

УДК 531/534:57+612.7

ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ БИОМЕХАНИКИ В ДЕТСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ

Е.Ю. Симановская*, Ю.И. Няшин**

* Кафедра детской стоматологии Пермской государственной медицинской академии (ПГМА), Россия, 614990, Пермь, ул. Куйбышева, 39

** Кафедра теоретической механики Пермского государственного технического университета (ПГТУ), Россия, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29а, e-mail: nyashin@theormech.pstu.ac.ru

Аннотация. Дается обзор работ в области биомеханического моделирования в стоматологии, проведенных сотрудниками кафедры детской стоматологии Пермской государственной медицинской академии и кафедры теоретической механики Пермского государственного технического университета. Жевательный аппарат человека рассматривается как многоблочная, полимодальная биомеханическая система. Особое внимание обращается на роль механического давления как важного фактора в процессе филогенеза и онтогенеза зубочелюстной системы. Анализируются биомеханические модели различных элементов системы в норме и при патологических процессах (лечение врожденной расщелины неба у детей, функции периодонта как двухфазной биомеханической системы, вопросы оптимального проектирования ортодонтического лечения зубочелюстных аномалий). В заключение обсуждаются перспективы исследования вопросов искусственного вскармливания детей, в частности, акта сосания как биомеханического процесса.

Ключевые слова: биомеханическое моделирование, зубочелюстная система, механическое давление, периодонт, ортодонтическое лечение, врожденная расщелина неба, акт сосания.

Современный этап исследования медико-биологических систем характеризуется прогрессивно нарастающим использованием точных наук: математики, механики, физики, химии, компьютерных технологий и др. Это позволяет с помощью построения математических моделей тканевых и органных образований, имеющих сложную анатомическую форму и строение, дать объективную оценку изменений, происходящих в живых тканях, как в норме, так и при различных патологических процессах и, следовательно, использовать индивидуально для каждого пациента оптимальные методы профилактики и лечения. Помимо этого возникает возможность количественно оценить состояние таких анатомических образований, как мышечные и костные ткани, и, таким образом, объективно исследовать характер и степень нарушения процессов в различных не только тканевых, органных, но и системных образованиях организма.

Можно сделать вывод, что в современных условиях успехи клинической медицины неразрывно связаны с развитием и использованием результатов фундаментальных наук.

Жевательный аппарат у детей представляет собой особенно сложную биомеханическую систему, состоящую из структур различной морфологической

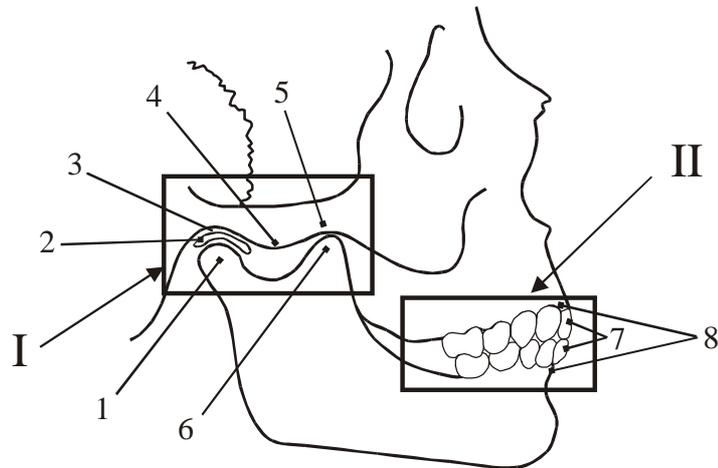


Рис. 1. Схема расположения каркасных блоков жевательного аппарата.

I. Костно-мышечный блок в области височно-нижнечелюстных суставов:

1 – мышечлок; 2 – диск; 3 – височная ямка; 4 – суставный бугорок;

5 – скуловая дуга; 6 – венечный отросток.

II. Зубо-альвеолярный блок, соединенный зубными дугами верхней и нижней челюстей:

7 – зубные дуги; 8 – альвеолярные отростки

зрелости, находящихся не только в состоянии созревания, роста, развития, но и инволюции. С этих позиций метод биомеханического моделирования нуждается в разработке различных сложных проблем механики. Прежде всего, это касается вопросов, связанных с особенностями, присущими живым тканевым объектам, а у детей с учетом ростовых деформаций, параметры которых должны быть определены на основании эксперимента *in vivo*. Особое внимание следует обратить на то, что механическое давление играет решающую роль во многих процессах филогенеза и онтогенеза различных элементов зубочелюстной системы.

В данной статье приводится обзор работ в области биомеханического моделирования в стоматологии, проведенных сотрудниками кафедры детской стоматологии Пермской государственной медицинской академии и кафедры теоретической механики Пермского государственного технического университета [1–32].

Важным результатом работ является рассмотрение жевательного аппарата как многоблочной биомеханической системы.

Жевательный аппарат современного человека, сформировавшийся в результате длительного процесса филогенетического развития живых организмов, является сложной системой, обеспечивающей начальную стадию приема и обработки пищи, формообразование пищевого комка, его продвижение из полости рта в глотку и пищевод.

Клиническое и топографо–анатомическое изучение жевательного аппарата позволяет выделить два основных функционально связанных между собой каркасных блока: 1) костно-мышечный блок, расположенный в области височно-нижнечелюстных суставов; 2) зубо-альвеолярный блок, сочленяющий зубные ряды верхней и нижней челюстей (рис. 1).

