



СИЛЬФОН, РАСЧЁТ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРАНИЦЫ ПОТОКОВ

А.А. КОПЫТОВ
А.М. МЕЙРМАНОВ
О.В. ГАЛЬЦЕВ

*Белгородский государственный
национальный
исследовательский
университет*

e-mail: kopytov@bsu.edu.ru

Исход известных общепатологических процессов зависит от состояния трофики повреждённого органа. Экстравазальная жидкость обеспечивает трофику тканей и поддерживает гомеостаз организма. Десневая (ротовая) жидкость, под воздействием жевательной нагрузки, гидропрепарирует ткани пародонта и в случае попадания в поровое пространство кости инфицирует его. В работе представлен результат численного эксперимента по прогнозированию фильтрации десневой (ротовой) жидкости в поровое пространство костей лицевого скелета у пациентов с дефектом целостности зубного ряда.

Ключевые слова: пародонт, модель, кость, гидропрепарация.

В процессе эволюции науки неотвратима смена лидирующих научных дисциплин. На разных этапах изучения заболеваний пародонта рассматривались его прочностные свойства, в зависимости от этапа накопления научного знания. Ранее всё многообразие биофизических процессов описывалось на основании отклика организма раздражаемого различными методами: достигался болевой порог, появлялось желание проглотить разрушенный пищевой комок, окрашивалась слизистая оболочка при смазывании йод-йодисто-калиевым раствором, определялось состояние микроциркуляции крови и т.д. Используя полученные после проведения наблюдений данные исследователи, пытались удержать функционирование пародонта в пределах упругих деформаций, что соответствовало состоянию «интактный пародонт» или «пародонт, в котором возможны доклинические изменения».

Не решённые практические задачи, а именно не уменьшающееся количество осложнений, требуют предсказания путей эволюции реальных физических нелинейных систем и не вообще, а с максимально возможным подробным описанием деталей исследуемых процессов. Плотностные потоки биологических жидкостей полости рта устойчивость границ и динамика, которых определяется разностью плотностей жидкостей в толще течения и на поверхности взаимодействия, отличаются активным воздействием на поровое пространство альвеолярной кости. Потоки с солёностной и суспензионной стратификацией вносят различный вклад в нарушение трофики костной ткани.

В настоящее время остаётся не вполне ясным ряд особенностей природы потоков биологических жидкостей в пародонте, что обусловило, прежде всего, зависимостью характеристик этих потоков от изменения окружающих условий. Плотностные потоки могут менять структуру, ускоряться или замедляться, в различные фазы окклюзии, в том числе и за счёт их взаимодействия со структурами пародонта. Ситуация дополнительно осложняется спорадичностью интрузии ротовой жидкости в просвет пародонтальной щели.

Цель работы. Формализация модели гидропрепарации тканей пародонта для получения распределений скорости и давления потоков жидкостей при воздействии жевательной нагрузки.

Постановка задачи. При моделировании работы сильфона учитывались различные характеристиками потоки жидкостей: экстравазальная жидкость осуществляющая трофику и поддерживающая гомеостаз костной ткани, считающаяся таковой до истечения из порового пространства альвеолярной кости; десневая жидкость, текущая коронарно, в просвете зубодесневой борозды (кармана); ротовая жидкость. Рассматривались ситуации функционирования сегмента зубного ряда с выраженными апроксимальными контактами и в случае утраты зубным рядом целостности.

Десневая и ротовая жидкости образуют среду суспензии. Роль твёрдой дисперсной фазы исполняет механически обработанная пища, колонии микроорганизмов и т.п. Фазы разделяют на высокодисперсные и низкодисперсные. Высокодисперсные фазы, не могут противостоять броуновскому движению. К низкодисперсным относятся фазы с

большими размерами частиц, которые всплывают или выпадают в осадок, попросту говоря, прилипают к поверхностям, ограничивающим рассматриваемый объём.

Систему, ограничиваемую зубом и стенкой альвеолы можно рассмотреть как сифон. Сифон – механизм, расширяющийся или сжимающийся вдоль оси, при внешне – внутреннем силовом воздействии, воспроизводя разницу давления, без изменения геометрии стенок.

