



УДК 616-008.8
DOI 10.52575/2687-0940-2023-46-3-274-285
Обзорная статья

Гидромеханическая нагрузка и гидроудар как этиологические факторы пародонтита

Копытов А.А.¹ , Леонтьев В.К.² 

¹⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85;

²⁾ Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова,
Россия, 127473, г. Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1
E-mail: kopytov@bsu.edu.ru

Аннотация. Описание органов и тканей челюстно-лицевой области как сплошной среды со среднестатистическими прочностными характеристиками представляется довольно грубым приближением, не способным корректно обосновывать биофизические эффекты физиологии и патологии челюстно-лицевой области. Цель работы: обоснование воздействия гидроудара как этиологического фактора пародонтита. Опираясь на справочные материалы, даны уточнения ряду понятий, приемлемых для описания этиологии и патогенеза пародонтита. В статье показано окклюзионное нагружение как фактор, приводящий к деформациям костного каркаса и нарушению фильтрации биологической жидкости. Рассмотрен вариант достижения перемещающимся корнем зуба устья порового канала с вероятностью развития гидроудара. Статья посвящена оценке возможности разрушения поровой системы альвеолярной кости биологической жидкостью, имеющей кинетику, возросшую под воздействием корня зуба при окклюзионном нагружении. Приведённые аргументы свидетельствуют о возможности с утратой состоятельности апроксимальных контактов зубов возникновения гидроудара, приводящего к разрушению альвеолярной кости за счёт двух компонентов: механического воздействия перемещающегося корня и гидроудара, изменяющего кинетику и направление тока биологической жидкости.

Ключевые слова: биологическая жидкость, гидродинамика, фильтрация, давление, поровое пространство, гидравлический удар, пародонтит, этиология, патогенез

Для цитирования: Копытов А.А., Леонтьев В.К. 2023. Гидромеханическая нагрузка и гидроудар как этиологические факторы пародонтита. Актуальные проблемы медицины. 46 (3): 274–285. DOI: 10.52575/2687-0940-2023-46-3-274-285

Hydromechanical Load and Water Hammer as Etiological Factors of Periodontitis

Alexander A. Kopytov¹ , Valery K. Leontiev² 

¹⁾ Belgorod National Research University,
85 Pobeda St., Belgorod 308015, Russia;

²⁾ Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry,
20-1 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia
E-mail: kopytov@bsu.edu.ru

Abstract. The description of organs and tissues of the maxillofacial region as a continuous medium with average strength characteristics seems to be a rather rough approximation to reality, which cannot correctly justify the biophysical effects underlying the physiology and pathology of the maxillofacial region. Understanding damage as a dialectical unity that unites the transition of elastic deformations of solid tissues into plastic and laminar flows of liquids into turbulent ones is a new approach to assessing

the dynamics of periodontal pathology. **The purpose:** substantiation of the impact of water hammer as an etiological factor of periodontitis. Based on reference materials accepted in the Sciences of the structure of the earth's crust and classical hydrodynamics, clarifications are given to a number of concepts that are acceptable for describing the etiology and pathogenesis of periodontitis. The article deals with occlusal loading as a factor that leads to deformations of the bone framework and violation of filtration of biological fluid. A variant of reaching the mouth of the pore channel by a moving root of the tooth with a change of direct filtration of biological fluid from the extracellular pore space of the alveolar bone to the volume of the periodontal gap and then to the oral cavity, for reverse filtration is considered. The article is devoted to assessing the probability of destruction of the pore system of the alveolar bone by a biological fluid having a kinetics increased under the influence of the root of the tooth under occlusal loading. The arguments indicate the possibility of loss of solvency proximally contacts the teeth of surge occurrence, leading to destruction of the alveolar bone by two components: the mechanical effect of moving the root and hammer, changing the kinetics and the direction of flow of the biological fluid.

Keywords: biological fluid, hydrodynamics, filtration, pressure, pore space, hydraulic shock, periodontitis, etiology, pathogenesis

For citation: Kopytov A.A., Leontiev V.K. 2023. Hydromechanical Load and Water Hammer as Etiological Factors of Periodontitis. Challenges in Modern Medicine. 46 (3): 274–285 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0940-2023-46-3-274-285

Введение

Возможность функционирования организма в пределах нормы адаптации обусловлена нарушениями гомеостаза, характеризующимися частотой и силой. Значимое увеличение частоты нарушений или их силы ведёт к снижению выживаемости организма, в дальнейшем – к смерти [Несмелова 2021; Arias-Reyes et al., 2021].

Описывая и решая математические задачи, связанные с окклюзионным нагружением пародонта, как правило, реализуется метод конечных элементов, в котором в качестве граничных условий пародонта считаются физико-механические показатели, полученные при разрушении трубчатых костей [Щербаков и др., 2022; Holzapfel et al., 2019]. Поскольку человек на 70 % состоит из воды, применение твердотельных математических моделей для описания биофизики функциональных нарушений вряд ли логично. Изучая базы данных высокорейтинговых журналов, выявлен факт того, что в научных статьях переход от твердотельного моделирования к моделям, учитывающим гидродинамические процессы, оценивается зарубежными авторами как значительный прогресс в области биофизики [Grüneboom, 2019; Ritchlin, Adamopoulos, 2019].