Верхний и нижний зубные ряды, расположенные один над другим, выполняют основную функцию жевательного аппарата – жевание. При этом язычные бугорки зубов верхней челюсти вкладываются в желобообразные углубления на жевательной поверхности нижней челюсти и благодаря этому щечные бугорки зубов нижней челюсти приходят в контакт с желобками на зубах верхней челюсти. Наличие такого контакта обуславливает образование многочисленных мини-блоков, обеспечивающих

процесс приема и пережевывания пищи. Для полноценной функции жевательного аппарата очень важно сохранение всех зубов, причем каждому зубу верхнего ряда должен соответствовать антагонист – одноименный зуб нижнего ряда и только тогда, когда зубы правильно расположены и обе челюсти будут находиться в правильном соотношении. Уместно отметить, что форма коронок зубов, а также их корневая система являются зеркальным отражением выполняемой ими функции.

Помимо многочисленных блоков, в этой системе имеется целый набор затворов и клапанов.

Клиническое изучение функций жевательного аппарата позволяет выделить три стадии нарушений: компенсированную, субкомпенсированную и декомпенсированную.

Объективная оценка степени тяжести нарушений функции жевательного аппарата может быть осуществлена путем биомеханического моделирования каждого блока в динамике процесса лечения различных заболеваний. Изменения показателей силовых факторов (направление, величина сил и моментов) позволяют получить объективные критерии для выбора оптимального метода лечения данного пациента, выбора конструкции протезов, использования имплантатов и других ортопедических приспособлений, срока их действия и т.д.

Изучение поведения механически действующих различных блоков, затворов и клапанов в норме и в патологии требует комплексного подхода к жевательному аппарату как адаптированной биомеханической системе.

Применение методов биомеханического моделирования открывает возможности для новых методологических подходов как для разработки вопросов формообразования этой сложной системы, так и для анализа функционирования ее отдельных блоков, затворов, клапанов, всей системы в целом под действием изменяющейся с возрастом жевательной нагрузки.

В период новорожденности ряд тканевых образований и органов жевательного аппарата находится в зачаточном состоянии (зубы, альвеолярные отростки, венечный и суставной отростки нижней челюсти), в этом возрасте у ребенка отсутствуют суставные сочленения между ветвью нижней челюсти и височной костью, между зубами верхней и нижней челюстей. Генератором процессов формообразования элементов височно-нижнечелюстного сустава (основного каркасного блока) является нарастающая нагрузка, изначально под давлением процесса сосания, а с прорезыванием зубов – акта жевания.

Завершается моделирование основного каркасного блока к 16 годам – одновременно с установлением постоянного прикуса. Этот факт подтверждает значимость механической нагрузки для процессов роста и развития челюстных костей и их сочленений.

Для обеспечения выполнения всех компонентов акта жевания, помимо основных каркасных блоков, важное значение имеют вспомогательные механизмы: затворы, клапаны (то есть такие мягкотканые образования, как губы, щеки, мягкое небо, язык, функции которых находятся под контролем центральной нервной системы), а также состояние жевательной и мимической мускулатуры в целом.

Отметим особую роль языка как мощного мышечного сенсорно-моторного органа в полости рта, создающего оптимальные условия для отрицательного давления в этой полости.

Филогенетическое развитие языка как летопись отражает сложный путь преобразований, которым подвергся этот орган у позвоночных животных. Очевидно, что язык, изначально как орган, предназначенный для добывания пищи, в процессе филогенеза животных организмов утратил ряд выполнявшихся им функций и приобрел новые, которые находились в прямой зависимости не только от образа, условий жизни

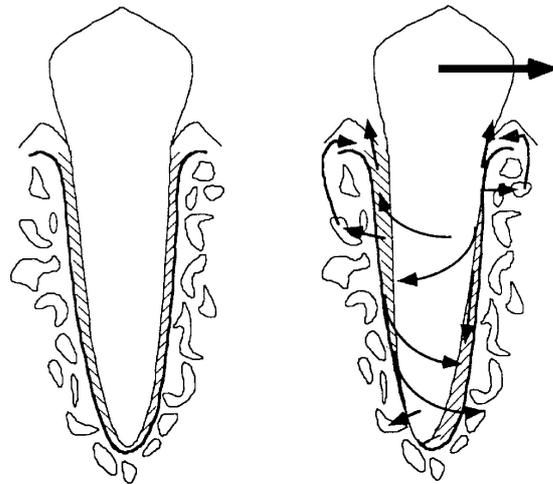


Рис. 2. Диаграмма зуба до и в момент приложения силы. Стрелки показывают возможные пути периодонтальной жидкости. Эти пути включают периодонт, пространства костного мозга, десну, область десневой борозды

и функционально-приспособительных реакций к условиям среды обитания, развития, но и физиологического возраста, а также трудовой и умственной высшей нервной деятельности.

Нужно отметить полимодальный характер функций, выполняемых языком человека, и, прежде всего, в обеспечении организма питательными веществами, необходимыми для поддержания его энергетических потребностей, их механической и начальной фазы физико-химической обработки в полости рта, формировании и транспорте пищевого комка из полости рта в глотку. Чрезвычайно важно участие языка в присущих только человеку таких важных биодинамических функциях, как речь, чтение, пение, имеющих громадное значение не только в индивидуальном развитии человека, но и в истории развития человеческих отношений в обществе. Таким образом, можно утверждать, что биомеханическое моделирование такой системы, как язык, является чрезвычайно важным элементом всей биомеханической системы.

Большой цикл теоретико-экспериментальных работ был проведен для изучения поведения периодонта зубов (рис. 2).

Периодонт (или, как часто говорят, периодонтальная связка) состоит из плотной соединительной ткани, которая окружает корень зуба и прикрепляет его к альвеолярной кости.

