

*Е.В.Ковалев
С.А.Павленко*

*Украинская медицинская
стоматологическая академия,
кафедра пропедевтики
терапевтической стоматологии
(зав. кафедрой —
проф. Е.В.Ковалев)*

Ключевые слова: морфофункциональная связь, гемодинамика, капилляры, эндотелиальные клетки, одонтобласты.

Воспаление пульпы зуба, лечение и профилактика его осложнений в дальнейшем являются одной из главных проблем терапевтической стоматологии, которая и в настоящее время не утратила своей актуальности.

В процессе жизнедеятельности пульпа изначально обеспечивает развитие зуба, а в дальнейшем — его полноценное функционирование. Являясь тканью с высокой реактивной способностью, она на соответствующее раздражение отвечает реакцией воспаления, что проявляется, прежде всего, изменениями сосудов микроциркуляторного русла, а также клеточных элементов.

Известно, что зуб является целостной системой, в которой все элементы связаны между собой как структурно, так и функционально, взаимодействуя между собой, поддерживают и обеспечивают стабильность самой системы.

Благодаря структурным и функциональным связям между сосудами, нервными волокнами и клетками пульпы, в зубе поддерживаются процессы обмена веществ. Непосредственно стабильное функционирование дентина, эмали, цемента в большой степени зависит от кровеносной системы пульпы зуба, обеспечивающей их транскапиллярное питание.

Интересным является факт обмена веществ в зоне раздела мягких и твердых тканей зуба. Обеспечение одонтобластов продуктами жизнедеятельности, поддержание их основной дентинообразующей функции, осуществляется на уровне густой субодонтобластической капиллярной сети, которая участвует в транспорте необходимых веществ к этим высокодифференцированным клеткам пульпы зуба [1, 2].

Исследования L.Jams [10], H.R.Stenley, B.J.Bethesda [12], Караганова Я.Л. и Ковалева Е.В. [3, 4] подтверждают морфофункциональную связь между одонтобластами и субодонтобластическим сплетением, которое является зоной активного гематотканевого обмена. Эта связь также обеспечивается наличием в цитоплазме одонтобластов хорошо развитой эндоплазматич-

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ В ПУЛЬПЕ ЗУБА ЧЕЛОВЕКА

Резюме. В настоящей статье раскрыты некоторые закономерности взаимосвязи между одонтобластами и сосудами микроциркуляторного русла пульпы зуба человека с точки зрения процессов гемодинамики и обмена веществ.

ческой сети с большим количеством рибосом, митохондрий, пластинчатого комплекса Гольджи, что свидетельствует о высоких процессах синтеза и обмена веществ в одонтобластах, и оказывает влияние не только на их жизнедеятельность, но и на зуб в целом.

Обмен веществ между капиллярами и одонтобластами происходит как за счет пассивного (фильтрация, осмос, диффузия), так и за счет активного транспорта. Последний осуществляется при помощи переносчиков (т-АТФ), которые транспортируют вещества через мембраны одонтобластов от интерстициального пространства в клетки, а также и в обратном направлении.

Стенки капилляров легко проницаемы для кристаллоидов, но плохо для белков, и именно онкотическое давление белков способствует направленному векторному току питательных веществ от интерстиция к стороне одонтобластического слоя, и далее к дентину, эмали, ротовой жидкости. При этом большая часть капилляров субодонтобластической сосудистой сети работает как фильтр, обеспечивая тем самым максимальный обмен веществ между обменными микрососудами и одонтобластическим слоем.

Величина транскапиллярного обмена зависит от условий гемодинамики: скорости кровообращения, густоты и длины капиллярной сети, а также от давления в микрососудах и их окружения.

Скорость движения крови по капиллярам главным образом зависит от общей площади поперечного сечения сосудов. Диаметр прекапиллярных артерий 8–12 мкм, длина 160 мкм, а посткапиллярных венул 9–15 мкм и 220 мкм соответственно. Скорость движения крови в артериях — 0,5 см/с, в капиллярах — 0,5 мм/с, и в венулах несколько увеличивается. Так как по сосудам кровь поступает непрерывным током, то через сосуды с различным диаметром (артериола, капилляр, венула), которые соединены последовательно, за единицу времени проходит одинаковый объем крови:

$$V = Sv = \text{const} \quad (1)$$

где V — объем крови, S — площадь поперечного сечения сосуда, v — скорость тока крови.