На основании вышеизложенного разрушение пищевого комка целесообразно считать последовательностью гидродинамических ударов, пагубно влияющих на обладающую малым коэффициентом упругости замыкающую кортикальную пластинку. Длительное окклюзионное нагружение обуславливает её упругую, затем пластическую деформацию и разрушение [Yamada, 2020; Buvinic, 2021]. В свою очередь, разрушение кортикальной пластинки является дифференциальным признаком пародонтита [Bertl et al., 2020; Zhang et al., 2020].

Цель работы: обоснование воздействия гидроудара как этиологического фактора пародонтита.

Материалы и методы

Понятие пористость и поровое пространство альвеолярной кости. Твёрдые и мягкие ткани человека следует рассматривать как поровые системы. К пористым относят тела со значительным количеством пустот, объём которых многократно меньше объёма тела. Пористость есть соотношение объёма пустотного пространства к общему объёму твёрдого материала, выражаемая в долях или процентах. Например, пористость оксида алюминия Al_2O_3

равна 4,5–7,5 %. Пористость диоксида кремния SiO_2 , существующего в виде кварца, горного хрусталя, халцедона, яшмы, являющихся основой кварцевого песка, соответствует 5–6 %.

Изучение функционирования поровых систем – прерогатива поромеханики, науки, оценивающей состояние твёрдого каркаса физического тела, формирующего поровое пространство, и особенности тока жидкости в порах, зависящих от нагрузок, воздействующих на систему. Целью поромеханики является поиск порогов нагружений, приводящих к рассеянному трещинообразованию и утрате функциональности системы. Альвеолярная кость также является поровой системой (рис. 1).



Рис. 1. Распил фрагмента нижней челюсти в области премоляров. В коронарной трети перегородки между 3.4, 3.5 зубами устья каналов пор. Ниже и медиальнее объём с соотношением пустотного пространства и каркаса, не соответствующего понятию поровой системы

Fig. 1. Cut of a fragment of the lower jaw in the premolar region. In the coronary third of the septum between 3.4, 3.5 teeth of the mouth of the pore channels. Lower and more medial is the volume, with the ratio of the void space and the frame not corresponding to the concept of the pore system

Изучая особенности поровой фильтрации, важно понимать, где располагается область высокого давления, из объёма которой фильтруется жидкость, и область низкого давления, куда фильтруется эта жидкость. При этом вне зависимости от фазы окклюзионного цикла генератором градиента давления является корень зуба, совершающий не осевые перемещения (рис. 2).



Рис. 2. Распил фрагмента нижней челюсти в области 4.7, 4.8 зубов. Видна дистальная поверхность дистального корня зуба 4.7. Расширение просвета периодонтальной щели в пришеечной и апикальной третях свидетельствуют о вращательном перемещении зуба под воздействием окклюзионной нагрузки

Fig. 2. Cut of a fragment of the lower jaw in the area of 4.7, 4.8 teeth. The distal surface of the distal root of the tooth is visible 4.7. The expansion of the lumen of the periodontal gap in the cervical and apical thirds indicate a rotational movement of the tooth under the influence of an occlusal load

Обсуждая поромеханические системы, необходимо условиться, что считать порой. Известен ряд классификаций поровых пространств, разработанных в интересах различных отраслей науки. Например, для изучения тока жидкости в поровом пространстве земной коры предлагается учитывать три категории поромеханических систем:

- сверхкапиллярные – с диаметром пор больше 0,508 мм (508000 нм). В таких системах не исключается вероятность свободного движения жидкости;
- капиллярные – с диаметром от 0,508 мм до 0,0002 мм. Перемещению жидкости в таких порах противостоят различные капиллярные силы. Из них наиболее значимой считается сила поверхностного натяжения. Движение жидкости в таких системах возможно только в случае, если сопротивление капиллярных сил меньше приложенной внешней силы;
- субкапиллярные – с диаметром меньше 0,0002 мм (200 нм). В них жидкость настолько крепко удерживается силой притяжения стенок каналов (смачивание, прилипание), что в природных условиях перемещаться практически не может [Мирчинк и др., 1958]. Химики, изучающие сорбционные процессы, тела с капиллярами диаметром больше 0,508 мм не причисляют к поровым системам. В стоматологии терминология описания поровых пространств челюстно-лицевой области только устанавливается.

Говоря о пористости костной ткани, следует учитывать количество пор, в просвете которых может меняться направление фильтрации. Такой подход позволяет дифференцировать поровое пространство с точки зрения этиологии и патогенеза пародонтита. В просвете пор большего диаметра при обратной фильтрации может развиваться гидроудар и инфицирование ротовой жидкостью порового пространства альвеолярной кости. В просвете пор малого диаметра из-за силы поверхностного натяжения смены направления фильтрации и инфицирования не происходит. Наличие в кортикальной пластинке пор малого диаметра объясняется необходимостью гашения кинетической энергии, передаваемой корнем вращающегося зуба жидкости [Копытов и др., 2010].

Гидравлический удар (гидроудар) – скачок давления в системе, заполненной жидкостью, вызванный быстрым изменением потока этой жидкости. Может возникать вследствие резкого закрытия или открытия задвижки. В первом случае гидроудар называют положительным, во втором – отрицательным. Особо опасен положительный гидроудар. Гидроудар способен вызывать образование продольных трещин, что может привести к расколу или повреждению элементов трубопровода. Таким образом дефинируют понятие «гидроудар» при изучении дисциплины «Гидравлика и гидравлические машины».