Периодонт выполняет широкий спектр функций. Главными из них являются обеспечение опоры зуба и снабжение его кровью. В литературе нет расхождений по поводу роли периодонта в обеспечении опоры зуба, но имеются различные точки зрения по поводу механизма, с помощью которого эта функция осуществляется. Точная последовательность событий, которые происходят в периодонте при приложении некоторой силы, до сих пор неизвестна.

Множество функций периодонта связано с его сложным строением. Периодонтальная связка состоит в основном из коллагеновых волокон, большинство из которых соединены в пучки волокон. Коллагеновые волокна составляют около 50% веса периодонта. Кроме того, периодонт содержит значительное количество клеток, нервов, кровеносных сосудов, межтканевой жидкости.

Чтобы объяснить механизм осуществления периодонтом его опорной функции, мы полагаем, что периодонт может рассматриваться с точки зрения биомеханики как система, содержащая пористый твердый каркас (коллагеновые волокна, стенки

кровеносных и лимфатических сосудов) и жидкость (межтканевая жидкость, кровь, лимфа).

В наших исследованиях мы предположили, что часть жидкости внутри периодонта может быть свободной при некоторых условиях и что эта жидкость может двигаться внутри периодонта под действием градиента давления благодаря специфическому расположению пучков и стенок сосудов.

Такая модель приводит к заключению, что вследствие своей несжимаемости жидкость может обеспечить соответствующую жесткость периодонта. Кроме того, в этом случае перемещение жидкости приводит к равномерному распределению нагрузки при действии на зуб сил и обратимости деформации при удалении сил.

Для проверки этой гипотезы был разработан и осуществлен эксперимент с морскими свинками. Было предложено вводить соответствующую краску под давлением в одну из зон периодонта резца морской свинки. В результате возникновения неоднородного распределения давления жидкости в периодонте жидкость начинает двигаться внутри периодонта, вследствие чего жидкость появляется в зонах периодонта, куда краска не вводилась.

Эксперимент показал, что структура периодонта позволяет периодонтальной жидкости перетекать из зон с повышенным давлением в зоны с пониженным давлением. На основании выявленных фактов можно считать, что при определенных условиях хотя бы часть периодонтальной жидкости может находиться в свободном (то есть не связанном, например, макромолекулами или не ограниченном другими тканями) состоянии.

В результате соответствующих измерений была сделана также оценка коэффициента проницаемости периодонта, входящего в закон Дарси. Для случая одномерной фильтрации жидкости оказалось, что коэффициент закона Дарси для периодонта имеет порядок $10^{-8} \text{ м}^2/(\text{Па} \cdot \text{с})$, то есть коэффициент проницаемости периодонта имеет порядок 10^{-11} м^2 .

Необходимо иметь в виду, что форма и расположение резца морской свинки существенно отличаются от аналогичных параметров у человека. Однако периодонтальная связка в обоих случаях должна иметь одинаковые функции, а именно поглощение механической нагрузки. Вряд ли есть основания думать, что механизм передачи нагрузки в периодонтальной связке человека отличается от такового у морской свинки.

Отметим, что полученный факт о возможности перемещения жидкости в периодонте важен для клиники, так как он объясняет процесс амортизации нагрузки периодонтом. На основании полученных данных можно сделать вывод, что амортизация обеспечивается не только коллагеновыми волокнами, но и жидкостью.

Полученные результаты о свойствах периодонта позволили провести биомеханическое исследование травмы зубов.

Травмы зубов – ушибы, вывихи, переломы – широко распространены у людей различного возраста. Наиболее часто как среди молочных, так и среди постоянных зубов травмируются резцы. Объяснение этому факту следующее. Основная функция резца – откусывание пищи. Поэтому резцы адаптированы к максимальной нагрузке по оси зуба. Воздействия, направленные под углом к оси зуба, чаще вызывают повреждения резцов, чем клыков, моляров и премоляров. Особенно часто повреждаются центральные верхние резцы, что связано с неподвижностью верхней челюсти, меньшей толщиной ее кортикальной пластинки по сравнению с пластинкой нижней челюсти, а также с незащищенностью зубов мягкими тканями.

Указанные соображения определили выбор объекта рассмотрения для анализа травм зубов. Рассмотрена травма центрального резца верхней челюсти.

Проанализировано влияние различных механических факторов на вид травмы зуба. Расчет напряженно-деформированного состояния зуба был проведен методом конечных элементов в квазиобъемной постановке. Показано, что скорость приложения травматической нагрузки к коронке в значительной степени определяет характер травмы (ушиб, трещина, перелом, комбинированные травмы). Отмеченная зависимость связана с влиянием скорости нагружения на характер течения периодонтальной жидкости и вследствие этого на изменение модуля Юнга периодонтальной связки.

Еще одним существенным результатом биомеханических исследований является точное математическое определение понятий «центр сопротивления зуба» и «центр вращения зуба». Эти понятия широко используются в стоматологической литературе, однако определяются нечетко. Показано, что центр сопротивления зуба и центр вращения зуба существуют не всегда. Приведены условия их существования, получены формулы для определения их положений.

Значительное внимание уделено биомеханическому анализу ортопедической реконструкции верхней челюсти при врожденной аномалии челюсти у детей. Расщелины твердого неба («волчья пасть») и губ («заячья губа») являются весьма частым проявлением челюстной врожденной патологии, вызывающим нарушение таких жизненно важных функций, как сосание, глотание, дыхание, речь, слух. Конечно, это имеет выраженное отрицательное косметическое проявление.