Функционирование сегмента зубного ряда с выраженными апроксимальными контактами. При снятии нагрузки, зуб устремится принять положение с минимальным значением напряжения в тканях пародонта. Сифон реагирует на изменение давления увеличением объёма и снижением давления внутри системы, по сравнению с давлением в полости рта. Суспензия, компенсируя разницу давлений, будет затекать в ограниченный объём до тех пор, пока давление не выровняется с внутриротовым. При постоянном давлении, в отсутствие нагрузки, ворота сифона раскрыты, какая - то часть высокодисперсной фазы вымывается из объема экссудирующейся в просвет десневой жидкостью. Низкодисперсные фракции фазы прилипают к ограничивающим поверхностям. Вновь воздействующее нагружение увеличивает давление внутри сифона, уменьшая его объем. Среда суспензии, компенсируя возрастающее давление, будет стремиться вытечь из уменьшающегося объема. Плотный зубной налет и образовавшийся зубной камень выступят в роли «торцевого уплотнителя», увеличивая герметичность, созданную многократными повторениями цикла плотного прижатия, на контактирующих плоскостях двух взаимоподвижных тел. Наличие апроксимальных контактных пунктов не даст герметично замкнуться объему сифона. Кинетическая энергия, создаваемая жевательной мускулатурой, выдавит излишки среды, из частично замкнутого объема сифона преодолевая сопротивление «торцевого уплотнителя». В данном случае смещения поверхности экстравазальной жидкости в пределах фолькмановских каналов не произойдет.

Утрата целостности зубного ряда, приводит к тому, что физиологическая жевательная нагрузка приобретает патогенный характер. При экскурсии зуба, на пике механического давления, в момент продолжающегося воздействия жевательной нагрузки, возможно «замыкание» объёмов суспензии между двумя твёрдыми телами зубом и стенкой альвеолы (ограничивающими объём сифона). Смесь ротовой и десневой жидкости необходимо рассматривать как капельную жидкость, не поддающуюся сжатию. Многократное взаимодействие твердых тел приведет к смещению суспензией границы экстравазальной жидкости в поровом пространстве кости, что нарушит трофику в заинтересованном участке пародонтального комплекса. Прилипшие к поверхностям частицы фазы, под воздействием возникшего давления, инфицируют более глубокие отделы пародонта, вовлекая в воспалительный процесс костную ткань. Кроме перечисленного необходимо учитывать, как звенья патогенеза работы сифона, возникающие под воздействием потоков: напряжённо-деформированные состояния и механическое вымывание минеральных элементов.

Материалы и методы. Задачи, связанные с описаниями динамики потоков вязкой жидкости, во многих практически важных случаях, можно свести к рассмотрению двухфазной системы с несмешивающимися фазами. Моделирование такого рода течений приводит к необходимости решения системы уравнений Навье - Стокса неразрывности и сохранения энергии, для каждой фазы с учётом граничных условий на поверхности раздела и одновременным определением положения этой поверхности:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i(\rho E + p)) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j k_j J_j + u_j(\tau_{ij})_{eff} \right)$$

где t – время, x_i – оси координат, u_i – скорость в направлении i , p – давление, τ_{ij} – тензор напряжений, ρ – плотность жидкости, T – температура в Кельвинах, k_{eff} – коэффициент диффузионного переноса, E – полная энергия, J_j – диффузионный поток.

Для моделирования и анализа переноса использовалась VOF – модель, базирующаяся на следующих допущениях: жидкостные компоненты несжимаемы; между

ними нет теплообмена, компоненты не перемешиваются и химически не реагируют. Давящий поток наделяли параметрами десневой жидкости [4]. За плотностной поток воспринимающий давление приняли межклеточную жидкость костной ткани [1, 2]. Жевательную нагрузку определили в 100, 200, 300 Н. Окклюзионный цикл установили 1,5 секунды. Динамика взаимодействия потоков поровой (экстравазальной) и десневой (ротовой) жидкостей в поровом объёме, при нагружения в 100 Н зубного ряда с дефектом целостности, представлена на рис. 1-5. Нагружение в 200 и 300 Н увеличивает интенсивность протекания процесса замещения десневой (ротовой) жидкостью экстравазальной (приложение 1, рис. 6-15)

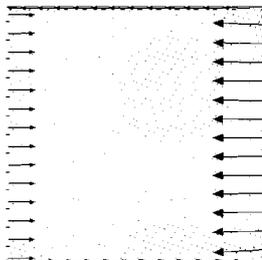


Рис. 1. Начальный момент нагружения зуба.

В начальный момент времени видно, что окклюзионной нагрузки недостаточно, чтобы замкнуть объём сифона. На левую границу области оказывается давление, в то же время, перемещение давящей и принимающей давление жидкости равно нулю. Силы сопротивления экстравазальной жидкости (справа) направлены в сторону давящей фазы. Так как плотность принимающей давление жидкости больше плотности давящей, вектора скорости справа имеют большую геометрию.

