

УДК 616.314-007:616.716.85-007.23]-089.28:615.462/.464

*Р.М. Ступницький, В.Р. Яричківський\**

## ЦИФРОВІ МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ АНАТОМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗУБОЩЕЛЕПНОЇ СИСТЕМИ Й ОСНОВНИХ ОКЛЮЗІЙНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ

Івано-Франківський національний медичний університет

\*Львівський національний університет імені Данила Галицького, кафедра ортопедичної стоматології

### Вступ

Сучасна стоматологія має широкі можливості естетичного і функціонального відновлення зубів та зубних рядів завдяки новітнім комп'ютерним технологіям. Інноваційні розробки стоматологічної індустрії, такі як CAD-CAM системи, клінічні та лабораторні сканери, 3D принтери, мікроскопи, стають неодмінними атрибутами стоматологічних установ. Сучасне обладнання розширює можливості лікарів-стоматологів у діагностиці патологій зубощелепної системи, значно полегшує вибір оптимального плану ортопедичного лікування і дозволяє провести якісну реабілітацію пацієнтів ортопедичними конструкціями. Окреме місце в концепції лікування займає різноманітне програмне забезпечення, що дозволяє скласти план лікування і спрогнозувати його результати.

У сучасній ортопедичній стоматології безметалеві конструкції зубних протезів усе частіше змінюють протези на металевій основі. Кераміка завдяки її позитивним якостям стає найпопулярнішим матеріалом в ортопедичній стоматології. Керамічна маса не впливає на тканини порожнини рота, ферментативні й біохімічні процеси в ротовій рідині; колір керамічного покриття з часом не змінюється, параметри твердості та стирання наближені до природних тканин зуба.

Проте комплексний підхід до реставрації зубів містить у собі не тільки компонент естетики, а й забезпечення функціональної ефективності та надійної фіксації ортопедичної конструкції, що особливо актуально для пацієнтів із патологією пародонта.

У своїй роботі для розуміння процесів, що виникають у зубощелепній системі під час різних оклюзійних співвідношень, методами 3D та комп'ютерного моделювання, в першу чергу звертаємо увагу на стан дентину й емалі натуральних зубів, а також стан кістки. Сподіваємося, що в майбутньому отримані моделі та застосовані методи стануть базовими в більш якісному плануванні лікування і виборі ортопедичних конструкцій.

**Мета роботи:** створити віртуальну модель зуба з тканинами пародонта і визначити теоретичні аспекти, умови і параметри її застосування для вивчення напружень, стресів і деформацій,

що виникають при різних оклюзійних співвідношеннях.

### Матеріали і методи

3D моделювання – це метод створення різних за формою і складністю тривимірних комп'ютерних моделей реальних чи фантастичних об'єктів навколишнього світу з використанням різноманітних технік і механізмів, які охоплюють:

- полігональне моделювання, в яке входять Editable mesh (редагована поверхня) і Editable poly (редагований полігон) — це найпоширеніший метод моделювання, використовується для створення складних моделей і моделей для ігор;
- моделювання на основі неоднорідних раціональних B-сплайнів (NURBS);
- моделювання на основі порцій поверхонь Безье (Editable patch) — підходить для моделювання тіл обертання;
- моделювання з використанням вбудованих бібліотек стандартних параметричних об'єктів (примітивів) і модифікаторів.

Для створення 3D-моделей застосовували програму «Autodesk 3ds MAX» (3D Studio MAX) і полігональний метод моделювання.

**Математичне моделювання** — метод дослідження процесів або явищ шляхом створення їхніх математичних моделей і дослідження цих моделей. В основу методу покладено ідентичність форми рівнянь і однозначність співвідношень між змінними в рівняннях оригіналу і моделі, тобто їхню аналогію.

Математичне моделювання дозволяє замінити реальні об'єкти на їх віртуальну модель і потім її вивчати. Як і в будь-якому моделюванні, математичну модель проєктують із урахуванням фізичних характеристик вихідного об'єкта. Математичне моделювання виконують у програмному комплексі «Comsol Multiphysics 4.2a» („Comsol AB”, Швеція).

### Результати дослідження та їх обговорення

Для створення тривимірної моделі ми обрали фронтальну ділянку верхньої щелепи. Модель створена методом полігонального моделювання з урахуванням анатомічних параметрів натуральних зубів і тканин пародонта (програмне забезпечення «Autodesk 3Ds Max»). Розміри зубів, товщину і форму контурів кісткової ткани-

ни, величину відхилення осі зуба й альвеолярного відростка і товщину слизової моделювали

відповідно до середньостатистичних показників.