С точки зрения анатомии твердое небо есть один из структурных элементов системы верхней челюсти, обеспечивающих разобщение полостей рта и носа. С точки зрения биомеханики твердое небо из-за присутствия констрфорсов создает оптимальное распределение напряжений, возникающих в области верхней челюсти в процессе деятельности жевательного аппарата при создании пищевого комка. Аномалии лицевого скелета и мягких тканей нарушают нормальные функции, так как действие нагрузок на скелетно-мышечную систему деформированного жевательного аппарата существенно изменяется. Процесс жевания оказывается неспособным дать нормальное распределение сил в костной системе твердого неба, что, в свою очередь, ведет к перегрузке и недогрузке во всех элементах системы.

По данным статистики различных стран мира число детей, рожденных с врожденной патологией зубочелюстной системы, в среднем составляет от 1 на 500 до 1 на 1000 новорожденных детей. Такие дети требуют экстренной специализированной медицинской помощи. При расщелине твердого неба необходимо принять меры для устранения дефекта перегородки, разделяющей полости носа и рта. В 1978 году сотрудники Пермской государственной медицинской академии профессор Е.Ю. Симановская и профессор Т.В. Шарова разработали оригинальный метод пошаговой предоперационной ортопедической реконструкции врожденных дефектов верхней челюсти у детей. Для этой цели был сконструирован съемный ортопедический аппарат, обеспечивающий оказание механического усилия на фрагментированные и недоразвитые небные отростки для их низведения в полость рта (авторское свидетельство на изобретение № 946534, СССР, 1982), схема аппарата показана на рис. 3.

На рис. 4 изображена схема аппарата после его присоединения к разобщенным фрагментам твердого неба в случае двусторонней расщелины. Аппарат состоит из носовой пластинки и зубодесневой пластинки, соединенных резиновым кольцом заданного диаметра. Механическое усилие создается резиновым кольцом, смонтированным на шести поддерживающих петлях. В результате усилие передается к носовому пелоту, который испытывает усилие вниз. Это приводит к постепенному низведению вниз фрагментов неба из носовой полости в полость рта. Аппарат стимулирует остеогенез вдоль свободного края отростков. Период применения

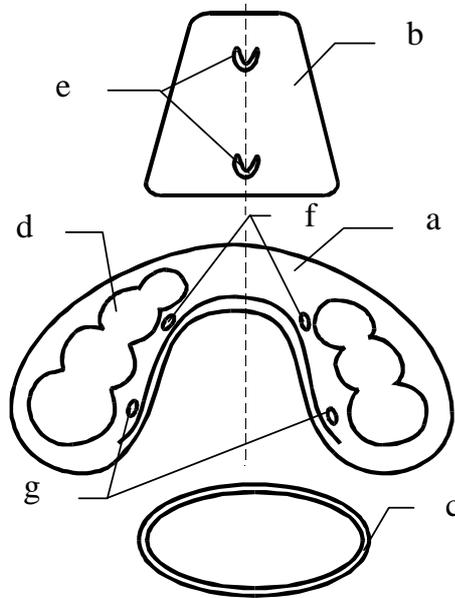


Рис. 3. Схематическое представление аппарата для коррекции аномалии твердого неба: а) зубодесневая пластинка; б) носовая пластинка; в) упругое кольцо; д) отверстия для зубов в зубодесневой пластинке; е) поддерживающие петли носовой пластинки; ф) медиальные поддерживающие петли; г) дистальные поддерживающие петли

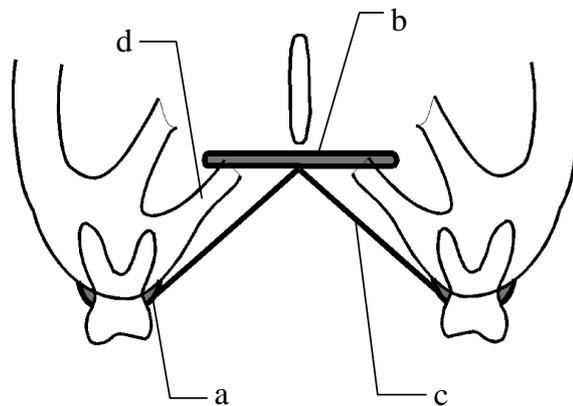


Рис. 4. Схема применения аппарата в случае двусторонней расщелины неба: а) зубодесневая пластинка; б) носовая пластинка; в) упругое кольцо; д) фрагмент неба

аппарата зависит от возраста ребенка, вида расщелины, степени деформации и недоразвития небных отростков, а также от общего состояния здоровья ребенка.

Эффективность аппарата подтверждается тем фактом, что имеет место изменение положения разобщенных фрагментов и уменьшение поперечного размера расщелины. Основой работы демонтируемого аппарата является принцип механического действия. Главный механический фактор есть тянущая сила, развиваемая упругим кольцом сразу после его введения и закрепления на поддерживающих петлях.

Так как степень морфологической зрелости тканей меняется с возрастом ребенка, важно получить дифференциальное приближение для определения величины функционального нагружения каждого ребенка. Для этой цели необходима математическая модель расщепленного твердого неба, подверженного нагружению, как сложной биомеханической системы.

Была построена биомеханическая модель, позволяющая рассчитать поведение фрагментов неба под нагрузкой. Исследование было направлено на установление

качественных и количественных закономерностей поведения расщепленных небных фрагментов у детей при проведении ортопедической реконструкции с целью выявления основных биомеханических закономерностей процесса лечения. Развитие биомеханической теории ортопедической реконструкции является актуальной и практически значимой задачей как в части обоснования выбора ортопедического аппарата, так и в совершенствовании самих методик лечения.

