—3,48	3,51*	3,46—3,55	0,0001	0,0560	0,1050
27—31	1,24	1,22—1,27	3,39	3,35—3,45	3,45	3,44—3,46	3,52	3,48—3,55	0,0001	0,1900	0,0200
32—36	1,21	1,18—1,25	3,13*	3,09—3,17	3,12*	3,07—3,17	3,15*	3,11—3,19	0,0010	0,0880	0,1980

Примечание. * — отличие от предыдущей возрастной подгруппы статистически достоверно значимо (U -тест Манна—Уитни, T -критерий Вилкоксона, с учетом поправки Бонферрони при $p < 0,02$).

дентинного слоя по всем сравниваемым возрастам без ДСТ, за исключением возрастной группы 32–36 лет, где его толщина остается неизменной по мере прорезывания нижнего третьего моляра. Процесс образования нового дентина на всех этапах прорезывания идет равномерно, энергично ($p>0,02$; см. табл. 1).

В группе с ДСТ морфологическое строение дентинных канальцев и дентинного слоя более хаотичное и отличается выраженным полиморфизмом.

В обеих группах дентинные канальцы берут начало на внутренней поверхности дентина, пересекают его в направлении кнаружи. Несостоятельность соединительнотканного каркаса дентина и связанные с ней разволокненность и хаотичность радиальных и продольных коллагеновых волокон в группе с ДСТ приводят к извитости и уменьшению диаметра дентинных трубочек, особенно в возрастных группах 14–17, 18–21 и 32–36 лет. В указанных группах на ранних стадиях прорезывания нижних третьих моляров минерализация внутренней стенки дентинных канальцев снижена, что проявляется отсутствием белесоватых колец на их стенке. В возрастных группах 22–26 лет, 27–31 лет при ДСТ после прохождения уровня десны нижние третьи моляры минерализуются, однако с меньшей скоростью по сравнению с аналогичными возрастными группами без ДСТ (в возрасте 22–26 лет $p=0,0001$ на этапе прорезывания до середины коронки второго моляра; в возрасте 22–26 лет $p=0,0001$ на этапе полного прорезывания; в возрасте 27–31 лет $p=0,0023$ на этапе прорезывания до середины коронки второго моляра; в возрасте 27–31 лет $p<0,0001$ на этапе полного прорезывания). Главной отличительной особенностью в строение дентинных канальцев при ДСТ является

одинаковая ширина описанного кольца в стенке, что указывает на снижение минерализующих свойств дентина в группе с ДСТ (табл. 2, рис. 1*f–j*).

Утолщение дентинного слоя в группе с ДСТ на всех этапах прорезывания нижних третьих моляров идет медленными темпами, менее энергично. Дентиногенная зона в группе с ДСТ на всех этапах прорезывания находится в гипоминерализованном состоянии (см. табл. 2).

Показатель ширины эмалевых призм в различных отделах в группе с ДСТ изменяется с возрастом и по мере прорезывания нижних третьих моляров. Нами установлен значительный рост эмалевых призм в возрасте 27–31 лет. После 32 лет отмеченные значения не изменяются ($p>0,05$). Самый быстрый рост эмалевых призм без ДСТ в глубоком отделе эмали происходит со стадий зачатка и при нахождении его на уровне десны. В поверхностном отделе эмали на всех стадиях прорезывания нижних третьих моляров их рост в ширину значительно отстает относительно глубокого отдела ($p>0,02$; табл. 3, рис. 2).

В поверхностном отделе эмали в группе без ДСТ рост эмалевых призм достоверно усиливается в возрастных группах 18–21 лет ($p=0,001$), 22–26 лет ($p=0,002$) на стадиях зачатка при прорезывании до уровня десны, в глубоком отделе в возрастной группе 22–26 лет на всех стадиях прорезывания ($p<0,02$).

Изменение ширины эмалевых призм в группе с ДСТ происходит на всех стадиях прорезывания. Самый активный рост эмалевых призм в поверхностном и глубоком отделах установлен на стадиях прорезывания до уровня десны и середины коронки второго моляра и продолжается после полного прорезывания нижних третьих моляров.