Обозначив площадь сечения и скорость тока крови по артериоле, капилляру, венуле соответственно $S_1, v_1, S_2, v_2, S_3, v_3$, получают следующее уравнение:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = S_3 v_3 \quad (2),$$

и соответственно:

$$v_1 : v_2 = S_2 : S_1 = v_3 : v_2 = S_2 : S_3 \quad (3).$$

Исходя из данного соотношения, можно полагать, что скорость движения крови по сосудам с различным диаметром обратно пропорциональна площади поперечного сечения этих сосудов, то есть резко возрастает при переходе артериол в капилляры: большая в артериолах и меньшая в капиллярах.

Диаметр капилляров субодонтобластического слоя такой же, как и в артериолах $\leftrightarrow 8-12 \mu$, но длина капилляра небольшая: от прекапиллярной артериолы до посткапиллярной венулы $\leftrightarrow 750 \mu\text{м}$.

Малая длина капилляра и низкая скорость кровотока обеспечивают меньшее сопротивление стенок капилляра, в результате чего давление в артериях меньше, в артериолах — максимальное, и в капиллярах — значительное, для того, чтобы процессы обмена веществ между ними и одонтобластами осуществлялись беспрерывно.

Являясь составляющим звеном в отдельном блоке сети кровеносных капилляров субодонтобластического сплетения, микрососуды (артериола, капилляр, венула) подчинены общим законам гемодинамики. Согласно закона Бернулли, давление в капиллярах (при условии, что сила тяжести ρgh не учитывается), будет:

$$P + \rho v^2 : 2 = \text{const} \quad (4),$$

где P — статическое давление (на стенку сосуда, параллельного движению жидкости),

$\rho v^2 : 2$ — динамическое давление (обусловлено давлением движущейся жидкости).

Из уравнения (4) следует, что величина давления крови на стенку сосуда обратно пропорциональна скорости движения крови внутри его, что приводит к уменьшению скорости движения крови в капиллярах, и увеличению давления в них.

В той части капилляра, что прилежит к прекапиллярной артериоле, давление больше и фильтрация веществ через стенку в интерстициальное пространство выше, а в той части капилляра, что прилежит к посткапиллярной венуле, давление уменьшается и преобладают процессы реабсорбции веществ. При электронно-микроскопическом исследовании капилляров отмечается, что их артериальная часть «вход» уже, а венозная «выход» несколько шире. Такой вывод подтверждают также исследования В.А.Шахламова (1967) [7] и данные световой микроскопии: артериальная часть капилляра «вход» имеет диаметр $2-6 \mu$, а венозная «выход» — $7-10 \mu$.

У «входа» гидростатическое давление $>$ онкотического давления интерстициального пространства и обмен веществ осуществляется за счет их фильтрации из сосудов субодонтобластического сплетения через интерстициальное пространство к одонтобластам, а возле «выхода» онкотическое давление интерстициального

пространства $>$ гидростатического, и обмен веществ между одонтобластами и капиллярами через интерстициальное пространство к капиллярам осуществляется за счет осмоса, а также поддерживается онкотическим давлением белков интерстициального пространства.

Подтвержден тот факт, что капилляры, контактирующие с одонтобластами в условиях повышенного осмотического давления, обеспечивая обмен веществ, имеют фенестрированный тип эндотелия [3, 4]. Стенки посткапиллярных венул также фенестрированы, и за счет этого венулы обладают наивысшей проницаемостью для молекул белка [3, 4].

При электронно-микроскопическом исследовании в стенках эндотелиальных клеток отмечаются зоны малой электронной плотности (фенестры), расположенные группами. Они представляют собой каналы с диаметром $40-60 \text{ нм}$, имеют стенки, ограниченные простой мембраной. Большая локализация фенестр в самой тонкой зоне эндотелия $\leftrightarrow 0,1 \mu\text{м}$. Стенки капилляров субодонтобластического сплетения образованы