В простейшем случае модель фрагментированного твердого неба представляет собой изгибаемую балку, защемленную на одном конце и подверженную действию силы на другом. Для описания скорости деформации костной основы неба применяется модель, учитывающая ростовые деформации в зависимости от напряжения. Был предложен алгоритм идентификации параметров модели с помощью отпечатков, сделанных у пациента. Кроме того, вводится постановка оптимизационной задачи получения в результате лечения заданной конфигурации фрагментированного неба. Решение позволило найти оптимальную величину силы и оптимальное направление силы, развиваемой ортопедическим аппаратом.

Были также изучены биомеханические закономерности реконструкции небных отростков вследствие механического воздействия ортопедического аппарата, применяемого в Республиканском научно-практическом центре медико-социальной реабилитации «Бонум» (г. Екатеринбург).

Разработанный аппарат состоит из надзубодесневой пластинки и носового пелота, связанных между собой посредством эластического кольца, развивающего механическое действие на расщепленные небные фрагменты. Схематическое представление двусторонней расщелины и ортопедической пластинки изображено на рис. 5.

Расщепленные фрагменты подвержены действию давления, производимого не только силой адгезии зубодесневой пластинки, но и носового пелота. Аппарат препятствует проникновению языка в расщелину. В результате, как показывают клинические наблюдения, имеет место уменьшение размеров дефекта. Зубодесневая пластинка точно копирует форму соединения альвеолярных отростков с расщепленными фрагментами. Под действием надзубодесневой пластинки расщепленные фрагменты изменяют свое положение и форму и низводятся из полости носа в полость рта.

Клинический факт, что фрагменты изменяют свое расположение, перемещаясь из носовой в ротовую полость, не был ранее объяснен с точки зрения биомеханики и кажется неясным. Следовательно, основная задача данного исследования с теоретической точки зрения: объяснить механические причины процесса, имеющего место в костной ткани фрагментов расщепленного неба.

Вычислительная схема приведена на рис. 6.

Исследование было выполнено при помощи методов биомеханического моделирования с целью получения объективных данных о влиянии механического фактора на реконструкцию небных отростков. Для этого были сформулированы дифференциальная и вариационная постановки задачи биомеханического поведения небных отростков с учетом ростовых деформаций. Было изучено влияние на изменение конфигурации небного отростка величины и направления контактного давления, величины области контакта. Результаты численных расчетов показали, что управление областью контакта необходимо не только с точки зрения обеспечения свободного роста окончания отростка, но и эффективности механического давления. Также отмечено, что значимым фактором, влияющим на процессы роста небных отростков и их поведение, является направление действия силы. Этот биомеханически установленный факт может быть положен в основу проектирования ортопедических аппаратов с целью улучшения

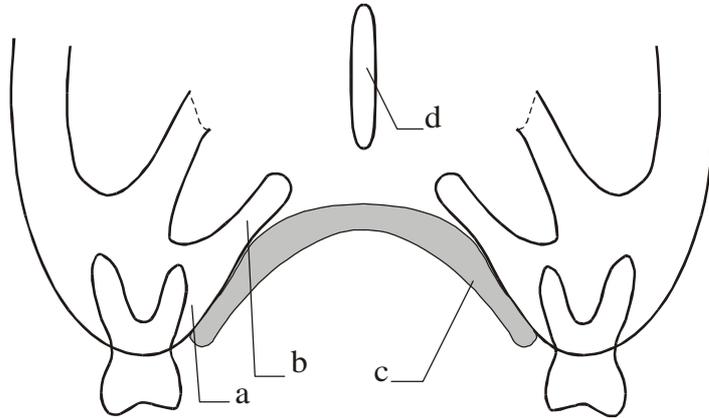


Рис. 5. Схематическое представление двусторонней расщелины и ортопедической пластинки: а) альвеолярный отросток, б) фрагмент неба, с) ортопедическая пластинка, d) носовая пластинка

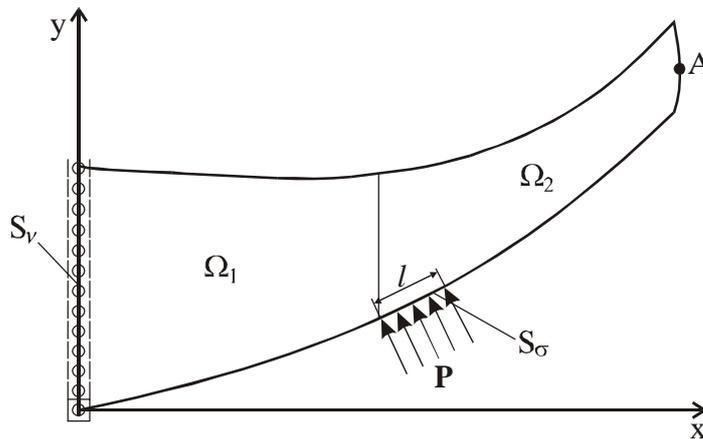


Рис. 6. Расчетная схема: $\square \ominus - v_x=v_y=0, \square \circ - v_x=0$, Ω_1 – область собственного роста, Ω_2 – область роста, зависящего от напряжений, l – область контакта

результатов лечения расщелины твердого неба у детей и поиска оптимальных параметров лечения.

Важно отметить, что решающее значение для понимания биомеханики процесса ортопедического воздействия имеет наличие ростовых деформаций, зависящих от распределения напряжений в области небных отростков.