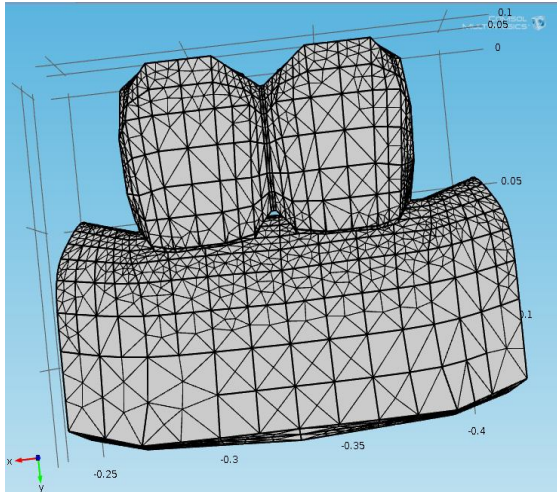


Рисунок 1

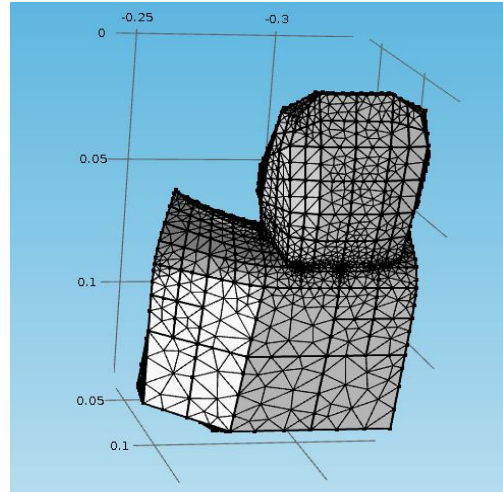


Рисунок 2

Рис. 1. Повна 3D-модель фронтальної ділянки верхньої щелепи з двома центральними різцями і тканинами пародонта

Рис. 2. Часткова 3D-модель фронтальної ділянки верхньої щелепи

3D-модель складається з трьох основних компонентів: структур дентину (рис. 3) та емалі

центральної різців (рис. 4), а також їхніх альвеол (рис. 5).

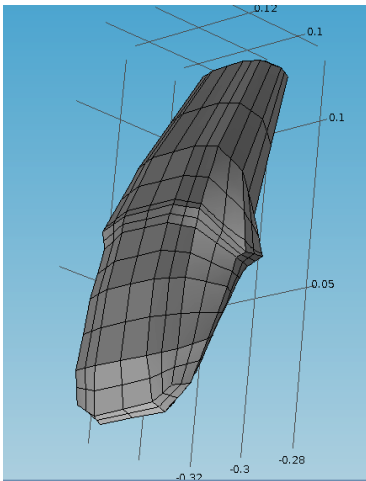


Рисунок 3

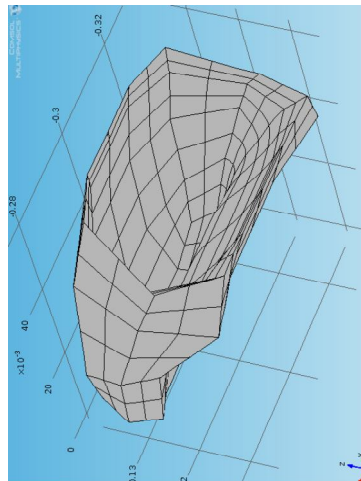


Рисунок 4

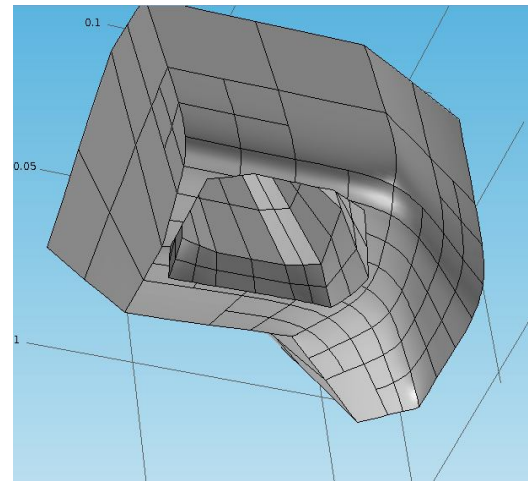


Рисунок 5

Створені моделі анатомічних елементів інтегрували в програму для комп'ютерного математичного моделювання. У дослідженні використовували обчислення методом скінченних елементів і вводили такі величини та значення: модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона і густину тіла.

