

© М.М. УГРИН, А.Н. ЧУЙКО, 2014

УДК 616.31-053.2-092:612.76

М.М. Угрин<sup>1</sup>, А.Н. Чуйко<sup>2</sup>**ОСОБЕННОСТИ БИОМЕХАНИКИ В СТОМАТОЛОГИИ ДЕТСКОГО ВОЗРАСТА**<sup>1</sup>Львовский национальный медицинский университет им. Д. Галицкого, г. Львов; <sup>2</sup>Украинский аналитическо-исследовательский центр в области медицины М. Угрин, г. Львов*В представленной статье изложены основы биомеханики в стоматологии детского возраста, например, условие прочности или аналогичное ему условие жесткости, а также возможности анализа объектов зубочелюстной системы конкретного пациента.*

Ключевые слова: детский возраст; стоматология; биомеханический анализ; условие прочности; нагрузка; анатомия

М.М. Ugrin<sup>1</sup>, A.N. Chuyko<sup>2</sup>

FEATURES BIOMECHANICS OF PEDIATRIC DENTISTRY

<sup>1</sup>D. Galitsky Lvovsky National Medical University, Lvov, Ukraina; <sup>2</sup>M. Uhryniv Ukrainsky analytical and research center in the field of medicine, Lvov, Ukraina*In the present article describes the basics of biomechanics in pediatric dentistry, for example, the strength condition or a similar condition of rigidity, and analysis capabilities of dental system objects of a particular patient.*

Key words: children's age; dentistry; biochemical analysis; condition of strength; load; anatomy

«Детская стоматология – одна из сложнейших клинических дисциплин. Она изучает стоматологические заболевания, основываясь на знаниях возрастных анатомо-функциональных особенностей ребенка, его развития в ante-, intra- и постнатальный периоды жизни. Внимание к ней поясняется значительной частью детей среди населения нашей страны, а сфера помощи касается наиперспективнейшей части общества. В основе дисциплины лежит неразрывная связь, обусловленная единством взглядов на стоматологию периодов детского возраста» [1].

Полностью соглашаясь с постановкой и выводами, содержащимися в приведенном фрагменте работы [1], подчеркнем, что современные методы диагностики и планирования операций, особенно при необходимости проведения реконструктивных мероприятий, основаны на компьютерных технологиях, среди которых особое место занимает компьютерная томография и 3D-моделирование объекта с последующим конечно-элементным анализом. Учитывая сложность и трудоемкость метода конечных элементов, введением к нему, своеобразной пропедевтикой, может и должен служить предварительный анализ, построенный на основных зависимостях механики. Такой подход реализован в работах [2, 3] применительно к общей челюстно-лицевой хирургии, стоматологии и дентальной имплантологии. Но работы, посвященные непосредственно биомеханике в стоматологии детского возраста, нам неизвестны, несмотря на всю актуальность этой проблемы.

Целью предлагаемой статьи является изложение основ биомеханики в стоматологии детского возраста и возможностей анализа объектов зубочелюстной системы конкретного пациента.

**1. Условие прочности и условие жесткости – основа биомеханического анализа**

В основе биомеханического анализа челюстей в норме, челюстей пациентов детского возраста, челюстей при любых патологических изменениях и при наличии элементов, используемых при реконструкции

зубного ряда (имплантатов, мостов, вставок и т.п.), в соответствии с [2, 3], должно лежать условие прочности или аналогичное ему условие жесткости (рис. 1).

Эти условия взаимно связывают нагрузку – расчетную модель (анатомию, конструкцию) анализируемого элемента – свойства костных тканей (конструкционных материалов). Представляя эти условия в виде треугольника, можно определить любую из вершин треугольника при известных значениях двух других.

Так, например, если в рассматриваемом случае анатомия (расчетная модель) зубочелюстной системы пациента в определенном возрасте задана, т.е. является неизменной, то при известных свойствах костных тканей можно определить максимально допустимую нагрузку, либо при заданной нагрузке можно определить необходимые свойства костных и мягких тканей, которые эту нагрузку способны выдержать. Точность получаемых результатов, их «приближенность» к конкретному пациенту будут зависеть от точности определения основных механических характеристик: линейных размеров челюсти (зубов) и ее поперечных сечений и свойств мягких и костных тканей – в первую очередь модуля упругости и предела прочности.