Можно констатировать, что к настоящему времени сотрудники кафедры детской стоматологии ПГМА и кафедры теоретической механики ПГТУ выполнили большой объем работ по построению биомеханических моделей различных блоков (и их элементов) жевательного аппарата у детей.

В международной, центральной российской и местной печати опубликовано большое число работ по данной тематике. Ряд работ указан в списке литературы. Материалы исследований докладывались на научных конференциях в различных городах России (Москва, Дубна, Санкт-Петербург, Смоленск, Екатеринбург, Челябинск, Ижевск, Пермь). С 1997 года в Перми издается специализированный научный журнал по биомеханике «Российский журнал биомеханики», который распространяется в различных странах мира. В журнале было опубликовано значительное число работ по биомеханике зубочелюстной системы.

Материалы исследований, касающихся вопросов биомеханики жевательного аппарата, включены в учебные программы для студентов как стоматологического факультета ПГМА, так и специализации «Компьютерная биомеханика» ПГТУ.

Методические пособия по вопросам анатомического строения жевательного аппарата человека (Е.Ю. Симановская, А.Г. Масич, 2002) и по вопросам биомеханики роста костной ткани (А.Г. Масич, С.А. Чернопазов, 2002) предназначены для самостоятельной работы студентам ПГТУ, а также для выполнения курсовых и дипломных проектов (бакалавры, магистры и аспиранты в области биомеханики).

Заведующий кафедрой теоретической механики ПГТУ профессор Ю.И. Няшин неоднократно выступал с докладами об особенностях биомеханики жевательного аппарата как специализированной биомеханической системы. Результаты исследований докладывались на различных международных конференциях (Австрия, Германия, Италия, Япония, США, Болгария). Исследования пермских ученых получили высокую оценку международной общественности.

В 2000 году работы, выполненные научными сотрудниками кафедры детской стоматологии ПГМА (Е.Ю. Симановская, Л.М. Гвоздева, А.Н. Еловинова, И.В. Багаутдинова) и кафедры теоретической механики ПГТУ (Ю.И. Няшин, М.Ю. Няшин, М.А. Осипенко, В.Ю. Кирюхин) были удостоены гранта Европейского Союза (INTAS-97-32158) за разработку вопросов ортодонтии совместно со специалистами Венского технического университета (руководитель профессор Ф. Раммерсторфер) и университетской стоматологической клиники г. Ульм, Германия (руководитель профессор Ф. Зандер).

Важным направлением дальнейших исследований является углубленное изучение физиологического акта сосания, важного элемента полноценного функционирования организма ребенка.

Исследования в этом направлении начались в 1992 году, когда сотрудники кафедры детской стоматологии ПГМА Е.Ю. Симановская и Т.П. Новожилова [33] провели изучение акта сосания у детей как сложного безусловного пищевого рефлекса, который имеет место в первые часы и дни после рождения ребенка. Благодаря постепенному усложнению нервной регуляции и образованию условных связей он быстро трансформируется в условный пищевой рефлекс. Этот физиологический, функционально сложный биомеханический акт у здоровых, хорошо развитых, доношенных детей полностью обеспечивает энергетические, постепенно нарастающие с возрастом потребности организма человека, тогда как недоношенные дети, а также дети с задержкой внутриутробного развития сосут очень слабо. Последнее весьма негативно отражается на всех жизненно важных физиологических процессах: росте и развитии младенца, в частности, развитии зубов и челюстей [34, 35].

Несмотря на то, что вопросам беременности, деторождения и воспитания детей раннего возраста посвящено большое число работ в отечественной и иностранной литературе, сохраняется необходимость в более углубленном исследовании с использованием биомеханических подходов, в частности, такого важного акта, каким является для новорожденного ребенка сосание, его полноценность для жизнеобеспечения ребенка, особенно при искусственном вскармливании. В исследовании данной проблемы участвуют сотрудники кафедры детской стоматологии ПГМА (Е.Ю. Симановская, А.Н. Еловинова) и кафедры теоретической механики ПГТУ (М.И. Булгакова, В.М. Тверье, Ю.И. Няшин).

Как известно, в процессах физиологического антенатального развития эмбриона и плода, а также и при последующих ростовых изменениях отчетливо прослеживается активное влияние биомеханических факторов и, в частности, давления, которое в зависимости от возраста носит многокомпонентный характер и складывается из внутриклеточной компрессии, тканевого и органного давления, нарастающего с возрастом. В постэмбриональном периоде жевательное давление становится важным

фактором, который оказывает влияние на формирование зубов и архитектуру костей лицевого скелета [36].

Вопрос об изучении особенностей искусственного вскармливания с использованием биомеханических методов исследования возник в связи с тем, что в настоящее время по данным литературы подавляющее большинство детей вскармливается искусственно. Информация, опубликованная в монографии [37], касающаяся детей города Перми и Пермской области, свидетельствует о том, что 85% из них находится на искусственном вскармливании.

Необходимо с позиций биомеханики более четко обосновать вопрос об объеме и форме соски, числе отверстий в ней, их диаметре. Это позволит индивидуализировать выбор этих приборов в зависимости от возраста ребенка, массы его тела и состояния его физического здоровья.

Важно разработать и четко соблюдать научно обоснованные мероприятия по искусственному вскармливанию детей первого года жизни.

В заключение отметим, что совместные исследования специалистов по медицине и биомеханике должны помочь в решении многих важных вопросов, связанных с функционированием челюстно-лицевой системы детей.