Модуль Юнга (англ. Young's modulus, modulus of elasticity) — це характеристика пружних властивостей ізотропних матеріалів, один із модулів пружності. Позначається модуль Юнга латинською літерою  $E$ , вимірюється в паскалях (Па), мегапаскалях (МПа) або в гігапаскалях (ГПа). Часто називають його просто модулем пружності.

$$\sigma = \frac{F}{S} = E \cdot \frac{\Delta l}{l} = E \epsilon$$

Модуль Юнга встановлює зв'язок між деформацією розтягу й механічним напруженням, направленим на розтяг, де механічне напруження  $\sigma$  визначається як сила на одиницю поперечного

перерізу тіла,  $\epsilon$  - величина деформації, тобто відносне видовження. Проте ця формула дійсна тільки при малих пружних деформаціях.

Коефіцієнт Пуассона — це міра зміни поперечних розмірів ізотропного тіла при деформації розтягу. Коефіцієнт Пуассона є характеристикою речовини. Він позначається грецькою літерою  $\nu$  або грецькою літерою  $\mu$  і є величиною безрозмірною.

Густина (питома маса) — маса тіла одиничного об'єму, є фізичною характеристикою будь-якої речовини, з якої складається тіло. Для випадку однорідних тіл густина визначається як відношення маси тіла до об'єму, який воно займає.

Характеристики матеріалів для обчислення напружено-деформованого стану були абсолютно ідентичними до тканин зуба й альвеоли кістки (табл.1).

Таблиця 1

	Кістка	Дентин	Емаль
Модуль Юнга, МПа	4900	17500	81000
Коефіцієнт Пуассона	0,3	0,28	0,3
Густина, кг/м <sup>3</sup>	2000	2180	2950

До кожної з моделей прикладали силу в різних площинах відповідно до оклюзійних рухів: у сагітальній площині – вперед, сила 100Н; у горизонтальній – трансверзальні рухи, сила 120Н; у вертикальній – при змиканні зубних рядів, сила 400Н. Розрахунок величини сили проводили за

середньостатистичними показниками площі поперечного перерізу жувальних м'язів, що беруть участь у рухах нижньої щелепи. Також зазначимо, що ці величини є критичними і максимально можливими.