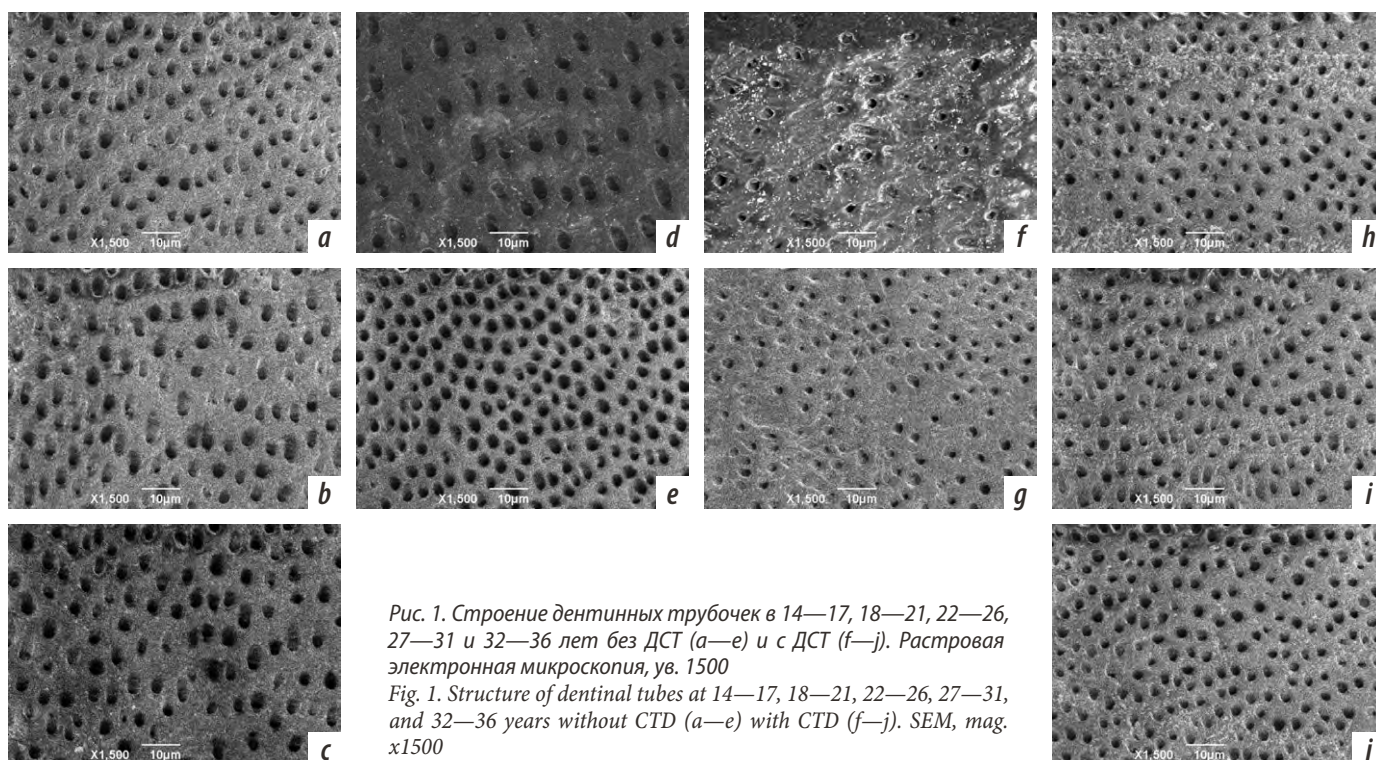


Рис. 1. Строение дентинных трубочек в 14–17, 18–21, 22–26, 27–31 и 32–36 лет без ДСТ (а–е) и с ДСТ (f–j). Растровая электронная микроскопия, ув. 1500

Fig. 1. Structure of dentinal tubes at 14–17, 18–21, 22–26, 27–31, and 32–36 years without CTD (a–e) with CTD (f–j). SEM, mag. x1500

Таблица 2. Размеры дентинного слоя и дентинных трубочек нижних третьих моляров на разных стадиях прорезывания в группе с дисплазией соединительной ткани

Table 2. Dimensions of the dentin layer and dentin tubes of lower third molars at different stages of eruption in the group with connective tissue dysplasia

Возраст, лет	Стадия прорезывания								p_{1-2}	p_{2-3}	p_{3-4}
	1. Зачаток		2. До уровня десны		3. До середины коронки 2-го моляра		4. Полное				
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃			
Толщина дентинного слоя, мм											
14—17	—		2,1	2,0–2,2	2,5	2,4–2,6	2,9	2,7–3,1	—	0,0010	0,0020
18—21	—		2,3	2,1–2,4	2,6	2,4–2,8	3,1	2,9–3,2	—	0,0200	0,0020
22—26	—		3,1*	2,9–3,2	3,4*	3,2–3,5	3,7*	3,5–3,9	—	0,0010	0,0067
27—31	—		3,4*	3,3–3,7	3,6	3,4–3,8	3,9	3,7–4,1	—	0,1780	0,0580
32—36	—		3,2	3,0–3,4	3,3	3,2–3,6	3,1*	2,7–3,6	—	0,1070	0,1280
Ширина дентинных канальцев в области пульпы, мкм											
14—17	—		2,04	2,01–2,07	2,09	2,06–2,12	2,18*	2,16–2,21	—	0,0780	0,0020
18—21	—		2,15*	2,12–2,18	2,18*	2,15–2,21	2,73	2,69–2,77	—	0,0560	0,1200
22—26	—		2,17	2,13–2,21	2,24	2,20–2,28	2,31*	2,26–2,34	—	0,0380	0,0780
27—31	—		2,25	2,22–2,27	2,29	2,28–2,32	2,35	2,31–2,38	—	0,0010	0,0200
32—36	—		2,21	2,17–2,24	2,26	2,23–2,29	2,31	2,28–2,34	—	0,0910	0,2200
Ширина дентинных канальцев в области эмаливо-дентинного слоя, мкм											
14—17	1,19	1,15–1,23	2,65	2,62–2,67	2,68	2,66–2,69	2,75	2,70–2,80	0,0001	0,1040	0,0020
18—21	1,21	1,18–1,24	2,61	2,57–2,65	2,69	2,66–2,71	2,73	2,69–2,77	0,0001	0,0010	0,1180
22—26	1,26	1,22–1,29	2,76*	2,73–2,79	2,82*	2,80–2,83	2,83*	2,79–2,87	0,0001	0,5600	0,9550
27—31	1,21	1,17–1,25	2,79	2,75–2,84	2,83	2,80–2,86	2,87	2,85–2,90	0,0001	0,1310	0,1720
32—36	1,21	1,19–1,23	2,58*	2,55–2,61	2,51*	2,46–2,54	2,54*	2,50–2,60	0,0001	0,0880	0,1680

Примечание. * – отличие от предыдущей возрастной подгруппы статистически достоверно значимо (U-тест Манна–Уитни, T-критерий Вилкоксона, с учетом поправки Бонферрони при $p < 0,02$).