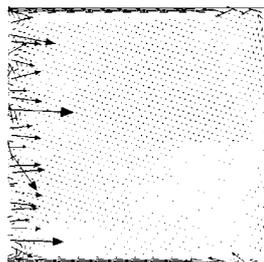


Рис. 2. Замыкание объёма сифона

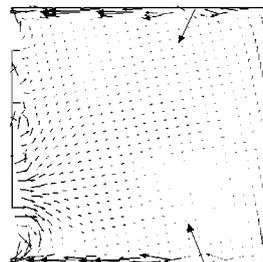


Рис. 3. Нарастание нагрузки

С нарастанием жевательной нагрузки, замыкается объём сифона, что приводит к увеличению давления внутри системы. В силу сжимаемости жидкости, вектора скорости направлены строго по направлению оказания давления. Длина вектора прямо пропорциональна значению вектора скорости жидкости, в данном узле равномерно разнесенной сетки, Принимающая давление жидкость стремится выйти из очага давления (в стороны).

Нагружение увеличивает давление внутри сифона. В определенный момент времени скорость движения давящей (десневой) жидкости замедляется и начинается вытеснение экстравазальной жидкости которая, начинает двигаться к области меньшего давления.

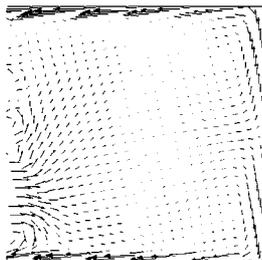


Рис. 4. Дальнейшее нагружение

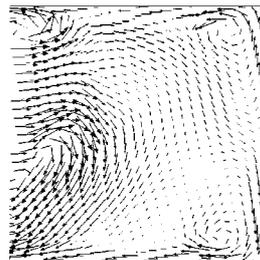


Рис. 5. Центральная окклюзия

Воздействие жевательной нагрузки приводит к вытеснению пограничного слоя экстравазальной жидкости, заметно её скольжение по стенкам расчётного объёма. Завихрения десневой жидкости в области давления говорят о том, что ротор скорости не равен нулю. Наблюдается вымывание экстравазальной жидкости.

Скорость движения жидкостей максимальна, причём движение экстравазальной жидкости обрело бо́льшую скорость. Пограничный слой экстравазальной жидкости, с максимальной скоростью, для указанного давления, начинает уходить в стороны. Нарушение ламинарности распространилось на всю долю расчётных ячеек, ею заполненных.

По данным [3], продолжительная работа аэробного характера приводит к снижению плотности костной ткани. Данный факт считался общепризнанным, и трактовался как следствие повышенного обмена веществ. На наш взгляд, в случае визуализации снижения плотности костной ткани альвеолярного отростка, являющегося с точки зрения гидравлики полузакрытым контуром, необходимо кроме известных механизмов учитывать и «вымывание флюидом» десневой жидкостью частиц «каркаса» костной ткани. Следовательно, у лиц реализующих длительные жевательные нагрузки, в глубже лежащих участках костной ткани увеличится поровое пространство и возможно большее смещение границы экстравазальной жидкости внутрь массива костной ткани.

В настоящее время рассматривается важность и функциональность целостности зубной дуги и составляющая ее непрерывность выраженность межзубных контактных пунктов со следующих позиций:

1. Перераспределение жевательной нагрузки от зуба, воспринимающего жевательное давление на весь сегмент зубного ряда.

2. Предохранение межзубного сосочка и десневой бороздки от механической травмы пищевым комком.

Исходя из логики проводимых рассуждений, на суд коллег выносятся третья причина, обуславливающая необходимость восстановления апроксимальных контактов.

3. Восстановление апроксимальных контактов предотвратит экскурсию зуба, приводящую к гидропрепарации тканей пародонта предотвращая возможное замыкание микрообъемов среды, в объеме силфона.

Приложение 1

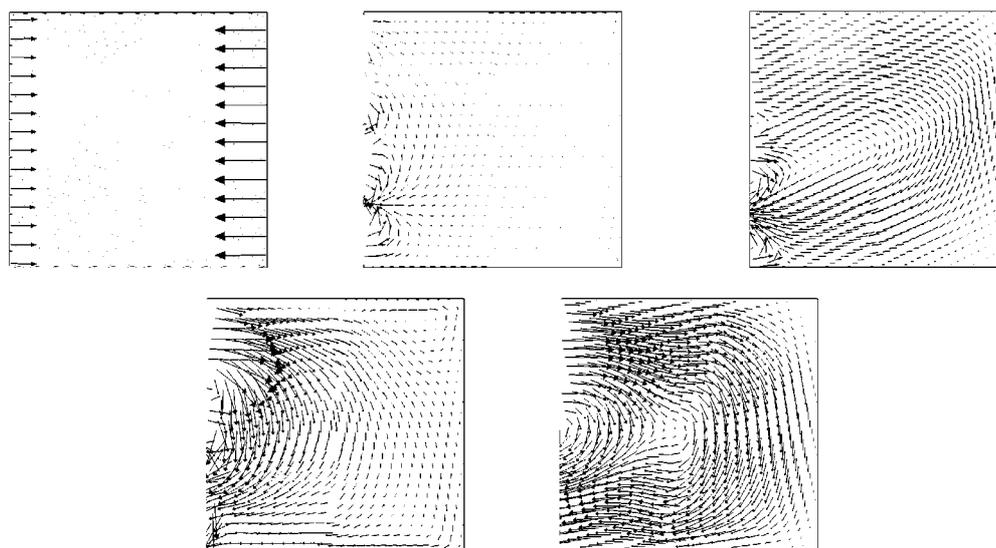


Рис. 6-10. Динамика взаимодействия потоков, при нагружении зуба ограничивающего дефект целостности зубного ряда в 200Н.