Мы предлагаем дефиницию гидроудара, адаптированную к проблеме этиологии и патогенеза пародонтита. Гидроудар – изменение скорости и направления потока экстравазальной жидкости, вызванное прижатием корня зуба к устью порового канала альвеолярной кости. Гидроудар в костной системе челюстей формируется в отсутствие апроксимальных контактов под воздействием окклюзионной нагрузки и является результатом резкого перекрытия устьев пор, открывающихся в периодонтальное пространство, совершающим вращательное перемещение корнем зуба.

Уточняя условия, приводящие к гидроудару, мы отвергли подход, основанный на привязке гидроудара к тому или иному диагнозу. Обобщающим признаком является утрата зубом мезиального апроксимального контакта. Оценивая степень (величину) утраты, мы основываемся на ширине просвета периодонтальной щели при её физиологической норме $\approx 2,0$ мм. То есть гидравлическое повреждение пародонта вероятно при расстоянии более 2,0 мм от мезиальной поверхности коронки зуба, утратившего апроксимальный контакт, до дистальной поверхности наиболее близко расположенного зуба. При выполнении этого условия точки корня, наиболее удалённые от центра вращения зуба, на пике окклюзионной нагрузки достигают альвеолярной кости. К клиническим ситуациям, приводящим к возникновению гидроудара, следует отнести дефект зубной дуги, обусловленный удалением зуба, кариозную полость II класса по Блэку величиной более 2,0 мм и т. п.

Основным отличием гидроудара в системе пародонта является возможность при вращательном перемещении зуба одновременного воздействия положительного и отрицательного гидравлических ударов. Если в области промышленной гидравлики отрицательный гидроудар менее опасен, в этиологии и патогенезе пародонтита он обуславливает работу сифона, обуславливая инфицирование глубоких отделов пародонта. Уточним. Отдаление пришеечной части корня от альвеолярной кости приводит к снижению давления в области зубодесневой борозды и компенсации разницы давления (затеканием) заведомо инфицированной ротовой жидкостью. При следующих друг за другом жевательных ударах находящаяся в объёме зубодесневой борозды инфицированная биологическая жидкость фильтруется в апикальном направлении, инфицируя и гидропрепарируя глубокие отделы пародонта [Копытов, Леонтьев, 2022].

Возникновение положительного и отрицательного гидроударов. При окклюзионном нагружении зуба, приводящем к мезиальному сдвигу на мезиальной поверхности корня в пришеечной области и дистальной поверхности корня в области апекса, с повышением давления возникает положительный гидроудар. На дистальной поверхности корня в пришеечной области и мезиальной поверхности корня в области апекса возникнет объём со сниженным давлением – отрицательным гидроударом. Подчеркивая значимость не осевого окклюзионного нагружения зуба, приводящего к одномоментному возникновению твердотельных деформаций, и нарушению тока биологических жидкостей, приводим часто встречающуюся в учебниках ортопедической стоматологии иллюстрацию (рис. 3).

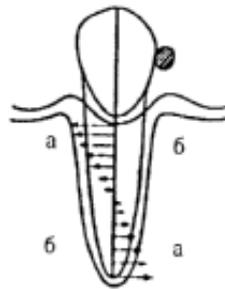


Рис. 3. Результат нагружения зуба, утратившего апроксимальные контакты: а – положительный гидроудар в зонах сжатия, б – отрицательный гидроудар в зонах растяжения
Fig. 3. The result of loading a tooth that has lost approximate contacts: a – positive water hammer in the compression zones, b – negative water hammer in the tension zones

Результаты и их обсуждение

Кинетику гидроудара описал Н.Е. Жуковский [Ракевич, 2021]. Для понимания перехода от гидродинамики, свойственной пародонту зубов, формирующей интактную зубную дугу, к гидроудару, обеспечивающему развитие фильтрационной атрофии, рассмотрим рисунки 4–6. Термин и механизм «фильтрационная атрофия», предложенный нами, не соответствует ни одному из известных видов атрофий и не обсуждался в патоморфологическом сообществе. Предложенная формализация материала относится к первой, безмикробной фазе развития пародонтита. Это необходимо учитывать, поскольку, согласно современным представлениям, первично дистрофическим заболеванием пародонта является пародонтоз. В данной статье мы не рассматриваем гидродинамику, свойственную пародонтозу.

В случае интактной зубной дуги состоятельные апроксимальные контакты обеспечивают осевое (поступательное) перемещение корня зуба, перераспределяя окклюзионное нагружение на пародонт рядом стоящих зубов. При состоятельных апроксимальных контактах расстояние S таково, что кинетика фронта ударной волны гасится волокнами периодонта и жидкостью, выполняющих просвет периодонтальной щели. Направление физиологической фильтрации жидкости – поровая система альвеолярной кости → периодон-

тальное пространство → зубодесневая борозда → полость рта – остаётся неизменным. При осевых перемещениях зуба расстояние S между корнем зуба и стенкой альвеолы изменяется незначительно, не оказывая влияния на направление фильтрации жидкости в поровом пространстве альвеолярной кости. Высокая кинетика биологической жидкости гасится возможностью её фильтрации в объём зубодесневой борозды (рис. 4).