Очевидно, что при гармоничном развитии и ро-

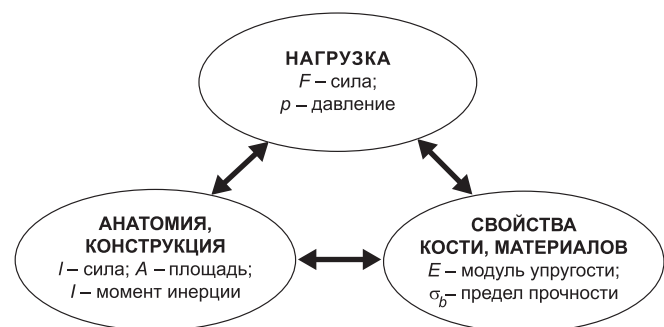


Рис. 1. Условие прочности как основа биомеханического анализа.

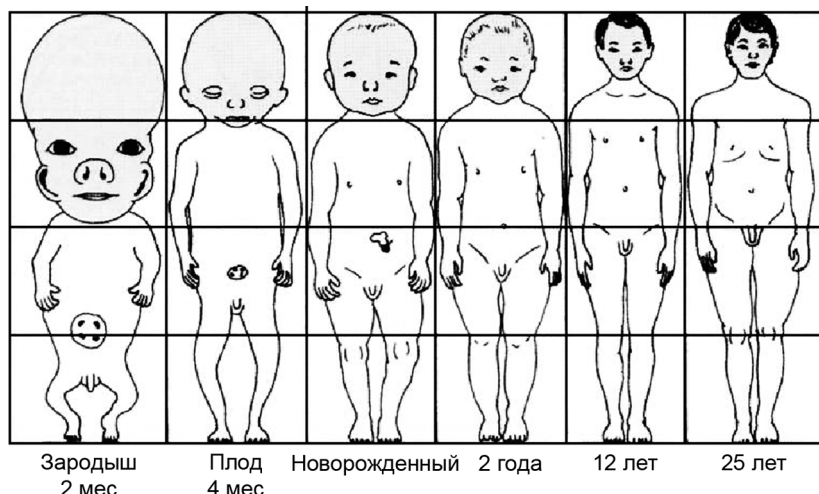


Рис. 2. Схематическое изображение изменений общих пропорций тела в ходе нормального роста и развития.

сте зубочелюстной системы условие прочности выполняется автоматически, следуя основным законам эволюции, т. е. при росте жевательной активности должно происходить увеличение объема костной ткани и улучшение ее механических свойств. Нарушение этой закономерности неизменно приведет к развитию различных патологий, начало которым может быть заложено и в детском возрасте.

Условие прочности, которое лежит в основе «глубокого биомеханического анализа» [2], формулируется достаточно четко и просто: необходимо определить действующие напряжения  $\sigma$  и сравнить их с допускаемыми  $\sigma_v$  (разрушающими, индекс «v» от английского слова ultimate – предельный), т.е. проверить справедливость неравенства:

Напряжение ( $\sigma$ ) = сила (F) / Площадь (A)  $\leq$  допускаемые (травмирующие) напряжения ( $\sigma_v$ ). (1)

Фактически эта формула объединяет три взаимосвязанных понятия, очерченные выше (см. рис. 1).

«Условие прочности», математическая и механическая сущность которого определена соотношением (1), справедливо только для осевой нагрузки при условии ее равномерного распределения по сечению. Для остальных случаев – сдвига, изгиба и пр. оно будет рассмотрено ниже при решении конкретных задач. В более сложных случаях будут возникать зоны концентрации напряжений, которые при современном уровне развития науки могут быть наиболее успешно проанализированы с помощью метода конечных элементов (МКЭ), реализуемого на ЭВМ.

## 2. Нагрузка

Необходимо знать жевательную нагрузку для конкретного пациента в норме, при наличии заболевания и после реконструкции, например установления мостовидного протеза, имплантата, элемента фиксации и т.п.

Естественно, что при проектировании моста (через реку), грузового автомобиля или самолета вопрос о величине нагрузки является определяющим, так как от ее величины зависят конструктивные, технологические и эксплуатационные параметры.