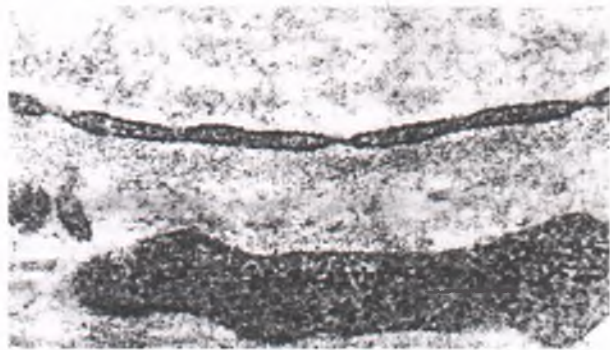


Рис. 1. Фрагмент фенестрированного участка цитоплазмы эндотелия капилляра ($\times 20\,000$)

эндотелиальными клетками, имеющими толщину $0,1 \mu\text{м}$ и поэтому подтверждается факт, о том, что обмен веществ между капиллярами и одонтобластами осуществляется, непосредственно, трансэндотелиально.

В цитоплазме эндотелиоцитов присутствует большое количество микроцитозных и микроплазматических

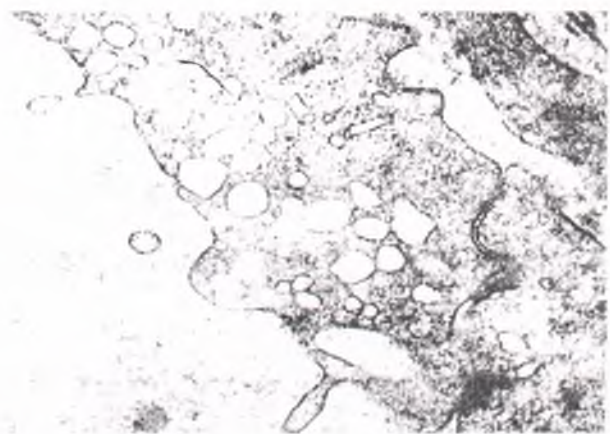


Рис. 2. Микроцитозные везикулы в цитоплазме эндотелия капилляра ($\times 10\,000$)

везикул диаметром до 70 нд и толщиной мембраны $\leftrightarrow 8$ нд [5]. Исследования В.В.Куприянова и соавт. [5, 6] показали, что везикулы цитоплазмы эндотелиоцита имеют различную форму. Своей расширенной частью везикулы расположены в цитоплазме эндотелиоцита, а устьем — в сторону просвета капилляра. Часть везикул в цитоплазме эндотелиоцита лежит свободно. Сливаясь, везикулы образуют трансэндотелиальный канал, обеспечивающий обмен веществ между капилляром и интерстициальной жидкостью.

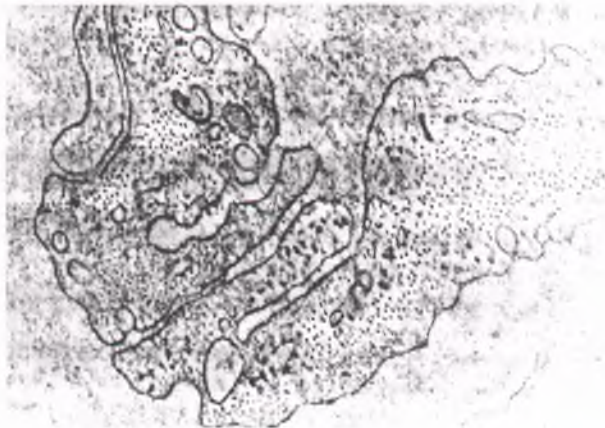


Рис. 3. Фрагмент цитоплазмы эндотелия капилляра со сквозным трансэндотелиальным каналом ($\times 20\ 000$)

Между цитоплазматическими мембранами соседних эндотелиоцитов имеются узкие промежутки межэндотелиальные контакты. Одни образованы в результате накладки отростков двух эндотелиальных клеток одного на другой по типу черепичного перекрытия, другие — в виде коротких щелей, или образуются за счет выпячиваний и инвагинаций соседних эндотелиоцитов [4]. Эти промежутки имеют разную длину, ширина их варьируется $\leftrightarrow 250-400$ Å. Межэндотелиальные контакты, трансэндотелиальные каналы являются звеном, обеспечивающим транспортные процессы и перенос веществ в зоне субдонтотластического сапульты зуба.