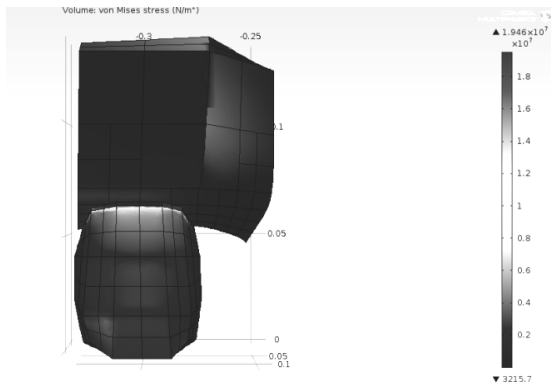


Рисунок 6

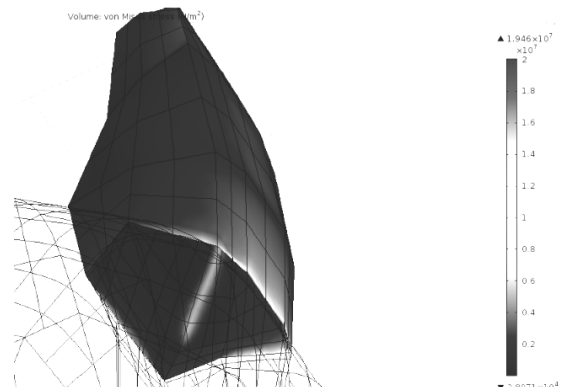


Рисунок 7

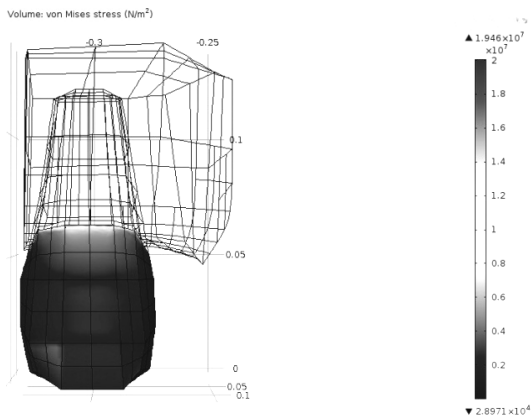


Рисунок 8

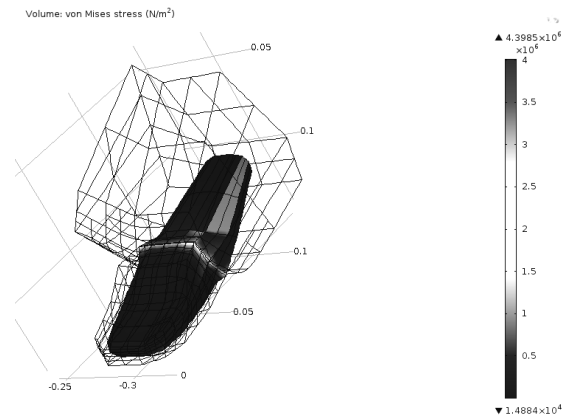


Рисунок 9

Напружено-деформований стан тканин центрального різця верхньої щелепи і кісткової

альвеоли при критичному навантаженні 400Н у фронтальній площині (рисунки 6,7,8,9).

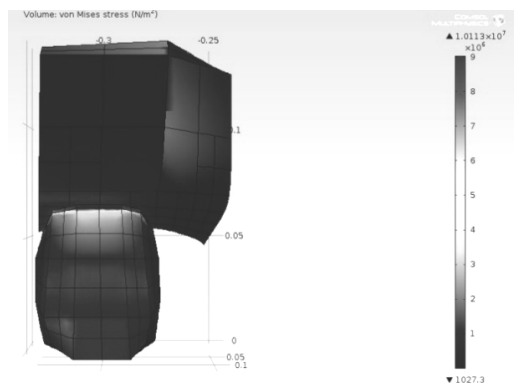


Рисунок 10

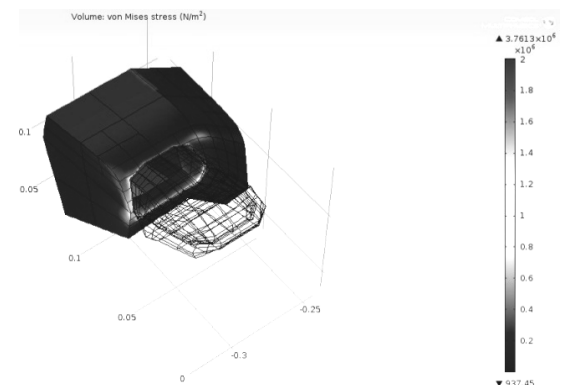


Рисунок 11

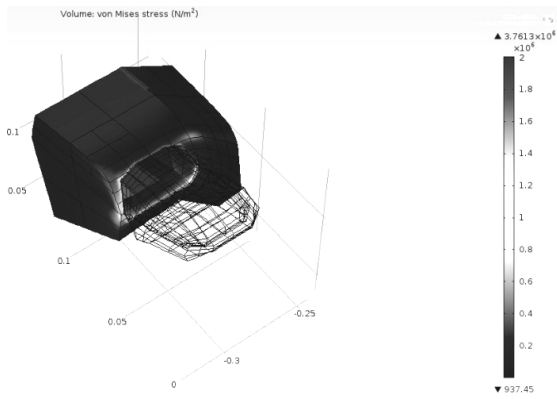


Рисунок 12

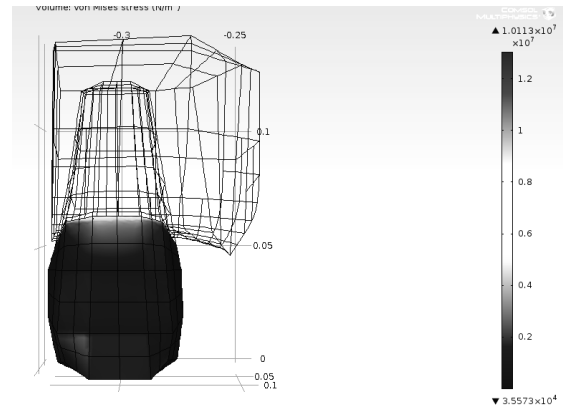


Рисунок 13

Напружено-деформований стан тканин центрального різця верхньої щелепи і кісткової

альвеоли при критичному навантаженні 100Н у сагітальній площині (рисунки 10,11,12,13).