У стоматологов всех специальностей, в первую очередь ортопедов, имплантологов и ортодонтов, это понятие также является наиболее употребительным в повседневной практике. Но, как оказывается, стоматологи всех уровней знают (слышали в процессе учебы или видели в книгах), что такое гнагодинамометр, но, как правило, никто в клинической практике силу жевательных мышц не определяет. Частично такое положение объясняется сложностью конструкции известных гнагодинамометров, что и ограничивает их применение в клинике. Кроме того, налицо невостребованность такой информации, так как врач в клинике не знает, что делать с этим числом – величиной жевательной силы.

Любое проектирование начинается с определения нагрузок. У «мясоеда» и вегетарианца, у взрослого и ребенка и у других категорий пациентов обычная жевательная

нагрузка может различаться в несколько раз. Это будет накладывать ограничения и на выбор типа, и на конструкцию средств реставрации, определяя их размеры и долговечность. У пациента, который рассматривается как кандидат на применение костной пластики, уже есть проблемы с количеством и прочностью костных тканей. Поэтому точность в определении нагрузок в этом случае будет иметь определяющее значение.

Определение жевательной силы конкретного пациента должно быть такой же обязательной процедурой, как рентгеновский снимок больного зуба.

## 3. Анатомия зубочелюстной системы – основа расчетной модели при биомеханическом анализе

Основа при биомеханическом анализе и есть построение расчетной модели и ее рационализация в соответствии с поставленными исследовательскими задачами. Следует всегда иметь в виду, что модель может дать только те результаты, которые предусмотрены в ее функционировании. Далее под расчетной моделью мы будем понимать объект исследования, т.е. это может быть и челюсть, и зуб, и мостовидный протез, и имплантат любого типа.

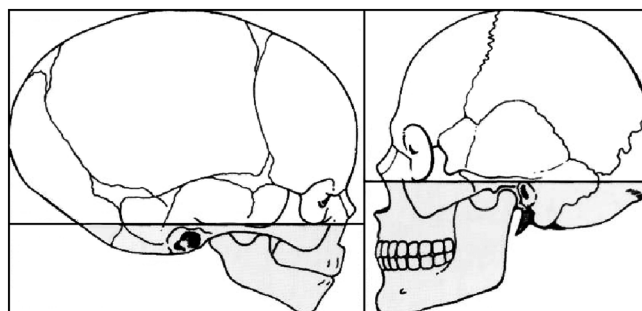


Рис. 3. Изменение в пропорциях головы и лица в ходе развития. В момент рождения лицевая часть и челюсти относительно недоразвиты в сравнении со взрослым состоянием. В результате после рождения происходит больший рост лицевых, а не черепных структур (цит. по: Lowery GH: Growth and development of children, ed 6, Chicago, 1973, Mosby.).

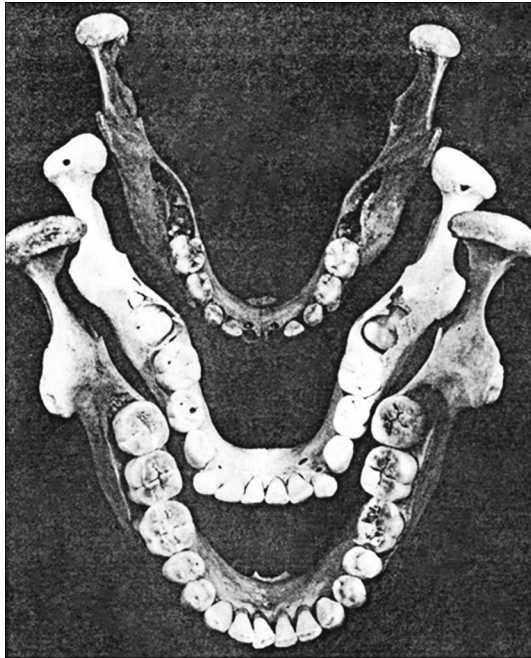


Рис. 4. Сравнение размеров челюстей различных возрастов.

Учитывая сложность поставленной задачи и практически ее новизну, вначале рассмотрим особенности анатомии и биомеханики нижней челюсти (НЧ) детского возраста, предполагая, что и верхняя челюсть может быть рассмотрена по аналогичному алгоритму.