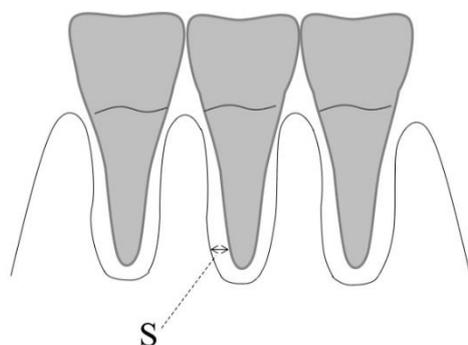


Рис. 4. Состоятельные аппроксимальные контакты. Расстояние S велико, что не позволяет развиваться гидравлическому удару в объёме порового пространства альвеолярной кости

Fig. 4. Wealthy approximate contacts. The distance S is large, which prevents the development of hydraulic shock in the volume of the pore space of the alveolar bone

Неполный гидроудар наблюдается при снижении состоятельности аппроксимальных контактов, но с сохранением их способности предотвращать плотный контакт поверхностей корня и альвеолярной кости. Утрата состоятельности аппроксимальных контактов за счёт кариеса или иных причин снижает долю осевого перемещения корня зуба, увеличивая долю вращательного перемещения. В этом случае расстояние S сокращается на величину s , обусловленную уменьшением величины коронки рядом стоящего зуба. Уменьшение расстояния до $S-s$ не подразумевает плотного контакта альвеолярной кости и корня зуба. Ток жидкости в устьях пор, открывающихся в апикальный объём пародонта, меняет направление, и при достаточной силе окклюзионного нагружения не исключается развитие неполного гидроудара (рис. 5).

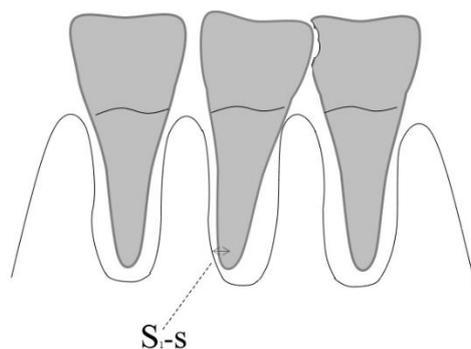


Рис. 5. Неполный гидроудар. Расстояние S уменьшилось, но корень зуба не закрывает устья пор, открывающихся в просвет периодонтальной щели

Fig. 5. Not a complete water hammer. The distance S decreased, but the tooth root does not close the mouth of the pores that open into the clearance of the periodontal gap

С утратой аппроксимального контакта возможен плотный контакт корня зуба и стенки альвеолы, что подразумевает возникновение полного гидроудара. При полном гидроударе фронт ударной волны в поре движется в направлении, обратном физиологической фильтрации жидкости: периодонтальное пространство → поровая система альвеолярной кости. Окклюзионное нагружение обуславливает возможность неоднократного прохождения фронта волны в прямом и обратном направлении (рис. 6).

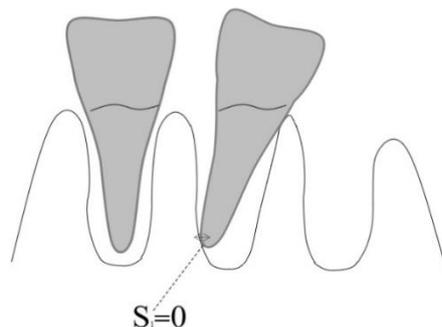


Рис. 6. Полный гидроудар. Расстояние $S = 0$, корень зуба закрывает устья пор, открывающихся в просвет периодонтальной щели

Fig. 6. Full water hammer. Distance $S = 0$, the root of the tooth closes the mouth of the pores that open into the clearance of the periodontal gap

Сердце, поддерживая градиент между давлением в микроциркуляторном русле и атмосферным давлением, создает условия для прямой фильтрации поровой жидкости в анатомо-физиологические объемы. Прямая фильтрация жидкости из порового пространства альвеолярной кости через волокна периодонтальной связки в полость рта обеспечивается градиентом давления в 20–30 мм водного столба между атмосферным давлением и большим давлением в периферическом отделе большого круга кровообращения.

Альвеолярная кость и её кортикальная пластинка являются открытыми поровыми системами, где направление фильтрации зависит от давления во внешней среде. Эта поромеханическая особенность обуславливает отличия микроциркуляции в челюстных костях от микроциркуляции в иных биологических системах.

Вероятность возникновения гидроудара определяется состоятельностью аппроксимальных контактов. Для оценки вероятности возникновения гидроудара необходимо рассмотреть виды перемещения зубов. Зуб как физическое тело перемещается поступательно или по окружности. В первом случае все точки корня перемещаются на равные расстояния по одинаковым траекториям (рис. 4). Во втором случае расстояния перемещений и траектории движения точек корня не совпадают и зависят от удаления от точки вращения (рис. 5–6). Связь состоятельности аппроксимальных контактов, фаз окклюзионного цикла, видов перемещения зуба и вероятность возникновения гидроудара приведена в таблице 1.