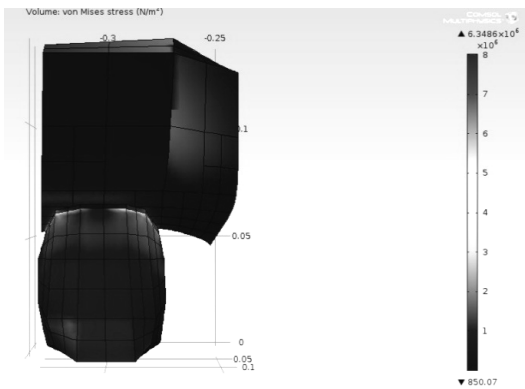


Рисунок 14

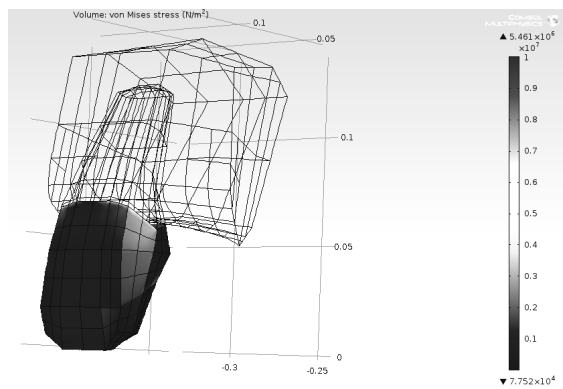


Рисунок 15

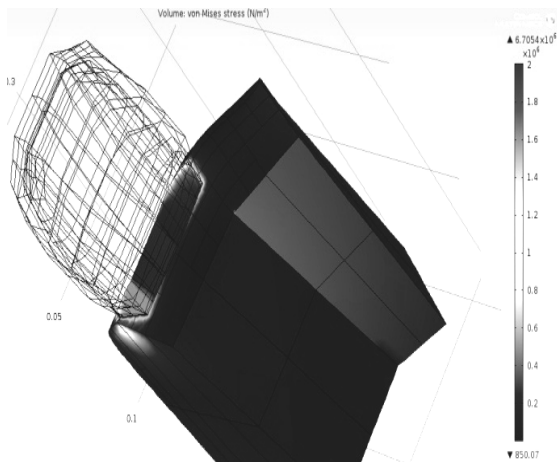


Рисунок 16

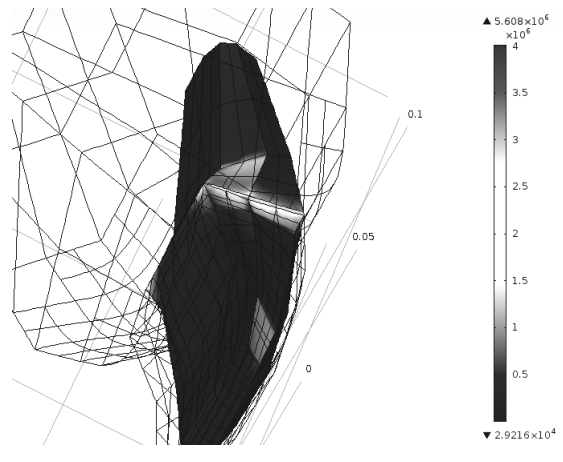


Рисунок 17

Напружено-деформований стан тканин центрального різця верхньої щелепи і кісткової альвеоли при критичному навантаженні 120Н у горизонтальній площині (рисунки 14,15,16,17).

спрощує вибір ортопедичної конструкції та має велике прогностичне значення.