Анатомия и биомеханика (движение) НЧ рассматриваются как в литературе, посвященной общей анатомии человека [4], так и в специальной литературе [5, 6], посвященной вопросам ортопедической стоматологии. Анатомия челюстей детского возраста рассматривается в этих работах поверхностно и фрагментарно, только как ретроспектива развития челюстей взрослого человека, т. е. исследование анатомии челюстей детского возраста в известной нам литературе существенно отстает и от запросов клинической практики, и от возможностей биомеханического анализа, построенного на современных компьютерных технологиях. Исключением в этом плане можно считать работу [7], в которой подчеркивается, что «Аномалии... и челюстно-лицевые деформации возникают в результате изменения нормального процесса развития и поэтому должны оцениваться в перспективе нормального развития... с позиций ...общих концепций физического роста и физиологического и психосоциального развития»... «В исследованиях роста и развития важная роль отводится концепции моделей. Модель в общем значении (как и модель, по которой кроят одежду разных размеров) обозначает пропорциональность, обычно в виде комплексного набора пропорций, а не просто единичное пропорциональное соотношение. Модель роста также представляет собой пропорциональность, но в еще более сложном виде, поскольку относится не просто к набору пропорциональных соотношений с течением времени. Иными словами, физическое строение тела в лю-

бом промежутке времени является моделью соотношенных в пространстве частей».

На рис. 2 показано схематическое изображение изменений общих пропорций тела в ходе нормального роста и развития.

После 3-го месяца внутриутробного развития происходит постоянное уменьшение пропорций головы и лица относительно общего размера тела (цит. по Robbins W.J. et al: Growth, New Haven, 1928, Yale University Press).

«Другим аспектом модели нормального роста является то, что не все ткани тела растут с одинаковой скоростью. Очевидно, что мускулатура и части скелета растут быстрее, чем мозг и центральная нервная система, что и отражается на относительном уменьшении размера головы. Общая модель роста является отражением роста различных тканей, составляющих целый организм. Иными словами, причиной неравномерности роста является концентрация растущих с разной скоростью тканевых систем в различных частях тела» (рис. 3).

К рассмотренным выше общим соображениям добавим виды НЧ в осевой, сагиттальной и фронтальной проекциях, учитывая изменения в пропорциях головы и лица в ходе развития от момента рождения до взрослого состояния, дополняя иллюстрациями, непосредственно связанными с развитием НЧ во времени.

На рис.4 (из работы [8]) показаны: сверху – нижняя челюсть ребенка 5-летнего возраста; в середине – нижняя челюсть в 9 лет и внизу – хорошо развитая челюсть индивидуума примерно 50 лет. Интерес представляют не только сравнительный анализ изображений, представленных на рис. 4, но и комментарии к ним автора работы [8]. По отношению к верхней части рисунка обращается внимание на округлую форму дуги и на объем пространства между II молочным моляром и ветвью. В комментарии к средней части рисунка (челюсть в 9 лет) обращается



Рис. 5. Возрастные изменения угла НЧ человека.

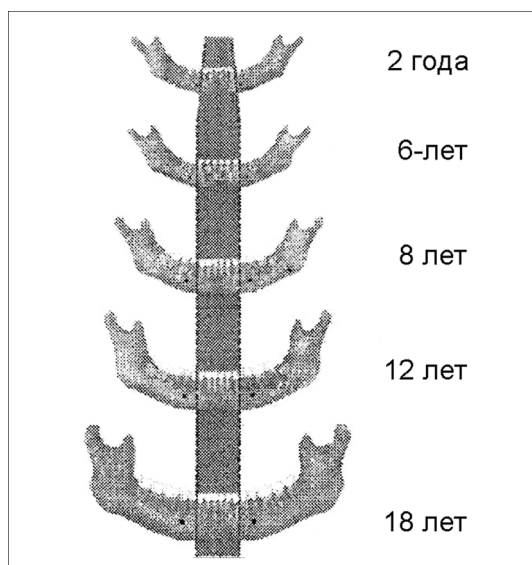


Рис. 6. Возрастные изменения НЧ человека во фронтальной проекции.