Таблица 1
Table 1

Вероятность возникновения гидроудара в зависимости от состоятельности аппроксимальных контактов
The probability of occurrence of water hammer depending on the consistency of approximal contacts

Характер аппроксимальных контактов	Вид перемещения зуба	Вероятность возникновения гидроудара
Состоятельные	Поступательное	Отсутствует
Не состоятельные	Возможно поступательное и вращательное движение	Не исключена при достижении корнем поверхности альвеолярной кости
Утрата аппроксимальных контактов	Вращательное	Возникновение обусловлено в момент достижения корня поверхности альвеолярной кости

Рассмотрим схему образования гидроудара (рис. 7) в отсутствии аппроксимального контакта.

1. Этап закрытия корнем просвета устья порового канала. При мгновенном достижении корнем 1 поверхности альвеолярной кости, плотном закрытии устья порового канала прямая фильтрация жидкости, находящейся в объеме 2, прекращается. На этом фоне происходит повышение давления, сжимающего жидкость в объеме 2, и деформация стенок порового канала.

Максимальное давление на стенки порового канала равно давлению во фронте волны [Тимофеева, 2020]. В дополнительный объём, полученный вследствие деформации стенки порового канала, вливается жидкость со скоростью, обеспечиваемой экскурсией корня зуба, перемещающегося при окклюзионном нагружении. Фильтрующаяся в обратном направлении жидкость, достигнув сечения между объемами 3|2, останавливается ($v = 0$), а давление мгновенно повышается до значения, обеспечиваемого экскурсией корня ($p_{\text{удара}}$) (рис. 7).

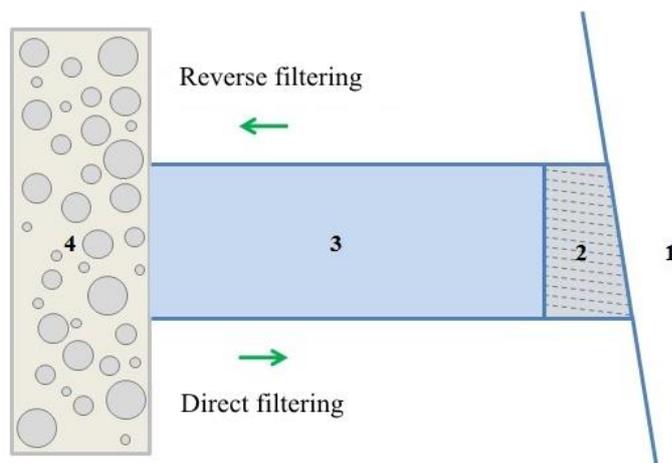


Рис. 7. Принципиальная схема гидравлического удара. 1 – корень зуба, перекрывший сечение устья порового канала; 1|2 – сечение устья порового канала; 2 – объём порового канала с деформированными воздействием окклюзионного нагружения стенками; 3 – объём порового канала; 4 – поровое пространство с давлением биологической жидкости, поддерживаемым сердечной мышцей

Fig 7. Schematic diagram of water hammer. 1 – the root of the tooth, blocking the section of the mouth of the pore channel; 2 – the volume of the pore channel deformed by the effects of occlusal loading by the walls; 3 – the volume of the pore channel; 4 – pore space with biological fluid pressure supported by the heart muscle

2. Этап обратной фильтрации. Инерционное повышение давления в потоке жидкости распространяется на объём порового канала (3) до устья поры, открывающейся в поровое пространство (сечение между объемами 3|4). В момент времени t_2 на всём протяжении порового канала скорость фильтрации равна 0, давление соответствует давлению удара. Поскольку $p_{\text{удара}} > p$ в периферическом отделе малого круга кровообращения, жидкость начинает фильтроваться в обратном направлении со снижающейся скоростью. Давление также снижается до величины, равной давлению в периферическом отделе большого круга кровообращения (давлению в объёме 4).

3. Этап выравнивания давления. Через период времени T (t_3), называемый фазой удара в объёме порового канала (3), давление выравнивается до p в периферическом отделе малого круга кровообращения.

Известно, что скорость распространения гидравлического удара превышает скорость звука в данной среде [Формалев, Гарибян, Колесник, 2022]. Следовательно, корень зуба прикрывает устье порового канала на время, большее, чем время, затрачиваемое фронтом ударной волны на прохождение порового канала в направлении обратной и прямой фильтрации, что обуславливает дальнейшую последовательность.

4. Этап сниженного давления в поровом канале (3). В момент времени t_4 в сечении устья порового канала, прикрытого корнем (2|1), скорость фильтрации равна нулю при одновременном снижении давления на Δp . Процесс снижения давления на Δp при неподвижности потока распространяется в сторону порового пространства (4) со скоростью c , что в итоге приводит к понижению давления в поровом канале (3) до величины, меньшей p в периферическом отделе малого круга кровообращения при скорости перемещения равной нулю.



5. Этап повторного повышения давления в поровом канале. В поровый канал (3) начинает поступать жидкость из порового пространства (4) со скоростью v , а давление повышается до p в периферическом отделе малого круга кровообращения. В следующий период t_5 жидкость при скорости v и давлении p достигает просвета устья порового канала. Поскольку просвет закрыт корнем зуба (сечение $2|1$), описанная последовательность реализуется повторно. Со временем действие пристеночных сил трения приводит к снижению градиентов давления, затуханию колебаний жидкости в объёме порового канала.