### Висновки

Побудова тривимірних моделей зубів і тканин пародонта допомагає детально зрозуміти суть процесів, що виникають у зубощелепній системі під час її функціонування, виміряти величини стресів, напружень і деформацій при оклюзійних співвідношеннях. Аналіз даних, отриманих за допомогою математичного моделювання, розширює можливість лікарів-стоматологів на різних етапах функціональної реабілітації пацієнтів,

### Література

1. Петришин С. В. Клініко-діагностичні аспекти комплексного лікування хворих із патологічним стиранням твердих тканин зубів на фоні захворювань тканин пародонта, дефектів зубних рядів і вторинних деформацій / С. В. Петришин, З. Р. Ожоган, В. М. Павлюк // Український стоматологічний альманах. - 2012. - № 2(2). - С. 96.
2. Козак Р. В. Особливості протезування пацієнтів із патологічною стертістю зубів керамічними вкладками : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. мед. наук: спец. 14.01.22 «Стоматологія» / Р. В. Козак. – Полтава, 2008. – 23 с.

3. JOLT H.-J. Short ways – big action (dental dialogue, 10, 1/2009, S. 104 – 118
4. REISHA N. Rafeek, WILLIAM A.J. SMITH DDS, KEVIN G. SEYMOUR, LIFONG F. ZOU, DAYANANDA Y.D. SAMARAWICKRAMA. Taper of Full-Veneer Crown Preparations by Dental Students at the University of the West Indies// Journal of Prosthodontics, Volume 19, Issue 7, p 580–585, October 2010.
5. LUCKA. CH., Frontzahnasthetik – welches Gerustmaterial? // Dental dialogue, 10, 7/2009, S. 108 – 111. [in Deutsch]
6. BINDER J.R., GESSWEIN H. Fabrication of net shape reaction bonded oxide ceramics// Journal of the European Ceramic Society (Impact Factor: 2.31). 01/2006; 26(4): p. 697-702.
7. CLAUSSEN N. Low-shrinkage reaction-bonded alumina// Journal of The European Ceramic Society - J EUR CERAM SOC 01/1989; 5(1): p. 29-35.
8. Шмідзедер Йозеф. Естетична стоматологія: кольоровий атлас; перекл. з англ. – Львів: ГалДент, 2005.- 312 с., 952 іл.
9. MAGNE P., BELSER U. Bonded Porcelain Restorations in the Anterior Dentition: A Biomimetic Approach. Quintessence Publishing Company, 2002, 406 p.

**Стаття надійшла  
10.11.2018**

### Резюме

Комплексний підхід до реставрації зубів містить у собі не тільки компонент естетики, а й забезпечення функціональної ефективності та надійної фіксації ортопедичної конструкції, що особливо актуально для пацієнтів із патологією пародонта.

Мета роботи – створити віртуальну модель зуба з тканинами пародонта і визначити величини напружень, стресів та деформацій, що виникали при різних оклюзійних співвідношеннях.

Для розуміння процесів, що виникають у зубощелепній системі під час різних оклюзійних співвідношень, методами 3D і комп'ютерного моделювання насамперед звертали увагу на стан дентину та емалі натуральних зубів, а також стан кістки. У дослідженні використовували обчислення методом скінченних елементів і визначали величини та значення модуля Юнга, коефіцієнта Пуассона і густини тіла для емалі та дентину зубів, а також для кісткової тканини альвеоли.

Побудова тривимірних моделей зубів і тканин пародонта допомагає детально зрозуміти суть процесів, що відбуваються в зубощелепній системі під час її функціонування, виміряти величини стресів, напружень і деформацій при оклюзійних співвідношеннях. Аналіз даних, отриманих за допомогою математичного моделювання, розширює можливості лікарів-стоматологів на різних етапах функціональної реабілітації пацієнтів, спрощує вибір ортопедичної конструкції та має велике прогностичне значення. У майбутньому отримані моделі та застосовані методи стануть базовими в більш якісному плануванні лікування і виборі ортопедичних конструкцій.

**Ключові слова:** 3D-модель, математичне моделювання, модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона.

### Резюме

Комплексный подход к реставрации зубов содержит в себе не только компонент эстетики, но и обеспечение функциональной эффективности и надежной фиксации ортопедической конструкции, что особенно актуально для пациентов с патологией пародонта. Целью работы было создать виртуальную модель зуба с тканями пародонта и определить величины напряжений, стрессов и деформаций, которые возникали при различных окклюзионных соотношениях. Для понимания процессов, возникающих в зубочелюстной системе при различных окклюзионных соотношениях, методами 3D и компьютерного моделирования в первую очередь обращали внимание на состояние дентина и эмали натуральных зубов, а также состояние кости. В исследовании использовали вычисления по методу конечных элементов и определяли величины и значения модуля Юнга, коэффициента Пуассона и плотности тела для эмали и дентина зубов, а также для костной ткани альвеолы.