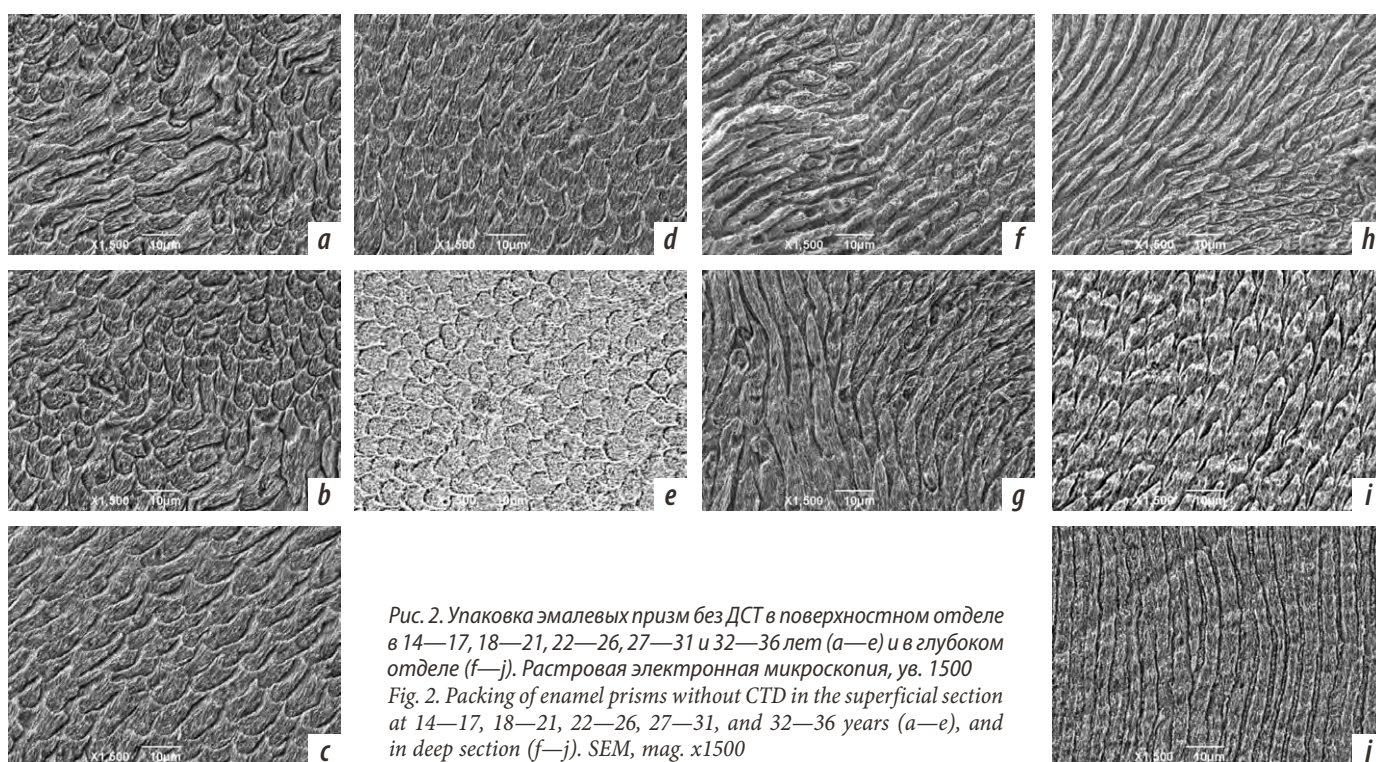


Рис. 2. Упаковка эмалевых призм без ДСТ в поверхностном отделе в 14—17, 18—21, 22—26, 27—31 и 32—36 лет (а—е) и в глубоком отделе (f—j). Растровая электронная микроскопия, ув. 1500
Fig. 2. Packing of enamel prisms without CTD in the superficial section at 14—17, 18—21, 22—26, 27—31, and 32—36 years (a—e), and in deep section (f—j). SEM, mag. x1500

Между возрастными группами при ДСТ выявлены статистически значимые отличия в поверхностном отделе в возрастной группе 22–26 лет на стадиях зачатка ($p=0,0001$), до уровня десны ($p=0,02$), до уровня коронки второго моляра ($p=0,002$); в возрастной группе 14–17 лет на стадии прорезывания до уровня

коронки второго моляра ($p=0,02$). В глубоком отделе отличия уставлены только в возрасте 14–17 лет на стадии до уровня коронки второго моляра ($p=0,02$; табл. 4, рис. 3). Остальные изменения ширины эмалевых призм различных отделов эмали статистически не отличались.