Заключение. Пародонтит является воспалительно-дистрофическим заболеванием, характеризуется нарушением целостности кортикальной пластинки и относится к патологическим процессам, не поддающимся излечению. Стоматологи соглашаются с наличием двух этиологических факторов – инфицирования и окклюзионного нагружения, при этом большей значимостью наделяется воздействие микроорганизмов. Поскольку усилия врачей и больных приводят лишь к снижению интенсивности клинических (доклинических) проявлений, целесообразно точное определение проблем этиологии и патогенеза заболевания.

Оценим этиологическую значимость инфекционного фактора. Биоплёнка существует на поверхностях тканей пародонта людей, качественно чистящих зубы, не вызывая воспалительно-дистрофических изменений. Следовательно, в чистом виде инфицирование не является этиологическим фактором пародонтита. Аргументируем наше утверждение следующими фактами: 1. Развитие биоплёнки при увеличении её толщины за счёт увеличения количества микроорганизмов не приводит к увеличению площади их фиксации. 2. В благоприятных условиях возможно диспергирование биоты и увеличение площади фиксации биоплёнки на «чистых» поверхностях [Menousek et al., 2020; Sauer et al., 2020]. Однако проникновение биоты в глубокие отделы пародонта блокируют повышение кинетики фильтрации десневой жидкости и увеличение концентрации лейкоцитов. Первая составляющая противостоит диффузии биоты в глубокие отделы пародонта и снижает концентрацию питательных веществ. Вторая составляющая обуславливает интенсификацию гибели микроорганизмов. В биологии совокупное воздействие факторов, снижающих возможность удовлетворения трофических запросов и повышающих смертность биологических объектов, называется деградацией местообитания, сопровождающейся снижением численности микроорганизмов [Бобров, 2020]. Приведённые рассуждения свидетельствуют о неоднозначности инфицирования как этиологического фактора пародонтита. Подтверждением чему является клинически интактный пародонт с биоплёнкой, покрывающей его поверхности, при отсутствии дифференциальных признаков пародонтита: на визуализациях зубных дуг присутствуют целостные межзубные перегородки, имеющие форму угла, открытого апикально, величиной $7-12^\circ$.

Обсуждая переход от здоровья к болезни, необходимо напомнить работы патофизиологов, доказавших, что практически все известные заболевания сопровождаются расстройствами кровотока различной степени выраженности, и нет ни одного общепатологического процесса, при котором нарушения кровообращения не поддерживали или не обеспечивали этот процесс, будучи его следствием либо результатом [Стаценко, 2019]. Вышеизложенное приводит к необходимости поиска фактора, нарушающего трофику при равновесии между воздействием биоплёнки и соответствующей этому воздействию динамике фильтрации десневой жидкости. Таким фактором при неизменном инфицировании является переход от поступательного движения зуба, обусловленного состоятельностью апроксимальных контактов, к вращательному, возникающему на фоне утраты состоятельности апроксимальных контактов. С увеличением вращательной компоненты движения зуба возрастает вероятность развития гидроудара и смены прямой фильтрации из порового пространства альвеолярной кости в полость рта на обратную фильтрацию. Обратная фильтрация, возникающая вследствие гидроудара, объясняет повышение динамики биологической жидкости до уровня, позволяющего биоте достичь глубоких отделов пародонта. Кроме того, перемещение корня зуба переводит упругую деформацию альвеолярной

кости в пластическую, что в итоге приводит к разрушению межзубных перегородок. Совокупность же твердотельного и гидродинамического повреждений позволяет рассматривать гидроудары как главный (единственный) этиологический фактор пародонтита.