Непосредственно эндотелиальная поверхность эндотелиальных клеток также имеет цитоплазматические отростки различной длины, складки, инвагинации, которые отражают активное участие эндотелиоцитов в транспорте воды и белков [4], а также в транспортных процессах фильтрации, осмоса, ипно- и экзоцитоза. осуществляется стенками капилляра, склонного к обеспечению процессов обмена при различных возможных изменениях внутрикапиллярного давления [8]. Для полноценного осуществления интерстициального транспорта в зоне субдонтотластического сапульты зуба необходимо изменение концентрации белков, которые приносятся с током крови и фильтруются

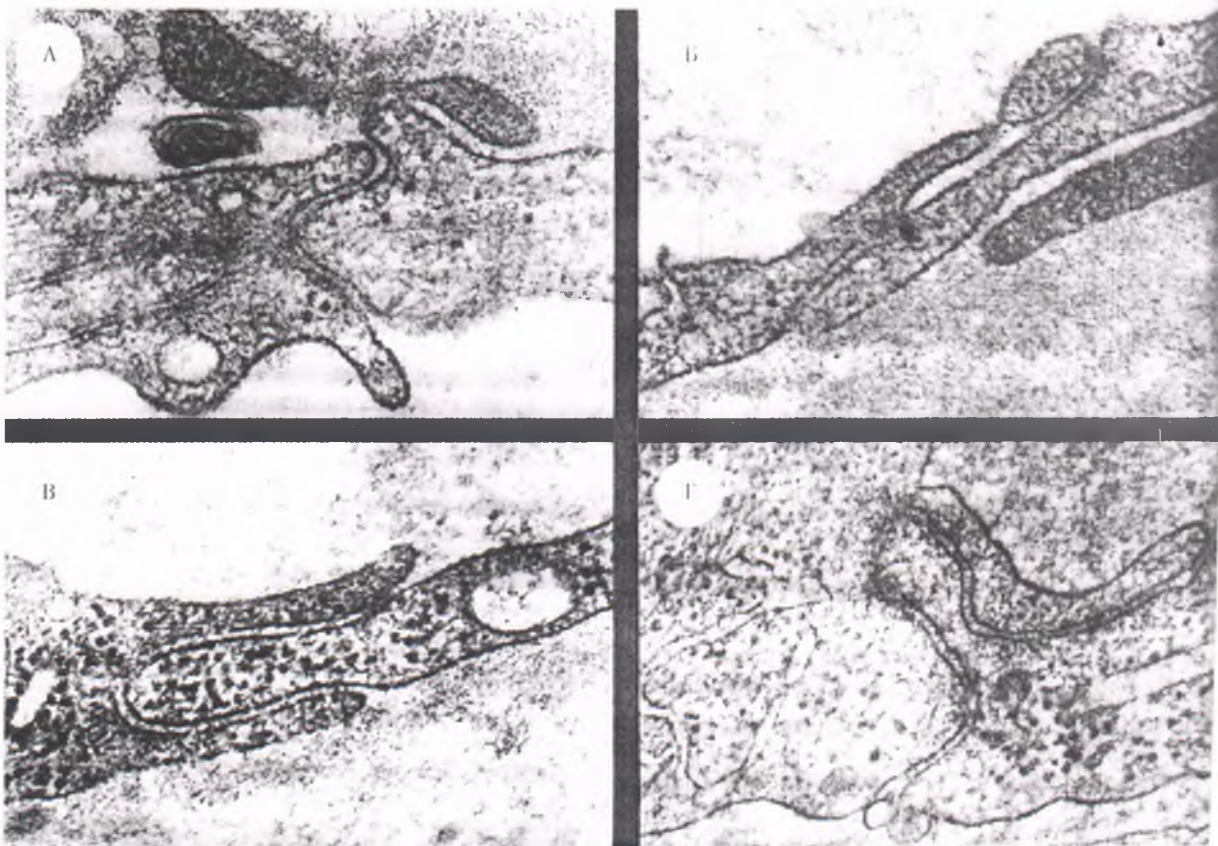


Рис. 4. Фрагменты стыков смежных эндотелиальных клеток ($\times 20\ 000$):
 А. — Стык в виде короткой щели. Б. — Стык путем выпячивания эндотелиоцита в соответствующее углубление смежной клетки. В. — Стык путем черепицеобразного наложения периферических краев эндотелиальных клеток. Г. — Стык путем прищипывания интердигитации смежных клеток.

через систему «каналов» — фенестр. Они имеют низкое сопротивление и высокую фильтрационную способность [4, 9], которая обеспечивается повышением концентрации белка в интерстициальном пространстве и онкотическим давлением белков.