Построение трехмерных моделей зубов и тканей пародонта помогает детально понять суть процессов, возникающих в зубочелюстной системе при ее функционировании, измерить величины стрессов, напряжений и деформаций при окклюзионных соотношениях. Анализ данных, полученных с помощью математического моделирования, расширяет возможности стоматологов на разных этапах функциональной реабилитации пациентов, упрощает выбор ортопедической конструкции и имеет большое прогностическое значение. В будущем полученные модели и примененные методы станут базовыми в более качественном планировании лечения и выборе ортопедических конструкций.

**Ключевые слова:** 3D-модель, математическое моделирование, модуль Юнга, коэффициент Пуассона.

UDC: 616.314-007:616.716.85-007.23]-089.28:615.462/.464

## DIGITAL EXAMINATION METHODS OF ANATOMICAL ELEMENTS OF MASTICATORY SYSTEM AND BASIC OCCLUSION RELATIONSHIPS

*R.M. Stupnytskyi, V.R. Yarychkivskyi\**

Ivano-Frankivsk National Medical University.

\*Danylo Halytskyi Lviv National Medical University

### Summary

In the modern world, dentistry has achieved a significant possibilities in aesthetic and functional restoration of teeth and dental arches thanks to modern computer technologies. Every day, the latest developments in the dental industry, such as CAD-CAM systems, clinical and laboratory scanners, 3D printers, microscopes, become indispensable attributes of dental institutions. Modern equipment expands the capabilities of dentists in the diagnosis of pathologies of the masticatory system, greatly facilitates the choice of an optimal plan of prosthetic treatment and allows to have a good quality of rehabilitation of patients. An individual place in the concept of treatment relates to variety of software that allows to make a treatment plan and predict its results.

**Objective.** To create a virtual model of the tooth with periodontal tissues and determine the theoretical aspects, conditions and parameters of its application in examination stresses and deformations that arise in different occlusion relationships.

**Methods and materials.** 3D modeling is a method of creating various forms and complexity of three-dimensional computer models of real or fantastic objects of the world with the use of various techniques and mechanisms.

Autodesk 3ds MAX (3D Studio MAX) and a polygonal modeling method were used to create 3D models. Mathematical simulation (mathematical modeling) is a method of studying processes or phenomena by creating their mathematical models and studying these models. The method is based on the identity of the form of equations and the uniqueness of the relations between the variables in the equations of the original and the model, that is, their analogy.

Mathematical modeling allows you to replace real objects with its virtual model and then study the last one. As with any simulation, the mathematical model is designed taking into account the physical characteristics of the original object.

Mathematical modeling is carried out in Comsol Multiphysics 4.2a software program ("Comsol AB" (Sweden)).

For creation of the three-dimensional model, we chose the frontal area of the upper jaw. The model was created by the polygonal modeling method, taking into account the anatomical parameters of natural teeth and periodontal tissues (Autodesk 3Ds Max software). The size of the teeth, the thickness and shape of the bone tissue contours, the magnitude of the deflection of the tooth axis and the alveolar appendix and the thickness of the mucosa were modeled in accordance to the average parameters.

The created models of anatomical elements were later integrated into the program for computer mathematical modeling. During the study we used the finite element method and entered the following values: Young's modulus, Poisson's coefficient and body density.

Characteristics of the materials for calculating the stress-strain state were absolutely identical to the tissues of the tooth and bone. Each model applied forces in different planes according to occlusal movements: in sagittal plane - forward, force 100 N; in horizontal - transversal movements, force 120N; in the vertical - the force is 400 N. The calculation of the magnitude of force was carried out according to the average statistics of the cross-sectional area of masticatory muscles involved in the movements of the mandible. We also note that these values are critical and maximally possible.

**Conclusion:** The construction of three-dimensional models of teeth and tissues of periodontium helps to understand in detail the essence of processes occurring in the masticatory system during its functioning, to measure stresses, strains and deformations during occlusion relationships. Analysis of the data obtained with the help of mathematical modeling improves the capabilities of dentists at different stages of functional rehabilitation of patients, simplifies the choice of orthopedic design and has a significant predictive value.

**Keywords:** 3D model, mathematical modeling, Young modulus, Poisson coefficient.