Таблица 3. Размеры эмалевых призм в разных отделах эмали нижних третьих моляров на разных стадиях прорезывания в группе без дисплазии соединительной ткани

Table 3. Dimensions of enamel prisms in different enamel sections of lower third molars at different stages of eruption in the group without connective tissue dysplasia

Возраст, лет	Стадия прорезывания								p_{1-2}	p_{2-3}	p_{3-4}
	1. Зачаток		2. До уровня десны		3. До середины коронки 2-го моляра		4. Полное				
	Me	Q ₁ -Q ₃	Me	Q ₁ -Q ₃	Me	Q ₁ -Q ₃	Me	Q ₁ -Q ₃			
Ширина эмалевых призм поверхностного слоя, мкм											
14—17	4,13	4,11–4,15	4,21	4,19–4,23	4,46	4,43–4,48	4,35*	4,33–4,38	0,0002	0,0002	0,0001
18—21	4,16*	4,13–4,19	4,29*	4,26–4,31	4,49	4,45–4,53	4,55	4,52–4,59	0,0010	0,0002	0,0580
22—26	4,25*	4,22–4,29	4,36*	4,34–4,37	4,52*	4,50–4,55	4,59	4,56–4,62	0,0002	0,0010	0,0001
27—31	4,44	4,42–4,46	4,51	4,49–4,53	4,59	4,56–4,61	4,68	4,65–4,72	0,0001	0,0010	0,0002
32—36	4,45	4,42–4,49	4,53	4,51–4,55	4,61	4,57–4,64	4,71	4,69–4,73	0,0010	0,0002	0,0020
Ширина эмалевых призм глубокого слоя, мкм											
14—17	4,52	4,50–4,55	4,61	4,60–4,63	4,71	4,68–4,75	4,89	4,85–4,91	0,0020	0,0020	0,0002
18—21	4,51	4,48–4,54	4,62	4,60–4,65	4,73	4,71–4,76	4,87	4,85–4,91	0,0010	0,0020	0,0010
22—26	4,55*	4,53–4,56	4,63*	4,60–4,67	4,75*	4,73–4,77	4,82*	4,80–4,85	0,0001	0,0010	0,0020
27—31	4,66	4,63–4,69	4,78	4,74–4,82	4,92	4,90–4,95	5,02	5,00–5,05	0,0010	0,0010	0,0001
32—36	4,65	4,63–4,68	4,76	4,73–4,79	4,91	4,87–4,95	4,99	4,97–5,02	0,0010	0,0010	0,0200

Примечание. * – отличие от предыдущей возрастной подгруппы статистически достоверно значимо (U-тест Манна–Уитни, T-критерий Вилкоксона, с учетом поправки Бонферрони при $p<0,02$).

Таблица 4. Размеры эмалевых призм в разных отделах эмали нижних третьих моляров на разных стадиях прорезывания в группе с дисплазией соединительной ткани

Table 4. Dimensions of enamel prisms in different enamel sections of lower third molars at different stages of eruption in the group with connective tissue dysplasia

Возраст, лет	Стадия прорезывания								p_{1-2}	p_{2-3}	p_{3-4}
	1. Зачаток		2. До уровня десны		3. До середины коронки 2-го моляра		4. Полное				
	Me	Q ₁ -Q ₃	Me	Q ₁ -Q ₃	Me	Q ₁ -Q ₃	Me	Q ₁ -Q ₃			
Ширина эмалевых призм поверхностного слоя, мкм											
14—17	3,88	3,84–3,92	3,92	3,89–3,95	4,27*	4,22–4,31	4,35	4,33–4,38	0,0002	0,0020	0,0010
18—21	3,82	3,80–3,85	3,95	3,91–3,99	4,17	4,13–4,21	4,34	4,31–4,37	0,0020	0,0001	0,0002
22—26	3,95*	3,93–3,97	3,98*	3,95–4,02	4,21*	4,17–4,25	4,41	4,35–4,45	0,0002	0,0020	0,0001
27—31	4,12*	4,09–4,15	4,24	4,22–4,27	4,32	4,29–4,35	4,49	4,45–4,54	0,0020	0,0020	0,0001
32—36	4,15	4,13–4,17	4,24	4,22–4,27	4,37	4,35–4,40	4,54	4,51–4,57	0,0020	0,0020	0,0010
Ширина эмалевых призм глубокого слоя, мкм											
14—17	4,26	4,24–4,29	4,35	4,32–4,39	4,46*	4,44–4,49	4,54	4,51–4,57	0,0020	0,0010	0,0020
18—21	4,31	4,29–4,33	4,37	4,34–4,41	4,55	4,52–4,59	4,56	4,53–4,59	0,0020	0,0010	0,0730
22—26	4,34	4,32–4,37	4,41	4,39–4,43	4,49	4,46–4,53	4,55	4,50–4,60	0,0010	0,0020	0,1470
27—31	4,38	4,34–4,43	4,43	4,41–4,45	4,51	4,48–4,54	4,56	4,54–4,57	0,0020	0,0020	0,2600
32—36	4,35	4,31–4,40	4,45	4,42–4,48	4,51	4,49–4,53	4,51	4,49–4,54	0,0020	0,0020	0,1990

Примечание. * – отличие от предыдущей возрастной подгруппы статистически достоверно значимо (U-тест Манна–Уитни, T-критерий Вилкоксона, с учетом поправки Бонферрони при $p<0,02$).