В отличие от капилляров, стенки прекапиллярных артериол имеют гладкомышечные клетки. От их тонуса зависит количественный объем крови в капиллярной субодонтобластической сети. Понижение этого тонуса ведет к увеличению притока крови, повышению внутрисосудистого давления и как результат — к увеличению фильтрации, которая поддерживается осмотическим давлением в окружающих сосуд тканях.

Вышеизложенное свидетельствует о том, что нарушения и изменения, возникающие в ответ на раздра-

ние пульпы зуба на уровне гематотканевого обмена между одонтобластами и капиллярами субодонтобластического слоя, влияют не только на синтетическую деятельность одонтобластов. Нарушения гемодинамических соотношений микроциркуляторного русла, которые выражаются нарушениями реологических свойств циркулирующей крови, и как следствие — повышение внутризубного давления за счет повышения притока крови приводит к возникновению боли, характеризующейся в клинике как пульпит. В результате структурных изменений в зоне гематотканевого обмена происходят грубые нарушения трофики твердых тканей зуба, снижение защитных механизмов и их жизнедеятельности, в дальнейшем проявляющихся разрушением целостной системы «зуб».

ЛИТЕРАТУРА

1. Зельцер С., Бендер И. Пульпа зуба. Клинико-биологические параллели. — М.: Медицина, 1971.
2. Иванов В.С. и соавт. Воспаление пульпы зуба. — М., Медицина, 1990. — С.142–148.
3. Караганов Я.Л., Бабин В.В., Гусев С.А. Пути и механизмы обмена жидкости в тканях: факты, гипотезы и проблемы // Вопросы морфологического анализа и элементы моделирования процессов в системе микроциркуляции. — М., 1977. — №3. — С.16–37.
4. Ковалев Е.В. Структурный анализ путей микроциркуляции пульпы зубов человека в норме и при пародонтитозе: Автореф. ... дис. к. м. н. — Полтава-Москва, 1978. — 18 с.
5. Куприянов В.В., Бобрик И.И., Караганова И.И. Сосудистый эндотелий. Киев, 1986. — 248 с.
6. Куприянов В.В. Морфология микроциркуляторного русла // Вопросы физиологии и патологии кровообращения. — Ставрополь, 1977. — С.87–94.

7. Шахламов В.А. Ультраструктура артериального и венозного отделов кровеносных капилляров. // Архив АГЭ. — 1967. — №1. — С.24–31.
8. Шахламов В.А. Современные представления об ультраструктуре стенки кровеносных капилляров // Архив АГЭ. — 1972. — №1. — С.5–15.
9. Casley-Smith J.R. — Calcifications Relating to the Passage of fluid and protein out arterial-limb fenestrae through venous-limb fenestrae and lymphatic. «Microvasc. Res.» — 1976. — №12. — P.13–34.
10. Jfmes I., Matthews et al. Fine structures of the Dental Pulp // J. dental Res. — 1959. — V.38. — №5. — P.940–946.
11. Provenza V. The Blood Vascular of the Dental Pulp with Emphasis on Capillary Circulation. // Circulation Reg. — 1958. — №6. — P. 213–218.
12. Stenley H.R., Bethesda B.J. The cells of Dental Pulp. // Oral surg., 1962. — №15. — P. 849–858.

ЗАКОНОМІРНОСТІ МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ У ПУЛЬПІ ЗУБА ЛЮДИНИ

Є.В.Ковальов, С.А.Павленко

Резюме

У даній статті висвітлено деякі закономірності співвідношень між одонтобластами та судинами мікроциркуляторного русла пульпи зуба людини з погляду процесів гемодинаміки та обміну речовин.

Ключові слова: морфофункціональний зв'язок, гемодинаміка, капіляри, ендотеліальні клітини, одонтобласти.

REGULARITIES OF MORPHOFUNCTIONAL CORRELATION IN THE PULP OF A TOOTH OF A MAN

Ye. V. Kovalyov, S. A. Pavlenko

Summary

In this article there came to light some regularities of the correlation between odontoblasts and the vessels of microcirculatory channel of the human being tooth pulp from the point of view of the processes of hemodynamics and metabolism.

Key words: morphofunctional correlation, hemodynamics, capillaries, endothelial cells, odontoblasts.