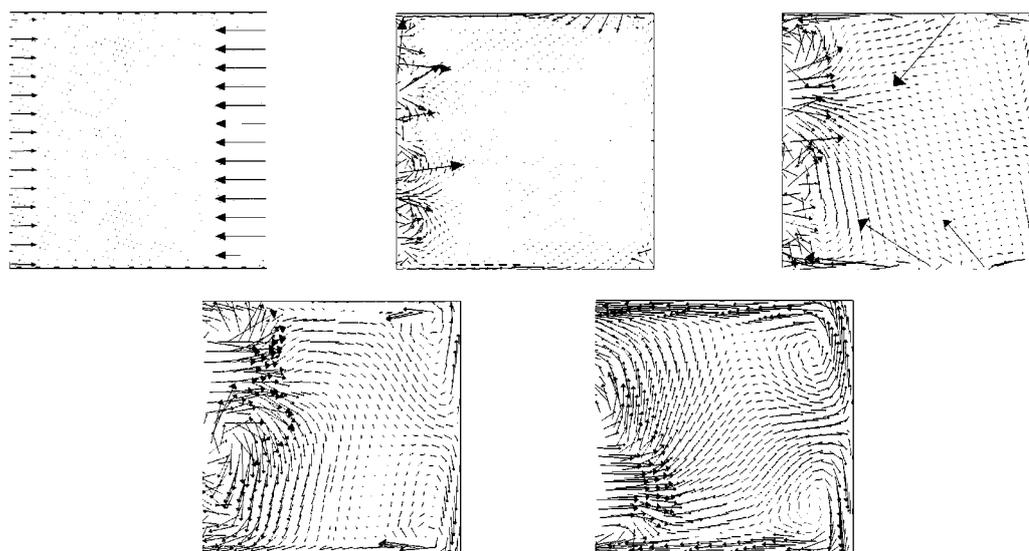


Рис. 10-15 Динамика взаимодействия потоков при нагружении зуба ограничивающего дефект целостности зубного ряда в 300Н.

Выводы.

У лиц с полными зубными рядами, работа сифонного механизма происходит без замыкания объема.

У лиц с нарушением целостности зубных рядов, работа сифонного механизма происходит с герметичным замыканием микрообъемов суспензии. Возникает эффект опережающей гидропрепарации тканей пародонта, нарушается трофика альвеолярной кости.

Применение математической модели позволяет в полном объеме проанализировать кинематическую структуру потоков, фильтрующихся под воздействием жевательной нагрузки в поровое пространство костной ткани, и изучить характер влияния каждого физиологического параметра на перемещение границы разделяющей потоки.

Литература

1. Куприянов, В.В. с соавт., Микроциркуляторное русло./ В.В. Куприянов – М.: Медицина, 1975. – 214 с.
2. Левтов, В.А. с соавт., Реология крови./ В.А. Левтов. – М.: Медицина, 1982. – 270 с.
3. Рабухина, И.А., с соавт., Рентгенодиагностика в стоматологии./ И.А. Рабухина – М.: МИА, 2006. – 120 с.
4. Халитова, Э.С. Количественные и качественные показатели десневой жидкости в норме и при патологии тканей пародонта: Дис. ... к.м.н./ Э.С. Халитова // Ордена Трудового Красного Знамени Московский медицинский стоматологический институт имени Н.А. Семашко. – 1989. – 173 с.

SILPHON, THE CALCULATION OF MOVING BOUNDARY FLOWS

A.A. KOPYTOV
A.M. MEYRMANOV
O.V. GALTSEV

*Belgorod National
 Research University*

e-mail: kopytov@bsu.edu.ru

The outcome of the known pathological processes depends on the trophic status of the damaged organ. Extravasal fluid provides trophic of tissues and maintains homeostasis of the organism. Buccal (oral) liquid under the influence of occlusal loading makes hydropreparation of periodontal tissue and in the case of contact with the pore space of the bone infects it. The results of numerical experiment on the prediction of filtration buccal (mouth) of the liquid in the pore space of facial bones in patients with a defect in the integrity of the dentition were performed.

Key words: periodontal model, bone, hydropreparation.