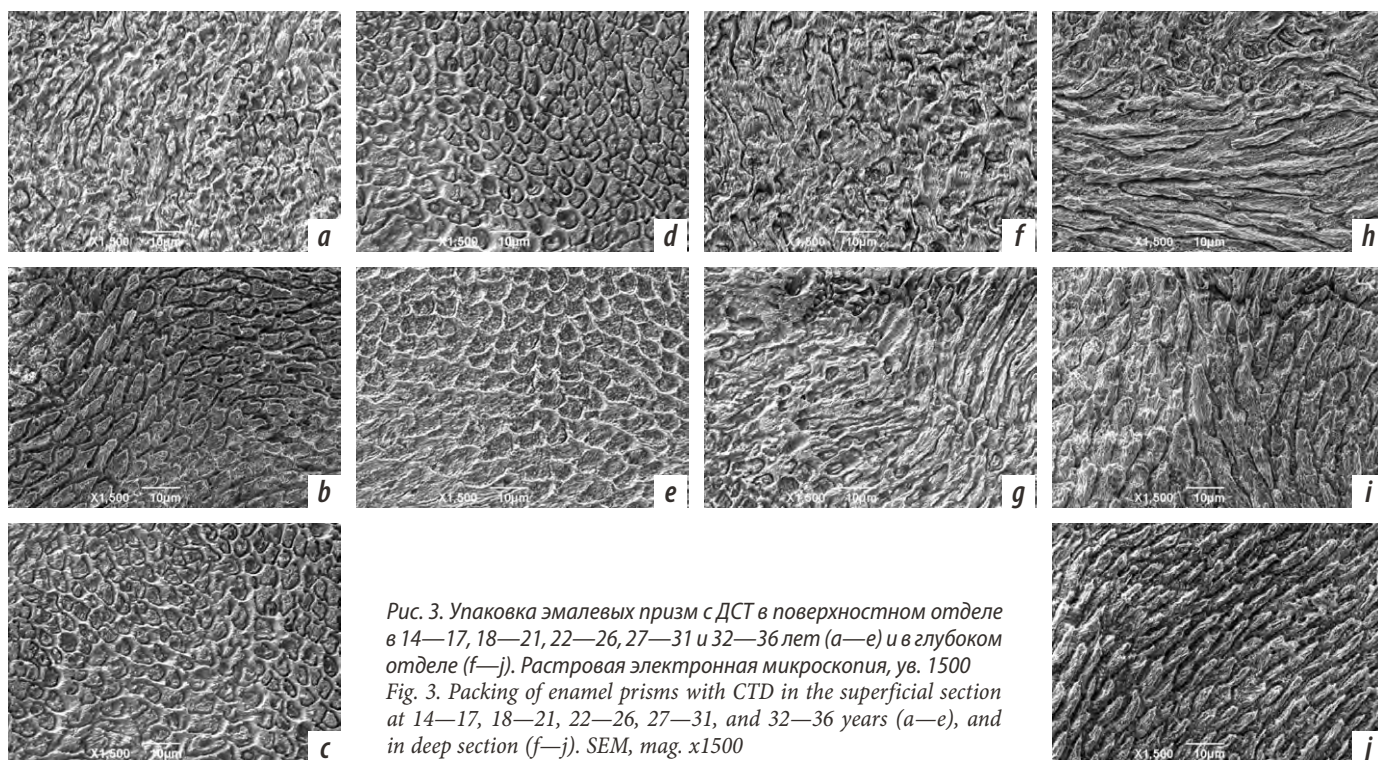


Рис. 3. Упаковка эмаливых призм с ДСТ в поверхностном отделе в 14—17, 18—21, 22—26, 27—31 и 32—36 лет (а—е) и в глубоком отделе (f—j). Растровая электронная микроскопия, ув. 1500
 Fig. 3. Packing of enamel prisms with CTD in the superficial section at 14—17, 18—21, 22—26, 27—31, and 32—36 years (a—e), and in deep section (f—j). SEM, mag. x1500

Методом ИК-спектроскопии проанализированы интенсивности 19 полос поглощения на ИК-спектрах эмали, дентина и эмалево-дентинного соединения при ДСТ по сравнению с нормой. Интересно отметить, что в группе 14—17 лет присутствуют только зачатки (для остальных стадий прорезывания стоят прочерки), в группе 18—21 лет зачатки только при ДСТ, в группе 22—26 лет зачатков нет, но образцы со стадией прорезывания до уровня десны есть только при ДСТ, а полное прорезывание наблюдается только в норме. В группе 27—31 лет вообще не пересекаются подгруппы: стадия прорезывания до уровня десны наблюдается только при ДСТ, а остальные — только в норме, группа 32—26 лет соответственно представлена только стадией полного прорезывания в норме (табл. 5).