внимание на угловой контур с развитием сужения в точке II молочного моляра. На нижней части рисунка показана хорошо развитая челюсть с регулярным контуром кости с уменьшающимся языковым сужением, отступающим в область III моляра. На наш взгляд, этот анализ трудно обосновать, так как не указывается, что это челюсти одного антропологического типа лица, например родственников. Кроме того, уже здесь подчеркнем, что такого типа анализ наиболее успешно может быть проведен по 3D-моделям, построенным на базе данных компьютерной томографии пациентов в разные периоды жизни, близких родственников, представителей одной расы и т.п.

В учебнике «Ортопедическая стоматология» [6] отмечается: «...Угол нижней челюсти претерпевает изменения на протяжении всей жизни. У новорожденного угол нижней челюсти в среднем равен  $140^\circ$ . Когда заканчивается прорезывание молочных зубов (3–4 года), угол уменьшается до  $133,4^\circ$ . Уменьшается угол и в период прорезывания постоянных зубов, в том числе и зуба мудрости. В.Н. Трезубов, проводивший измерения на профильных телерентгенограммах у лиц в возрасте 18–20 лет, нашел, что угол нижней челюсти составляет от  $112$  до  $134^\circ$  ( $119,8 \pm 5^\circ$ ). В дальнейшем при частичной или полной потере зубов угол нижней челюсти начинает вновь увеличиваться. Так, если у людей в возрасте 35 лет при наличии всех зубов этот угол равен в среднем  $117,1^\circ$ , то в возрасте 70–75 лет при полном отсутствии зубов он достигает  $124,6^\circ$ . Увеличение угла нижней челюсти в этом возрасте происходит как за счет рассасывания костного вещества по заднему краю ветви, так и вследствие перестройки всей кости.

С возрастом изменяется соотношение длины тела НЧ и ее ветви. Так, на основании антропометрических измерений 900 НЧ А.И. Дойников пришел к выводу, что у новорожденных отношение длины тела к высоте ветви челюсти составляет  $100:41,2$ , а у взрослых –  $100:69,4$ ».

Не меньший интерес представляет сравнительный анализ челюстей разного возраста в сагиттальной [5] и фронтальной [9] проекциях, представленных на рис. 5 и 6. Из фрагмента работы [6] и рис. 5 следует, что угол НЧ «следит» за жевательной активностью человека. В младенчестве и старости он больше, чем в зрелом возрасте, когда жевательная нагрузка максимальна. Это изменение угла челюсти представляет собой приспособительную реакцию организма на действующую жевательную нагрузку. Биомеханика этого процесса более подробно будет рассмотрена дополнительно.

Рис. 6 [9] иллюстрирует не только изменение линейных размеров тела и ветви челюсти и изменение соотношений длины тела к высоте ветви с возрастом, но и очень важен в случае принятия решения об имплантации в НЧ, вывод – фронтальный участок НЧ ребенка после 6 лет практически не увеличивается в ширину.

Анализ эволюции такого развития НЧ и является одной из целей предлагаемого обзора. Рассмотренные общие закономерности в изменении анатомии НЧ пациентов детского возраста в процессе их роста и развития позволяют приступить к анализу челюстей конкретных пациентов и их биомеханическому анализу.

#### 4. Свойства костных тканей

Если мы не знаем количественных прочностных характеристик кости конкретного пациента, то все наши рассуждения будут носить качественный характер – нужно больше, нужно меньше.

Отметим еще раз, что при известной нагрузке (силе) и конструкции (в первую очередь, размерах) можно определить действующие напряжения (левая часть неравенства (1)), которые следует сравнивать с допускаемыми (травмирующими) напряжениями (правая часть неравенства (1)). Это как бы две стороны одной медали, каждая из которых требует своих методов определения и анализа. В работах [3, 10] показаны возможности современных компьютерных технологий с использованием комплекса MIMI CS-ANSYS для определения основных механических характеристик костных и мягких тканей, на основе которых будут определяться и механические характеристики тканей пациентов детского возраста.

#### Выводы

1. В основе биомеханического анализа челюстей в норме, челюстей пациентов детского возраста, челюстей при любых патологических изменениях и при наличии элементов, используемых при реконструкции зубного ряда (имплантатов, мостов, вставок и т.п.) должно лежать условие прочности или аналогичное ему условие жесткости.