Список литературы

1. *Nyashin Y.I., Pechenov V.S., Akulich Y.V., Nyashin M.Y.* Application of Methods of Biomechanics for Prognostication of Pathology Development and Optimal Design of Implant Construction. Proceedings of the Sixth International School on Biomechanics. Sofia, Bulgaria, 1996. P. 88-100.
2. *Simanovskaya E.Y., Nyashin Y.I., Bolotova M.Ph., Gvozdeva L.M., Osipov A.P.* The Problems of Orthopedic Reconstruction of Maxillary Congenital Anomaly: Medical and Biomechanical Study of Children's Dentofacial System // Russian Journal of Biomechanics. 1997. V. 1. № 1-2. P. 97-100.
3. *Симановская Е.Ю., Няшин Ю.И., Печенов В.С.* Проблемы биомеханики зубочелюстной системы у детей // Стоматология. 1997. № 4. С. 65-67.
4. *Масич А.Г., Симановская Е.Ю., Няшин Ю.И.* О биомеханической модели при врожденном расщеплении твердого неба у детей // Вопросы стоматологии. Пермь: Изд-во ПГМА, 1997. С. 44-45.
5. *Масич А.Г., Симановская Е.Ю., Няшин Ю.И., Болотова М.Ф.* Биомеханическая модель процесса предоперационной ортопедической реконструкции твердого неба у детей при врожденной расщелине // Пермский медицинский журнал. 1998. Т. 12. № 4. С. 28-31.
6. *Симановская Е.Ю., Няшин Ю.И., Болотова М.Ф., Печенов В.С., Еловицова А.Н., Гуцица Н.В., Масич А.Г., Няшин М.Ю., Кирюхин В.Ю., Кочуров В.И.* Использование методов биомеханики при оценке изменений в различных блоках зубочелюстной системы у детей // Уральское стоматологическое обозрение. 1998. 3(6). С. 12-13.
7. *Osipenko M.A., Nyashin M.Y., Nyashin Y.I.* Center of resistance and center of rotation of a tooth: the definitions, conditions of existence, properties // Russian Journal of Biomechanics. 1999. V. 3. № 1. P. 5-15.
8. *Nyashin M.Y., Osipov A.P., Bolotova M.Ph., Nyashin Y.I., Simanovskaya E.Y.* Periodontal ligament may be viewed as a porous material filled by free fluid: experimental proof // Russian Journal of Biomechanics. 1999. V. 3. № 1. P. 89-95.
9. *Nyashin M.Y., Bagautdinova I.V., Simanovskaya E.Y., Chernopazov S.A.* Biomechanical investigation of a trauma of the upper central incisor // Russian Journal of Biomechanics. 1999. V. 3. № 1. P. 96-100.
10. *Masich A.G., Nyashin Y.I.* Mathematical modeling of orthopedic reconstruction of children's congenital maxillary anomaly // Russian Journal of Biomechanics. 1999. V. 3. № 1. P. 101-109.
11. *Simanovskaya E.Y., Bolotova M.Ph., Nyashin Y.I., Nyashin M.Y.* Functional adapto-compensating mechanisms of the masticatory apparatus as a special biomechanical system // Russian Journal of Biomechanics. 1999. V. 3. № 3. P. 3-11.
12. *Nyashin M.Y.* Unconfined compression of the periodontal ligament, intervertebral disc, articular cartilage and other permeable deformable tissues: a poroelastic analysis // Russian Journal of Biomechanics. 1999. V. 3. № 3. P. 23-31.
13. *Masich A.G., Chernopazov S.A., Nyashin Y.I., Simanovskaya E.Yu.* Formulation of initial boundary-value problem and construction of computational algorithm in simulation of growing bone tissue // Russian Journal of Biomechanics. 1999. V. 3. № 3. P. 32-38.