Показано, что интенсивности полос поглощения меняются разнонаправленно. Так, интенсивность ПП фосфатов (967 см^{-1}) снижается при ДСТ на всех стадиях прорезывания, кроме стадии зачатка, однако именно на этой стадии снижается также интенсивность ПП 1050 см^{-1} , что в целом свидетельствует о снижении содержания минеральной составляющей твердых тканей зубов при ДСТ. Интенсивность ПП коллагена (1202 и 1249 см^{-1}) при ДСТ растет в дентине и снижается в эмали.

Нами проведено сравнение методом главных компонент исследуемых групп при одновременном учете влияния фактора возраста и стадии прорезывания зубов. Показано, что для эмали и дентина при ДСТ статистически достоверного разделения подгрупп не наблюдается ($p=0,9119$ и $p=0,8990$ для эмали и дентина соответственно), как и в норме ($p=0,3618$ и $p=0,3548$

для эмали и дентина соответственно). Однако для дентина без ДСТ подтверждено статистически достоверное отличие группы 27—31 лет с полным прорезыванием от всех остальных групп ($p=0,0114$), это же отличие сохраняется и в эмали без ДСТ ($p=0,02$). Для ЭДС как при ДСТ, так и в норме наблюдается более четкое разделение подгрупп ($p=0,4416$ и $p=0,0726$ при ДСТ и в норме соответственно). Для ЭДС в норме показано статистически достоверное отличие подгруппы 14—17 лет со стадией прорезывания зачатков от всех остальных групп ($p=0,0029$). Поскольку для ЭДС в норме наблюдалось наиболее четкое разделение подгрупп по возрасту и стадии прорезывания, мы дополнительно сравнили отдельно фактор возраста и стадии прорезывания, чтобы понять, какой именно фактор вносит больший вклад в разделение. Показано, что при разделении подгрупп ЭДС в норме по возрасту коэффициент корреляции выше ($r=0,48$, $p=0,0119$), чем при разделении подгрупп по стадии прорезывания ($r=0,36$, $p=0,0288$). Это позволяет предположить, что изменения в функционально-групповом составе ЭДС в большей степени обусловлены возрастом, а не стадией прорезывания зуба. При этом наиболее важный вклад в разделение подгрупп по функционально-групповому составу вносят ПП фосфатов 1050 см^{-1} ($r=0,84$) и 967 см^{-1} ($r=0,73$), метильных и метиленовых групп в структуре органического матрикса — 2963 см^{-1} ($r=0,82$), 2855 см^{-1} ($r=0,78$), 1454 см^{-1} ($r=0,73$) и 2922 см^{-1} ($r=0,68$), а также ПП коллагена 1202 см^{-1} ($r=0,74$) и 1242 см^{-1} ($r=0,56$).

тканями снижает обменные свойства дентина в группе с ДСТ, что находит отражение в ее более тонком слое и низкой скорости утолщения на всех этапах прорезывания нижних третьих моляров.

Резюмируя полученные данные по степени зрелости эмали нижних третьих моляров у женщин на различных стадиях прорезывания, можно утверждать, что между группами имеются значимые статистические различия. В группе без ДСТ рост эмалевых призм происходит гармонично правильно во всех ее отделах. На ранних стадиях развития и прорезывания нижнего третьего моляра наиболее выраженные изменения с широкими эмалевыми призмами выявлены в глубоком отделе, в котором происходят начальные этапы формирования эмали, где в небольшом количестве вплетаются коллагеновые волокна, продолжающиеся из дентина и ЭДС. На ранних этапах прорезывания в глубоком отделе эмали рост эмалевых призм максимальный, значительно опережающий поверхностный отдел. Темпы роста эмалевых призм в поверхностном отделе усиливаются на поздних стадиях прорезывания, когда нижние третьи моляры начинают контактировать с ротовой жидкостью. На этой стадии рост эмалевых призм в обоих отделах однонаправленный, после полного прорезывания более выраженный в поверхностном отделе [20].

В группе с ДСТ характер роста эмалевых призм во всех отделах медленный. На ранних стадиях прорезывания нижних третьих моляров в глубоком отделе рост эмалевых призм хаотичный. Размеры эмалевых призм в группе с ДСТ существенно уступают по размерам группе без ДСТ, что, несомненно, определяется несостоятельной упаковкой радиальных и фибриллярных коллагеновых структур дентина и ЭДС. При ДСТ в поверхностном отделе эмалевые призмы маленького размера, хотя по мере прорезывания нижних третьих моляров их размеры увеличиваются. Эмалевые призмы становятся более насыщенными кристаллами, однако также уступают по размерам группе без ДСТ.

Подводя итог, можно говорить о значительном влиянии ДСТ на степень созревания и роста эмалевых призм нижних третьих моляров, когда в описываемой группе они прорезываются в гипоминерализованном состоянии, что, несомненно, влияет на скорость прорезывания. Наличие гипоминерализованных участков в эмали нижних третьих моляров снижает не только прочностные свойства всего зуба, но и его барьерные функции по защите от повышенного напряжения в челюсти, микробных агентов. При контакте с ротовой жидкостью эмалевые призмы начинают созревать более быстрыми темпами, но только в поверхностном отделе.