Список литературы

- Бобров В.В. 2020. Редкие и исчезающие виды беспозвоночных животных Монголии: современное состояние, угрозы и меры охраны. Социально-экологические технологии. 10 (2): 121–132. doi: 10.31862/2500-2961-2020-10-2-121-132
- Копытов А.А., Мейрманов А.М., Гальцев О.В. 2010. Гидропрепарирование как этиологический фактор атрофии альвеолярной кости. Пародонтология, 4 (57): 32–36.
- Копытов А.А., Леонтьев В.К. 2022. Нарушение гидродинамики как этиологический фактор пародонтита и пародонтоза. Белгород, ИД «БелГУ» 130. ISBN 978-5-9571-3237-0
- Несмелова Н.Н. 2021. Экология животных. Москва, Юрайт, 121 ISBN 978-5-534-14977-7
- Ракевич С.И. 2021. Оценка величины гидравлического удара в сетях теплоснабжения и выбор защитного устройства. В сборнике: Энергетика и автоматизация в современном обществе. Материалы IV Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: 222–226. ISBN 978-5-91646-260-9
- Словарь по геологии нефти / под ред. М.Ф. Мирчинка // Ленинград: Гостоптехиздат. 1958; 776.
- Стаценко М.Е. 2019. Гипертоническая болезнь. Вторичные артериальные гипертензии. ВолГМУ, 120. ISBN 978-5-96520-565-3.
- Тимофеева А.С. 2020. Гидродинамика двухфазных систем. Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 264. ISBN: 978-5-94178-128-7
- Формалев В.Ф., Гарибян Б.А., Колесник С.А. 2022. Математическое моделирование динамики тепловых ударных волн в нелинейных локально-неравновесных средах. Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки, 4 (103): 80–94. doi: 10.18698/1812-3368-2022-4-80-94
- Щербаков Л.Н., Мансур Ю.П., Верстаков Д.В., Кочконян Т.С., Доменюк Д.А., Иванчева Е.Н., Доменюк С.Д. 2022. Биомеханическое виртуальное планирование напряженно-деформированного состояния функционального жевательного центра. Медицинский алфавит, 34: 44–53. doi: 10.33667/2078-5631-2022-34-44-52
- Arias-Reyes C., Soliz J., Joseph V. Mice Display R., 2021. Different Ventilatory, Hematological and Metabolic Features of Acclimatization to Hypoxia Front Physiol. 12: 647822. doi: 10.3389/fphys.2021.647822
- Bertl K., Tangl S., Rybaczek T., Berger B., Traindl-Prohazka M., Schuller-Götzburg P., Grossschmidt K. 2020. Prevalence and severity of periodontal disease in a historical Austrian population. Journal of Periodontal Research, 55 (6): 931–945. doi: 10.1111/jre.12785
- Buvinic S., Balanta-Melo J., Kupczik K., Vásquez W., Beato C., Toro-Ibacache V. 2021. Muscle-Bone Crosstalk in the Masticatory System: From Biomechanical to Molecular Interactions. Front Endocrinol (Lausanne), 11: 606947. doi: 10.3389/fendo.2020.606947
- Grüneboom A., Hawwari I., Weidner D. 2019. A network of trans-cortical capillaries as mainstay for blood circulation in long bones. Nature Metabolism, 1: 236–250. doi: 10.1038/s42255-018-0016-5
- Holzapfel G.A., Ogden R.W., Sherifova S. On fibre dispersion modelling of soft biological tissues: a review. Proc. Math. Phys. Eng. Sci. 2019 Apr; 475 (2224): 20180736. doi: 10.1098/rspa.2018.0736. Epub 2019 Apr 3. PMID: 31105452; PMCID: PMC6501667
- Menousek J., Horn C.M., Heim C.E., Van Roy Z., Korshoj L.E., Kielian T. 2022. Transcriptional Profiling of Phagocytic Leukocytes and Microglia Reveals a Critical Role for Reactive Oxygen Species in Biofilm Containment during Staphylococcus aureus Craniotomy Infection. The Journal of Immunology, 209 (10): 1973–1986. doi: 10.4049/jimmunol.2200503
- Ritchlin C., Adamopoulos I.E. 2019. Go with the flow-hidden vascular passages in bone. Nature Metabolism; 1: 173–174. doi:10.1038/s42255-018-0024-5
- Sauer K., Stoodley P., Goeres D.M., Hall-Stoodley L., Burmølle M., Stewart P.S., Bjarnsholt T. 2022. The biofilm life cycle: expanding the conceptual model of biofilm formation. Nature Reviews Microbiology, 20 (10): 608–620. doi: 10.1038/s41579-022-00767-0



- Yamada T., Sugiyama G., Mori Y. 2020. Masticatory muscle function affects the pathological conditions of dentofacial deformities. *Japanese Dental Science Review*, 56 (1): 56–61. doi: 10.1016/j.jdsr.2019.12.001
- Zhang X., Li Y., Ge Z., Zhao H., Miao L., Pan Y. 2020. The dimension and morphology of alveolar bone at maxillary anterior teeth in periodontitis: a retrospective analysis-using CBCT. *International Journal of Oral Science*, 12 (1): 4. doi: 10.1038/s41368-019-0071-0