14. Симаповская Е.Ю., Няшин Ю.И., Болотова М.Ф., Печенов В.С., Еловицова А.Н., Гуцина Н.В., Масич А.Г., Няшин М.Ю., Кирюхин В.Ю., Кочуров В.И. Использование методов биомеханики при оценке изменений в различных блоках зубочелюстной системы детей // Достижения, нерешенные проблемы и перспективы развития стоматологии на Урале. Екатеринбург, 1999. С. 106-109.
15. Masich A.G., Simanovskaya E.Yu., Chernopazov S.A., Nyashin Yu.I., Dolgoplova G.V. The role of mechanical factor in orthopedic treatment of congenital palate cleft in children // Russian Journal of Biomechanics. 2000. V. 4. № 1. P. 33-42.
16. Simanovskaya E.Y., Bolotova M.Ph., Nyashin Y.I., Nyashin M.Y., Masich A.G. Biomechanical and histomechanical studies of the masticatory apparatus development // Russian Journal of Biomechanics. 2000. V. 4. № 3. P. 9-16.
17. Nyashin Y.I., Nyashin M.Y. Two-phase solid-fluid media in human organism: structure, functions, constitutive relations, biomechanical models. Proceedings of the International Conference on Biorheology and School for Young Scientists. Sofia, Bulgaria, 2000. P. 55-61.
18. Nyashin Y.I., Nyashin M.Y. Biomechanical modelling of periodontal ligament behaviour under various mechanical loads // Acta of Bioengineering and Biomechanics. 2000. V. 2. № 2. P. 67-74.
19. Няшин Ю.И., Няшин М.Ю. Математические и биомеханические основы моделирования некоторых живых тканей как твердожидких структур // Математичні проблеми механіки неоднорідних структур. Том I / Національна Академія наук України. Львів: Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача, 2000. С. 20-23.
20. Няшин Ю.И., Няшин М.Ю. Модели некоторых живых тканей как твердожидких структур // Упругость и неупругость: Материалы Международного научного симпозиума по проблемам механики деформируемых тел, посвященного девяностолетию со дня рождения А.А. Ильюшина / Под ред. И.А. Кийко, М.Ш. Исраилова, Г.Л. Бровко. М.: Изд-во МГУ. 2001. С. 318-319.
21. Krstin N., Dorow Ch., Geiger M., Sander F.-G., Nyashin Y.I., Nyashin M.Y. Structure and functions of the periodontal ligament // Russian Journal of Biomechanics. 2001. V. 5. № 1. P. 33-42.
22. Симаповская Е.Ю., Болотова М.Ф., Няшин Ю.И., Осипов А.П., Няшин М.Ю., Масич А.Г. Жевательный аппарат человека как специализированная многоблочная биомеханическая система // Лицом к лицу - мост в новое тысячелетие. Екатеринбург: Изд-во "Бонум", 2001. С. 70-74.
23. Еловицова А.Н., Няшин М.Ю., Симаповская Е.Ю., Няшин Ю.И. Профилактика перегрузки зубов при ортодонтическом лечении // Стоматология XXI века: вопросы профилактики. Пермь, 2001. С. 221-226.
24. Simanovskaya E.Y., Bolotova M.Ph., Nyashin Y.I. Mechanical pressure as generator of growth, development and formation of the dentofacial system // Russian Journal of Biomechanics. 2001. V. 5. № 3. P. 14-17.
25. Simanovskaya E.Y., Bolotova M.Ph., Nyashin Y.I., Nyashin M.I. Masticatory adaptation of the human dentofacial system // Russian Journal of Biomechanics. 2002. V. 6. № 2. P. 15-21.
26. Nyashin Y., Nyashin M. Modelling of the dentofacial system as unified biomechanical system // Acta Bioengineering and Biomechanics. V. 4, Supplement 1. Proceedings of the 13th Conference of European Society of Biomechanics. Eds. R. Będzinski, C. Pesowicz, K. Ścigała. Wrocław, 2002. P. 799-800.
27. Nyashin Y.I., Simanovskaya E.Y., Nyashin M.Y. Human dentofacial system as a specialized biomechanical system. 1st International Congress on Mastication and Health "Oral Health for Healthy Life". Abstracts. Yokohama, Japan, 2002. P. 63.
28. Няшин Ю.И., Кирюхин В.Ю. Биологические напряжения в живых тканях. Вопросы моделирования и управления // Российский журнал биомеханики. 2002. Т. 6. № 3. С. 13-31.
29. Няшин М.Ю., Осипов А.П., Симаповская Е.Ю., Няшин Ю.И. Экспериментальное изучение фильтрационных свойств и структурных особенностей дисков височно-нижнечелюстных суставов свиней // Российский журнал биомеханики. 2002. Т. 6. № 3. С. 32-37.
30. Еловицова А.Н., Няшин М.Ю., Симаповская Е.Ю., Гвоздева Л.М., Няшин Ю.И. Биомеханические основы лечения зубочелюстных аномалий // Стоматология. 2002. № 3. С. 51-54.
31. Kiryukhin V., Nyashin Y. Application of Stress and Strain Control to Living Tissues. Proceedings of the IUTAM Symposium on Dynamics of Advanced Materials and Smart Structures. Yonezawa, Japan. Eds. K. Watanabe and F. Ziegler. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers. 2002. P. 197-206.
32. Лохов В.А., Кирюхин В.Ю., Няшин Ю.И. Об управлении напряжениями и деформациями с помощью пьезодеформаций в живых и неживых структурах // Труды Международной конференции «Математические проблемы механики неоднородных структур». Львов, 2003. С. 437-438.
33. Новожилова Т.П. Состояние зубочелюстной системы у детей, родившихся с задержкой внутриутробного развития: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Пермь, 1992.
34. Белова Н.А. Состояние молочных зубов и прикуса у недоношенных детей: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Пермь, 1982.

35. Данилова М.А. Структурно-функциональные изменения в зубочелюстной системе у детей с высокой степенью перинатального риска (клинико-морфологическое исследование), лечебно-профилактические методы коррекции: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Пермь, 2003.
36. Нападов М.А. Ортодонтический атлас (этиология, патогенез, профилактика деформаций зубочелюстной системы) / Под ред. Я.И. Поздняковой. Киев: Изд-во «Здоровье», 1967.
37. Аверьянова Н.И., Гаслова А.А. Как воспитать здорового ребенка: Монография. Пермь: ПГМА, 2001.

REVIEWS AND PERSPECTIVES OF USE OF BIOMECHANICAL METHODS IN CHILDREN'S STOMATOLOGY

E.Y. Simanovskaya, Y.I. Nyashin (Perm, Russia)

The authors give a survey of research in the field of biomechanical modeling in stomatology which was conducted by coworkers of Department of Children's Stomatology of Perm State Medical Academy and Department of Theoretical Mechanics of Perm State Technical University. The human dentofacial system is considered as a multiunit polymodal biomechanical system. The factor of mechanical pressure is considered as an important one of the phylogenesis and ontogenesis. The biomechanical models of different system elements are analyzed in the norm and in the different pathologies (treatment of the congenital anomaly of the hard palate, model of the periodontium as a two-phase biomechanical system). The considerable study has been given to the analysis of the modern state and perspectives to further research of processes of the suction of healthy and sick children.

Key words: biomechanical modeling, dentofacial system, mechanical pressure, periodontium, congenital cleft, act of suction.

Получено 10 августа 2003