Результаты биохимического исследования твердых тканей нижних третьих моляров выявили, что наличие коллагеновых волокон в дентине влияет на биохимические и механические свойства эмали, через ЭДС, за счет их прочного сцепления. В наших исследованиях выявлены наибольшие различия в полосах поглощения

по данным ИК-спектроскопии в органическом матрикс при ДСТ в нижних третьих молярах, что подтверждает данные литературы о том, что амелогенины и эмалины взаимодействуют с семейством коллагенов дентина при прорезывании зубов [21, 22]. Отмечено, что коллагены экспрессируются в ЭДС и дентине во всех сравниваемых группах. Значение таких взаимодействий амелогенин—коллаген, эмалин—коллаген и расширение коллагенов дентина во внутреннюю матрицу глубокого слоя эмали позволяет объяснить выраженные структурные биохимические и морфофункциональные изменения эмали в группе с ДСТ, которая в наших исследованиях отличалась наибольшим характером полиморфизма за счет биохимических нарушений в структуре ЭДС и дентина по многим показателям. Установлено, что ЭДС, дентин осуществляют амортизирующую, барьерную функции, защищают пульпу от механических воздействий со стороны внешней среды [23].

Уменьшение содержания органических веществ в твердых тканях нижних третьих моляров в группе с ДСТ показывает существенную неоднородность структуры. Именно в данной группе обследованных нижние третьи моляры прорезываются с недостаточным уровнем зрелости, в гипоминерализованном состоянии.

Неоднородность эмали, ЭДС, дентина в группе с ДСТ объясняется их взаимодействием и взаимовлиянием на всех этапах развития, созревания и прорезывания нижних третьих моляров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты микроскопического и биохимического исследования твердых тканей нижних третьих моляров показывают, что наличие коллагеновых волокон в дентине влияет на биохимические и механические свойства эмали, через эмалево-дентинное соединение, за счет их прочного сцепления. Несостоятельность соединительнотканного комплекса в эмалево-дентинном соединении, дентине при ДСТ нарушает полупроницаемый барьер для межклеточных перемещений минералов, ионов, в конечном итоге обеспечивает медленное и неполноценное созревание нижних третьих моляров.

Наши исследования показывают влияние коллагеновых волокон эмалево-дентинного соединения и дентина на рост, созревание и упаковку эмалевых призм на всех стадиях прорезывания. Подобные изменения в группе с ДСТ объясняют факт прорезывания незрелостью нижних третьих моляров в гипоминерализованном состоянии.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Поступила: 21.09.2023

Принята в печать: 21.11.2023

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

Received: 21.09.2023

Accepted: 21.11.2023

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Bankole O.O., Lawal F.B. Teething. — *Int Q Community Health Educ.* — 2017; 37 (2): 99—106. PMID: 28511599
2. Choukroune C. Tooth eruption disorders associated with systemic and genetic diseases: clinical guide. — *Journal of Dentofacial Anomalies and Orthodontics.* — 2017; 20 (4): 402. DOI: 10.1051/odfen/2018129
3. Yu Y., Cui C., Guan S.Y., Xu R.S., Zheng L.W., Zhou X.D., Fan Y. Function of orofacial stem cells in tooth eruption: An evolving perspective. — *Chin J Dent Res.* — 2021; 24 (3): 143—152. PMID: 34491008
4. Wise G.E., King G.J. Mechanisms of tooth eruption and orthodontic tooth movement. — *J Dent Res.* — 2008; 87 (5): 414—44. PMID: 18434571
5. Kjaer I. Mechanism of human tooth eruption: review article including a new theory for future studies on the eruption process. — *Scientifica (Cairo).* — 2014; 2014: 341905. PMID: 24688798
6. Ippolitov Yu.A., Ippolitov I.Yu., Seredin P.V. Morphology of the human dental enamel. — *Indian Journal of Dentistry.* — 2014; 5: 135—139. DOI: 10.1016/j.ijid.2014.03.004
7. Korshunov A., Vagner V., Konev V., Moskovskiy S., Kuryatnikov K., Skurikhina A., Yakovlev V., Nurakhmetova A. Research of connective tissue dysplasia influence on teething. — *Saudi Dent J.* — 2022; 34 (5): 385—389. PMID: 35814839
8. Леонтьев В.К. Эмаль зубов как биоконвергентная система. — М: ГЭОТАР-Медиа, 2016. — 72 с. [Leontev V.K. Dental enamel as biocybernetic system. — Moscow: GEOTAR-Media, 2016. — 72 p. (In Russian)]. eLibrary ID: 26074164
9. Шумилов Б.Р., Воробьева Ю.Б., Малихина И.Е., Чертовских А.В. Современные представления о кристаллической структуре гидроксиапатита и процессах возрастных изменений эмали зуба (исследование in vitro). — *Журнал анатомии и гистопатологии.* — 2015; 1: 77—86. [Shumilovich B.R., Vorob'yeva Yu.B., Malykhina I.E., Chertovskikh A.V. Modern views on the crystal structure of hydroxyapatite and processes age-related changes of tooth enamel (in vitro study). — *Journal of Anatomy and Histopathology.* — 2015; 1: 77—86 (In Russian)]. eLibrary ID: 23570153
10. Lacruz R.S., Habelitz S., Wright J.T., Paine M.L. Dental enamel formation and implications for oral health and disease. — *Physiol Rev.* — 2017; 97 (3): 939—993. PMID: 28468833
11. Jussila M., Thesleff I. Signaling networks regulating tooth organogenesis and regeneration, and the specification of dental mesenchymal and epithelial cell lineages. — *Cold Spring Harb Perspect Biol.* — 2012; 4 (4): a008425. PMID: 22415375
12. McGuire J.D., Walker M.P., Mousa A., Wang Y., Gorski J.P. Type VII collagen is enriched in the enamel organic matrix associated with the dentin-enamel junction of mature human teeth. — *Bone.* — 2014; 63: 29—35. PMID: 24594343
13. Коршунов А.С., Конева В.П., Вагнер В.Д., Курятников К.Н., Скурихина А.П., Гафнер Л.В., Бондарь А.А., Сергеев В.И. Лицевой и стоматологический статус человека с дисплазией соединительной ткани. — *Медико-фармацевтический журнал Пульс.* — 2020; 11: 95—99. [Korshunov A.S., Konev V.P., Vagner V.D., Kuryatnikov K.N., Skurikhina A.P., Gafner L.V., Bondar A.A., Sergeev V.I. Facial and dental status of a human with connective tissue dysplasia. — *Medical and pharmaceutical journal Pulse.* — 2020; 11: 95—99 (In Russian)]. eLibrary ID: 44335839
14. Калмин О.В., Зюлькина Л.А., Иванов П.В., Маланьин И.В. Половые различия кранио-фациальных, одонтометрических показателей и особенности редукции жевательного аппарата у жителей г. Пензы и Пензенской области. — *Вестник новых медицинских технологий.* — 2010; 17 (2): 298—300. [Kalmin O.V., Zulkina L.A., Ivanov P.V., Malanyin I.V. Sex difference in craniofacial, odontometrical indices and peculiarities of masticatory apparatus reduction at penza and penza region inhabitants. — *Journal of New Medical Technologies.* — 2010; 17 (2): 298—300 (In Russian)]. eLibrary ID: 16459674
15. Monalisa W., Kokila G., Sharma H.D., Gopinathan P.A., Singh O.M., Kumaraswamy S. Sexual dimorphism of enamel area, coronal dentin area, bicervical diameter and dentinoenamel junction scallop area in longitudinal ground section. — *J Oral Maxillofac Pathol.* — 2018; 22 (3): 423—429. PMID: 30651693
16. Shawsheesh A.I. Duration and rate of clinical eruption of third molars. — *Dental Oral Biology and Craniofacial Research.* — 2019; 2 (1): 1—5. DOI: 10.31487/j.DOBRCR.2019.01.002
17. Korshunov A.S., Vagner V.D., Kuryatnikov K.N., Serov D.O., Torohov A.L., Shykhaliyeva D.D., Sarf E.A., Bel'skaya L.V. Infrared Spectroscopy to Analyze Sexual Dimorphism of Hard Dental Tissue Maturation at Eruption in Patients with Connective Tissue Dysplasia. — *Appl Spectrosc.* — 2023; 77 (5): 457—469. PMID: 36765457
18. Korshunov A.S., Vagner V.D., Kuryatnikov K.N., Meloyan A.D., Kasiy M.N., Sarf E.A., Bel'skaya L.V. IR-spectroscopic analysis of hard tissues of lower "wisdom" teeth at the eruption stage of connective tissue dysplasia. — *Journal of Applied Spectroscopy.* — 2022; 89 (4): 689—697. DOI: 10.1007/s10812-022-01410-9
19. Вагнер В.Д., Коршунов А.С., Курятников К.Н., Рогачев Е.А., Бельская Л.В., Сарф Е.А., Максименко К.А. Характер обменных процессов в твердых тканях зубов человека в зависимости от их морфологического строения. — *Стоматология.* — 2022; 6: 7—13. [Vagner V.D., Korshunov A.S., Kuryatnikov K.N., Rogachev E.A., Belskaya L.V., Sarf E.A., Maksimenko K.A. The nature of metabolic processes in human dental hard tissues depending on their morphological structure. — *Stomatology.* — 2022; 6: 7—13 (In Russian)]. eLibrary ID: 50005723
20. Risnes S., Li C. Aspects of the final phase of enamel formation as evidenced by observations of superficial enamel of human third molars using scanning electron microscopy. — *Arch Oral Biol.* — 2018; 86: 72—79. PMID: 29190456
21. Iijima M., Moradian-Oldak J. Interactions of amelogenins with octacalcium phosphate crystal faces are dose dependent. — *Calcif Tissue Int.* — 2004; 74 (6): 522—31. PMID: 15354860
22. Du C., Falini G., Fermani S., Abbott C., Moradian-Oldak J. Supramolecular assembly of amelogenin nanospheres into birefringent microribbons. — *Science.* — 2005; 307 (5714): 1450—4. PMID: 15746422
23. Silin A.V., Terekhov A.Yu., Andreevskaya M.V., Maryanovich A.T. Proteins of mineralized dental tissues. — *Russian Biomedical Research.* — 2022; 7 (2): 53—68. DOI: 10.56871/1744.2022.70.82.005