2. Биомеханическое исследование в стоматологии детского возраста можно разбить на следующие стадии:

- приближенный анализ расчетной схемы для нижней челюсти;

- анализ уточненной расчетной схемы с учетом данных компьютерной томографии пациента, которые позволят учесть как геометрические параметры, так и механические свойства костных и мягких тканей;

– использование данных компьютерной томографии для построения и анализа конечно-элементной модели челюсти пациента с учетом как геометрических параметров, так и механических свойств костных и мягких тканей.

3. Значения напряжений и перемещений нижней челюсти в норме и для пациентов детского возраста должны служить базой (отправной точкой) для исследования напряженно-деформированного состояния при любых патологических изменениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Казакова Р.В., Лучинский М.А., Воляк М.Н. Пропедевтика дитячої терапевтичної стоматології: навч. Посібник та ін.; за ред. Р.В. Казакової. 2-е вид., випр. Київ: Медицина; 2011.
2. Чуйко А.Н., Шинчуковский И.А. Биомеханика в стоматологии: Монография. Харьков: Форт; 2010.
3. Чуйко А.Н., Калиновский Д.К., Левандовский Р.А., Грибов Д.А. Биомеханическое сопровождение операций в челюстно-лицевой хирургии с использованием комплекса MIMI CS-ANSYS. Ортопедия, травматология и протезирование (Харьков). 2012; 2: 57–63.
4. Воробьев В.П. Анатомия человека. М.: Госмедиздат; 1932; т. 1: 383–94.
5. Гаврилов Е.И., Оксман И.М. Ортопедическая стоматология: М.: Медицина; 1968.
6. Гаврилов Е.И., Щербачев А.С. Ортопедическая стоматология: Учебник. 3-е изд. М.: Медицина; 1984.
7. Проффит У.Р. Современная ортодонтия. М.: МЕДпресс; 2006.
8. Ash Major M. Wheeler's dental anatomy, physiology and occlusion. 7<sup>th</sup> ed. W.B. Saunders Company, USA; 1993.
9. Угрин М.М. Имплантация зубов у детей в комплексе лечебно-реабилитационных мероприятий при поврежден-

ной адентии. В кн.: 1 Российский региональный конгресс международной ассоциации детской стоматологии. М.: Крокус Экспо; 2012:

10. Чуйко А.Н., Левандовский Р.А., Угрин М.М., Беликов А.Б. Использование современных компьютерных технологий при имплантации. Стоматология. 2013; 3: 97–9.

#### REFERENCES

1. Kazakova R.V., Luchinskiy M.A., Volyak M.N. Propedevtika dityachoi terapevtichnoi stomatologii: navch. Posibnik; ed. R.V. Kazakovoy. Kiev: Meditsina; 2011 (in Russian).
2. Chuyko A.N., Shinchukovsky I.A. Biomechanics in dentistry: Monografiya. Kharkov: Fort; 2010 (in Russian).
3. Chuyko A.N., Kalinowski D.K., Lewandowskiy R.A., Gribov D.A. Biomechanical support of operations in maxillofacial surgery using complex MIMICS-ANSYS. Orthopediya, traumatologiya i protezerovaniye (Kharkov). 2012; 2: 57–63 (in Russian).
4. Vorobyov V.P. Human anatomy. Moscow: Gosmedizdat; 1932; vol. 1: 383–94 (in Russian).
5. Gavrilov E.I., Oxman I.M. Prosthodontics. Moscow: Meditsina; 1968 (in Russian).
6. Gavrilov E.I., Shcherbakov A.S. Prosthodontics: Textbook. 3rd ed. Moscow: Meditsina; 1984 (in Russian).
7. Proffit U.R. Modern orthodontics. Moscow: MEDpress; 2006 (in Russian).
8. Ash Major M. Wheeler's dental anatomy, physiology and occlusion. 7th ed. W.B. Saunders Company, USA; 1993.
9. Ugrin M.M. Dental implants in children in the complex treatment and rehabilitation at the damaged edentulous. In: 1 Russian regional congress of the international association of pediatric dentistry. Moscow: Crocus Expo; 2012 (in Russian).
10. Chuyko A.N., Lewandowskiy R.A., Ugrin M.M., Belikov A.B. Using modern computer technology during implantation. Stomatologiya. 2013; 3: 97–9 (in Russian).

Поступила 27.11.13