References

- Bobrov V.V. 2020. Redkiye i ischezayushchiye vidy bespozvonochnykh zhivotnykh Mongolii: sovremennoye sostoyaniye, ugrozy i mery okhrany [Rare and endangered species of invertebrates in Mongolia: current state, threats and conservation measures]. *Sotsial'no-ekologicheskkiye tekhnologii*. 10 (2): 121–132. doi: 10.31862/2500-2961-2020-10-2-121-132
- Kopytov A.A., Meirmanov A.M., Galtsev O.V. 2010. Gidropreparirovaniye kak etiologicheskij faktor atrofii al'veolyarnoy kosti [Hydropreparation as an etiological factor of alveolar bone atrophy]. *Parodontologiya*, 4 (57): 32–36.
- Kopytov A.A., Leont'ev V.K. 2022. Narushenie gidrodinamiki kak etiologicheskij faktor parodontita i parodontoza [Violation of hydrodynamics as an etiological factor of periodontitis and periodontal disease]. Belgorod, ID «BelGU» 130. ISBN 978-5-9571-3237-0
- Nesmelova N.N. 2021. *Ekologiya zhivotnyh [Animal ecology]*. Moskva, Yurajt, 121. ISBN 978-5-534-14977-7
- Rakevich S.I. 2021. Ocenka velichiny gidravlicheskogo udara v setyah teplosnabzheniya i vybor zashchitnogo ustrojstva. V sbornike: Energetika i avtomatizaciya v sovremennom obshchestve. Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Energy and automation in modern society. Materials of the IV International Scientific and Practical Conference]. Sankt-Peterburg: 222–226. ISBN 978-5-91646-260-9
- Dictionary of petroleum Geology / edited by M.F. Mirchinka. Leningrad: Gostoptekhizdat. 1958; 776 (in Russian).
- Stacenko M.E. 2019. Gipertonicheskaya bolezn'. Vtorichnye arterial'nye gipertenzii [Hypertonic disease. Secondary arterial hypertension]. VolgGMU, 120. ISBN 978-5-96520-565-3
- Timofeeva A.S. 2020. Gidrodinamika dvuhfaznykh sistem [Hydrodynamics of two-phase systems]. Staryj Oskol: Tonkie naukoemkie tekhnologii, 264. ISBN: 978-5-94178-128-7
- Formalev V.F., Garibyan B.A., Kolesnik S.A. 2022. Matematicheskoye modelirovaniye dinamiki teplovykh udarnykh voln v nelineynykh lokal'no-neravnovesnykh sredakh [Mathematical modeling of the dynamics of thermal shock waves in nonlinear locally non-equilibrium media]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya Yestestvennyye nauki*, 4 (103): 80–94. doi: 10.18698/1812-3368-2022-4-80-94
- Shcherbakov L.N., Mansur Yu.P., Verstakov D.V., Kochkonyan T.S., Domenyuk D.A., Ivancheva E.N., Domenyuk S.D. 2022. Biomekhanicheskoye virtual'noye planirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya funktsional'nogo zhevatel'nogo tsentra [Biomechanical virtual planning of the stress-strain state of the functional masticatory center]. *Meditinskiy alfavit*, 34: 44–53. doi: 10.33667/2078-5631-2022-34-44-52
- Arias-Reyes C., Soliz J., Joseph V. Mice Display R., 2021. Different Ventilatory, Hematological and Metabolic Features of Acclimatization to Hypoxia *Front Physiol.* 12: 647822. doi: 10.3389/fphys.2021.647822
- Bertl K., Tangl S., Rybaczek T., Berger B., Traindl-Prohazka M., Schuller-Götzburg P., Grossschmidt K. 2020. Prevalence and severity of periodontal disease in a historical Austrian population. *Journal of Periodontal Research*, 55 (6): 931–945. doi: 10.1111/jre.12785
- Buvinic S., Balanta-Melo J., Kupczik K., Vásquez W., Beato C., Toro-Ibacache V. 2021. Muscle-Bone Crosstalk in the Masticatory System: From Biomechanical to Molecular Interactions. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 11: 606947. doi: 10.3389/fendo.2020.606947
- Grüneboom A., Hawwari I., Weidner D. 2019. A network of trans-cortical capillaries as mainstay for blood circulation in long bones. *Nature Metabolism*, 1: 236–250. doi: 10.1038/s42255-018-0016-5
- Holzapfel G.A., Ogden R.W., Sherifova S. On fibre dispersion modelling of soft biological tissues: a review. *Proc. Math. Phys. Eng. Sci.* 2019 Apr; 475 (2224): 20180736. doi: 10.1098/rspa.2018.0736. Epub 2019 Apr 3. PMID: 31105452; PMCID: PMC6501667

- Menousek J., Horn C.M., Heim C.E., Van Roy Z., Korshoj L.E., Kielian T. 2022. Transcriptional Profiling of Phagocytic Leukocytes and Microglia Reveals a Critical Role for Reactive Oxygen Species in Biofilm Containment during *Staphylococcus aureus* Craniotomy Infection. *The Journal of Immunology*, 209 (10): 1973–1986. doi: 10.4049/jimmunol.2200503
- Ritchlin C., Adamopoulos I.E. 2019. Go with the flow-hidden vascular passages in bone. *Nature Metabolism*; 1: 173–174. doi:10.1038/s42255-018-0024-5
- Sauer K., Stoodley P., Goeres D.M., Hall-Stoodley L., Burmølle M., Stewart P.S., Bjarnsholt T. 2022. The biofilm life cycle: expanding the conceptual model of biofilm formation. *Nature Reviews Microbiology*, 20 (10): 608–620. doi: 10.1038/s41579-022-00767-0
- Yamada T., Sugiyama G., Mori Y. 2020. Masticatory muscle function affects the pathological conditions of dentofacial deformities. *Japanese Dental Science Review*, 56 (1): 56–61. doi: 10.1016/j.jdsr.2019.12.001
- Zhang X., Li Y., Ge Z., Zhao H., Miao L., Pan Y. 2020. The dimension and morphology of alveolar bone at maxillary anterior teeth in periodontitis: a retrospective analysis-using CBCT. *International Journal of Oral Science*, 12 (1): 4. doi: 10.1038/s41368-019-0071-0

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 09.04.2023

Received 09.04.2023

Поступила после рецензирования 12.07.2023

Revised 12.07.2023

Принята к публикации 26.07.2023

Accepted 26.07.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Копытов Александр Александрович, доктор медицинских наук, кандидат социологических наук, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

 [ORCID: 0000-0002-1808-6506](https://orcid.org/0000-0002-1808-6506)

Alexander A. Kopytov, Doctor of Medical Sciences, Candidate of Sociological Sciences, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Леонтьев Валерий Константинович, доктор медицинских наук, академик РАН, профессор, Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, г. Москва, Россия

 [ORCID: 0000-0003-2296-8904](https://orcid.org/0000-0003-2296-8904)

Valery K. Leontiev, Doctor of Medical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, professor, Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia