

Университетская СТОМАТОЛОГИЯ

и челюстно-лицевая хирургия

Acta Universitatis Dentistriae et Chirurgiae Maxillofacialis



Том
Volume 2

2024

Выпуск
Issue 3

УНИВЕРСИТЕТСКАЯ СТОМАТОЛОГИЯ И ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВАЯ ХИРУРГИЯ

2024. Том 2. Выпуск 3

<https://journals.eco-vector.com/unistom>

УЧРЕДИТЕЛИ

- ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова»
- ООО «Эко-Вектор»

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор»

Адрес: 191181, Санкт-Петербург,
Аптекарский переулок, д. 3, литера А,
помещение 1Н
E-mail: info@eco-vector.com
WEB: <https://eco-vector.com>
тел. +7(812)648-83-67

Журнал зарегистрирован Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
свидетельство о регистрации СМИ
ЭЛ № ФС 77-85457 от 13 июня 2023 г.

Выходит 4 раза в год

РЕДАКЦИЯ

Адрес: 195298, Санкт-Петербург,
Заневский пр., д. 1/82, литера А
тел.: +7 (812) 303-50-00 (2174, 2576)
E-mail: unistom23@yandex.ru
<https://journals.eco-vector.com/unistom>

ИНДЕКСАЦИЯ

- РИНЦ

Оригинал-макет изготовлен
ООО «Эко-Вектор».

Ген. директор: Е.В. Щепин
Выпускающий редактор: Н.Н. Репьева
Корректор: И.В. Смирнова
Верстка: В.А. Еленин
Подписано в печать 11.10.2024
Выход в свет 25.10.2024

Главный редактор

Роман Александрович Фадеев, д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии, ортодонтии и гнатологии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, Россия)

Научный редактор

Наталья Серафимовна Рабакидзе, д-р мед. наук, доцент, профессор кафедры ортопедической стоматологии, ортодонтии и гнатологии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, Россия)

Редакционная коллегия

Николай Николаевич Белоусов, д-р мед. наук, доцент, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии, Тверской государственный медицинский университет (Тверь, Россия)

Геннадий Александрович Гребнев, д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург, Россия)

Сергей Владимирович Дмитриенко, д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии и ортодонтии, Волгоградский государственный медицинский университет (Волгоград, Россия)

Лариса Петровна Кисельникова, д-р мед. наук, профессор, заведующая кафедрой детской стоматологии, Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова (Москва, Россия)

Валерий Константинович Леонтьев, академик РАН, д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры челюстно-лицевой хирургии, Российский университет медицины (Москва, Россия)

Леонид Семенович Персин, член-корр. РАН, д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой ортодонтии, Российский университет медицины (Москва, Россия)

Сергей Александрович Попов, д-р мед. наук, профессор, врач-ортодонт стоматологической поликлиники № 9 (Санкт-Петербург, Россия)

Михаил Александрович Постников, д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой терапевтической стоматологии, Самарский государственный медицинский университет (Самара, Россия)

Сергей Петрович Рубникович, д-р мед. наук, профессор, ректор, Белорусский государственный медицинский университет (Минск, Белоруссия)

Елена Александровна Сатыго, д-р мед. наук, доцент, директор института стоматологии, заведующий кафедрой детской и терапевтической стоматологии им. Ю.А. Фёдорова, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, Россия)

Аркадий Владимирович Севастьянов, д-р мед. наук, доцент, профессор кафедры стоматологии, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет (Санкт-Петербург, Россия)

Михаил Георгиевич Семенов, д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии им. А.А. Лимберга, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, Россия)

Дмитрий Евгеньевич Суetenков, канд. мед. наук, доцент, заместитель декана стоматологического факультета, Российский государственный социальный университет (Москва, Россия)

Татьяна Борисовна Ткаченко, д-р мед. наук, профессор, декан стоматологического факультета, заведующий кафедрой стоматологии детского возраста и ортодонтии, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова (Санкт-Петербург, Россия)

Сергей Борисович Фицев, д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры стоматологии, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет (Санкт-Петербург, Россия)

Наталья Вячеславовна Шаковец, д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры стоматологии детского возраста, Белорусский государственный медицинский университет (Минск, Белоруссия)

Марина Анатольевна Чибисова, д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры клинической стоматологии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, Россия)

Андрей Ильич Яременко, д-р мед. наук, профессор, проректор по учебной работе, заведующий кафедрой хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова (Санкт-Петербург, Россия)

Редакционный совет

Наталья Васильевна Вишнёва, канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова (Санкт-Петербург, Россия)

Анастасия Николаевна Ланина, канд. мед. наук, доцент кафедры ортопедической стоматологии, ортодонтии и гнатологии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, Россия)

Константин Александрович Овсянников, канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры ортопедической стоматологии, ортодонтии и гнатологии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, Россия)

Василий Валерьевич Паршин, канд. мед. наук, ассистент кафедры ортопедической стоматологии, ортодонтии и гнатологии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, Россия)

Александр Леонидович Рубежов, канд. мед. наук, доцент, заведующий кафедрой клинической стоматологии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, Россия)

Владимир Владимирович Тимченко, канд. мед. наук, доцент кафедры ортопедической стоматологии, ортодонтии и гнатологии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, Россия)

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. К публикации принимаются только статьи, подготовленные в соответствии с правилами для авторов. Направляя статью в редакцию, авторы принимают условия договора публичной оферты. С правилами для авторов и договором публичной оферты можно ознакомиться на сайте: <https://journals.eco-vector.com/unistom>. Полное или частичное воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения издателя — издательства «Эко-Вектор».



Medical scientific
peer-reviewed journal

The journal was founded in 2023

ISSN 3034-297X (Online)

ACTA UNIVERSITATIS DENTISTRIAE ET CHIRURGIAE MAXILLOFACIALIS 2024. Volume 2. Issue 3

<https://journals.eco-vector.com/unistom>

FOUNDERS

- North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov
- Eco-Vector

PUBLISHER

Eco-Vector

Address: 3A, Aptekarskiy lane,
office 1N, Saint Petersburg,
191181, Russia
E-mail: info@eco-vector.com
WEB: <https://eco-vector.com>
Tel: +7(812)648-83-67

EDITORIAL

Address: A, 1/82, Zanevsky prospect,
Saint Petersburg, 195298, Russia
Tel: +7 (812) 303-50-00 (2174, 2576)
E-mail: unistom23@yandex.ru
<https://journals.eco-vector.com/unistom>

Published 4 times a year

INDEXATION

- Russian electronic library

Reference to

Acta Universitatis Dentistriae
et Chirurgiae Maxillofacialis
is mandatory

EDITOR-IN-CHIEF

Roman A. Fadeev, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Orthopedic Dentistry, Orthodontics and Gnathology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (St. Petersburg, Russia)

SCIENTIFIC EDITOR

Natalya S. Robakidze, MD, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Professor of the Department of Orthopedic Dentistry, Orthodontics and Gnathology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, (St. Petersburg, Russia)

EDITORIAL BOARD

Nikolay N. Belousov, MD, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Orthopedic Dentistry, Tver State Medical University, (Tver, Russia)

Gennady A. Grebnev, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Maxillofacial Surgery and Surgical Dentistry, S.M. Kirov Military Medical Academy (St. Petersburg, Russia)

Sergey V. Dmitrienko, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Orthopedic Dentistry and Orthodontics, Volgograd State Medical University (Volgograd, Russia)

Larisa P. Kisel'nikova, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Children Dentistry, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry (Moscow, Russia)

Valery K. Leontyev, MD, Dr. Sci. (Med.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Professor of the Department of Maxillofacial Surgery, Russian University of Medicine (Moscow, Russia)

Leonid S. Persin, MD, Dr. Sci. (Med.), corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Head of the Department of Orthodontics, Russian University of Medicine, (Moscow, Russia)

Sergey A. Popov, Dr. Sci. (Med.), Professor, orthodontist at the dental clinic No. 9 (St. Petersburg, Russia)

Mikhail A. Postnikov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Therapeutic Dentistry, Samara State Medical University (Samara, Russia)

Sergey P. Rubnikovich, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Rector, Belarusian State Medical University (Minsk, Belarus)

Elena A. Satyga, MD, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Director of the Institute of Dentistry, Head of the Department of Pediatric and Therapeutic Dentistry named after Yu.A. Fedorov, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (St. Petersburg, Russia)

Arkady V. Sevastyanov, MD, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Professor of the Department of Dentistry, St. Petersburg State Pediatric Medical University (St. Petersburg, Russia)

Mikhail G. Semenov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Maxillofacial Surgery and Surgical Dentistry named after A.A. Limberg, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (St. Petersburg, Russia)

Dmitriy E. Suetenkov, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Deputy Dean of the Faculty of Dentistry, Russian State Social University (Moscow, Russia)

Tatyana B. Tkachenko, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Dean of the Faculty of Dentistry, Head of the Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics, Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University (St. Petersburg, Russia)

Sergey B. Fishchev, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Dentistry, St. Petersburg State Pediatric Medical University (St. Petersburg, Russia)

Natalya V. Shakovets, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Pediatric Dentistry, Belarusian State Medical University (Minsk, Belarus)

Marina A. Chibisova, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Clinical Dentistry, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (St. Petersburg, Russia)

Andrey I. Yaremenko, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, Head of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University (St. Petersburg, Russia)

EDITORIAL COUNCIL

Nataliya V. Vishneva, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University (St. Petersburg, Russia)

Anastasiya N. Lanina, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Orthopedic Dentistry, Orthodontics and Gnathology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (St. Petersburg, Russia)

Konstantin A. Ovsyannikov, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Orthopedic Dentistry, Orthodontics and Gnathology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (St. Petersburg, Russia)

Vasily V. Parshin, MD, Cand. Sci. (Med.), Assistant of the Department of Orthopedic Dentistry, Orthodontics and Gnathology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (St. Petersburg, Russia)

Alexander L. Rubezhov, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Clinical Dentistry, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (St. Petersburg, Russia)

Vladimir V. Timchenko, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Orthopedic Dentistry, Orthodontics and Gnathology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (St. Petersburg, Russia)

The editors are not responsible for the content of advertising materials. The point of view of the authors may not coincide with the opinion of the editors. Only articles prepared in accordance with the guidelines are accepted for publication. By sending the article to the editor, the authors accept the terms of the public offer agreement. The guidelines for authors and the public offer agreement can be found on the website: <https://journals.eco-vector.com/unistom>. Full or partial reproduction of materials published in the journal is allowed only with the written permission of the publisher – the Eco-Vector publishing house.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРЫ

М.Г. Тумасян, С.Г. Тумасян, Е.А. Сатыго

Инновационное использование лазера в стоматологии 113

Н.В. Вишнёва, А.Н. Ланина, М.А. Жмайло, К.Р. Тимербулатова

Применение метода конечных элементов в ортогнатической хирургии 123

КЛИНИЧЕСКАЯ СТОМАТОЛОГИЯ И ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВАЯ ХИРУРГИЯ

Т.Д. Дмитриенко, В.Т. Ягупова, И.Н. Юхнов

Составные части угла нижней челюсти и их значение в клинической стоматологии 131

ПУБЛИКАЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Н.Д. Пирский, Р.А. Фадеев

Изучение действия модифицированного аппарата Гербста на нижнюю челюсть методом конечных элементов 141

ИСТОРИЯ МЕДИЦИНЫ

Р.А. Фадеев, А.В. Кузнецов

Основные этапы развития зубоврачевания и зубного протезирования с древних времен до начала XX века 151

CONTENTS

REVIEWS

M.G. Toumassian, S.G. Toumassian, E.A. Satygo

Innovative Laser Technology in Dentistry 113

N.V. Vishnyova, A.N. Lanina, M.A. Zhmaylo, K.R. Timerbulatova

Finite Element Method in Orthognatic Surgery 123

CLINICAL DENTISTRY AND MAXILLOFACIAL SURGERY

T.D. Dmitrienko, V.T. Yagupova, I.N. Yukhnov

Mandibular Angle Components and their Role in Clinical Dentistry 131

PUBLICATIONS OF YOUNG SCIENTISTS

N.D. Pirskaa, R.A. Fadeev

Effect of a Modified Herbst Appliance on the Mandible Assessed by the Finite Element Method 141

HISTORY

R.A. Fadeev, A.V. Kuznetsov

Key Stages of Dentistry and Prosthetic Dentistry Evolution: from Ancient Times to the Early 20th Century 151

DOI: <https://doi.org/10.17816/uds635366>

Innovative Laser Technology in Dentistry

Micheil G. Toumassian, Serge G. Toumassian, Elena A. Satygo

North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

In recent decades, laser technology has been widely used in medicine, particularly in dentistry, resulting in significant advancements in various aspects of clinical practice. Laser technology is becoming increasingly popular due to such characteristics as high accuracy, minimal invasiveness, and wide range of applications. The literature search was performed in the databases PubMed, Scopus, and Web of Science. The analysis included studies published in peer-reviewed journals, which assessed the use of laser technology in dentistry. The latest advancements and trends in the field were reviewed. The role of laser technology in the diagnosis, treatment, and regeneration of dental and periodontal tissues is discussed, as well as various types of lasers used in dentistry and their applications for dental procedures. The review revealed a wide range of laser technology applications in dentistry, including the diagnosis of dental caries, dental tissue preparation, endodontic treatment, periodontology, and esthetic dentistry. Laser technology ensures high accuracy, minimal thermal injury, and improved clinical outcomes compared to conventional treatment options. Laser technology opens up new opportunities in all aspects of dentistry and postoperative care. It improves the efficacy and comfort during various dental procedures. Advancements in this area provide new possibilities for the use of laser technology in dentistry in the future.

Keywords: laser; dental laser; laser diagnosis; treatment of oral pathologies; innovative approaches.

To cite this article

Toumassian MG, Toumassian SG, Satygo EA. Innovative Laser Technology in Dentistry. *Acta Universitatis Dentistriae et Chirurgiae Maxillofacialis*. 2024;2(3):113–122. DOI: <https://doi.org/10.17816/uds635366>

Received: 23.08.2024

Accepted: 05.09.2024

Published online: 10.10.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/uds635366>

Инновационное использование лазера в стоматологии

М.Г. Тумасян, С.Г. Тумасян, Е.А. Сатыго

Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

За последние десятилетия лазерные технологии получили распространение в медицинской практике, особенно в стоматологии, что привело к существенным изменениям в различных аспектах клинического применения. Рост использования лазеров в стоматологии обусловлен их характеристиками: высокой точностью, минимальной инвазивностью, широкими возможностями применения. Поиск литературы осуществлялся в базах данных PubMed, Scopus, Web of Science. В выборку были включены статьи, опубликованные в рецензируемых журналах и посвященные использованию лазерных технологий в стоматологии. Обзор охватывает последние достижения и тенденции в этой области. Рассматривается роль лазера в диагностике, лечении и регенерации тканей зуба и пародонта, различные типы лазеров, широко используемые в стоматологии, обсуждается их применение в стоматологических процедурах. Обзор выявил широкий спектр применения лазерных технологий в стоматологии, включая диагностику кариеса, препарирование тканей зуба, эндодонтическое лечение, пародонтологию, эстетическую стоматологию. Лазеры обеспечивают высокую точность, минимальное термическое повреждение и улучшенные клинические результаты по сравнению с традиционными методами лечения. Лазерные достижения открыли новые возможности во всех аспектах стоматологии и послеоперационного ухода. Лазеры способны улучшить эффективность и уровень комфорта различных стоматологических процедур. Исследования и разработки в этой области расширяют возможности применения лазерных технологий в стоматологии в будущем.

Ключевые слова: лазер; лазерная стоматология; лазерная диагностика; лечение заболеваний полости рта; инновационные методы.

Как цитировать

Тумасян М.Г., Тумасян С.Г., Сатыго Е.А. Инновационное использование лазера в стоматологии // Университетская стоматология и челюстно-лицевая хирургия. 2024. Т. 2, № 3. С. 113–122. DOI: <https://doi.org/10.17816/uds635366>

INTRODUCTION

Lasers have been widely employed in dentistry since their introduction in the 1960s. The term “laser” is an abbreviation for Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Thus, a laser can be defined as a device that generates light energy during light intensification by forced emission of electromagnetic radiation [1]. Photons in a laser beam are coherent, with phase amplification (standing wave) by radiation of a certain wavelength (monochromatic radiation). For more than two decades, lasers have been especially effective in dentistry due to the continuous wave mode [2]. Lasers are widely used in dentistry for a variety of procedures [3, 4] due to their simplicity, efficacy, and convenience, as well as other advantages over conventional techniques (such as non-contact action, minimal invasiveness, low systemic toxicity, selective action on abnormal tissues, hemostasis, faster healing, and lower risk of postoperative infections). They can be used for diagnostic tests and work with hard tissues, as well as during surgeries and for the treatment of dental materials [5]. Lasers are used in conservative dentistry, endodontic treatment, periodontology, implantology, dental surgery, and so on [6].

STUDY AIM. To review modern applications of lasers in dentistry, including the role of lasers in the diagnosis, treatment, and regeneration of dental and periodontal tissues, various types of lasers used in dentistry, and their use during dental treatment procedures.

MATERIALS AND METHODS

The review was based on a search of relevant Russian and international literature in the leading scientific databases PubMed, Scopus, and Web of Science. The review included original studies, review articles, and case reports. Relevant articles were identified using the following search terms: laser dentistry, dental laser, laser application in dentistry, laser therapy in dentistry, innovative laser technology in dentistry, laser classification, etc. Peer-reviewed articles were included. The review allowed identifying the key areas of laser application in dentistry and assessing the efficacy and safety of laser technology, as well as the prospects for laser dentistry development in the near future.

RESULTS AND DISCUSSION

Classification of lasers

Lasers in dentistry can be classified by the active medium, which includes solid-state, diode, gas, and semiconductor lasers. Moreover, they can be classified by wavelength, which includes erbium lasers, neodymium-doped yttrium aluminum garnet (Nd:YAG) lasers, carbon

dioxide (CO₂) lasers, and argon lasers. Lasers can also be classified by their application: for example, there are soft tissue lasers for procedures such as gum contouring and hard tissue lasers for cavity preparation and tooth ablation. Furthermore, lasers can be classified by damage to the skin or eyes after prolonged exposure. In complex cases, combinations of different wavelengths ensure the high efficacy of dental treatment [7].

In dentistry, laser radiation is generated using a variety of substances such as erbium, carbon dioxide, and neodymium. Moreover, various combinations are used, such as yttrium aluminium garnet (YAG) and yttrium scandium gallium garnet (YSGG), as well as excimer, argon, and diode lasers. Each of them emits light of a specific wavelength [8]. Table 1 presents the classification of lasers according to their wavelength and the effect on target tissues.

Lasers as a diagnostic tool

Dental probing, the conventional method of diagnosing dental caries, can damage the enamel and cause caries. Diode lasers, such as the KaVo-Diagnodent (KaVo, Germany) with a wavelength of 655 nm, can be used as an alternative diagnosis method. These lasers enable early detection of dental caries by laser-induced fluorescence. Dental cavities emit a stronger fluorescence, making it possible to accurately determine their location. Moreover, this method allows for the monitoring of hard tooth tissue demineralization and remineralization, as well as the detection of interproximal and occlusal lesions under fillings and fissure sealants in the interdental space.

Laser Doppler flowmetry, which is based on the Doppler effect, is a modern additional tool for diagnosing microcirculatory disorders in periodontal tissues. A flowmeter can probe the examined area by reflecting laser radiation emitted by blood cells, particularly red blood cells [11]. This method allows assessing the vascular permeability in periodontal tissues and detecting early tissue ischemia, which may result from abnormal dentition (crowding) or orthodontic treatment. Tissue ischemia is caused by microcirculatory disorders, which result in inadequate oxygen supply and, eventually, periodontal tissue damage [12]. Moreover, this method enables assessing the revascularization of damaged teeth. He-Ne and GaAlAs diode lasers are used, with a low power of 1 or 2 mW [13].

Advancements in laser-induced fluorescence technologies have resulted in a new diagnostic tool: Raman spectroscopy [14]. Raman spectroscopy identifies organic molecules using inelastic light scattering spectra. It is one of the most precise analytical procedures for organic and inorganic compounds. Raman radiation can be used to assess both healthy and damaged teeth; it allows determining the degree of hard tissue mineralization or demineralization.

Table 1. Wavelength of applied laser radiation and the target tissue
Таблица 1. Длина волны используемого лазерного излучения и ткань, на которую оно направлено

Laser type	Wavelength, nm Pulse mode	Chromophores used	Target tissue
Diode laser	850–1064	Pigment	Gum, mucous membranes
		Hemoglobin	
Neodymium-doped yttrium aluminum garnet (Nd:YAG) laser	1064	Melanin	Gum, mucous membranes
		Pigment	
		Hemoglobin	
Erbium laser (Er:YAG)	2940	Melanin	Enamel, dentin, bone
		Water	
Solid-state lasers (Er, Cr:YSGG)	2860	Hydroxyapatite	Enamel, dentin, bone
		Water	
		Hydroxyapatite	
Carbon dioxide (CO ₂)	10 640	Water	Gum, mucous membranes
			Enamel, dentin, bone

Advantages of lasers in dentistry

Unlike conventional surgical techniques, laser treatment of blood and lymphatic tumors of the oral cavity and vermilion ensures effective healing without anatomical changes [18]. The tissue biopotential of specific laser wavelengths ensures successful ablation of painful areas of the mucosa in lichenoid diseases [19]. Laser light can effectively disinfect infected areas of the oral cavity and successfully treat viral tumors [20]. Moreover, lasers offer numerous advantages in orthopedic surgery. Laser treatment does not require postsurgical sutures, thus preventing deformation of surgical sites and preserving the length of the vestibular system. In patients with removable dentures, laser treatment of tumors or gingival hyperplasia also does not require wound suturing, thus preserving (and in some cases extending) the length of the vestibular system, which is critical for denture stability and fixation [21].

In dental surgery, diode lasers are considered the best option due to their wide range of applications, high reliability, and intuitive control. A diode laser with a wavelength of 810 nm can significantly improve the outcomes of surgical treatment in patients with various oral and maxillofacial pathologies, including precancer conditions, tumors, and inflammations [22, 23].

Clinical and immunological evidence suggests that laser therapy activates the body’s local defense mechanisms by stimulating secretory, humoral, and cell factors. Moreover, the analysis of peripheral white blood cell populations shows the absence of inflammation, intoxication, and immunodeficiency following laser treatment [24].

According to research findings, diode lasers in combination therapy of periodontal inflammation improve quality of life due to decreased intensity of pain, absence of functional limitations, short rehabilitation and recovery period, and much shorter treatment duration [25, 26].

Laser treatment of hard tooth tissues (enamel and dentin)

Lasers can remove infected and softened dentin in dental caries just as well as dental drills. However, Er:YAG lasers ensure a lower vibration exposure. They provide effective and safe removal of dental caries and cavity preparation, preserving the tooth structure without increasing the temperature around the nerve. Moreover, they can safely remove defective composite restorations and cement [27].

A strong fluorescent signal of bacterial porphyrins in dental calculus allows for the effective use of Er:YAG lasers for scaling. These lasers effectively eliminate bacteria, including pathogens of periodontal disease such as *Porphyromonas gingivalis* and *Actinobacillus actinomycetemcomitans* [28].

In 1999, YSGG lasers were approved for the treatment of class I–V cavities and removal of dental caries; shortly thereafter, they were also approved for these procedures in children. Moreover, the majority of hard tissue procedures do not require injection anesthesia, as a laser acts on the cell level and suppresses the pain response.

YSGG lasers provide high-precision treatment of pits and fissures on the occlusal surfaces of molars, promoting the development of micro- and minimally invasive dentistry [29].

Lasers have recently become widely used for the prevention of dental caries on sub-ablation levels, where the energy is sufficient for changes in enamel structure but insufficient for tissue ablation. In the early 1980s, it was discovered that laser radiation can alter the structure of surface enamel tissues. An interaction between a laser and the enamel on sub-ablation levels results in a rapid increase in surface temperature from 100°C to 1,600°C, causing alterations in tissue structure [30].

Laser radiation interacts with water and hydroxyapatite, which are enamel chromophores. Following radiation exposure, the water content in the enamel decreases, especially around hydroxyapatite crystals, reducing tissue permeability, which includes the entry of acids produced by dental caries bacteria. Moreover, radiation alters the chemical composition of hydroxyapatite, increasing the amounts of calcium and phosphate while decreasing the amount of carbonate. These alterations improve the chemical stability of hydroxyapatite, increasing its crystallinity and improving the structural properties of the enamel [31].

Lasers have demonstrated additional advantages *in vitro*, such as increased fluorine uptake by the enamel and improved sealant fixation when used in combination with an acid gel for enamel pit and fissure etching [32].

Lasers increase the efficacy of endodontic treatment by emitting radiation that effectively disinfects the endodontic system and removes debris and smear layers from the root canal. Lasers emit heat, which provides high bactericidal activity, resulting in the evaporation of water, which is found in large amounts in bacterial cells. This destroys the bacterial cell wall and eventually disrupts the osmotic equilibrium, leading to cell death. Dentinal tubules have a small diameter, limiting antiseptic liquid penetration to a depth of 100 nm, while microorganisms can enter dentin to a depth of up to 700 nm. Lasers can solve this problem, as their penetrating capacity exceeds these limitations [8, 33].

Use of VistaCam intraoral cameras

The use of near-infrared reflection (NIRR) for the diagnosis of approximal caries in posterior teeth has recently become the focus of growing interest. Fluorescence-technology based VistaCam iX and VistaCam iX HD cameras (Dürr Dental, Germany) have been developed for this purpose. These cameras are multifunctional: they have attachments for intraoral images (Cam), optimal 120x magnification images (Macro), diagnosis of caries of proximal tooth surfaces (Proxi), and diagnosis of caries and dental plaque (Proof) [34]. The device has two infrared emitting diodes with a wavelength of 850 nm, a power output of 6 mW, and a light spot of 7 × 9 mm to illuminate adjacent portions of two teeth. A semiconductor sensor is installed between the infrared emitting diodes to record reflected light. After that, a digital image

is made and displayed on the monitor in a black-and-white mode, using imaging software DBSWIN or VistaSoft (Dürr Dental, Germany) [35].

Ahrari et al. found that the Proxi attachment of the VistaCam iX system had high sensitivity for detecting early approximal caries in permanent posterior teeth; however, its use was associated with a significant number of false positive results and a very low specificity [36]. Thus, NIRR is not suitable for the detection of approximal surfaces without caries. Overall, NIRR showed low accuracy in the detection of approximal caries. When detecting approximal caries in permanent posterior teeth, laser-induced fluorescence outperformed NIRR in terms of diagnostic accuracy. However, the authors concluded that VistaCam iX Proxi cannot be considered suitable for the diagnosis of approximal caries.

Use of quantitative light-induced fluorescence

Quantitative light-induced fluorescence (QLF) is widely used in dentistry to assess the enamel state during various procedures. It allows for a quick, objective assessment of oral hygiene, as well as monitoring of enamel demineralization and remineralization over time without damaging the enamel. QLF provides dentists and dental hygienists with new opportunities by ensuring early detection of pathologies, enamel assessment, dental plaque detection without staining, detection of hidden caries, tooth cracks, and dental calculus, and assessment of oral hygiene [37]. According to Lytkina and Zeibert [38], QLF is a more informative approach to the diagnosis of dental caries than conventional techniques (visual examination and probing). QLF increased the detection rate of dental caries by 17%.

Lasers in the treatment of oral mucosa and temporomandibular joint dysfunction

Tiunova and Lyubomirsky [39] presented data on laser treatment of oral mucosa. The study showed that the use of a diode laser with a wavelength of 810 nm for laser thermoablation, in combination with a collagen-based product in the postoperative period, during combination treatment of verrucous leukoplakia provided good clinical outcomes: complaints resolved, and epithelialization was observed during follow-up examination.

Puzin et al. [40] performed treatment in 175 patients with temporomandibular joint dysfunction. Pain is one of the primary symptoms of this disorder; in some cases, it is accompanied by jaw popping or limited jaw movement. The treatment included orthopedic therapy, drug therapy, and physiotherapy approaches, such as laser diagnosis and helium-neon laser therapy. This combination therapy effectively decreased the severity of pain and promoted masseter muscle recovery. Moreover, the helium-neon laser allowed the detection of trigger points and provided effective treatment of myofascial pain.

CONCLUSION

The use of lasers in dentistry is an effective, modern approach to the treatment of oral pathologies. Laser therapy offers numerous advantages, including no bleeding, minimum pain and discomfort, fast tissue healing, and no risk of infection. Lasers provide a highly accurate and mild impact on affected areas while preserving healthy tissues.

Laser technologies in clinical dentistry are highly advanced and offer the potential for further development. Laser-induced photochemical reactions have a wide range of potential applications, including effects on specific pathogens and cells. The wide use of lasers will dramatically change treatment planning in dentistry in the near future. This technology has changed the approach to dentistry by improving comfort and efficacy of treatment, as well as by providing quick results and increasing the predictability of treatment outcomes.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study. The contribution of

each author: M.G. Toumassian — gas chromatography–mass spectrometry, data analysis, writing the main part of the text; S.G. Toumassian — experimental design, collecting and preparation of samples, writing the main part of the text; E.A. Satygo — preparation of samples.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора: М.Г. Тумасян — хроматографическое исследование, анализ полученных данных, написание текста; С.Г. Тумасян — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материалов, написание текста; Е.А. Сатыго — обработка материалов.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

REFERENCES

1. Cotler HB, Chow RT, Hamblin MR. The use of low level laser therapy (LLLT) for musculoskeletal pain. *MOJ Orthop Rheumatol*. 2015;2(5):188–194. doi: 10.15406/mojor.2015.02.00068
2. Verma SK, Maheshwari S, Singh RK, Chaudhari PK. Laser in dentistry: An innovative tool in modern dental practice. *Nat J Maxillofac Surg*. 2012;3(2):124–132. doi: 10.4103/0975-5950.111342
3. Bazikyan EA, Chunikhin AA, Syrnikova NV, et al. Clinical application of a new laser device in dental practice. *Journal of new medical technologies, E-edition*. 2020;(4):6–10. EDN: VRPORH doi: 10.24411/2075-4094-2020-16652
4. Saltzman B, Sigal M, Clokie C, et al. Assessment of a novel alternative to conventional formocresol-zinc oxide eugenol pulpotomy for the treatment of pulpally involved human primary teeth: diode laser-mineral trioxide aggregate pulpotomy. *Int J Paediatr Dent*. 2005;15(6):437–447. doi: 10.1111/j.1365-263x.2005.00670.x
5. Tzanakakis E-GC, Skoulas E, Pepelassi E, et al. The use of lasers in dental materials: A review. *Materials*. 2021;14(12):3370. doi: 10.3390/ma14123370
6. Pagano S, Lombardo G, Orso M, et al. Lasers to prevent dental caries: a systematic review. *BMJ Open*. 2020;10(10):e038638. doi: 10.1136/bmjopen-2020-038638
7. Imre MM, Celebidache A, Totan A, Tancu AMC. The use of dental lasers in new therapeutic approaches. *Rom J Stomatol*. 2019;65(3):254–257. doi: 10.37897/rjs.2019.3.3
8. Trishin MV. Laser application in endodontics. *Derzhavin forum*. 2020;4(15):208–214. EDN: UJYWTC
9. Tam LE, McComb D. Diagnosis of occlusal caries: Part II. Recent diagnostic technologies. *J Can Dent Assoc*. 2001;67(8):459–464.
10. Hedge MN, Garg P, Hedge ND. Lasers in dentistry: an unceasing evolution. *J Otolaryngol Ent Res*. 2018;10(6):422–448. doi: 10.15406/joentr.2018.10.00395
11. Kalyuzhny NB. *Measures of prevention of periodontal lesions in orthodontic treatment of adolescents with crowded position of anterior teeth and disorders of soft tissues structure of the predental cavity* [dissertation]. Moscow: FGU "Central Research Institute of Stomatology"; 2006. 145 p. (In Russ.)
12. Adamovich EI, Marymova EB, Makedonova SA. Application of laser Doppler flowmetry in dentistry. In: *Proceedings of the International science and practice conferences: "Science in modern society: patterns and trends of development"*; 10 Nov 2017; Orenburg. Orenburg: SIC AETARNA; 2017. P. 173–177. (In Russ.)
13. Samraj RV, Srinivasan M, Kumar. Recent advances in pulp vitality testing. *Endodontology*. 2003;15(1):14–19.
14. Aleksandrov MT, Kukushkin VI, Polyakova MA, et al. Raman fluorescence characteristics of hard dental tissues and their clinical significance. *Russian Journal of Dentistry*. 2018;22(6):276–280. EDN: UXJBYW doi: 10.18821/1728-2802-2018-22-6-276-280

15. Kneipp K. Surface-enhanced Raman scattering. *Physics Today*. 2007;60(11):40–46. doi: 10.1063/1.2812122
16. Lungs AV, Mandra YV, Kiseleva DV. The method of Raman spectroscopy as a means of assessing the morphology of tooth surface microrelief and the degree of mineralization of dental hard tissues. *Bulletin of USMU*. 2015;(2–3):214–217. EDN: DABUMT (In Russ.)
17. Dmitrieva EF, Aleksandrov MT, Nurieva NS, et al. Experimental investigation of the effect of an ionizing radiation on the mineralization of the enamel of various functional teams of the teeth as a possible etiological factor of the emergency of radiative cares. *Clinical dentistry (Russia)*. 2019;(4):20–23. EDN: EEINTN doi: 10.37988/1811-153X_2019_4_20
18. Genovese WJ, Rodrigues dos Santos MTB, Faloppa F, de Souza Merli LA. The use of surgical diode laser in oral hemangioma: a case report. *Photomed Laser Surg*. 2010;28(1):147–151. doi: 10.1089/pho.2008.2419
19. Loh HS. A clinical investigation of the management of oral lichen planus with CO2 laser surgery. *J Clin Laser Med Surg*. 1992;10(6):445–449. doi: 10.1089/clm.1992.10.445
20. Bello-Silva MS, de Freitas PM, Corrêa Aranha AC, et al. Low-and high-intensity lasers in the treatment of herpes simplex virus 1 infection. *Photomed Laser Surg*. 2010;28(1):135–139. doi: 10.1089/pho.2008.2458
21. Kesler G. Clinical applications of lasers during removable prosthetic reconstruction. *Dent Clin*. 2004;48(4):963–969. doi: 10.1016/j.cden.2004.05.013
22. Zhuravlev AN, Tarasenko SV, Morozova EA. Advantages of the diode laser in surgical treatment of patients with stomatological diseases. *Clinical dentistry (Russia)*. 2018;(4):44–45. EDN: YPHDPN doi: 10.37988/1811-153X_2018_4_44
23. Morozova EA, Tarasenko SV, Zhuravlev AN, et al. Clinical application of diode laser radiation for surgical treatment of patients with dental diseases. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2018;26(2):268–279. EDN: XSNXJB doi: 10.23888/PAVLOVJ2018262268-279
24. Choukroun E, Parnot M, Surmenian J, et al. Bone formation and maintenance in oral surgery: the decisive role of the immune system — a narrative review of mechanisms and solutions. *Bioengineering*. 2024;11(2):191. doi: 10.3390/bioengineering11020191
25. Cobb CM. Commentary: is there clinical benefit from using a diode or neodymium: yttrium-aluminum-garnet laser in the treatment of periodontitis? *J Periodontol*. 2016;87(10):1117–1131. doi: 10.1902/jop.2016.160134
26. Krikun EV, Blashkova SL. Diode laser in dental practice. *Kazan medical journal*. 2017;98(6):1023–1028. EDN: ZTXDPT doi: 10.17750/KMJ2017-1023
27. Louw NP, Pameijer CH, Ackermann WD, et al. Pulp histology after Er: YAG laser cavity preparation in subhuman primates — a pilot study. *SADJ: J S Afr Dent Assoc*. 2002;57(8):313–317.
28. Chaya DM, Pankaj G. Lasers in dentistry: a review. *Int J Adv Health Sci*. 2015;2(8):7–13.
29. Sundaresan S, editor. *Prevention, detection and management of oral cancer*. BoD-Books on Demand, 2019. 114 p. doi: 10.5772/intechopen.79314
30. Fowler BO, Kuroda S. Changes in heated and in laser-irradiated human tooth enamel and their probable effects on solubility. *Calcif Tissue Int*. 1986;38:197–208. doi: 10.1007/bf02556711
31. Habibah TU, Amlani DV, Brizuela M. *Hydroxyapatite dental material*. 2018. In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); 2023.
32. Lombardo G, Pagano S, Cianetti S, et al. Sub-ablative laser irradiation to prevent acid demineralisation of dental enamel. A systematic review of literature reporting in vitro studies. *Eur J Paediatr Dent*. 2019;20(4):295–301.
33. Burgonsky VG. Theoretical and practical aspects of lasers application in dentistry. *Modern dentistry*. 2007;(1):10–15. (In Russ.)
34. Tyutyunikova VR, Mkrtychan AV. Optimization of diagnostics of fissure caries in children. In: *Proceedings of the science and practice conferences dedicated to the 50th anniversary of the Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics named after prof. E.Yu. Simonovskaya: "Provision of dental care to children"*; 23–24 Apr 2020; Perm. 2020. P. 104–108. (In Russ.)
35. Lederer A, Kunzelmann KH, Heck K, et al. *In vitro* validation of near infrared reflection for proximal caries detection. *Eur J Oral Sci*. 2019;127(6):515–522. doi: 10.1111/eos.12663
36. Ahrari F, Akbari M, Mohammadi M, et al. The validity of laser fluorescence (LF) and near-infrared reflection (NIRR) in detecting early proximal cavities. *Clin Oral Investig*. 2021;25:4817–4824. doi: 10.1007/s00784-021-03786-y
37. Akulovich AV, Nikiforova GG, Korostelev AA, Matelo SK. Quantitative light-induced fluorescence (QLF) for diagnosis of enamel condition during various dental procedures. *Parodontologiya*. 2023;28(1): 55–65. EDN: HUDYCX doi: 10.33925/1683-3759-2023-28-1-55-65
38. Lytkina AA, Zeybert AYU. Early diagnosis of fissure caries in children using the QLF method. *Scientist (Russia)*. 2022;(2):37–40. EDN: DFCWUJ
39. Tiunova NV, Lubomirsky GB. Experience in the use of laser ablation and collagen-based drug in the complex treatment of verrucous form of oral leukoplakia. *Medical alphabet*. 2020;(23):6–8. EDN: YGFFJK doi: 10.33667/2078-5631-2020-23-6-8
40. Puzin MN, Dymochka MA, Stehle AA, et al. Magnetolaser therapy for complex treatment of patients with syndrome of dysfunction in the temporomandibular articulation. *Bulletin of the All-Russian Society of Specialists in Medical and Social Expertise, Rehabilitation and Rehabilitation Industry*. 2018;(1):39–43. EDN: YVDSGD

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cotler H.B., Chow R.T., Hamblin M.R. The use of low level laser therapy (LLLT) for musculoskeletal pain // MOJ Orthop Rheumatol. 2015. Vol. 2, N 5. P. 188–194. doi: 10.15406/mojor.2015.02.00068

2. Verma S.K., Maheshwari S., Singh R.K., Chaudhari P.K. Laser in dentistry: An innovative tool in modern dental practice // *Nat J Maxillofac Surg.* 2012. Vol. 3, N 2. P. 124–132. doi: 10.4103/0975-5950.111342
3. Базикян Э.А., Чунихин А.А., Сырникова Н.В., и др. Клиническое применение нового лазерного устройства в стоматологической практике // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание.* 2020. № 4. С. 6–10. EDN: VRPORH doi: 10.24411/2075-4094-2020-16652
4. Saltzman B., Sigal M., Clokie C., et al. Assessment of a novel alternative to conventional formocresol-zinc oxide eugenol pulpotomy for the treatment of pulpally involved human primary teeth: diode laser-mineral trioxide aggregate pulpotomy // *Int J Paediatr Dent.* 2005. Vol. 15, N 6. P. 437–447. doi: 10.1111/j.1365-263x.2005.00670.x
5. Tzanakakis E.-G.C., Skoulas E., Pepelassi E., et al. The use of lasers in dental materials: A review // *Materials.* 2021. Vol. 14, N 12. ID 3370. doi: 10.3390/ma14123370
6. Pagano S., Lombardo G., Orso M., et al. Lasers to prevent dental caries: a systematic review // *BMJ Open.* 2020. Vol. 10, N 10. ID e038638. doi: 10.1136/bmjopen-2020-038638
7. Imre M.M., Celebidache A., Totan A., Tancu A.M.C. The use of dental lasers in new therapeutic approaches // *Rom J Stomatol.* 2019. Vol. 65, N 3. P. 254–257. doi: 10.37897/rjs.2019.3.3
8. Тришин М.В. Применение лазера в эндодонтии // *Державинский форум.* 2020. Т. 4, № 15. С. 208–214. EDN: UJYWTC
9. Tam L.E., McComb D. Diagnosis of occlusal caries: Part II. Recent diagnostic technologies // *J Can Dent Assoc.* 2001. Vol. 67, N 8. P. 459–464.
10. Hedge M.N., Garg P., Hedge N.D. Lasers in dentistry: an unceasing evolution // *J Otolaryngol Ent Res.* 2018. Vol. 10, N 6. P. 422–448. doi: 10.15406/joentr.2018.10.00395
11. Калужный Н.Б. Меры профилактики поражений пародонта при ортодонтическом лечении подростков со скученным положением передних зубов и нарушениями строения мягких тканей преддверия полости рта: дис. ... канд. мед. наук. Москва: ФГУ «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии», 2006. 145 с.
12. Адамович Е.И., Марымова Е.Б., Македонова Ю.А. Применение лазерной доплеровской флоуметрии в стоматологии. В кн.: Сборник статей Международной научно-практической конференции: «Наука в современном обществе: закономерности и тенденции развития»; 10 ноября 2017; Оренбург. Оренбург: НИЦ АЭТАРНА, 2017. С. 173–177.
13. Samraj R.V., Srinivasan M., Kumar. Recent advances in pulp vitality testing // *Endodontology.* 2003. Vol. 15, N 1. P. 14–19.
14. Александров М.Т., Кукушкин В.И., Полякова М.А., и др. Раман-флуоресцентные характеристики твердых тканей зубов и их клиническое значение // *Российский стоматологический журнал.* 2018. Т. 22, № 6. С. 276–280. EDN: UXJBYW doi: 10.18821/1728-2802-2018-22-6-276-280
15. Kneipp K. Surface-enhanced Raman scattering // *Physics Today.* 2007. Vol. 60, N 11. P. 40–46. doi: 10.1063/1.2812122
16. Легких А.В., Мандра Ю.В., Киселева Д.В. Метод рамановской спектроскопии как средство оценки морфологии микрорельефа поверхности зуба, а также степени минерализации твердых тканей зубов // *Вестник УГМУ.* 2015. № 2–3. С. 214–217. EDN: DABUMT
17. Дмитриева Е.Ф., Александров М.Т., Нуриева Н.С., и др. Экспериментальное исследование влияния ионизирующего излучения на минерализацию эмали различных функциональных групп зубов, как возможный этиологический фактор возникновения лучевого кариеса // *Клиническая стоматология.* 2019. № 4. С. 20–23. EDN: EEINTN doi: 10.37988/1811-153X_2019_4_20
18. Genovese W.J., Rodrigues dos Santos M.T.B., Faloppa F., de Souza Merli L.A. The use of surgical diode laser in oral hemangioma: a case report // *Photomed Laser Surg.* 2010. Vol. 28, N 1. P. 147–151. doi: 10.1089/pho.2008.2419
19. Loh H.S. A clinical investigation of the management of oral lichen planus with CO2 laser surgery // *J Clin Laser Med Surg.* 1992. Vol. 10, N 6. P. 445–449. doi: 10.1089/clm.1992.10.445
20. Bello-Silva M.S., de Freitas P.M., Corrêa Aranha A.C., et al. Low- and high-intensity lasers in the treatment of herpes simplex virus 1 infection // *Photomed Laser Surg.* 2010. Vol. 28, N 1. P. 135–139. doi: 10.1089/pho.2008.2458
21. Kesler G. Clinical applications of lasers during removable prosthetic reconstruction // *Dent Clin.* 2004. Vol. 48, N 4. P. 963–969. doi: 10.1016/j.cden.2004.05.013
22. Журавлев А.Н., Тарасенко С.В., Морозова Е.А. Преимущества диодного лазера при хирургическом лечении пациентов со стоматологическими заболеваниями // *Клиническая стоматология.* 2018. № 4. С. 44–45. EDN: YPHPDN doi: 10.37988/1811-153X_2018_4_44
23. Морозова Е.А., Тарасенко С.В., Журавлев А.Н., и др. Клиническое применение излучения диодного лазера для хирургического лечения пациентов со стоматологическими заболеваниями // *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова.* 2018. Т. 26, № 2. С. 268–279. EDN: XSNXJB doi: 10.23888/PAVLOVJ2018262268-279
24. Choukroun E., Parnot M., Surmenian J., et al. Bone formation and maintenance in oral surgery: the decisive role of the immune system — a narrative review of mechanisms and solutions // *Bioengineering.* 2024. Vol. 11, N 2. P. 191. doi: 10.3390/bioengineering11020191.
25. Cobb C.M. Commentary: is there clinical benefit from using a diode or neodymium: yttrium-aluminum-garnet laser in the treatment of periodontitis? // *J Periodontol.* 2016. Vol. 87, N 10. P. 1117–1131. doi: 10.1902/jop.2016.160134
26. Крикун Е.В., Блашкова С.Л. Диодный лазер в стоматологической практике // *Казанский медицинский журнал.* 2017. Т. 98, № 6. С. 1023–1028. EDN: ZTXDPT doi: 10.17750/KMJ2017-1023
27. Louw N.P., Pameijer C.H., Ackermann W.D., et al. Pulp histology after Er: YAG laser cavity preparation in subhuman primates — a pilot study // *SADJ: J S Afr Dent Assoc.* 2002. Vol. 57, N 8. P. 313–317.
28. Chaya D.M., Pankaj G. Lasers in dentistry: a review // *Int J Adv Health Sci.* 2015. Vol. 2, N 8. P. 7–13.

29. Prevention, detection and management of oral cancer / S. Sundaresan, editor. BoD-Books on Demand, 2019. 114 p. doi: 10.5772/intechopen.79314
30. Fowler B.O., Kuroda S. Changes in heated and in laser-irradiated human tooth enamel and their probable effects on solubility // *Calcif Tissue Int.* 1986. Vol. 38. P. 197–208. doi: 10.1007/bf02556711
31. Habibah T.U., Amlani D.V., Brizuela M. Hydroxyapatite dental material. 2018. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL), 2023.
32. Lombardo G., Pagano S., Cianetti S., et al. Sub-ablative laser irradiation to prevent acid demineralisation of dental enamel. A systematic review of literature reporting *in vitro* studies // *Eur J Paediatr Dent.* 2019. Vol. 20, N 4. P. 295–301.
33. Бургонский В.Г. Теоретические и практические аспекты применения лазеров в стоматологии // *Современная стоматология.* 2007. № 1. С. 10–15.
34. Тютюникова В.Р., Мкртычан А.В. Оптимизация диагностики фиссурного кариеса у детей. В кн.: Материалы научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры детской стоматологии и ортодонтии имени профессора Е.Ю. Симоновской: «Оказание стоматологической помощи детям»; 23–24 апреля 2020; Пермь, 2020. С. 104–108.
35. Lederer A., Kunzelmann K.H., Heck K., et al. In vitro validation of near infrared reflection for proximal caries detection // *Eur J Oral Sci.* 2019. Vol. 127, N 6. P. 515–522. doi: 10.1111/eos.12663
36. Ahrari F., Akbari M., Mohammadi M., et al. The validity of laser fluorescence (LF) and near-infrared reflection (NIRR) in detecting early proximal cavities // *Clin Oral Investig.* 2021. Vol. 25. P. 4817–4824. doi: 10.1007/s00784-021-03786-y
37. Акулович А.В., Никифорова Г.Г., Коростелев А.А., Матело С.К. Использование метода количественной светоиндуцированной флуоресценции (QLF) для диагностики состояния эмали при различных стоматологических вмешательствах // *Пародонтология.* 2023. Т. 28, № 1. С. 55–65. EDN: HUDYCX doi: 10.33925/1683-3759-2023-28-1-55-65
38. Лыткина А.А., Зейберт А.Ю. Ранняя диагностика фиссурного кариеса у детей методом QLF // *Scientist (Russia).* 2022. № 2. С. 37–40. EDN: DFCWUJ
39. Тиунова Н.В., Любомирский Г.Б. Клинический случай комплексного лечения веррукозной формы лейкоплакии слизистой оболочки рта с применением лазерной абляции и препаратов на основе коллагена // *Медицинский алфавит.* 2020. № 23. С. 6–8. EDN: YGFFJK doi: 10.33667/2078-5631-2020-23-6-8
40. Пузин М.Н., Дымочка М.А., Штелле А.А., и др. Магнитолазерная терапия в комплексном лечении больных с синдромом дисфункции височно-нижнечелюстного сустава // *Вестник Всероссийского общества специалистов по медико-социальной экспертизе, реабилитации и реабилитационной индустрии.* 2018. № 1. С. 39–43. EDN: YVDSGD

AUTHORS' INFO

***Micheil G. Toumassian**, student, North-Western State Medical University named after Il Mechnikov; address: 41 Kirochnaya st., Saint Petersburg, 191015, Russia; ORCID: 0000-0001-8067-9735; eLibrary SPIN: 7220-9284, e-mail: ToumassianMichel@gmail.com; AuthorID: 1157234

ОБ АВТОРАХ

***Михаил Грачьевич Тумасян**, студент Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова; адрес: ул. Кирочная, 41, Санкт-Петербург, 191015, Россия; ORCID: 0000-0001-8067-9735; eLibrary SPIN: 7220-9284; AuthorID: 1157234; e-mail: ToumassianMichel@gmail.com

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

Serge G. Toumassian, student; ORCID: 0000-0002-8439-585X;
eLibrary SPIN: 8218-1615; AuthorID: 1157146;
e-mail: 79119800070@yandex.ru

Elena A. Satygo, MD, DR. Sci. (Med.), professor;
ORCID: 0000-0001-9801-503X; eLibrary SPIN: 8776-0513;
AuthorID: 633735; e-mail: stom9@yandex.ru

ОБ АВТОРАХ

Серж Грачьяевич Тумасян, студент;
ORCID: 0000-0002-8439-585X; eLibrary SPIN: 8218-1615;
AuthorID: 1157146; e-mail: 79119800070@yandex.ru

Елена Александровна Сатыго, д-р мед. наук, профес-
сор; ORCID: 0000-0001-9801-503X, eLibrary SPIN: 8776-0513;
AuthorID: 633735; e-mail: stom9@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/uds634485>

Применение метода конечных элементов в ортогнатической хирургии

Н.В. Вишнёва¹, А.Н. Ланина², М.А. Жмайло³, К.Р. Тимербулатова⁴¹ Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия;² Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия;³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия;⁴ Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Представлен обзор возможностей применения метода конечных элементов в ортогнатической хирургии. Благодаря универсальности и способности моделировать сложную геометрию и получать быстрые результаты метод конечных элементов стал важным исследовательским инструментом в стоматологии и используется для анализа напряжений и деформаций в сложных механических системах и позволяет выполнять математическое преобразование и анализ механических свойств геометрического объекта. В ортогнатической хирургии метод демонстрирует такие преимущества, как сведение к минимуму необходимости проведения длительных исследований на животных и неэтичных испытаний на людях, неинвазивность, возможность визуализации наложенных друг на друга структур, упрощение анализа свойств материалов челюстно-лицевых структур и их геометрии, точное определение направления и величины приложенной силы, возможность теоретического измерения точек напряжения, неизменность физических свойств оцениваемых материалов, возможность бесконечного повторения теста, а также статического и динамического анализа. К недостаткам метода можно отнести зависимость качества и деталей результатов от используемой при расчетах техники, необходимость глубокого знания материаловедения, вероятность ошибок во входных данных, статистике и интерпретации результатов, необходимость владения специальными навыками работы с компьютером, невозможность предположить динамику изменения исследуемых структур. В целом, метод конечных элементов хорошо зарекомендовал себя в стоматологии и ортогнатической хирургии для решения биомедицинских проблем.

Ключевые слова: метод конечных элементов; компьютерный инжиниринг; цифровые испытания; виртуальные испытания; биомеханика; ортогнатическая хирургия; ортодонтия.

Как цитировать

Вишнёва Н.В., Ланина А.Н., Жмайло М.А., Тимербулатова К.Р. Применение метода конечных элементов в ортогнатической хирургии // Университетская стоматология и челюстно-лицевая хирургия. 2024. Т. 2, № 3. С. 123–130. DOI: <https://doi.org/10.17816/uds634485>

DOI: <https://doi.org/10.17816/uds634485>

Finite Element Method in Orthognatic Surgery

Nataliia V. Vishnyova¹, Anastasiia N. Lanina², Mikhail A. Zhmaylo³, Karina R. Timerbulatova⁴¹ First Pavlov State Medical University of Saint Petersburg, Saint Petersburg, Russia;² North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia;³ Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia;⁴ Yaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

ABSTRACT

The paper addresses the potential applications of the finite element method in orthognatic surgery. The finite element method has become a valuable research tool in dentistry due to its versatility, capacity to simulate complex geometry, and quick results. It is used for stress and strain analysis in complex mechanical systems and allows for the mathematical transformation and analysis of mechanical properties of geometric objects. The advantages of the finite element method in orthognatic surgery include reduced need for long-term animal tests and unethical tests in humans, noninvasiveness, imaging of superimposed structures, simplified analysis of the materials and geometry of orofacial structures, accurate determination of the direction and magnitude of the applied force, theoretical measurements of stress points, constant physical properties of assessed materials, high repeatability of tests, as well as static and dynamic analysis. The disadvantages of the method include the effect of the equipment used on the quality and details of findings, the need for extensive knowledge of materials science, the risk of errors in input data, statistics, and interpretation of findings, the need for advanced computer skills, and the inability to predict changes in assessed structures. Overall, the finite element method has proven effective in addressing biomedical issues in dentistry and orthognatic surgery.

Keywords: finite element method; computing engineering; digital testing; virtual testing; biomechanics; orthognatic surgery; orthodontics.

To cite this article

Vishnyova NV, Lanina AN, Zhmaylo MA, Timerbulatova KR. Finite Element Method in Orthognatic Surgery. *Acta Universitatis Dentistriae et Chirurgiae Maxillofacialis*. 2024;2(3):123–130. DOI: <https://doi.org/10.17816/uds634485>

Received: 21.07.2024

Accepted: 23.09.2024

Published online: 23.09.2024

АКТУАЛЬНОСТЬ

Появление различных инноваций, связанных с нанотехнологиями, биоинженерией и другими молодыми науками, способствовало стремительному переходу стоматологии на новый уровень.

Слияние биологических и инженерных наук посредством различных технологических разработок привело к точному пониманию природы и свойств тканей человека, а также материалов и методов, используемых в стоматологии на микробиологическом и ультраструктурном уровнях. Одна из таких технологических разработок — метод конечных элементов (МКЭ), который стал в стоматологии важным исследовательским инструментом для понимания поведения различных материалов. МКЭ разработан в 1956 году и сначала применялся в аэрокосмической технике. Постепенно, благодаря универсальности и способности моделировать сложную геометрию и получать быстрые результаты, он проник в медицину. МКЭ используется для анализа напряжений и деформаций в сложных механических системах, позволяет выполнять математическое преобразование и анализ механических свойств геометрического объекта.

Область стоматологии, которая тесно связана с биомеханикой, — челюстно-лицевая хирургия. Поскольку механические свойства человеческого скелета не могут быть исследованы *in vivo*, МКЭ нашел в этой дисциплине особое применение.

ПРИНЦИП МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В МКЭ поведение конкретной физической системы моделируется математически. Непрерывная структура делится на элементы, которые сохраняют свойства исходной структуры. Каждый из элементов описывается дифференциальными уравнениями, которые решаются с помощью математических моделей, подобранных по исследуемым данным [1]. Такой структурный анализ позволяет определить напряжение и деформацию, вызванную внешней силой, давлением, термическим изменением и другими факторами. Поскольку невозможно количественно определить напряжение и напряжение в тканях человека в ответ на внешнее воздействие, этот метод чрезвычайно полезен для оценки механических аспектов биоматериалов в тканях человека, что очень сложно изучать непосредственно на людях из-за этических соображений [2]. Полученные результаты можно изучить с помощью программного обеспечения для визуализации в среде МКЭ, чтобы проанализировать различные параметры и полностью определить последствия анализа. Основные этапы МКЭ включают предварительную обработку, обработку, или решение, и постобработку. На этапе предварительной обработки данные получают с помощью системы автоматизированного проектирования (САПР) или компьютерной

томографии для построения 2- или 3-мерной (3D) модели с последующим созданием сетки и граничными условиями. На этапе обработки, или решения, расчеты выполняются с использованием соответствующего компьютерного программного обеспечения, которое выполняет матричные формулировки, инверсию, умножение и, наконец, получает решение. Это решение проверяется дополнительно и уточняется в соответствии с требованиями на этапе постобработки. МКЭ подразумевает использование сетки, состоящей из сложной системы точек (узлов) и элементов. С помощью различных программ эта сетка создается с учетом определенных свойств материала и структуры, определяющих реакцию конструкции на различные условия нагрузки. Наиболее важным аспектом анализа является присвоение модели МКЭ соответствующих свойств материала для точного моделирования поведения оцениваемого объекта. Распределение напряжений и деформаций в объекте сильно зависит от свойств материала, которые можно смоделировать в МКЭ как анизотропные, ортотропные, изотропные и трансверсально-изотропные. Свойства остаются одинаковыми во всех направлениях. Следовательно, в изотропном материале существуют только две независимые материальные константы: модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Сетка в основном ведет себя как паутина. Каждый узел или точка соединяет элемент сетки с соседними узлами. Смысл в том, чтобы вычислять в ограниченном или конечном числе точек и строить результаты для всей области (поверхности или объема). Но поскольку все живые компоненты непрерывны и имеют бесконечную степень (степени) свободы (рис. 1), невозможно решить проблему в этом конкретном формате, который требует уменьшения степени (степеней) свободы от бесконечной до конечной, при этом применимость МКЭ вступает в действие. МКЭ уменьшает степень свободы от бесконечной до конечной с помощью сетки (узлов и элементов) [3] (рис. 1–3).

Граничные условия в МКЭ в основном представляют собой нагрузку, воздействующую на исследуемые конструкции, и область модели, которая ограничена. Различные способы приложения силы и момента: сосредоточенная нагрузка (в точке или отдельном узле), сила на

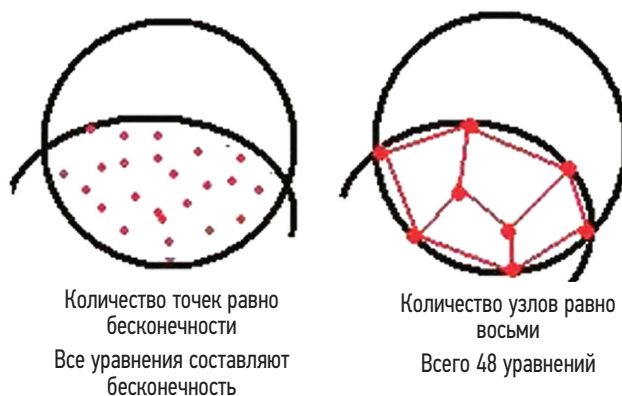


Рис. 1. Степени свободы
Fig. 1. Degree of freedom

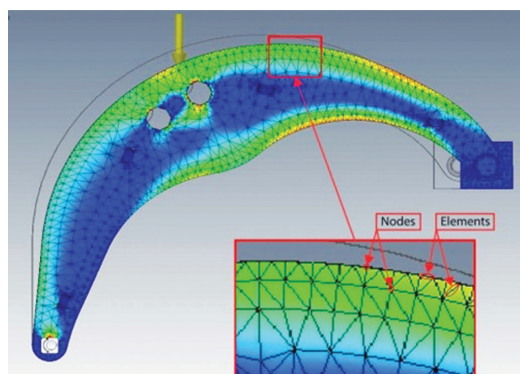


Рис. 2. Узлы. Источник: FEA Mesh Elements & Nodes Guide // Asrengineering. URL: <https://asrengineering.com/2019/09/23/fea-mesh-elements-nodes-guide-intro-to-fea/>

Fig. 2. Nodes Source: FEA Mesh Elements & Nodes Guide // Asrengineering. URL: <https://asrengineering.com/2019/09/23/feamash-elements-nodes-guide-intro-to-fea/>

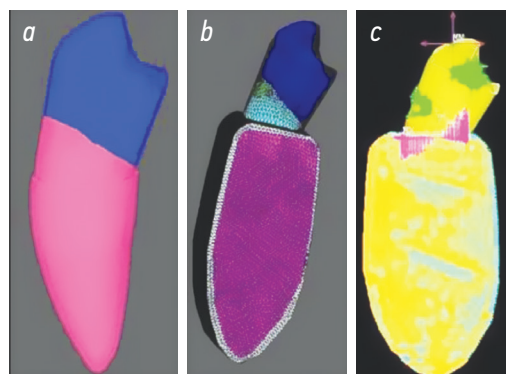


Рис. 3. Этапы метода конечных элементов: *a* — 3D-модель; *b* — создание сетки; *c* — результат нагрузки

Fig. 3. Stages of the finite element method: *a*, 3D model; *b*, creating a grid; *c*, loading outcome

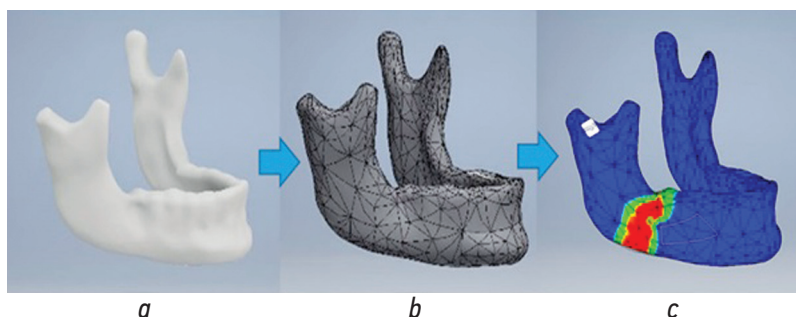


Рис. 4. Построение модели с помощью метода конечных элементов. Получение численной модели (*a*), ее разбиение на множество простых конечных элементов, соединенных в общей узловой точке (дискретизация) (*b*). После того как каждому элементу будут присвоены соответствующие свойства материала, можно провести анализ конечных элементов смоделированных усилий в различных областях численной модели и выявить распределения удельных напряжений и деформаций (*c*)

Fig. 4. Building a model using the finite element method Building a numerical model (*a*) and dividing it into a set of simple finite elements connected at a common node (discretization) (*b*). After assigning the corresponding material properties to each element, the finite element analysis of conditions modeled in various parts of the numerical model can be performed, and specific stress and strain distributions can be assessed (*c*)



Рис. 5. Схема приложенной нагрузки и граничных условий, наложенных на зуб для точечной нагрузки и распределенной нагрузки

Fig. 5. Scheme of the load and boundary conditions applied on a tooth for point and distributed load

линии или кромке, распределенная нагрузка (сила изменяется по уравнению), изгибающие моменты и крутящий момент. Чтобы обеспечить уравновешенное решение, на некоторых границах должны быть установлены нулевые

ограничения. Чтобы предотвратить перекрытие напряжений и деформаций, связанных с силами реакции, ограничения должны быть размещены на узлах, удаленных от интересующей области. После фиксации граничных условий запускается программное обеспечение для определения напряжений и деформаций с использованием линейного статического анализа и нелинейного анализа [4] (рис. 4, 5).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Ортогнатическая хирургия направлена на исправление состояния челюстей и лица, в том числе структуры, модификацию роста, нарушений височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС), апноэ, нарушений прикуса из-за дисгармонии скелета или других ортодонтических проблем, которые нельзя вылечить с помощью ортодонтии. Ее методы включают хирургические манипуляции со структурами лицевого скелета для восстановления анатомии и их функциональной взаимосвязи с зубочелюстными

скелетными аномалиями. Успешный результат зависит от тщательного предоперационного планирования вплоть до окончательной окклюзии. Виртуальное планирование способствует более точному анализу зубочелюстной деформации и предоперационному планированию с помощью компьютерных технологий, таких как МКЭ. Современное ортогнатическое лечение состоит из стандартной ортогнатической процедуры по исправлению таких деформаций челюстей, как верхняя и нижняя прогнатия, открытый прикус, трудности при жевании и глотании, боль при дисфункции ВНЧС, чрезмерное стирание зубов и скошенный подбородок. Она включает в себя дополнительные процедуры, такие как geniопластика, септоринопластика и липэктомия шеи для улучшения контуров твердых и мягких тканей [5].

Y. Payan и соавт. в 2002 году представили свое исследование протокола лечения, в котором была описана проанализированная с помощью компьютерных технологий последовательность челюстно-лицевых операций в области ортогнатической хирургии у пациентов с большими дефектами челюсти, поскольку протокол лечения сложен и продолжителен [6].

Корректирующая хирургия нижней челюсти, такая как билатеральная сагиттальная расщепляющая остеотомия (Bilateral Sagittal Split Osteotomy — BSSO), применяется для стабилизации костных сегментов с помощью различных фиксирующих элементов, а МКЭ является для этого важным инструментом [6].

Выбор соответствующих элементов мостовидного протеза также является ключевым фактором, определяющим успешные результаты всех ортогнатических операций. При BSSO МКЭ активно используется для сравнения стабильности соединения костных сегментов различными системами фиксации [7]. С этой целью S. Trivedi создал цифровую изотропную 3D-модель, разделенную по линии BSSO на 3 сегмента с промежутками 5 мм между ними. Остеотомированные фрагменты мостовидно соединялись тремя различными системами фиксации. На основании значений смещения остеотомированных сегментов после моделирования симметричного прикуса резцами (20 Н) и асимметричного прикуса молярами (80 Н) авторы пришли к выводу, что наиболее стабильное мостовидное соединение после BSSO может быть получено при бикортикальной винтовой фиксации, что соответствовало другому исследованию МКЭ, в котором использование стягивающих винтов 2,0 мм, установленных в треугольной конфигурации, обеспечивало наиболее достаточную стабильность и меньшее количество полей напряжения в месте остеотомии по сравнению с другими методами жесткой фиксации [8]. Также был проведен МКЭ, отражающий двухчелюстную остеотомию, — более сложную операцию, предназначенную для пациентов с деформацией обеих челюстей. Например, M.B.F. dos Santos и соавт. по результатам обследования 50 пациентов, которым была выполнена двухчелюстная остеотомия, подтвердили, что

МКЭ можно использовать для моделирования крыловидно-верхнечелюстной дизъюнкции во время процедуры LeFort I без применения изогнутого остеотома и для прогнозирования изменений результатов лечения после удлинения линии разреза [9]. Используя предоперационные данные компьютерной томографии, авторы создали индивидуализированные цифровые модели средней зоны лица. Модуль Юнга для отдельных вокселей рассчитывали по плотности кости, определенной во время конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ). Затем намечали виртуальную линию разреза и моделировали крыловидно-верхнечелюстное разъединение в результате раскрытия расширителей Тессье в остеотомической щели с нагрузкой 150 Н. Основываясь на прогнозируемом накоплении максимального напряжения в крыловидно-верхнечелюстном соединении, авторы выделили 3 типа дизъюнкции. Степень совпадения между местом расхождения крыловидно-верхнечелюстной кости, предсказанным с помощью МКЭ, и фактическим местом расхождения, наблюдаемым на послеоперационных КТ-изображениях, полученных через 7 дней после остеотомии с помощью расширителей Tessier, составила 87 %, что подтверждает надежность МКЭ в ортогнатической хирургии. Кроме того, МКЭ продемонстрировал, что расширение линии разреза до бугристости верхней челюсти было связано с более высокой частотой переломов крыловидного отростка [9], что является ценной информацией для клиницистов.

Другой ортогнатической процедурой, часто выполняемой среди пациентов с узкой верхней челюстью, является быстрое хирургическое расширение нёба (Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion — SARPE) — это ортогнатическая хирургическая процедура, часто выполняющаяся у пациентов с узкой верхней челюстью. Распределение напряжения в верхней челюсти, подвергшейся SARPE, было смоделировано методом конечных элементов. Обнаружено, что шаги в скуло-верхнечелюстном и крыловидно-верхнечелюстном разъединении, по-видимому, важны для уменьшения вредного рассеивания напряжения во время SARPE [10]. У пациентов с большими дефектами челюсти подготовка лечения может быть очень сложной и занимать много времени. В результате на многих этапах лечения его конечный эффект может отличаться от желаемого результата. Поэтому Y. Payan и соавт. предложили собственный протокол лечения, основанный на компьютерном планировании: использование МКЭ для моделирования лицевых последствий плановой ортогнатической операции [6]. L.H. Cevidanes и соавт. представили компьютеризированную хирургическую систему, которая включала создание 3D-моделей на основе КЛКТ пациента, динамическую цефалометрию, полуавтоматическое зеркальное отображение, интерактивную резку кости и изменение положения костных сегментов для ортогнатических операций, и указали, что модели МКЭ наиболее вероятно обеспечивают надежное моделирование изменений мягких тканей лица в результате изменения

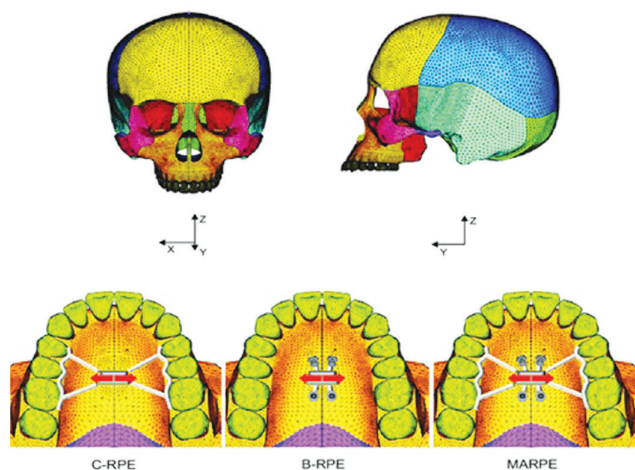


Рис. 6. Устройства C-RPE, B-RPE, MARPE
Fig. 6. C-RPE, B-RPE, and MARPE devices

формы скелета [11]. P.G.M. Knoops и соавт. подтвердили этот тезис, сравнивая точность прогнозирования изменения мягких тканей у пациентов, перенесших остеотомию по Le Fort I с вертикальным перемещением, с помощью доступных компьютерных программ и пришли к выводу, что они действительно могут обеспечить точность прогнозирования мягких тканей, определить свойства материала, специфичные для пациента или популяции, и поэтому могут быть полезны во время предоперационного общения с пациентом [12].

В исследовании A. Boryor и соавт. было показано, что можно открыть межверхнечелюстной шов у взрослых с помощью расширителя с опорой на микроимплантаты. Испытываемый здесь расширитель оказывал очень малое усилие, которое в основном было сосредоточено на указанном шве, что приводило к его разрыву [13].

В исследовании M. MacGinnis и соавт. распределение напряжения от скелетного нёбного расширения с опорой на микроимплантаты (Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion — MARPE) показало меньшее распространение на контрфорсы и прилегающие к нему участки в верхнечелюстном комплексе. При помещении силы расширения ближе к центру сопротивления верхней челюсти происходит меньший наклон с более латеральным перемещением комплекса. Также было выяснено, что MARPE может быть полезен у пациентов со сросшимся нёбным швом [14].

Eui-Hyang Seonga и соавт. показали, что C-RPE (с помощью обычных расширителей) вызывал наибольшее напряжение вдоль фронтального отростка верхней челюсти и вокруг опорных зубов, а затем в области нёбного шва, тогда как B-RPE (с помощью костных расширителей) вызывал наибольшее напряжение вокруг мини-винта, хотя область была ограничена нёбным швом. Результаты исследования показывают, что включение мини-винтов в устройства RPE (Rapid Palate

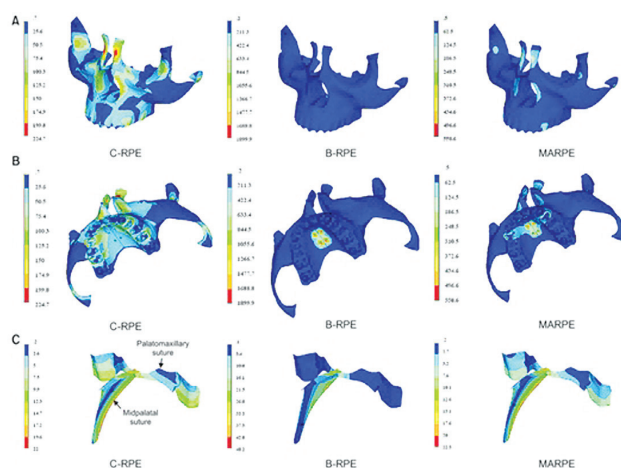


Рис. 7. Модель конечных элементов, показывающая распределение напряжения фон Мизеса
Fig. 7. Finite element model showing the von Mises stress distribution

Expander — нехирургическое быстрое нёбное расширение) может способствовать передаче усилия на швы и снижению чрезмерной нагрузки на буккальную костную пластинку (рис. 6, 7) [15].

Принимая во внимание возможности, которые предлагает МКЗ не только в отношении мягких, но и твердых тканей, перспективно расширение применения метода для реализации более сложных решений по определению линий остеотомии, выбору типа, количества и расположения фиксирующих элементов и прогнозирования результатов ортогнатической операции.

Таким образом, МКЗ демонстрирует следующие преимущества в ортогнатической хирургии:

- 1) сведение к минимуму необходимости проведения длительных исследований на животных и неэтичных испытаний на людях;
- 2) неинвазивность;
- 3) возможность визуализировать наложенные друг на друга структуры;
- 4) упрощение анализа свойств материалов челюстно-лицевых структур и их геометрии;
- 5) точное определение направления и величины приложенной силы;
- 6) возможность теоретического измерения точек напряжения;
- 7) неизменность физических свойств оцениваемых материалов;
- 8) повторение теста может быть выполнено бесконечное число раз;
- 9) возможность выполнять как статический, так и динамический анализ.

Среди недостатков МКЗ следует отметить:

- 1) зависимость качества и подробности результатов от используемой при расчетах техники;
- 2) необходимость иметь глубокие познания в материаловедении для использования метода;

- 3) ошибки во входных данных, статистике и интерпретации результатов могут привести к неправильному выводу;
- 4) необходимость владения специальными навыками работы с компьютером;
- 5) невозможность предположить динамику изменения исследуемых структур, поскольку трудно учесть множество факторов (в особенности время, так как в расчетах по МКЭ оно не учитывается);
- 6) требование ввода большого количества данных для используемой сетки с точки зрения связности узлов и других параметров в зависимости от проблемы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод конечных элементов — это численный метод анализа, применяемый в стоматологии и ортогнатической хирургии для решения сложных биомедицинских проблем. Анализируемая конструкция может иметь любую форму и опору, создающую произвольные нагрузки. Метод идеально подходит для анализа неоднородных биологических структур. Моделирование структур и материалов экономит время и средства при проведении эксперимента — именно поэтому данный метод успешно применяется в различных областях. В то же время МКЭ представляет собой способ получения численного решения конкретной задачи. Конечно-элементный анализ является точным инструментом для оценки распределения напряжений, при условии, что заданные значения достоверны. Способ его реализации варьирует от человека к человеку в связи с биологическими особенностями каждого отдельно взятого пациента. Очевидные недостатки метода всегда следует иметь в виду при работе как в клинических, так и в лабораторных условиях. Проведенные эксперименты повторяемы без возникновения каких-либо этических проблем, а дизайн исследования может быть

изменен в соответствии с конкретными требованиями. Определенные ограничения МКЭ все же существуют, следует учитывать, что подобное исследование должно сопровождаться клинической оценкой.

Таким образом, МКЭ — это полезный и важный инструмент для анализа изменений параметров базовой модели.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора: Н.В. Вишнёва, А.Н. Ланина, М.А. Жмайло — анализ полученных данных, внесение окончательной правки; К.Р. Тимербулатова — обзор литературы.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study. The contribution of each author: N.V. Vishnyova, A.N. Lanina, M.A. Zhmaylo — data analysis, final editing; K.R. Timerbulatova — literature review.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marcián P., Wolff J., Horáčková L., et al. Micro finite element analysis of dental implants under different loading conditions // *Comput Biol Med.* 2018. Vol. 96. P. 157–165. doi: 10.1016/j.compbiomed.2018.03.012
2. Boccaccio A., Uva A.E., Fiorentino M., et al. Optimal load for bone tissue scaffolds with an assigned geometry // *Int J Med Sci.* 2018. Vol. 15, N 1. P. 16–22. doi: 10.7150/ijms.20522
3. Sirekha A., Bashetty K. Infinite to finite: An overview of finite element analysis // *Indian J Dent Res.* 2010. Vol. 21, N 3. P. 425–432. doi: 10.4103/0970-9290.70813
4. Kul E., Korkmaz İ.H. Effect of different design of abutment and implant on stress distribution in 2 implants and peripheral bone: A finite element analysis study // *J Prosthet Dent.* 2021. Vol. 126, N 5. P. 664.E1–664.E9. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.09.058
5. Khechoyan D.Y. Orthognathic surgery: general considerations // *Semin Plast Surg.* 2013. Vol. 27, N 3. P. 133–136. doi: 10.1055/s-0033-1357109
6. Payan Y., Chabanas M., Pelorson X., et al. Biomechanical models to simulate consequences of maxillofacial surgery // *Comptes Rendus Biologies.* 2002. Vol. 325, N 4. P. 407–417. doi: 10.1016/s1631-0691(02)01443-9
7. Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry // *J Oral Biol Craniofac Res.* 2014. Vol. 4, N 3. P. 200–203. doi: 10.1016/j.jobcr.2014.11.008
8. Ding X., Zhu X.-H., Liao S.-H., et al. Implant–bone interface stress distribution in immediately loaded implants of different diameters: a three-dimensional finite element analysis // *J Prosthodont.* 2009. Vol. 18, N 5. P. 393–402. doi: 10.1111/j.1532-849X.2009.00453.x
9. Dos Santos M.B.F., Da Silva Neto J.P., Consani R.L.X., Mesquita M.F. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution in peri-implant bone with relined dentures and different heights of healing caps // *J Oral Rehabil.* 2011. Vol. 38, N 9. P. 691–696. doi: 10.1111/j.1365-2842.2011.02217.x

10. Demenko V., Linetskiy I., Nesvit K., Shevchenko A. Ultimate masticatory force as a criterion in implant selection // *J Dent Res*. 2011. Vol. 90, N 10. P. 1211–1215. doi: 10.1177/0022034511417442
11. Cevdanes L.H., Tucker S., Styner M., et al. Three-dimensional surgical simulation // *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010. Vol. 138, N 3. P. 361–371. doi: 10.1016/j.ajodo.2009.08.026
12. Knoops P.G.M., Borghi A., Ruggiero F., et al. A novel soft tissue prediction methodology for orthognathic surgery based on probabilistic finite element modelling // *PLoS One*. 2018. Vol. 13, N 5. P. e0197209. doi: 10.1371/journal.pone.0197209

REFERENCES

1. Marcián P, Wolff J, Horáčková L, et al. Micro finite element analysis of dental implants under different loading conditions. *Comput Biol Med*. 2018;96:157–165. doi: 10.1016/j.compbiomed.2018.03.012
2. Boccaccio A, Uva AE, Fiorentino M, et al. Optimal load for bone tissue scaffolds with an assigned geometry. *Int J Med Sci*. 2018;15(1):16–22. doi: 10.7150/ijms.20522
3. Sreekha A, Bashetty K. Infinite to finite: An overview of finite element analysis. *Indian J Dent Res*. 2010;21(3):425–432. doi: 10.4103/0970-9290.70813
4. Kul E, Korkmaz İH. Effect of different design of abutment and implant on stress distribution in 2 implants and peripheral bone: A finite element analysis study. *J Prosthet Dent*. 2021;126(5):664.E1–664.E9. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.09.058
5. Khechoyan DY. Orthognathic surgery: general considerations. *Semin Plast Surg*. 2013;27(3):133–136. doi: 10.1055/s-0033-1357109
6. Payan Y, Chabanas M, Pelorson X, et al. Biomechanical models to simulate consequences of maxillofacial surgery. *Comptes Rendus Biologies*. 2002;325(4):407–417. doi: 10.1016/s1631-0691(02)01443-9
7. Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2014;4(3):200–203. doi: 10.1016/j.jobcr.2014.11.008
8. Ding X, Zhu X-H, Liao S-H, et al. Implant–bone interface stress distribution in immediately loaded implants of different diameters: a three-dimensional finite element analysis. *J Prosthodont*. 2009;18(5):393–402. doi: 10.1111/j.1532-849X.2009.00453.x
9. Dos Santos MBF, Da Silva Neto JP, Consani RLX, Mesquita MF. Three-dimensional finite element analysis of stress dis-

- tribution in peri-implant bone with relined dentures and different heights of healing caps. *J Oral Rehabil*. 2011;38(9):691–696. doi: 10.1111/j.1365-2842.2011.02217.x
10. Demenko V, Linetskiy I, Nesvit K, Shevchenko A. Ultimate masticatory force as a criterion in implant selection. *J Dent Res*. 2011;90(10):1211–1215. doi: 10.1177/0022034511417442
11. Cevdanes LH, Tucker S, Styner M, et al. Three-dimensional surgical simulation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;138(3):361–371. doi: 10.1016/j.ajodo.2009.08.026
12. Knoops PGM, Borghi A, Ruggiero F, et al. A novel soft tissue prediction methodology for orthognathic surgery based on probabilistic finite element modelling. *PLoS One*. 2018;13(5):e0197209. doi: 10.1371/journal.pone.0197209
13. Boryor A, Hohmann A, Wunderlich A, et al. Use of a modified expander during rapid maxillary expansion in adults: An in vitro and finite element study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2013;28(1):e11–16. doi: 10.11607/jomi.2078
14. MacGinnis M, Chu H, Youssef G, et al. The effects of micro-implant assisted rapid palatal expansion (MARPE) on the nasomaxillary complex — a finite element method (FEM) analysis. *Prog Orthod*. 2014;15(1):52. doi: 10.1186/s40510-014-0052-y
15. Seong E-H, Choia S-H, Kimc H-J, et al. Evaluation of the effects of miniscrew incorporation in palatal expanders for young adults using finite element analysis. *Korean J Orthod*. 2018;48(2):81–89. doi: 10.4041/kjod.2018.48.2.81

- tribution in peri-implant bone with relined dentures and different heights of healing caps. *J Oral Rehabil*. 2011;38(9):691–696. doi: 10.1111/j.1365-2842.2011.02217.x
10. Demenko V, Linetskiy I, Nesvit K, Shevchenko A. Ultimate masticatory force as a criterion in implant selection. *J Dent Res*. 2011;90(10):1211–1215. doi: 10.1177/0022034511417442
11. Cevdanes LH, Tucker S, Styner M, et al. Three-dimensional surgical simulation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;138(3):361–371. doi: 10.1016/j.ajodo.2009.08.026
12. Knoops PGM, Borghi A, Ruggiero F, et al. A novel soft tissue prediction methodology for orthognathic surgery based on probabilistic finite element modelling. *PLoS One*. 2018;13(5):e0197209. doi: 10.1371/journal.pone.0197209
13. Boryor A, Hohmann A, Wunderlich A, et al. Use of a modified expander during rapid maxillary expansion in adults: An in vitro and finite element study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2013;28(1):e11–16. doi: 10.11607/jomi.2078
14. MacGinnis M, Chu H, Youssef G, et al. The effects of micro-implant assisted rapid palatal expansion (MARPE) on the nasomaxillary complex — a finite element method (FEM) analysis. *Prog Orthod*. 2014;15(1):52. doi: 10.1186/s40510-014-0052-y
15. Seong E-H, Choia S-H, Kimc H-J, et al. Evaluation of the effects of miniscrew incorporation in palatal expanders for young adults using finite element analysis. *Korean J Orthod*. 2018;48(2):81–89. doi: 10.4041/kjod.2018.48.2.81

ОБ АВТОРАХ

***Наталья Васильевна Вишнёва**, канд. мед. наук, доцент, кафедра стоматологии хирургической и челюстно-лицевой хирургии, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова; адрес: ул. Льва Толстого, 6–8, Санкт-Петербург, 197022, Россия; ORCID: 0000-0001-9186-5277; eLibrary SPIN: 9720-0502; e-mail: dr.pnv25@yandex.ru

Анастасия Николаевна Ланина, канд. мед. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-4501-2166; eLibrary SPIN: 4585-8331; e-mail: sadis57@mail.ru

Михаил Александрович Жмайло, ведущий инженер; e-mail: zhmaylo@compmechlab.com

Карина Радиновна Тимербулатова, ординатор; e-mail: timerbulatova.karina@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Nataliia V. Vishnyova**, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Dentistry of Surgical and Maxillofacial Surgery, First St. Petersburg State Medical University named after Academician I.P. Pavlov; address: 6–8 Lew Tolstoy st., Saint Petersburg, 197022, Russia; ORCID: 0000-0001-9186-5277; eLibrary SPIN: 9720-0502; e-mail: dr.pnv25@yandex.ru

Anastasiia N. Lanina, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor; ORCID: 0000-0002-4501-2166; eLibrary SPIN: 4585-8331; e-mail: sadis57@mail.ru

Mikhail A. Zhmaylo, lead engineer; e-mail: zhmaylo@compmechlab.com

Karina R. Timerbulatova, resident; e-mail: timerbulatova.karina@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/uds633522>

Составные части угла нижней челюсти и их значение в клинической стоматологии

Т.Д. Дмитриенко, В.Т. Ягупова, И.Н. Юхнов

Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Исследование составных частей угла нижней челюсти определяет актуальность в изучении вариантной анатомии органа и позволяет проводить диагностику гнатических форм аномалий.

Цель. Определить основные параметры составных частей угла нижней челюсти и их значение в клинической стоматологии.

Материалы и методы. Проведен ретроспективный анализ 65 телерентгенограмм с признаками физиологической окклюзии, 12 рентгеновских снимков с мезиальной окклюзией и 16 — с признаками дистальной окклюзии. Точка угла нижней челюсти *Go* служила ориентиром для построения вертикали, перпендикулярной к линии основания черепа *N-Se*. Полученная гониональная вертикаль делила угол нижней челюсти на две составляющие: угол ветви и угол тела нижней челюсти.

Результаты. Независимо от величины угла нижней челюсти отклонение линии ветви челюсти от гониональной вертикали составляло от 6° до 9°. При аномалиях III класса по Angle средняя величина угла наклона ветви челюсти составляла $18,03^\circ \pm 1,22^\circ$. Для дистальной окклюзии было характерным величина угла менее 5°. При гнатических формах аномалий окклюзии по сагиттали отмечалось не параллельность назально-субназальной вертикали и касательной к ветви челюсти.

Заключение. Установлена вариабельность составных частей нижнечелюстного угла, обусловленная типом роста гнатического отдела лица. Полученные данные могут быть использованы в клинической практике для диагностики аномалий и при планировании комплексных методов лечения.

Ключевые слова: телерентгенограмма; физиологическая окклюзия; аномалии окклюзии в сагиттальном направлении; окклюзионная плоскость.

Как цитировать

Дмитриенко Т.Д., Ягупова В.Т., Юхнов И.Н. Составные части угла нижней челюсти и их значение в клинической стоматологии // Университетская стоматология и челюстно-лицевая хирургия. 2024. Т. 2, № 3. С. 131–140. DOI: <https://doi.org/10.17816/uds633522>

DOI: <https://doi.org/10.17816/uds633522>

Mandibular Angle Components and their Role in Clinical Dentistry

Tatyana D. Dmitrienko, Violeta T. Yagupova, Ilya N. Yukhnov

Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Mandibular angle components enable assessment of relevance during variant anatomy studies and help in the diagnosis of gnathic malocclusion.

AIM: To determine the key parameters of mandibular angle components and their role in clinical dentistry.

MATERIALS AND METHODS: A retrospective analysis of 65 telerradiology scans with signs of physiologic occlusion, 12 X-ray images with mesial occlusion, and 16 X-ray images with distal occlusion was performed. The *Go* mandibular angle point was used for drawing a vertical line perpendicular to the skull base line *N-Se*. The resulting gonional vertical line divided the mandibular angle into two components: the mandibular ramus angle and the mandibular body angle.

RESULTS: Regardless of the mandibular angle, the mandibular ramus line deviated from the gonional vertical line by 6° to 9°. In Angle Class III malocclusions, the mean mandibular ramus angle was $18.03^{\circ} \pm 1.22^{\circ}$. Distal occlusion was characterized by an angle of less than 5°. Gnathic malocclusions were characterized by a sagittal line that was not parallel to the nasal and subnasal vertical line and tangent to the mandibular ramus.

CONCLUSIONS: Variability in mandibular angle components due to the growth of the gnathic face part has been identified. The study findings can be used in clinical practice for the diagnosis of malocclusion and complex treatment planning.

Keywords: telerradiology; physiologic occlusion; sagittal malocclusion; occlusal plane.

To cite this article

Dmitrienko TD, Yagupova VT, Yukhnov IN. Mandibular Angle Components and their Role in Clinical Dentistry. *Acta Universitatis Dentistriae et Chirurgiae Maxillofacialis*. 2024;2(3):131–140. DOI: <https://doi.org/10.17816/uds633522>

Received: 18.06.2024

Accepted: 23.09.2024

Published online: 30.09.2024

ВВЕДЕНИЕ

Вариантная анатомия нижней челюсти описана морфологами и клиницистами в учебной и научной литературе [1]. В исследованиях представлены варианты величины нижнечелюстного угла, отмечены параметры тела, ветви и альвеолярной части в пропорциональной взаимосвязи.

Основные структурные составляющие краниофациального комплекса, их линейные и угловые параметры в прижизненных условиях, как правило, определяются рентгенологическими методами исследования. Одним из распространенных методов рентгенологического исследования в клинической стоматологии считается телерентгенография [2]. Метод телерентгенологического исследования, особенно выполненный в боковой проекции, позволяет с большой вероятностью определять типы роста лицевого отдела головы, в частности его гнатической части [3–5]. В указанных исследованиях представлены показатели нижнечелюстного угла, что применимо в клинике ортодонтии для оценки типа роста челюсти [6]. Особенности нижнечелюстного угла легли в основу классификации типов лица, основанной на законах гнатологии [7].

Не исключено влияние одонтометрических показателей на форму и размеры дентальных арок, которые в свою очередь определяют размеры челюстных костей [8]. К тому же определяется половой диморфизм зубов и челюстей, которые коррелируют с размерами гнатической части лица [9]. Специалисты обратили внимание на тот факт, что размеры зубов оказывают влияние на параметры челюстей и лица в целом [10]. Тем не менее, рассматривая этот вопрос, исследователи не указали особенности угла нижней челюсти при изучаемом одонтометрическом показателе.

Для анализа боковых телерентгенограмм врач-ортодонт использует общепринятые точки, после соединения которых, измеряются линейные размеры в сагитальном, вертикальном и диагональном направлениях [11, 12].

Более подробный анализ формы зубных дуг представлен исследованиями, оценивающими вариабельность физиологических окклюзионных взаимоотношений [13, 14]. Авторы определили гнатические и дентальные индексы, позволяющие оценить типологические особенности зубных дуг с целью проведения диагностических и лечебно-профилактических мероприятий.

При брахигнатической форме чаще встречается ретрузионный тип зубных дуг, особенно при нормо- и микродентальных типах зубных систем [15]. При долихогнатических вариантах характерной особенностью зубных дуг является физиологическая протрузия резцов [16]. Авторы исследований отметили, что трузионный тип зубных дуг оказывает влияние и на размеры челюстей в сагитальном направлении.

Размеры зубных дуг по трансверсали также имеют различия у людей с брахи- и долихогнатическими вариантами физиологической окклюзии [17]. Исследователи рекомендуют использовать различные методы диагностики. В то же время в приведенных наблюдениях отсутствуют сведения о влиянии нижнечелюстного угла и его составляющих на форму зубных дуг и линейные параметры челюстей.

Не вызывает сомнения факт влияния аномалий челюстно-лицевой области на размеры основных анатомических структур краниофациального комплекса [18]. В работе показана вариантная анатомия нижней челюсти при физиологической и патологической окклюзии.

Специалисты обращают внимание на особенности микроциркуляции пародонтальных тканей на этапах лечения больных с аномалиями окклюзии [19–21].

Наиболее выраженные морфологические изменения в челюстно-лицевой области определяются у людей с мезиальной и дистальной окклюзией, относящимся к аномалиям в сагитальном направлении [22, 23]. В работах представлены основные параметры челюстей, уделено внимание строению нижнечелюстного сустава и мышечному комплексу. Однако не показаны особенности угла нижней челюсти, в частности расположения ветви и мандибулярной плоскости.

Наибольшая вариабельность угловых и линейных параметров нижней челюсти представлена специалистами, оценивающими указанные параметры у детей в период сменного прикуса [24].

Большая часть морфологических исследований челюстно-лицевой области и зубочелюстных дуг проводилась у людей с постоянным прикусом и была направлена на обоснование выбора методов лечения пациентов с аномалиями окклюзии [25, 26]. Авторы данных работ определили показания к лечению техникой эдждайис, с учетом торковых значений зубов. Однако не указаны особенности расположения окклюзионной линии и других вертикальных и горизонтальных параметров челюстных костей, определяющих биомеханику жевательного аппарата.

Особенности угла нижней челюсти оказывают влияние на положение окклюзионной плоскости и определяют показания к использованию аппаратов для ее нормализации [27, 28].

Учитывая многообразие форм аномалий окклюзии и размеров челюстей, предложены алгоритмы лечения пациентов [29, 30].

В доступной литературе мы не встретили сведений о вариантной анатомии и размерах альвеолярной части и тела нижней челюсти, как при физиологической, так и при патологической окклюзии, что определило актуальность и цель работы.

Цель исследования — определить основные параметры составных частей угла нижней челюсти и их значение в клинической стоматологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен анализ телерентгенограмм у пациентов молодого возраста (18–25 лет) с различными вариантами физиологического прикуса. Исследование было ретроспективным, анализировались архивные материалы стоматологических кафедр Волгоградского государственного медицинского университета. Дизайн исследования включал стратификацию рентгенограмм по признаку принадлежности к величине нижнечелюстного угла. В 1-ю группу включали телерентгенограммы, на которых нижнечелюстной угол составлял $119\text{--}123^\circ$ и был свойственен нейтральному типу роста челюстей. Во 2-й группе величина угла составляла более 124° (вертикальный тип), а в третьей группе — менее 118° (горизонтальный тип).

Рентгенограммы проанализировали после перенесения фотографий в программу Microsoft Power Point в масштабе 1:1 по прилагаемой к телерентгенограмме линейке. На выбранные для исследования ориентиры устанавливали точки, которые соединяли линиями с последующим измерением параметров.

Измерения нижнечелюстного угла проводили по касательным линиям к ветви и телу нижней челюсти, через выступающие точки. На ветви использовали точку выпуклости задней поверхности головки нижней челюсти (точка Co) и задней поверхности угла (T_2). Мандибулярную линию проводили через точки T_1 и Me . Место соединения указанных линий определяло положение конструктивной точки гонион Go .

В качестве вспомогательных ориентиров использовалась линия $N-Se$, соединяющая середину входа в турецкое седло с передней точкой носолобного шва. К указанной горизонтали из точки N опускали перпендикуляр, обозначаемый как «назальная вертикаль», которая позволяла определять углы наклона к ней окклюзионной и мандибулярной линий.

Точка угла нижней челюсти Go служила ориентиром для построения вертикали, перпендикулярной к линии основания черепа $N-Se$, место пересечения обозначали

как точку Go' . Полученная гониональная вертикаль делила угол нижней челюсти на 2 составляющие: угол ветви ($Go'-Go-Co$) и угол тела ($Go'-Go-Me$) нижней челюсти.

Кроме этого, из точки Go в переднем направлении проводили линию до супраментальной точки $Downs\ B(SM)$ располагающейся в наиболее углубленном месте переднего контура нижней челюсти. Линия $Go-B(SM)$ условно разграничивала альвеолярную часть и тело нижней челюсти и позволяла измерять угол между нижней апикальной линией и гониональной вертикалью $B(SM)-Go-Go'$ и угол тела челюсти $B(SM)-Go-Me$ (рис. 1).

Окклюзионная линия соединяла переднюю и заднюю точки окклюзии, обозначаемые в ортодонтической практике как точки $vPOcP$ и $hPOcP$. Назально-субназальная линия, соединяющая кожные точки ($n-sn$), использовалась нами для сравнения с касательной линией ветви челюсти, которые, как правило, были параллельны.

При анализе использовали расчет средних величин и ошибки репрезентативности ($M \pm m$) в таблицах Excel программного обеспечения персонального компьютера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования 65 телерентгенограмм пациентов с физиологическим прикусом установлено, что нейтральный тип угла нижней челюсти встречался в 27 случаях, что составило $41,54 \pm 6,11\%$ от числа проанализированных снимков и определило 1-ю группу исследования.

В данной группе среднее значение нижнечелюстного угла составило $120,81^\circ \pm 1,46^\circ$. При этом, угол отклонения ветви от гониональной вертикали (угол $Go'-Go-Co$) составил $7,46^\circ \pm 0,93^\circ$.

Вторая составляющая нижнечелюстного угла, а именно угол $Go'-Go-Me$, составила $113,41^\circ \pm 1,43^\circ$. При анализе углов тела нижней челюсти с альвеолярной ее частью было отмечено, что угол $Go'-Go-B$ составлял $95,22^\circ \pm 2,14^\circ$, а величина угла тела нижней челюсти $B-Go-Me$ — $18,13^\circ \pm 1,93^\circ$ (рис. 1).

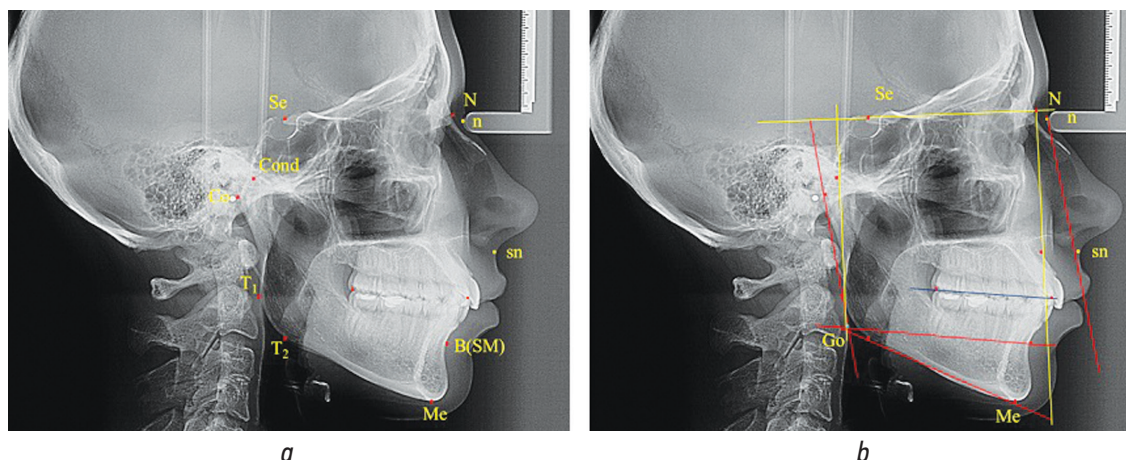


Рис. 1. Расположение ориентировочных точек (а) и диагностических линий (б) для исследования составных частей нижнечелюстного угла при нейтральном типе роста

Fig. 1. Reference points (a) and diagnostic lines (b) for assessing mandibular angle components in neutral growth

В исследуемой группе угол, образованный назальной вертикалью лица и окклюзионной плоскостью, составлял $81,85^\circ \pm 2,09^\circ$, с мандибулярной плоскостью — $66,65^\circ \pm 1,43^\circ$, а с линией *B-Go* — $84,78^\circ \pm 2,14^\circ$.

Во 2-й группе исследования было проанализировано 20 телерентгенограмм, что составило $30,77 \pm 5,42$ % от общего количества снимков.

В данной группе среднее значение нижнечелюстного угла составило $126,49^\circ \pm 1,05^\circ$, что было достоверно больше ($p < 0,05$), чем в 1-й группе и характерно для вертикального типа роста челюстей. При этом угол касательной к ветви от гониональной вертикали (*Go'-Go-Co*) составил $8,18^\circ \pm 0,85^\circ$, что практически не отличалось от аналогичного показателя, полученного в 1-й группе ($p > 0,05$). Вторая составляющая нижнечелюстного угла, а именно угол *Go'-Go-Me*, равнялся $118,32^\circ \pm 1,43^\circ$, что достоверно больше ($p < 0,05$), чем в 1-й группе.

При анализе угла между телом нижней челюсти и ее альвеолярной частью было отмечено, что угол *Go'-Go-B* незначительно превышал значения 1-й группы и составлял $98,20^\circ \pm 2,64^\circ$, однако разница была недостоверной ($p > 0,05$). Величина угла тела нижней челюсти *B-Go-Me* равнялась $20,12^\circ \pm 1,94^\circ$ (рис. 2, а).

Во 2-й группе угол, образованный назальной вертикалью лица и окклюзионной плоскостью, составлял $81,3^\circ \pm 3,15^\circ$ и не имел достоверных различий с показателями 1-й группы. Назальная вертикаль лица образовывала с мандибулярной плоскостью угол в $61,69^\circ \pm 1,55^\circ$, что было достоверно меньше, чем в 1-й группе. Назальная вертикаль образовывала с линией *B-Go* угол величиной $81,79^\circ \pm 2,64^\circ$, что не имело достоверных различий с данными 1-й группы.

Таким образом, у людей с вертикальным типом роста челюстей угол отклонения ветви челюсти от гониональной линии практически не отличался от показателей 1-й группы, однако величина гониально-ментального угла (*Go'-Go-Me*) была достоверно больше.

В 3-й группе исследования было проанализировано 18 снимков, что составило $27,69 \pm 5,55$ % от общего количества снимков.

В данной группе среднее значение нижнечелюстного угла составило $115,41^\circ \pm 1,11^\circ$, что было достоверно меньше ($p < 0,05$), чем в 1-й и 2-й группах и характерно для горизонтального типа роста челюстей. При этом, угол между гониональной вертикалью и касательной к ветви, составил $6,67^\circ \pm 1,78^\circ$, что практически не отличалось от аналогичного показателя, полученного в других группах ($p < 0,05$). Вторая составляющая нижнечелюстного угла, а именно угол *Go'-Go-Me*, был $108,79^\circ \pm 1,72^\circ$, что было достоверно меньше ($p < 0,05$), чем в 1-й и 2-й группах.

Анализируя углы тела нижней челюсти с альвеолярной ее частью было отмечено, что величина угла *Go'-Go-B* незначительно превышала значения 1-й группы и составляла $93,94^\circ \pm 3,15^\circ$, однако разница была недостоверной ($p > 0,05$). Величина угла тела нижней челюсти *B-Go-Me* была меньше, чем в других группах и составляла $14,83^\circ \pm 1,94^\circ$ (рис. 2, б).

В исследуемой группе угол, образованный назальной вертикалью лица и окклюзионной плоскостью, составлял $81,72^\circ \pm 3,81^\circ$ и не имел достоверных различий с показателями других групп исследования.

Назальная вертикаль лица с мандибулярной плоскостью образовывала угол в $71,22^\circ \pm 1,71^\circ$. Назальная вертикаль образовывала с линией *B-Go* угол величиной $86,06^\circ \pm 3,15^\circ$, что не имело достоверных различий с данными других анализируемых групп.

Таким образом, у пациентов с горизонтальным типом роста лица угол отклонения ветви челюсти от гониональной линии практически не отличался от показателей 1-й группы, однако величина гониально-ментального угла (*Go'-Go-Me*) была достоверно меньше (рис. 2, б).

Обращает на себя внимание тот факт, что независимо от величины угла нижней челюсти при всех вариантах назально-субназальная вертикаль мягких тканей лица была практически параллельна касательной линии к ветви

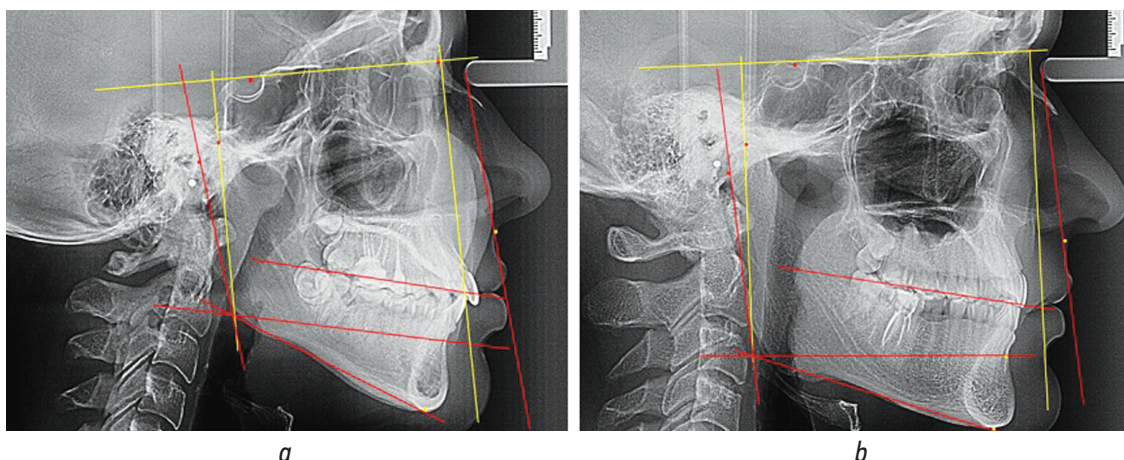


Рис. 2. Особенности расположения составных частей нижнечелюстного угла при вертикальном (а) и горизонтальном (б) типах роста челюстей

Fig. 2. Positions of mandibular angle components in vertical (a) and horizontal growth (b)

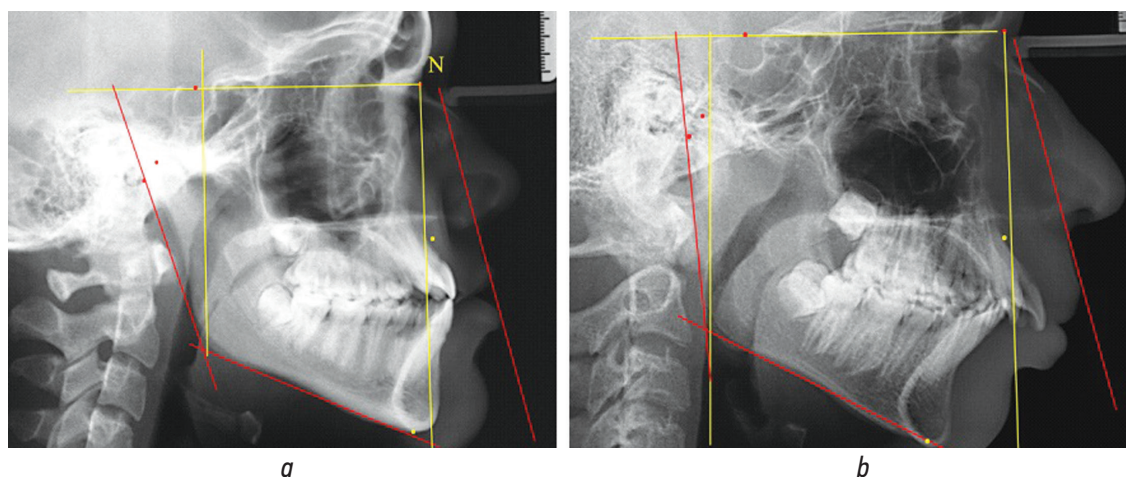


Рис. 3. Особенности расположения составных частей нижнечелюстного угла при мезиальной (а) и дистальной (b) окклюзии
Fig. 3. Positions of mandibular angle components in mesial (a) and distal occlusion (b)

челюсти. При этом отклонение линии ветви челюсти от гониональной вертикали составляло от 6° до 9° . Вариабельность наклона мандибулярной плоскости, как правило, коррелировала с величиной угла нижней челюсти.

Полученные данные исследования составных частей угла нижней челюсти были основополагающими для анализа аналогичных параметров при аномалиях прикуса в сагиттальном направлении.

На втором этапе исследования было проанализировано 12 рентгеновских снимков пациентов с мезиальной окклюзией и 16 телерентгенограмм с признаками дистальной окклюзии.

Величина нижнечелюстного угла как при мезиальной, так и при дистальной окклюзии варьировала в широких пределах. Встречались варианты с вертикальным и горизонтальным типом роста челюстей. Некоторые клинические варианты телерентгенограмм пациентов с аномалиями прикуса в сагиттальном направлении представлены на рисунке 3.

При исследовании телерентгенограмм с мезиальной окклюзией, установлено, что отличительной особенностью является увеличение угла отклонения ветви нижней челюсти от гониональной вертикали. Средняя величина угла $Go'-Go-Co$ составляла $18,03^\circ \pm 1,22^\circ$, что характеризовало гнатическую форму мезиального соотношения зубных рядов.

Для дистальной окклюзии характерно уменьшение угла $Go'-Go-Co$ менее чем на 5° . При гнатических формах аномалий окклюзии отмечалась непараллельность назально-субназальной вертикали и касательной к ветви челюсти.

ВЫВОДЫ

1. Гониальная вертикаль, перпендикулярная линии переднего основания черепа, делит нижнечелюстной угол на 2 неравные части. При этом угол отклонения касательной линии ветви от гониональной вертикали не имел достоверных различий между исследуемыми группами и составлял в среднем около 8° .

2. При нейтральной величине угла мандибулярная линия отклонялась от гониональной вертикали в среднем на $113,4^\circ \pm 1,4^\circ$.

3. При вертикальном типе строения лица величина угла между гониональной вертикалью и мандибулярной линией была достоверно больше ($p < 0,05$) и составляла $118,3^\circ \pm 1,4^\circ$, а при горизонтальном типе, существенно меньше, чем в других группах, а именно $108,8^\circ \pm 1,7^\circ$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования предложено анализировать составные части нижнечелюстного угла, разграниченные по вертикали и сагиттали, линиями, выходящими из точки Go . Установлена вариабельность составных частей нижнечелюстного угла, обусловленная типом роста гнатического отдела лица. При физиологической окклюзии величина отклонения ветви челюсти от условной гониональной вертикали составляла $6-8^\circ$ вне зависимости от величины угла челюсти. Исследуемый угол при мезиальной окклюзии увеличивался и составлял в среднем $18,03^\circ \pm 1,22^\circ$, что было достоверно больше ($p < 0,05$), чем при физиологических вариантах окклюзии. Для дистальной окклюзии была характерна величина угла менее 5° . Полученные данные могут быть полезны при изучении вариантной анатомии нижней челюсти, а также в клинической практике врачей стоматологов и челюстно-лицевых хирургов для дифференциальной диагностики гнатических и зубо-альвеолярных аномалий прикуса и определения тактики комплексного лечения пациентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора: Т.Д. Дмитриенко — определение дизайна исследования, написание и редактирование текста рукописи; В.Т. Ягупова — сбор

материала, анализ полученных данных, И.Н. Юхнов — разработка методов исследования угла нижней челюсти на телерентгенограммах, описание методов исследования.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при написании статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этический комитет. Материал статьи демонстрирует анализ литературы о методах определения особенностей нижнечелюстного угла, уделяя особое внимание его составных частей.

Информированное согласие на публикацию. Все участники добровольно подписали форму информированного согласия до публикации статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. All the authors made a significant contribution to the preparation of the article, read and approved

the final version before publication. Personal contribution of each author: T.D. Dmitrienko — determine the design of the study, writing and editing the text of the manuscript; V.T. Yagupova — collection of material, analysis of the data obtained, I.N. Yukhnov — development of methods for studying the angle of the lower jaw on teleradiography, description of the chapter of research methods.

Funding source. The authors claim that there is no external funding when writing the article.

Competing interests. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Ethics approval. The article demonstrates the analysis of the literature on methods for determining the features of the mandibular angle, paying special attention to its components.

Informed consent to publication. All participants voluntarily signed an informed consent form prior to the publication of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краюшкин А.И., Воробьев А.А., Александрова Л.И., и др. Нормальная анатомия головы и шеи. Москва, 2012. 288 с.
2. Domenyuk D.A., Porfyriadis M.P. Major telerenthenogram indicators in people with various growth types of facial area // Archiv EuroMedica. 2018. Vol. 8, N 1. P. 19–24. EDN: XSOJDF doi: 10.35630/2199-885X/2018/8/1/19
3. Доменюк Д.А., Давыдов Б.Н., Ведешина Э.Г., Дмитриенко С.В. Рентгенологические и морфометрические методы в комплексной оценке кефало-одонтологического статуса пациентов стоматологического профиля (Часть I) // Институт стоматологии. 2017. № 2. С. 58–61. EDN: YUEDYJ
4. Доменюк Д.А., Давыдов Б.Н., Ведешина Э.Г., Дмитриенко С.В. Рентгенологические и морфометрические методы в комплексной оценке кефало-одонтологического статуса пациентов стоматологического профиля (Часть II) // Институт стоматологии. 2017. № 3. С. 32–35. EDN: ZRDQZN
5. Доменюк Д.А., Коробкеев А.А., Ведешина Э.Г., и др. Рентгеноморфометрические методы в оценке кефало-одонтологического статуса пациентов со сформировавшимся ортогнатическим прикусом постоянных зубов. Ставрополь: Изд-во СтГМУ, 2015. 76 с.
6. Коробкеев А.А., Доменюк Д.А., Шкарин В.В., Дмитриенко С.В. Особенности типов роста лицевого отдела головы при физиологической окклюзии // Медицинский Вестник Северного Кавказа. 2018, Т. 13, № 4. С. 627–630. EDN: SSXMHR doi: 10.14300/mnnc.2018.13122
7. Domenyuk D.A., Shkarin V.V., Porfyriadis M.P., et al. Classification of facial types in view of gnathology // Archiv euromedica. 2017. Vol. 7, N1. P. 8–13. EDN: ZDIYWR
8. Самусев Р.П., Дмитриенко С.В., Краюшкин А.И. Основы клинической морфологии зубов. Москва, 2002. 368 с.
9. Доменюк Д.А., Давыдов Б.Н., Порфириадис М.П., и др. Изменчивость кефалометрических показателей у мужчин и женщин с мезоцефалической формой головы и различными конституциональными типами лица (Часть I) // Институт стоматологии. 2018. № 1. С. 70–73. EDN: UPPLMC
10. Коробкеев А.А., Цатурян Л.Д., Ведешина Э.Г. Особенности челюстно-лицевой области при макродонтизме постоянных зубов. Ставрополь: Изд-во СтГМУ, 2016. 159 с.
11. Дмитриенко С.В., Шкарин В.В., Дмитриенко Т.Д. Методы биометрического исследования зубочелюстных дуг. Волгоград: Изда-во ВолГМУ, 2022. 220 с.
12. Шкарин В.В., Дмитриенко Т.Д., Кочконян Т.С., и др. Анализ классических и современных методов биометрического исследования зубочелюстных дуг в периоде прикуса постоянных зубов (Обзор литературы) // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2022. Т. 19, № 1. С. 9–16. EDN: RZKFLT doi: 10.19163/1994-9480-2022-19-1-9-161
13. Доменюк Д.А., Ведешина Э.Г., Ведешина Э.Г., и др. Морфометрический анализ формы верхних зубочелюстных дуг с физиологической окклюзией постоянных зубов // Институт стоматологии. 2015. № 1. С. 75–77. EDN: TOMSUD
14. Доменюк Д.А., Коробкеев А.А., Цатурян Л.Д., Ведешина Э.Г. Вариации строения размеров лицевого скелета и зубных рядов у мезоцефалов. Ставрополь, 2016. 140 с.
15. Доменюк Д.А., Давыдов Б.Н., Ведешина Э.Г., и др. Основные морфометрические параметры зубных дуг у людей с брахигнатической формой зубной дуги и макро-, микро-, нормодонтными типами зубных систем // Институт стоматологии. 2015. № 3. С. 44–47. EDN: UIYIKT
16. Доменюк Д.А., Давыдов Б.Н., Ведешина Э.Г., Дмитриенко С.В. Сагитальные и трансверсальные размеры долинготических зубных дуг у людей с макро-, микро- и нормодонтизмом // Институт стоматологии. 2016. № 2. С. 60–63. EDN: WFLWKT
17. Domenyuk D.A., Vedeshina E.G. Mistakes in Pont (Linder-Hart) method used for diagnosing abnormal dental arches in transversal plane // Archiv euromedica. 2016. Vol. 6, N2. P. 23–26. EDN: YPCRYH
18. Воробьев А.А., Краюшкин А.И. Морфологические особенности челюстно-лицевой области при аномалиях и деформациях и методы их диагностики. Учебное пособие. Санкт-Петербург, 2009. 144 с.

19. Доменюк Д.А., Давыдов Б.Н., Дмитриенко С.В., и др. Изменение морфологического состояния тканей пародонтального комплекса в динамике ортодонтического перемещения зубов (Экспериментальное исследование) // Пародонтология. 2018. Т. 23, № 1. С. 69–78. EDN: XNSCQP doi: 10.25636/PMP.1.2018.1.1
20. Доменюк Д.А., Чуков С.З., Ведешина Э.Г., и др. Морфология тканей зубов и пародонта при дозированном нагружении. Ставрополь: Изд-во СтГМУ, 2016. 244 с.
21. Давыдов Б.Н., Доменюк Д.А., Дмитриенко С.В. Особенности микроциркуляции в тканях пародонта у детей ключевых возрастных групп, страдающих сахарным диабетом 1-го типа. Часть I // Пародонтология. 2019. Т. 24, № 1–24. С. 4–10. EDN: YZKXMD doi: 10.25636/PMP.1.2019.1.1
22. Доменюк Д.А., Коннов В.В., Ведешина Э.Г., и др. Патогенез, клиника и методы лечения мышечно-суставной дисфункции у больных стоматологического профиля с сагиттальными аномалиями окклюзии. Ставрополь: Из-во СтГМУ, 2015. 238 с.
23. Domenyuk D.A., Vedeshina E.G., Dmitrienko S.V. Efficiency evaluation for integrated approach to choice of orthodontic and prosthetic treatments in patients with reduced gnathic region // Archiv EuroMedica. 2015. Vol. 5, N2. P. 6–12. EDN: VKSMNZ
24. Давыдов Б.Н., Доменюк Д.А., Дмитриенко С.В., и др. Морфологические особенности строения лицевого скелета и клинико-диагностические подходы к лечению аномалий у детей в период раннего сменного прикуса // Стоматология детского возраста и профилактика. 2019. Т. 19, № 1. С. 26–38. EDN: YPEQEX doi: 10.33925/1683-3031-2019-19-69-26-38
25. Давыдов Б.Н., Доменюк Д.А., Ведешина Э.Г., Дмитриенко С.В. Биометрическое обоснование основных линейных размеров зубных дуг для определения тактики ортодонтического лечения техникой эджуайс (часть I) // Институт стоматологии. 2016. № 1. С. 76–78. EDN: VTOFQJ
26. Давыдов Б.Н., Доменюк Д.А., Ведешина Э.Г., Дмитриенко С.В. Биометрическое обоснование основных линейных размеров зубных дуг для определения тактики ортодонтического лечения техникой эджуайс (часть II) // Институт стоматологии. 2016. № 2. С. 66–67. EDN: WFLWLN
27. Shkarin V.V., Kochkonyan T.S., Domenyuk D.A., et al. Occlusal plane orientation in patients with dentofacial and malocclusions based on morphometric cranio-facial measurements // Archiv EuroMedica. 2021. Vol. 11, N1. P. 116–121. EDN: UPFMEJ doi: 10.35630/2199-885X/2021/11/1.26
28. Фадеев Р.А., Ланина А.Н., Вишнёва Н.В. Клинический опыт применения окклюзокорректоров в качестве операционного позиционера // Университетская стоматология и челюстно-лицевая хирургия. 2023. Т. 1, № 1. С. 23–28. EDN: LIYOLG doi: 10.17816/uds516341
29. Дмитриенко С.В., Краюшкин А.И., Воробьев А.А., Фомина О.Л. Атлас аномалий и деформаций челюстно-лицевой области. Москва, 2006. 95 с.
30. Фадеев Р.А., Ланина А.Н., Вишнёва Н.В., Тимченко В.В. Влияние обусловленности зубочелюстно-лицевой аномалии на выбор тактики ортодонтического лечения // Университетская стоматология и челюстно-лицевая хирургия. 2023. Т. 1, № 1. С. 29–36. EDN: FLDWHC doi: 10.17816/uds516530

REFERENCES

1. Krayushkin AI, Vorobyev AA, Aleksandrova LI, et al. *Normal anatomy of the head and neck*. Moscow; 2012. 288 p. (In Russ.)
2. Domenyuk DA, Porfyriadis MP. Major telereanthropogram indicators in people with various growth types of facial area. *Archiv EuroMedica*. 2018;8(1):19–24. EDN: XSOJDF doi: 10.35630/2199-885X/2018/8/1/19
3. Domenyuk DA, Davydov BN, Vedeshina EG, Dmitrienko SV. Radiological and morphometric methods for comprehensive assessment of cephalo-odontologic status in dental patients (Part I). *The dental institute*. 2017;(2):58–61. EDN: YUEDYJ
4. Domenyuk DA, Davydov BN, Vedeshina EG, Dmitrienko SV. Radiological and morphometric methods for comprehensive assessment of cephalo-odontologic status in dental patients (Part II). *The dental institute*. 2017;(3):32–35. EDN: ZRDQZN
5. Domenyuk DA, Korobkeev AA, Vedeshina EG, et al. *Roentgeno-morphometric methods in the assessment of cephalo-odontological status of patients with formed orthognathic bite of permanent teeth*. Stavropol: Stavropol State Medical University Press; 2015. 76 p. (In Russ.)
6. Korobkeev AA, Domenyuk DA, Shkarin VV, Dmitrienko SV. Types of facial arch depth in physiological occlusion. *Medical news of the North Caucasus*. 2018;13(4):627–630. EDN: SSXMRH doi: 10.14300/mnnc.2018.13122
7. Domenyuk DA, Shkarin VV, Porfyriadis MP, et al. Classification of facial types in view of gnathology. *Archiv euromedica*. 2017;7(1):8–13. EDN: ZDIYWR
8. Samusev RP, Dmitrienko SV, Krayushkin AI. *Fundamentals of clinical morphology of teeth*. Moscow; 2002. 368 p. (In Russ.)
9. Domenyuk DA, Davydov BN, Dmitrienko SV, et al. Variability of cephalometric indices in men and women with mesocephalic form of the head and various constitutional types of face (Part I). *The dental institute*. 2018;(1):70–73. EDN: UPPLMC
10. Korobkeev AA, Tsaturyan LD, Vedeshina EG. *Features of maxillofacial region in macrodontism of permanent teeth*. Stavropol: Stavropol State Medical University Publ.; 2016. 159 p. (In Russ.)
11. Dmitrienko SV, Shkarin VV, Dmitrienko TD. *Methods of biometric study of dento-mandibular arches*. Volgograd: VolgGMU Publ.; 2022. 220 p. (In Russ.)
12. Shkarin VV, Dmitrienko TD, Kochkonyan TS, et al. Analysis of classical and modern methods of biometric examination of dental arches in the period of permanent teeth (literature review). *Journal of Volgograd State medical university*. 2022;19(1):9–16. EDN: RZKFLT doi: 10.19163/1994-9480-2022-19-1-9-161
13. Domenyuk DA, Vedeshina EG, Kochkonyan TS, et al. Morphometric analysis of the shape of upper dentoalveolar arches with physiologic occlusion of permanent teeth. *The dental institute*. 2015;(1):75–77. EDN: TOMSUB (In Russ.)
14. Domenyuk DA, Korobkeev AA, Tsaturyan LD, Vedeshina EG. *Variations in the structure of facial skeleton dimensions and tooth rows in mesocephals*. Stavropol; 2016. 140 p. (In Russ.)
15. Domenyuk DA, Davydov BN, Vedeshina EG, et al. Major morphometric parameters of dental arches in people with brachygnathic dental arch and macro-, micro-, and normodontic dental systems. *The dental institute*. 2015;(3):44–47. EDN: UIYIKT

16. Domenyuk DA, Davydov BN, Vedeshina EG, Dmitrienko SV. Sagittal and transversal dimensions of dolichognathic dental arches in humans with macrodontia, microdontia, and normodontia. *The dental institute*. 2016;(2):60–63. EDN: WFLWKT
17. Domenyuk DA, Vedeshina EG. Mistakes in Pont (Linder-Hart) method used for diagnosing abnormal dental arches in transversal plane. *Archiv euromedica*. 2016;6(2):23–26. EDN: YPCRYH
18. Vorobyev AA, Krayushkin AI. *Morphologic features of maxillofacial region in anomalies and deformities and methods of their diagnostics*. Textbook. Saint Petersburg; 2009. 144 p. (In Russ.)
19. Domenyuk DA, Davydov BN, Dmitrienko SV, et al. Changes of the morphological state of tissue of the paradontal complex in the dynamics of orthodontic transfer of teeth (experimental study). *Parodontologiya*. 2018;23(1):69–78. EDN: XNSCQP doi: 10.25636/PMP.1.2018.1.15
20. Domenyuk DA, Chukov SZ, Vedeshina EG, et al. *Morphology of dental and periodontal tissues under dosed loading*. Stavropol: StGMU Publ.; 2016. 244 p. (In Russ.)
21. Davydov BN, Domenyuk DA, Dmitrienko SV. Peculiarities of microcirculation in peridont tissues in children of key age groups sufficient type 1 diabetes. Part I. *Parodontologiya*. 2019;24(1–24):4–10. EDN: YZKXMD doi: 10.25636/PMP.1.2019.1.1
22. Domenyuk DA, Konnov BB, Vedeshina EG, et al. *Pathogenesis, clinic and methods of treatment of musculo-articular dysfunction in dental patients with sagittal occlusion anomalies*. Stavropol: StSMU Publ.; 2015. 238 p. (In Russ.)
23. Domenyuk DA, Vedeshina EG, Dmitrienko SV. Efficiency evaluation for integrated approach to choice of orthodontic and prosthetic treatments in patients with reduced gnathic region. *Archiv EuroMedica*. 2015;5(2):6–12. EDN: VKSMNZ
24. Davydov BN, Domenyuk DA, Dmitrienko SV, et al. Morphological peculiarities of facial skelet structure and clinical and diagnostic approaches to the treatment of dental anomalies in children in the period of early change. *Pediatric dentistry and dental prophylaxis*. 2019;19(1): 26–38. EDN: YPEQEX doi: 10.33925/1683-3031-2019-19-69-26-38
25. Domenyuk DA, Davydov BN, Dmitrienko SV, Vedeshina EG. Biometric justification of main linear dimensions of the dental arches in orthodontic treatment tactics' development using edgewise orthodontic technique (Part I). *The dental institute*. 2016;(1):76–78. EDN: VTOFQJ
26. Domenyuk DA, Davydov BN, Dmitrienko SV, Vedeshina EG. Biometric justification of main linear dimensions of the dental arches in orthodontic treatment tactics' development using edgewise orthodontic technique (Part II). *The dental institute*. 2016;(2):66–67. EDN: WFLWLN
27. Shkarin VV, Kochkonyan TS, Domenyuk DA, et al. Occlusal plane orientation in patients with dentofacial and malies based on morphometric cranio-facial measurements. *Archiv EuroMedica*. 2021;11(1): 116–121. EDN: UPFMEJ doi: 10.35630/2199-885X/2021/11/1.26
28. Fadeev RA, Lanina AN, Vishnyova NV. Clinical experience of using occlusocorrectors as an operational positioner. *Acta universitatis dentistriae et chirurgiae maxillofacialis*. 2023;1(1):23–28. EDN: LIYOLG doi: 10.17816/uds516341
29. Dmitrienko SV, Krayushkin AI, Vorobiev AA, Fomina OL. *Atlas of anomalies and deformities of the maxillofacial region*. Moscow; 2006. 95 p. (In Russ.)
30. Fadeev RA, Lanina AN, Vishnyova NV, Timchenko VV. Influence of the conditionality of maxillofacial anomalies on the choice of orthodontic treatment tactics. *Acta universitatis dentistriae et chirurgiae maxillofacialis*. 2023;1(1):29–36. EDN: FLDWHC doi: 10.17816/uds516530

ОБ АВТОРАХ

***Татьяна Дмитриевна Дмитриенко**, канд. мед. наук, доцент, Волгоградский государственный медицинский университет; адрес: Россия, 400131, Волгоград, пл. Павших Борцов, д. 1; ORCID: 0000-0002-0935-5575; eLibrary SPIN: 6118-8965; e-mail: svdvolga@yandex.ru

AUTHORS' INFO

***Tatyana D. Dmitrienko**, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Volgograd State University; address: 1 Pavshikh Bortsov Ave., Volgograd, 400131, Russia; ORCID: 0000-0002-0935-5575; eLibrary SPIN: 6118-8965; e-mail: svdvolga@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ОБ АВТОРАХ

Виолета Телмановна Ягупова, канд. мед. наук;
eLibrary SPIN: 5404-5893; e-mail: violeta.yagupova@mail.ru

Илья Николаевич Юхнов, ассистент кафедры;
eLibrary SPIN: 3554-5287; e-mail: ilyuyhnov@bk.ru

AUTHORS' INFO

Violeta T. Yagupova, MD, Cand. Sci. (Med.);
eLibrary SPIN: 5404-5893; e-mail: violeta.yagupova@mail.ru

Ilya N. Yukhnov, assistant; eLibrary SPIN: 3554-5287;
e-mail: ilyuyhnov@bk.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/uds633465>

Effect of a Modified Herbst Appliance on the Mandible Assessed by the Finite Element Method

Nikita D. Pirskaa¹, Roman A. Fadeev²¹ Medical center "Romanovsky", Saint Petersburg, Russia;² North-Western State Medical University named after. I. I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The finite element method is a computational tool widely used in engineering and biomechanics, which is becoming increasingly relevant in the field of orthodontics. The ability to model a complex biological structures has made it a valuable tool for understanding the interactions that occur during tooth movement. Orthodontic treatment is based on the application of mechanical forces to move the teeth to a more desirable position, but these forces also affect the surrounding tissues, including the periodontal ligament and alveolar bone. The finite element method allows you to predict how these tissues will respond to various exposures, which helps to develop more effective and safe treatment methods

AIM: To assess the effect of a Herbst appliance on bone structures of the mandible using the finite element method.

MATERIALS AND METHODS: A 3D model of the mandible in a 25-year-old adult patient was built, and the effect of a modified Herbst appliance on the mandible was assessed by the finite element method.

RESULTS: The physical properties of a viscoelastic material were determined for the 3D model, using a Kelvin model as the most appropriate best-case scenario for the cortical bone. The model of a static position of the mandible showed that the maximum mandibular displacement was 1.97 mm, the maximum elastic strain was 1.2% of the allowable limit, and the stress was less than 0.1% of the allowable limit. The model of mandibular movements during chewing revealed that the maximum displacement was 0.7 mm in the mandibular angle and coronoid process area. The elastic strain reached 2% of the allowable limit, concentrating on the distal surface of the mandibular second molar, and the stress was less than 0.2% of the allowable limit.

CONCLUSIONS: A viscoelastic Kelvin model enabled creating a 3D model of the mandible with properties similar to those of bone tissue. The use of the finite element method to assess the effect of a modified Herbst appliance on the mandible allowed for imaging of the displacement, strain, and stress observed while the appliance was utilized.

Keywords: Herbst appliance; finite element method; orthodontics.

To cite this article

Pirskaa ND, Fadeev RA. Effect of a Modified Herbst Appliance on the Mandible Assessed by the Finite Element Method. *Acta Universitatis Dentistriae et Chirurgiae Maxillofacialis*. 2024;2(3):141–150. DOI: <https://doi.org/10.17816/uds633465>

DOI: <https://doi.org/10.17816/uds633465>

Изучение действия модифицированного аппарата Гербста на нижнюю челюсть методом конечных элементов

Н.Д. Пирский¹, Р.А. Фадеев²¹ Медицинский центр «Романовский», Санкт-Петербург, Россия;² Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Метод конечных элементов — это вычислительный способ, широко используемый в инженерии и биомеханике, который приобретает все большую актуальность в области ортодонтии. Способность моделировать сложные биологические структуры сделала его ценным инструментом для понимания взаимодействий, происходящих в процессе перемещения зубов. Ортодонтическое лечение основано на применении механических усилий для перемещения зубов в более желательное положение, но эти усилия также воздействуют на окружающие ткани, включая периодонтальную связку и альвеолярную кость. Метод конечных элементов позволяет предсказать, как эти ткани будут реагировать на различные воздействия, что помогает разрабатывать более эффективные и безопасные методы лечения.

Цель. Изучение методом конечных элементов воздействия аппарата Гербста на костные структуры нижней челюсти.

Материалы и методы. Разработана 3-мерная модель нижней челюсти взрослого пациента 25 лет и произведен анализ действия модифицированного аппарата Гербста на нее методом конечных элементов.

Результаты. Для трехмерной модели определены физические свойства вязкоупругого материала на основании модели Kelvin как наиболее удачной идеализации поведения кортикальной кости. При симуляции статического положения нижней челюсти определено, что максимальная величина смещения нижней челюсти составляет 1,97 мм; максимальное значение упругой деформации составляет 1,2 % от предельно допустимого значения; значение напряжений достигает составляют менее 0,1 % от предельно допустимых значений. При симуляции движения нижней челюсти в процессе жевания определено, что максимальное смещение составляет 0,7 мм в области угла нижней челюсти и венечного отростка; упругие деформации достигают 2 % от предельного значения, концентрируясь в области дистальной поверхности нижнего второго моляра; значение напряжений составляет менее 0,2 % от предельно допустимого.

Выводы. Использование вязкоупругой модели Kelvin позволяет создать 3-мерную модель нижней челюсти со свойствами, приближенными к костной ткани. Изучение действия модифицированного аппарата Гербста на нижнюю челюсть методом конечных элементов позволило визуализировать явления смещения, деформации и напряжения, возникающие в период действия аппарата.

Ключевые слова: аппарат Гербста; метод конечных элементов; ортодонтия.

Как цитировать

Пирский Н.Д., Фадеев Р.А. Изучение действия модифицированного аппарата Гербста на нижнюю челюсть методом конечных элементов // Университетская стоматология и челюстно-лицевая хирургия. 2024. Т. 2, № 3. С. 141–150. DOI: <https://doi.org/10.17816/uds633465>

INTRODUCTION

Modern orthodontic treatment planning must be based on reliable research findings and clinical data. Before initiating treatment, it is critical to understand how maxillofacial structures will respond to a specific treatment modality.

Computer technology has made it possible to use the finite element method for the assessment of orthodontic forces and their effect on bone tissues [1]. This method is currently regarded as an important tool for biomechanics studies in orthodontics.

The finite element method (FEM) is a method for numerically solving differential equations and problems in mathematical modeling. It is used for approximating geometric regions and calculating physical field distributions within them. The initial region is reduced into more simple subregions known as finite elements, and boundary-condition equations are then solved for each element. As a result, the regions are visualized with numerical representations of physical values. FEM computational packages typically feature visualization, which aids in the monitoring of internal stress, deformation, and displacement during interactions over time. It is critical to analyze stress patterns in the maxillofacial area observed during orthodontic treatment, because tooth movement occurs when the orthodontic force applied to the teeth and compact bone influences the entire periodontal ligament, which triggers cell-mediated response. Bone remodeling is determined by the nature of applied stress through the respective stress in the soft tissue matrix or the external force [1–4].

Advantages of FEM:

- 1) It is applicable to any structure with any geometry;
- 2) The method is non-invasive and allows the visualization of pre-, intra-, and postoperative treatment stages;
- 3) The reproducibility does not affect material properties;
- 4) The method is cost-effective;
- 5) The method takes less time compared to clinical studies.

The disadvantages of FEM include confusing results if incorrect data is entered into the software. Due to the complex geometry of biological structures, FEM becomes more reliable when the correct physical properties of biological tissues are used. The method does not take into account biological tissue growth; it only represents stress and displacement distributions. The examined structure is loaded without adding or removing any materials [5].

STUDY AIM. To assess the effect of the Herbst appliance on mandibular bone structures using the finite element method.

Study objectives: 1) To develop a mandible model compatible with FEM and assess whether it can produce

clinically comparable results; 2) To analyze the model by calculating the maximum stress, maximum displacement, deformation, equivalent stresses, and principal stress observed in the mandible when using a modified Herbst appliance.

MATERIALS AND METHODS

For the purposes of the study, a viscoelastic mandible model was developed, and forces applied to the mandible by the modified Herbst appliance were tested.

According to biomechanics, compact bone is a viscoelastic material, hence this modeling approach was justified [5, 6]. Viscoelasticity is a property of materials that exhibits both viscous and elastic characteristics when deformed. Materials thus behave as both liquids and solids.

The Maxwell and Voigt models (Fig. 1, *a, b*) used to describe mandibular bone tissue.

The Maxwell model is a sequential damper-spring system. This model shows a similar force applied to the spring and damper; however, when the force is removed, the spring returns to its initial state, whereas the damper does not. With an initial displacement (deformation), this model allows for a gradual decrease in stress, while with a constant load, a gradual displacement (the so-called creeping) is observed [7].

The Voigt model, which is used for the analysis of biological tissues such as cortical bone, allows for a parallel action of the damper and spring. In this model, the force is concentrated in the damper from the moment when the force is applied to the moment of reaching the maximum force. The maximum force the spring is achieved simultaneously.

In this study, we used a modified Maxwell model with a parallel elastic element (the Kelvin model). It is also known as a standard linear model (Fig. 1, *c*). The Kelvin model, which combines the features of the Maxwell and Voigt models, best describes the behavior of the majority of actual viscoelastic materials. Thus, this model is optimal for assessing cortical bone behavior.

To assess the bone tissue state taking into account the presence of collagen, we used Prony parameters, which serve to model the material's response to loads over time, particularly in cases of deformation or restoration. This allowed representing the mandibular bone tissue as a material containing elastic and viscous elements, making it possible to identify simple components of a complex rheological characteristic, simplifying the analysis and interpretation of study findings. Determining the maximum principal stress, as well as the von Mises stress, is the gold standard for assessing stress distribution in the cortical bone. This helps to assess the deformation capacity (or destruction) of a plastic material. The assessment of both stresses is based on the fact that the von Mises stress indicates the total stress distributed

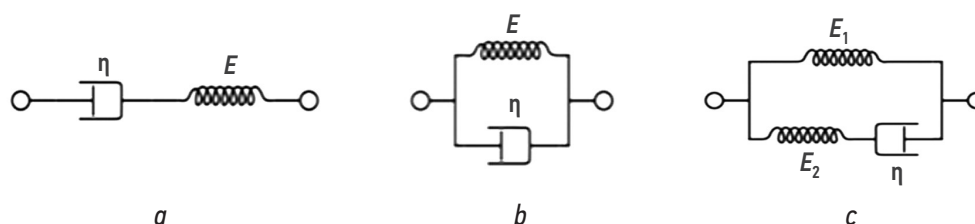


Fig. 1. *a*, Maxwell model; *b*, Voigt model; *c*, Kelvin model. Explanations are provided in the text

Рис. 1. *a* — Модель Maxwell; *b* — модель Voigt; *c* — модель Kelvin. Пояснения в тексте

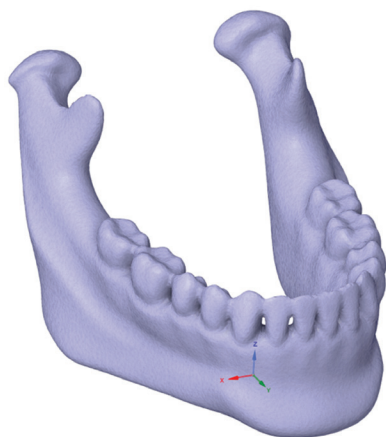


Fig. 2. 3D model of the mandible

Рис. 2. Трехмерная модель нижней челюсти



Fig. 3. Finite element method grid

Рис. 3. Сетка метода конечных элементов

in the mandible in all axial planes. On the contrary, the maximum principal stress is limited by the stress in a specific area under single-axis loading.

The mandible model was created by transforming cone beam computed tomography (CBCT) images of the mandible into 3D models (Fig. 2). CBCT images of an adult male patient (25 years old) with a distal occlusion were selected. The 3D model was analyzed using the ANSYS software. The model geometry was imported, and a grid was built using various modules of the ANSYS software (Fig. 3). The model had the following dimensions: width 140 mm, length 180 mm, and height 100 mm. Material parameters included the Young's modulus (modulus of elasticity) and the Poisson's ratio (a mechanical property of the material that indicates its deformation perpendicular to the loading direction) (Table 1) [8–13].

In the first molar area, forces of 200 N (vertical) and 300 N (horizontal) were applied to model the force applied by masseter muscles to the mandible and dental arches in a static position using the Herbst appliance. When modeling the maximum stress in mandibular elevator muscles, the total applied force was 582 N, with a loading time of 3 s: loading – exposure – unloading (1 s per stage). These forces were based on the mean masticatory force and the forces generated by masseter muscles described in the literature [8]. The finite element analysis included three stages: 1) preprocessing; 2) processing, and 3) post-processing.

Preprocessing stage. After developing the model and determining the grid density, the grid was generated as shown in Fig. 3. Table 2 represents Prony distributions. These properties will determine the behavior of materials after applying a specific load. Relative modules are ratios of the modules of elasticity (or rigidity) of various Prony distribution components to the general model; they are used to calculate the effect of each component on the total rigidity of the material. The relaxation time is the rate at which a material responds to applied forces and changes its form or structure in response to these forces.

After determining the properties of the material, it is critical to establish boundary conditions (limitation of node movement in one or several directions along the X, Y, and Z axes). This ensures the stability of a mandible model and enables the visualization of deformation and stress. Boundary conditions were applied to mandibular articular processes (Fig. 4).

Moreover, a mandible model with physiologically attached masseter muscles was created to simulate the maximum stress observed when using a fixed modified Herbst appliance (Fig. 5).

Processing stage. The purpose of this stage was to assess the development and changes in stress and deformation of the mandibular bone tissue during 6 months of treatment. This study focused on the displacement rate and changes in stress due to creeping.

Table 1. Modulus of elasticity, Poisson's ratio and other characteristics of materials

Таблица 1. Модуль упругости, коэффициент Пуассона и другие характеристики материалов

Measuring area	Material properties				
	Modulus of elasticity, hPa	Poisson's ratio	Density, g/cm³	Creep limit, MPa	Ultimate strength, MPa
Enamel	20	0.3	1.45	250	360
Cortical bone	17	0.3	2	250	460

Table 2. Prony distributions

Таблица 2. Распределения Prony

Relative modules, i	Relaxation time, s
0.45	5
0.07	35
0.04	400

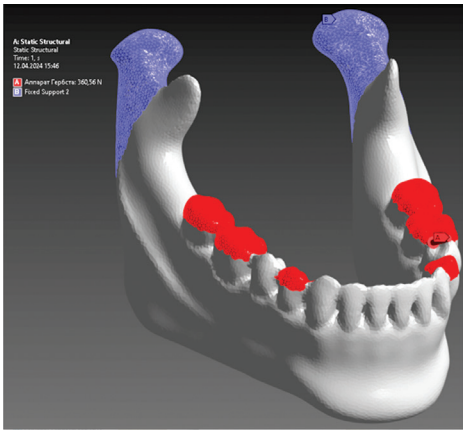


Fig. 4. The force corresponds to the use of a modified Herbst appliance. Viscoelastic properties of the cortical bone we added. Boundary conditions were applied to articular processes of the mandible

Рис. 4. Усилия соответствуют наложению модифицированного аппарата Гербста. Добавлены вязкоупругие характеристики кортикальной кости. Граничные условия наложены на суставные отростки нижней челюсти

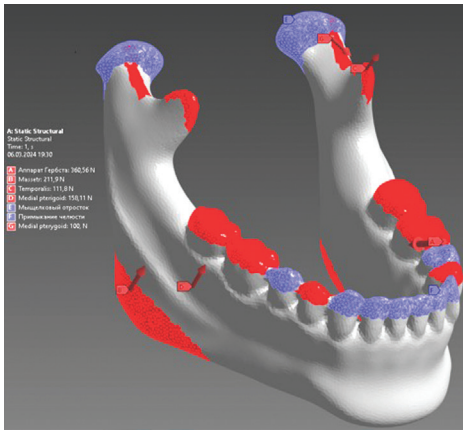


Fig. 5. Model of the mandible with physiologically attached masseter muscles and a fixed modified Herbst appliance

Рис. 5. Модель нижней челюсти с физиологическим креплением жевательных мышц и фиксированным модифицированным аппаратом Гербста

The behavior of a viscoelastic mandible model during 1 s at the start, middle, and end of treatment was simulated.

Post-processing stage. This stage demonstrates how applied forces affect bone tissue in terms of displacement and stress distribution. The results are presented as graphic colored contours with values. This helps to identify various output data patterns. The colors vary from red to blue.

RESULTS AND DISCUSSION

First simulation case. The forces correspond to a fixed modified Herbst appliance; viscoelastic properties of the cortical bone were added.

The maximum displacement was 0.89 mm and 1.97 mm at the start of treatment and after 6 months, respectively. The displacement was observed in the anterior and inferior directions (clockwise rotation). The displacement rate decreased from incisors to the last molars. Thus, the mandibular teeth and mandibular body are displaced in the anterior and inferior directions (Fig. 6).

Maximum return elastic deformations are observed in the retromolar area, mandibular notch, and mandibular ramus, as well as at molar-premolar contact points. The articular process, incisor contact surfaces, mandibular body, and chin show the greatest compression stress. The maximum elastic deformation was 0.6% and 1.2% of the threshold value at the start of treatment and after

6 months, respectively. We can conclude that the expected elastic deformation will increase over time. However, these values are not associated with a risk of cortical bone fracture or enamel defects, because the bone tissue and enamel have a high elastic limit (250 MPa). The strength of biomaterials varies significantly; however, the enamel typically has a greater strength.

The von Mises stress is observed in the retromolar area, mandibular notch, and mandibular ramus, as well as at molar-premolar contact points. Equivalent stress values reach 0.28 MPa and 0.37 MPa at the start of treatment and after 6 months, respectively. The creep limit for the cortical bone and enamel is 250 MPa. The resulting stress values amount to <0.1% of this value; thus, the requirements for the margin of safety are met (Fig. 8). In some cases, we use orthodontic implants in the retromolar area in combination with a modified Herbst appliance. The resulting stress is not associated with a risk of impaired stability of orthodontic implants in this area.

Principal stress areas at the start of treatment and after 6 months are localized along the mandible and dental arch (Fig. 9). The maximum value was observed in the retromolar area and the center of the mandibular ramus, amounting to 0.317 MPa and 0.32 MPa at the start of

treatment and after 6 months, respectively. The risk of cortical bone defects and impaired stability of orthodontic implants in this area is minimal, because the ultimate strength of the bone tissue is high.

Table 3 presents the values of studied parameters and their characteristics.

The von Mises stress in the viscoelastic material model increases by approximately 37% from the start of treatment to 6 months, while the principal stress remains the same. This is due to the continuous application of a multi-axis load during a specific period of time. However, these forces generally have little impact on bone tissue, enamel, and additional fixed orthodontic appliances.

Second simulation case. The forces correspond to the fixation of a modified Herbst appliance and mandibular elevator muscles; viscoelastic properties of the cortical bone were added.

The maximum displacement is observed in the mandibular angle and coronoid process areas, amounting to 0.7 mm (Fig. 10). Notably, these areas are where the masseter and temporal muscles are attached; these muscles are directly involved in the action of the appliance during mastication. The displacement in viscoelastic materials is non-linear, as shown in Fig. 11. The deformation increases under a constant load.

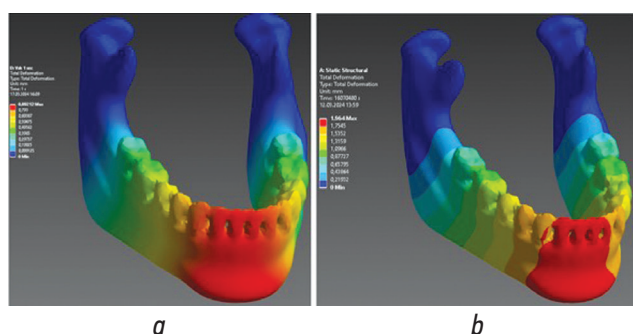


Fig. 6. Maximum displacement at the start of treatment (a) and in 6 months (b)

Рис. 6. Максимальное смещение в начале лечения (a) и через 6 мес. (b)

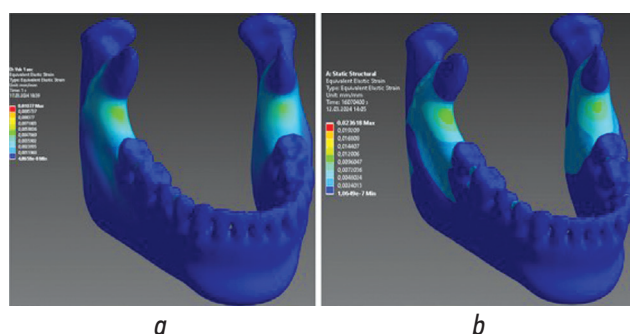


Fig. 7. Return elastic strain at the start of treatment (a) and in 6 months (b)

Рис. 7. Возвратные упругие деформации в начале лечения (a) и через 6 мес. (b)

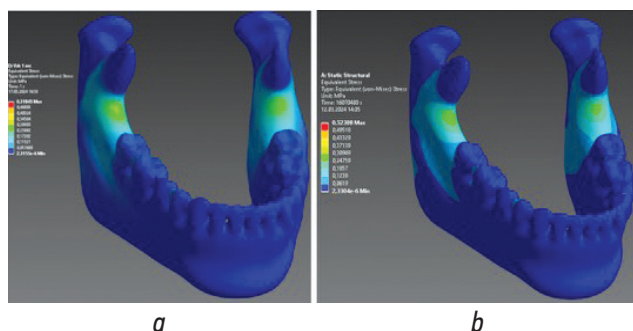


Fig. 8. Von Mises strain at the start of treatment (a) and in 6 months (b)

Рис. 8. Напряжения von Mises в начале лечения (a) и через 6 мес. (b)

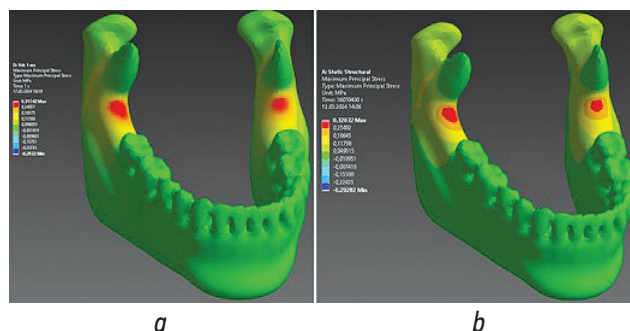


Fig. 9. Key areas of strain at the start of treatment (a) and in 6 months (b)

Рис. 9. Области главного напряжения в начале лечения (a) и через 6 мес. (b)

Table 3. Comparison of von Mises voltage and main voltage before treatment and after 6 months

Таблица 3. Сравнение напряжения von Mises и главного напряжения до лечения и спустя 6 мес.

Changes	Von Mises stress	Principal stress
At the start of treatment, MPa	0.28	0.317
After 6 months, MPa	0.37	0.32
Difference, %	37	0.94

Maximum return elastic deformations are observed on the distal surface of the mandibular second molar (2%). They amount to 0.7% in the articular and coronoid process areas, as well as the mandibular angle area, and to 1% in the lingual area of the cortical bone, near the mandibular second molar (Fig. 12). These values are not associated with a risk of cortical bone fracture or enamel defects, because the bone tissue and enamel have a high elastic limit (250 MPa).

The von Mises stress peaks in the lingual area of the cortical bone (0.9 MPa; 0.2% of the threshold value); in the articular and coronoid process areas, as well as the mandibular angle area, it amounts to 0.45 MPa (0.01% of the threshold value) (Fig. 13).

Principal stress areas are localized along the mandible and dental arch (from 3.4 to 4.4). The maximum value is observed in the mandibular ramus area, amounting to 0.48 MPa (Fig. 14). The risk of cortical bone defects is minimal.

CONCLUSIONS

1. A 3D mandible model has been developed using the finite element method, with properties similar to those of the bone tissue. The resulting displacement was similar to the effects observed in clinical practice.
2. The 3D mandible model was employed to assess the bone tissue when using the Herbst appliance. The maximum displacement 6 months after the start of treatment was 1.964 mm; the maximum elastic deformation was 1.2% of the threshold value; and the stress was less than 0.1% of the threshold value. During masticatory

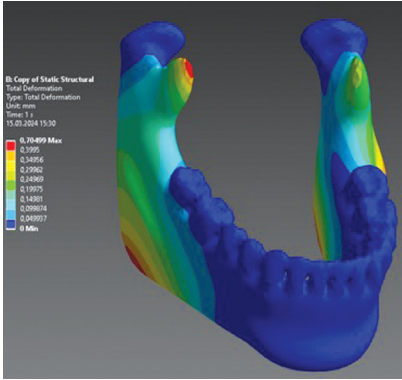


Fig. 10. Maximum displacement during the maximum strain of mandibular elevator muscles with a fixed appliance

Рис. 10. Максимальное смещение при максимальном напряжении мышц, поднимающих нижнюю челюсть, с фиксированным аппаратом

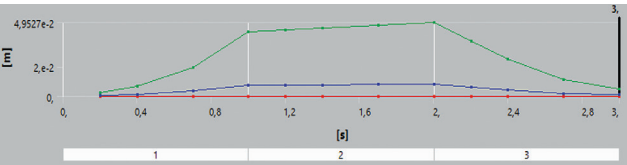


Fig. 11. Strain curve (X-axis: time, seconds; Y-axis: strain)

Рис. 11. График деформации (ось абсцисс — время в секундах, по оси ординат — деформация)

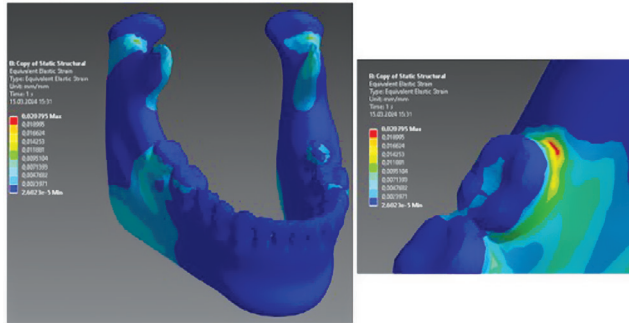


Fig. 12. Return elastic strain during the maximum strain of mandibular elevator muscles with a fixed appliance

Рис. 12. Возвратные упругие деформации при максимальном напряжении мышц, поднимающих нижнюю челюсть, с фиксированным аппаратом

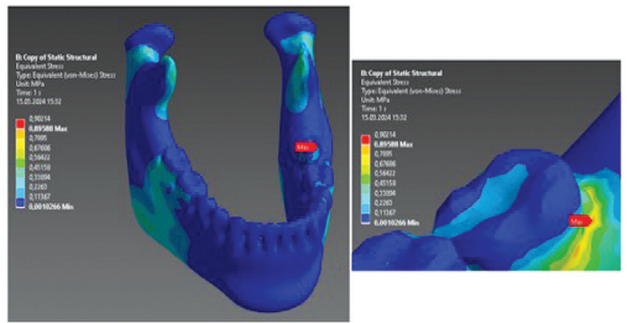


Fig. 13. Von Mises strain during the maximum strain of mandibular elevator muscles with a fixed appliance

Рис. 13. Напряжения von Mises при максимальном напряжении мышц, поднимающих нижнюю челюсть, с фиксированным аппаратом

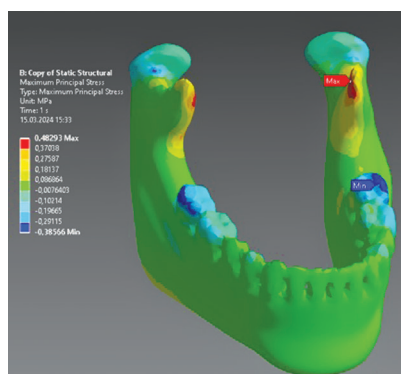


Fig. 14. Key areas of strain during the maximum strain of mandibular elevator muscles with a fixed appliance

Рис. 14. Области главного напряжения при максимальном напряжении мышц, поднимающих нижнюю челюсть, с фиксированным аппаратом

CONCLUSION

Further research into the behavior of orthodontic materials and appliances using the finite element method has a huge potential [14, 15]. Viscoelastic mandible models allow simulating the effects most similar to those observed in real-world clinical practice. Given the limitations of this method, it is critical to specify the widest range of parameters of studied objects, from model dimensions to physical properties of biological media, in order to produce the most reliable results. We hope that our study will be followed by further research on the subject.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Вклад каждого автора: Н.Д. Пирский — сбор и обработка материалов, написание текста; Р.А. Фадеев — концепция и дизайн исследования.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при написании статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. All authors have made a significant contribution to the development of the concept, research, and preparation of the article, as well as read and approved the final version before its publication. Personal contribution of the authors: N.D. Pirskaa — collecting and preparation of samples, writing the text; R.A. Fadeev — experimental design.

Funding source. The authors claim that there is no external funding when writing the article.

Competing interests. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Sun Z, Lee E, Herring SW. Cranial sutures and bones: Growth and fusion in relation to masticatory strain. *Anat Rec*. 2004;276A(2): 150–161. doi: 10.1002/ar.a.20002
2. Gröning F, Liu J, Fagan MJ, O'Higgins P. Why do humans have chins? Testing the mechanical significance of modern human symphyseal morphology with finite element analysis. *Am J Phys Anthropol*. 2011;144(4):593–606. doi: 10.1002/ajpa.21447
3. Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2014;4(3):200–203. doi: 10.1016/j.jobcr.2014.11.008
4. Oh S, Choi Y-K, Kim S-H, et al. Biomechanical analysis for different mandibular total distalization methods with clear aligners: A finite element study. *Korean J Orthod*. 2023;53(6):420–430. doi: 10.4041/kjod.23.035
5. Mohammed SD, Desai H. Basic concepts of finite element analysis and its applications in dentistry: An overview. *J Oral Hyg Heal*. 2014;2:156. doi: 10.4172/2332-0702.1000156
6. Johnson TPM, Socrate S, Boyce MC. A viscoelastic, viscoplastic model of cortical bone valid at low and high strain rates. *Acta Biomater*. 2010;6(10):4073–4080. doi: 10.1016/j.actbio.2010.04.017
7. Chawla KK, Meyers MA. *Mechanical behavior of materials*. Prentice Hall; 1999.
8. Edmonds HM, Glowacka H. The ontogeny of maximum bite force in humans. *J Anat*. 2020;237(3):529–542. doi: 10.1111/joa.13218
9. Huang H-L, Chang C-H, Hsu J-T, et al. Comparison of implant body designs and threaded designs of dental implants: a 3-dimensional finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2007;22(4):551–562.
10. O'Brien WJ. *Dental materials and their selection*. 2nd ed. Chicago: Quintessence; 2002. 347 p.
11. Yang H-S, Lang LA, Molina A, Felton DA. The effects of dowel design and load direction on dowel-and-core restorations. *J Prosthet Dent*. 2001;85(6):558–567. doi: 10.1067/mpr.2001.115504

12. Khlusov IA, Pichugin VF, Surmeneva MA, Surmenev RA. *Fundamentals of biomechanics of biocompatible materials and biological tissues: textbook (revised and supplemented)*. Tomsk: TPU Publ.; 2023. 163 p. (In Russ.)
13. Nyashin Yul, Rogozhnikov GI, Rogozhnikov AG, et al. Biomechanical analysis of dental implants made of titanium and zirconium dioxide alloys. *Russian journal of biomechanics*. 2012;16(1):102–109. EDN: OXALAV (In Russ.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sun Z., Lee E., Herring S.W. Cranial sutures and bones: Growth and fusion in relation to masticatory strain // *Anat Rec*. 2004. Vol. 276A, N 2. P. 150–161. doi: 10.1002/ar.a.20002
2. Gröning F., Liu J., Fagan M.J., O'Higgins P. Why do humans have chins? Testing the mechanical significance of modern human symphyseal morphology with finite element analysis // *Am J Phys Anthropol*. 2011. Vol. 144, N 4. P. 593–606. doi: 10.1002/ajpa.21447
3. Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry // *J Oral Biol Craniofac Res*. 2014. Vol. 4, N 3. P. 200–203. doi: 10.1016/j.jobcr.2014.11.008
4. Oh S., Choi Y.-K., Kim S.-H., et al. Biomechanical analysis for different mandibular total distalization methods with clear aligners: A finite element study // *Korean J Orthod*. 2023. Vol. 53, N 6. P. 420–430. doi: 10.4041/kjod23.035
5. Mohammed S.D., Desai H. Basic concepts of finite element analysis and its applications in dentistry: An overview // *J Oral Hyg Heal*. 2014. Vol. 2. ID 156. doi: 10.4172/2332-0702.1000156
6. Johnson T.P.M., Socrate S., Boyce M.C. A viscoelastic, viscoplastic model of cortical bone valid at low and high strain rates // *Acta Biomater*. 2010. Vol. 6, N 10. P. 4073–4080. doi: 10.1016/j.actbio.2010.04.017
7. Chawla K.K., Meyers M.A. *Mechanical behavior of materials*. Prentice Hall, 1999.
8. Edmonds H.M., Glowacka H. The ontogeny of maximum bite force in humans // *J Anat*. 2020. Vol. 237, N 3. P. 529–542. doi: 10.1111/joa.13218
9. Huang H.-L., Chang C.-H., Hsu J.-T., et al. Comparison of implant body designs and threaded designs of dental implants: a 3-dimensional finite element analysis // *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2007. Vol. 22, N 4. P. 551–562.
10. O'Brien W.J. *Dental materials and their selection*. 2nd ed. Chicago: Quintessence, 2002. 347 p.
11. Yang H.-S., Lang L.A., Molina A., Felton D.A. The effects of dowel design and load direction on dowel-and-core restorations // *J Prosthet Dent*. 2001. Vol. 85, N 6. P. 558–567. doi: 10.1067/mp.2001.115504
12. Хлусов И.А., Пичугин В.Ф., Сурменева М.А., Сурменев Р.А. Основы биомеханики биосовместимых материалов и биологических тканей: учебное пособие (переработанное и дополненное). Томск: Изд-во ТПУ, 2023. 163 с.
13. Няшин Ю.И., Рогожников Г.И., Рогожников А.Г., и др. Биомеханический анализ зубных имплантатов из сплава титана и диоксида циркония // *Российский журнал биомеханики*. 2012. Т. 16, № 1. С. 102–109. EDN: OXALAV
14. Vilanova L., Bellini-Pereira S.A., Patel M.P., et al. Finite element analysis of two skeletally anchored maxillary molar distalisation methods // *J Orthod*. 2023. Vol. 50, N 4. P. 344–351. doi: 10.1177/14653125231166437
15. Duggal I., Singh N., Tripathi T. Queries regarding clinical finite element analysis of mandibular displacement model treated with Twin-block appliance // *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2023. Vol. 164, N 4. P. 461–462. doi: 10.1016/j.ajodo.2023.06.019

AUTHORS' INFO

***Nikita D. Pirskii**, orthodontist, Medical center "Romanovsky"; address: 40 Nekrasova str., Saint Petersburg, 191014, Russia; Russia; ORCID: 0009-0008-1853-9510; eLibrary SPIN: 5157-9593; e-mail: nikita1996pirskii@gmail.com

ОБ АВТОРАХ

***Никита Дмитриевич Пирский**, врач-ортодонт медицинского центра «Романовский»; адрес: Россия, 191014, Санкт-Петербург, ул. Некрасова, д. 40; ORCID: 0009-0008-1853-9510; eLibrary SPIN: 5157-9593; e-mail: nikita1996pirskii@gmail.com

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

Roman A. Fadeev, MD, Dr. Sci. (Med.), professor,
Head of the Department of Orthopedic Dentistry,
Orthodontics and Gnathology, North-Western State Medical
University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia;
ORCID: 0000-0003-3467-4479; eLibrary SPIN: 4556-5177;
e-mail: sobol.rf@yandex.ru

ОБ АВТОРАХ

Роман Александрович Фадеев, д-р мед. наук, профессор,
заведующий кафедрой ортопедической стоматологии, орто-
донтии и гнатологии, Северо-Западный государственный ме-
дицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург,
Россия; ORCID: 0000-0003-3467-4479; eLibrary SPIN: 4556-5177;
e-mail: sobol.rf@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/uds636458>

Основные этапы развития зубоврачевания и зубного протезирования с древних времен до начала XX века

Р.А. Фадеев, А.В. Кузнецов

Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Современная стоматология — это результат многовековой эволюции знаний, умений и материалов. Потеря зубов всегда приводила к ухудшению качества жизни, вызывая эмоциональный и физический дискомфорт. С древних времен люди старались заместить утраченные зубы протезами, ведь красивая улыбка всегда считалась показателем здоровья и высокого статуса ее обладателя. До наших дней сохранились интересные материальные доказательства пути развития зубоврачевания и зубного протезирования. Цель статьи — проследить основные этапы развития зубного протезирования с древних времен до начала XX в.

Ключевые слова: история; зубоврачевание; зубное протезирование.

Как цитировать

Фадеев Р.А., Кузнецов А.В. Основные этапы развития зубоврачевания и зубного протезирования с древних времен до начала XX века // Университетская стоматология и челюстно-лицевая хирургия. 2024. Т. 2, № 3. С. 151–159. DOI: <https://doi.org/10.17816/uds636458>

DOI: <https://doi.org/10.17816/uds636458>

Key Stages of Dentistry and Prosthetic Dentistry Evolution: from Ancient Times to the Early 20th Century

Roman A. Fadeev, Andrei V. Kuznetsov

North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

Modern dentistry is the result of centuries of knowledge, skill, and material development. Loss of tooth has always resulted in a lower quality of life, producing emotional and physical distress. Since ancient times, people have attempted to replace missing teeth with prosthetic teeth, as a beautiful smile has always been a sign of good health and high social status. Some fascinating material evidence of the evolution of dentistry and Prosthetic Dentistry has survived to the present day. The paper discusses the key stages of prosthetic dentistry evolution from ancient times to the early 20th century.

Keywords: history; dentistry; prosthetic dentistry.

To cite this article

Fadeev RA, Kuznetsov AV. Key Stages of Dentistry and Prosthetic Dentistry Evolution: from Ancient Times to the Early 20th Century. *Acta Universitatis Dentistriae et Chirurgiae Maxillofacialis*. 2024;2(3):151–159. DOI: <https://doi.org/10.17816/uds636458>

Received: 24.09.2024

Accepted: 04.10.2024

Published online: 10.10.2024

ВВЕДЕНИЕ

Уже на заре развития цивилизации люди уделяли внимание состоянию полости рта. В раскопках на территории Пакистана обнаружены следы препарирования зубов у людей, живших 9000 лет назад, в эпоху неолита. Предполагают, что первый стоматологический инструмент представлял собой деревянное сверло с кремниевым наконечником. В качестве пломбировочных использовали материалы, содержащие смолу [1].

В статье рассмотрены основные этапы эволюции зубопротезирования и зубного протезирования на примерах Древнего Египта, цивилизации майя, Древнего Китая, Древней Индии, Древнего Рима, Персии и Ближнего востока, эпохи раннего Средневековья, стоматологии Европы XIX и начала XX в.

СТОМАТОЛОГИЯ ДРЕВНЕГО ЕГИПТА

Медицинская наука в Древнем Египте была очень развитой и, оставаясь непревзойденной многие сотни лет, стала основой знаний и умений для целителей Древней Греции и Древнего Рима.

К.А. Пашков указывает, что одной из главных причин стоматологических заболеваний у жителей древнего Египта, вне зависимости от сословий, были особенности пищи. Большую часть их рациона составлял хлеб из муки грубого помола, в которую попадали частицы камня из жерновов и песчинки, что приводило к стиранию твердых тканей зубов, развитию повышенной чувствительности, а в дальнейшем к вскрытию полости зуба, инфицированию пульпы, переходу воспаления в периапикальные ткани с развитием абсцессов и флегмон [2]. Часто жители умирали от инфекций, которые появлялись в полости рта и распространялись по всему организму. Поэтому в Древнем Египте врачи чаще удаляли пораженные зубы и лечили воспалительные процессы.

Проблема стоматологических заболеваний в Древнем Египте касалась не только простолюдинов, но и фараонов. Так, при обследовании мумии фараона Аменофуса III, исследователи установили, что он действительно страдал от болезни зубов, о чем также свидетельствует древние папирусы. Правительница Хатшепсут (1479–1458 гг. до н. э.) умерла от абсцесса, вызванного осложненным кариесом. Надо заметить, что понятие и понимание причин кариеса появилось значительно позднее, а в те времена виновником такого типа разрушения зуба считался «зубной червь» [3].

Имеется много доказательств (тексты на сохранившихся до наших дней папирусах, настенные изображения), что профессия зубопротезиста в Египте развивалась и почиталась. Египтяне обладали глубокими познаниями в этой области, знали о полезных свойствах растений и использовали их для изготовления средств для лечения заболеваний полости рта, таких как воспаление десны, изъязвления, воспаление нерва зуба [4].



Рис. 1. Мостовидная конструкция с фиксацией искусственных зубов с помощью золотой проволоки [6]

Fig. 1. Bridge with prosthetic teeth fixed using a goldwire [6]

Уделялось внимание также личной гигиене. Египтяне делали зубную пасту из скорлупы яиц, пемзы, мирры и пепла. Для чистки зубов использовались палочки, которые нужно было предварительно разжевать. В музеях мира представлены гигиенические приспособления, найденные в гробницах фараонов и представителей высшей знати.

Проблема неприятного запаха изо рта также была актуальна. Для ее решения изготавливали жвачки на основе меда, корицы, мирры, ладана и пиньона.

В папирусах XVII в. до н. э. были найдены свидетельства проведения хирургических вмешательств при переломах челюстей, вывихах височно-нижнечелюстного сустава. Папирусы эпохи Птолемея (IV век до н. э.) содержат изображения операций по удалению зубов, а также самих инструментов в виде щипцов [5].

В Египте стоматологи умели заменять выпавшие зубы искусственными, обрабатывать кариозные полости. При изготовлении протезных конструкций применяли золотую проволоку для фиксации выпавших зубов к имеющимся [1, 6] (рис. 1). При этом могли быть использованы зубы как самого больного, так и его рабов или павших в сражении воинов [5]. Редко искусственные зубы вытачивали из древесины твердых пород.

Среди экспонатов парижского Музея человека есть череп с глубоким кариесом первого моляра нижней челюсти. На нем видны два круглых отверстия одинакового диаметра, очевидно, для выпуска воспалительного экссудата.

СТОМАТОЛОГИЯ ЦИВИЛИЗАЦИИ МАЙЯ

Стоматология древних майя была очень высоко развитой. Услугами зубного врача пользовались и правители, и обычные жители вне зависимости от финансового состояния. Зубы древних майя были гордостью их владельцев: они часто украшали зубы драгоценными камнями, нефритом, агатом, бирюзой, гематитом, а также золотом, иногда даже в раннем возрасте [1] (рис. 2). Такое украшение зубов служило не только для эстетических, но и для духовных целей.



Рис. 2. Зубы, украшенные драгоценными камнями [1]
Fig. 2. Teeth adorned with gemstones [1]

Изучая способы крепления украшений к зубам, которые были обнаружены при раскопках в Гватемале, Белизе и Гондурасе, ученые выяснили, что стоматологический цемент того времени был невероятно прочным и способным удерживать декоративные камни в течение сотен лет. В составе цемента обнаружены вещества, противодействующие развитию кариеса, снижающие воспаление в полости рта, а также борющиеся с развитием инфекционного процесса. Полости для фиксации украшений в зубах были выполнены очень аккуратно, без повреждения пульпы. На зубах обнаружили остатки склареолида — растительного вещества с антигрибковым и антибактериальными свойствами. Зубоврачебные цементы содержали сосновую смолу, в которую также входят антибактериальные компоненты. Майя регулярно чистили и полировали зубы. Пораженные зубы вовремя удалялись. Древние Майя владели удивительными секретами стоматологии, и эти знания позволяли не только украшать их улыбки, но и сохранять зубы в отличном состоянии.

Обращает на себя внимание препарирование зубов определенной формы, которое, вероятно, соответствовало эстетическим представлениям майя того времени.

СТОМАТОЛОГИЯ ДРЕВНЕГО КИТАЯ

История восточной медицины корнями уходит в цивилизацию Древнего Китая и насчитывает более 2500 лет. Стоматология Древнего Китая отражала общий высокий уровень развития цивилизации. Уделялось большое внимание личной гигиене и профилактике стоматологических заболеваний. Предписывалось ежедневно умываться и полоскать рот. Прототип современной зубной щетки появился именно в Древнем Китае, где впервые применили щетину животных для ее изготовления [1]. Кроме того, есть предположение, что зубная щетка в виде палочки, которую нужно разжевать, пришел в арабские страны также из Китая. В 300–500 гг. до н. э. в Китае уже существовали различные рецепты зубной пасты.

Сохранились древние трактаты с описаниями многих стоматологических болезней и способов их лечения. Например, в случае возникновения сильной зубной боли в полость причинного зуба закладывали мышьяк, который вызывал некроз пульпы, и наступало облегчение.

Для заполнения корневых каналов зубов после удаления пульпы китайский ученый Су-Кунг, живший в VII в. н. э., предлагал использовать расплавленное серебро. Учитывая температуру плавления серебра, гуманность такого способа вызывает сомнение, но важен сам факт понимания необходимости качественной пломбировки корневых каналов.

В медицинских трактатах VII в. есть сведения о применении для пломбировки кариозной полости «серебряной пасты» — прообраза современной амальгамы.

Важное значение придавалось осмотру языка. Оценивались размер, цвет, форма, налет и влажность языка. По этим признакам диагностировали некоторые заболевания.

Развивалась в Древнем Китае и челюстно-лицевая хирургия. Были описаны способы и инструменты для удаления зубов по возможности безболезненно и без осложнений, а также применение антисептических препаратов для лечения зубов. В ранних медицинских трактатах описано, что некоторые жители Китая носили полные съемные протезы из дерева [7].

СТОМАТОЛОГИЯ ДРЕВНЕЙ ИНДИИ

О развитии стоматологии в Древней Индии ученые могут судить по священным книгам — Ведам. Считалось, что врачевание — священное дело, что талант и способность заниматься медициной дарованы людям по воле верховных богов.

В случае развития воспаления слизистой полости рта предлагалось вырезать пораженные участки. Так как в представлениях индийцев причиной заболеваний полости рта была «дурная кровь», среди способов лечения предлагались кровопускание и наложение пиявок в область отечной слизистой или очага воспаления.

Индийцы также лечили переломы челюстей и лицевых костей, в частности предлагали прогреть область перелома, провести репозиционирование и затем наложить повязку. Больным назначали лекарства, изгоняющие «дурной ветер».

Первыми врачами, изложившими письменно основы медицинских знаний Древней Индии, были Чакра, описавший методики терапевтического лечения, и Суштра, описавший основы хирургии.

Суштра предлагал осторожно подходить к удалению зубов и не удалять неподвижные, плотно сидящие в челюсти зубы. Он разделял хирургический инструмент, использовавшийся в стоматологии, на 2 класса: янтра — это тупые инструменты (щипцы и рычаги) и састра — острые инструменты [2].

До наших дней дошли сведения о докторе Вагбхата (VII в. до н. э.). Он предлагал уничтожать «зубного червя», заполняя полость больного зуба воском или вводя в нее разогретый докрасна зонд. Вагбхата считал, что нужно аккуратно подходить к решению удаления зубов, полагая, что «нарывные заболевания» часто проходят сами собой.

Удалять пораженный зуб он предлагал только тогда, когда вышеуказанные подходы не давали результата. Для процедуры применялись специальные щипцы. Доктор считал, что многие заболевания, такие как диарея, лихорадка, кашель, спазмы мышц и др., могут быть связаны с заболеваниями зубов. При болезнях десен он рекомендовал аппликации из смеси перца, мяса куропатки или перепела и мёда.

Гигиена полости рта имела важное значение в Древней Индии. Утренняя чистка зубов, языка и нёба считалась обязательной. Для этого использовали свежие веточки растений, концы которых разделяли на волокна [1]. Язык очищали специальным приспособлением в виде дуги. Щетки из щетины животных не применяли.

СТОМАТОЛОГИЯ ДРЕВНЕГО РИМА

Для борьбы с заболеваниями полости рта до II в. до н. э. римские врачи применяли отвары растений, настои, заговоры. Лечение зубов было развито слабо. Чаще применялось удаление, что приводило к появлению дефектов зубных рядов. Состоятельным гражданам было доступно изготовление протезов из драгоценных металлов, зубов животных, зубов рабов. Для изготовления протезов применяли дерево, бычью, слоновую кость и кость гиппопотама, а также золотую проволоку. Есть мнение, что знания и умения по изготовлению зубных протезов римляне получили от древних этрусков, которые жили на Аппенинском полуострове до появления там римлян [1]. В музее Парижской школы дантистов хранится этрусский мостовидный протез с зубом быка, прикрепленным к полоске из золота и служившим заменой правого центрального резца. Многочисленность такого рода находок свидетельствует о достаточно широко распространенной у этрусков практике протезирования зубов. Часто полосками из мягкого золота оборачивали оставшиеся здоровые зубы, а поврежденные зубы прикреплялись к полоскам заклепками или штифтами [1, 8] (рис. 3).

Медицинским делом занимались в Риме не только врачи, но и цирюльники, массажисты, ювелиры, ремесленники, знахари. Среди них были и женщины.

Известный римский медик Клавдий Гален (ок. 129–200) разделил зубы на резцы, клыки и челюстные и объяснил их назначение, описал особенности развития пульпита и периодонтита. В качестве лечебных мер Гален рекомендовал перфорацию зуба при помощи сверла. Методы лечения, предложенные Галеном, преобладали в европейской медицине до Нового времени.

СТОМАТОЛОГИЯ ПЕРСИИ И БЛИЖНЕГО ВОСТОКА

Багдад в VII в. был главным научным центром средневекового мира. Ученые переводили на арабский язык труды Аристотеля, Галена, Плиния и других ученых. Таким



Рис. 3. Мостовидный протез, предположительно относящийся к времени Древнего Рима. Из коллекции Музея науки в Лондоне

Fig. 3. Bridge believed to date back to ancient Rome. Collection of the Science Museum, London

образом эти знания были сохранены, а позднее переведены на латынь и дошли до Европы.

В конце первого тысячелетия при лечении зубной боли персидские врачи начали использовать мышьяк.

В трактате «Райский сад мудрости» (ок. 850 года) описывается закладка зубов, приводятся рецепты порошка для чистки зубов и лекарств для устранения неприятного запаха изо рта.

В трактате Разеса «Китаб аль-Мансури» описывается строение зубов и механизм работы нижней челюсти.

Арабский ученый Абулькасис (930–1013) описал многие хирургические методики и инструменты, выделил 6 типов щипцов для удаления зубов и корней зубов. Считая зуб важным органом, он уделял большое внимание операции удаления зуба максимально щадящими методами. В случае переломов челюсти Абулькасис предлагал сопоставить отломки руками и провести их фиксацию повязкой с воском. При выпадении зубов предлагалось как можно быстрее вернуть их на место и фиксировать прикреплением к соседним зубам или заменить их искусственными зубами, протезами, изготовленными из бычьей кости. Абулькасис подробно описал процесс удаления эпулисы, уделял большое внимание снятию зубного камня [2].

Великий персидский ученый Авиценна (980–1037) издал трактат «Канон врачебной науки», в котором систематизировал причины возникновения болезней зубов, описал анатомию и морфологию полости рта [9]. Он выделил длинные, острые, чувствительные, слабые, подвижные зубы, а также стачивание и крошение зубов. Авиценна описал более 150 лекарств, использовавшихся при врачевании зубов, систематизировал показания к удалению зубов, предложил материалы для пломбирования, инструменты, дал рекомендации по профилактике болезней полости рта, определил причины скрежетания зубов [1].

СТОМАТОЛОГИЯ РАННЕГО СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

Во времена раннего Средневековья медицина и в частности стоматология полностью находились под контролем церкви. Существовало мнение, что страдания от зубной боли посланы человеку за грехи, а значит лечить ее не нужно. Зубоврачебная практика оказалась в руках людей, имеющих слабое отношение к медицине: цирюльников, ремесленников [1]. Люди без медицинского образования вряд ли могли способствовать развитию стоматологической мысли. Считалось, что причиной поражения зубов является «зубной червь». Чаще всего зубоврачебная помощь сводилась к удалению зуба, которое происходило публично в местах скопления людей, на радость толпе: на ярмарках, на рыночных площадях, а также в парикмахерских. Обезболивание, кроме алкоголя, не применялось.

Считалось, что перед зубной болью возникает головная боль, которая потом спускается к зубам и их корням. Зубную боль пытались облегчить растительными средствами: сваренными в уксусе корнями белены или спаржи, соком плюща, который следовало залить в ухо. Практиковалось также лечение болезней зубов заклинаниями, отгоняющими злых духов, а также способами, связанными с чудесами. Считалось, что кроме «зубных червей» болезни зубов вызывает «дурная кровь», для изгнания которой предлагалось применять кровопускание.



Рис. 4. Зубной протез из цельного куска слоновой кости [5]
Fig. 4. Whole piece dental prosthesis made of ivory [5]



Рис. 5. Искусно выполненные полные съемные протезы из цельного куска слоновой кости с фиксацией за счет пружин и полным закрытием твердого нёба. Источник: <https://mirfactov.com/stomatologi-proshlogo/>
Fig. 5. Whole piece full dentures skillfully made of ivory, secured with springs and completely covering the hard palate. Source: <https://mirfactov.com/stomatologi-proshlogo/>

Протезирование зубов было доступно только состоятельным людям. Протезы изготавливались из золота, других драгоценных металлов, слоновой кости и т. д. Иногда их инкрустировали или выполняли гравировку, создавая произведения искусства. Протезы обычно выполняли эстетическую роль, закрывая дефекты зубного ряда.

Большой вклад в развитие стоматологии тех времен внес французский врач Ги де Шолиак (1300–1368). Его труды стали учебными пособиями для стоматологов на многие десятилетия вперед. Он создал инструмент для удаления зубов под названием «пеликан», который работал по принципу рычага и позволял аккуратно захватить и удалить больной зуб. Также он придавал большое значение соблюдению гигиенических правил [1]. Выпавшие и удаленные зубы Шолиак предлагал заместить человеческими зубами или протезами из костей крупного рогатого скота. Для фиксации предлагалось применять золотую проволоку.

Профессор Джованни ди Арколи (XV в.) усовершенствовал инструменты для удаления зубов. Он впервые описал золотую фольгу как пломбировочный материал кариозных полостей.

В некоторых странах, в частности в средневековой Англии, зубные протезы передавали по наследству. Английский врач Бернард Д. Гордон (ок. 1285) среди причин развития болезни зубов называл прием горячей пищи сразу после холодной, перекусывание зубами твердых предметов, плохой уход за полостью рта, а также выделял «подъем к ним кислот желудочного сока» [10].

СТОМАТОЛОГИЯ ЕВРОПЫ XVI–XIX вв.

Развитие европейской стоматологии периода Возрождения связано с именем Амбруаза Паре. Он был первым, кто вырезал зубные протезы из цельного куска слоновой кости (рис. 4). Для закрытия дефектов твердого нёба он придумал obturators, выполненные из золотых пластин и соединенные куском губки.

В XVII в. во Франции зубоврачевание стало самостоятельной областью медицины, что способствовало развитию стоматологической мысли.

В 1728 г. вышел научный труд Пьера Фошара под названием «Трактат о зубах», в котором были проанализированы источники стоматологических знаний древних этрусков, римлян, греков, арабов [11, 12]. Врач описал 102 зубные болезни и причины их возникновения, тем самым развеяв миф о «зубном черве». П. Фошар много сделал для развития зубного протезирования. Ему принадлежит идея применения пружин из золотой проволоки или спирали для фиксации зубных протезов (рис. 5). Он предложил закреплять в зубах штифты и на их основе фиксировать искусственные зубы [13] (рис. 6).

Для изготовления протезов использовали слоновую кость, клыки моржа и гиппопотама, зубы обезьян,

выпавшие зубы самих пациентов. С учетом эстетической стороны подбирался цвет восстанавливаемого зуба. Зубы из слоновой кости покрывали колпачками из золота, на которые наносили слой эмали различных оттенков. П. Фошар усовершенствовал obturators А. Паре для закрытия дефекта твердого нёба [1, 14]. Он дополнил их отростками из слоновой кости, которые соединил с нёбной пластиной, вводил в полость носа вертикально, а потом с помощью специального винта поворачивал горизонтально, за счет чего фиксировал конструкцию на нёбе. П. Фошара можно назвать основателем современной ортодонтии: он предложил использовать металлические и серебряные конструкции для исправления неправильного положения зубов.

ЗУБОПРОТЕЗИРОВАНИЕ НА СТЫКЕ XIX–XX вв.

В середине XIX столетия в связи с открытием метода выплавки воска и разработкой методов литья наступил прорыв в области протезирования съемными конструкциями. В это время был разработан вулкани́т — гибкая резина, которая отвердевала при вулканизации и становилась отличным материалом для изготовления съемных протезов. Первоначально с помощью вулкани́та фиксировали искусственные фарфоровые зубы к нёбной пластине из благородного металла. Крепление устанавливалось на каждом фарфоровом зубе с помощью штифтов, носивших название «крампоны». Позже начали изготавливать протезы, полностью выполненные из каучука [15] (рис. 7).

Развитие стоматологии XIX в. тесно связано с именем немецкого стоматолога Вильгельма Гербста (1842–1917). В те времена шли споры, какой материал лучше для пломбирования кариозных полостей — золото или амальгама. В. Гербст разработал новый метод пломбирования золотом, так называемый метод вращения, который предполагал вместо болезненного вбивания молотком заклепывание пломб из тонкой когезивной золотой фольги (рис. 8). Это было революционное решение в сфере стоматологии, которое быстро распространилось в других странах.

Для изготовления искусственных коронок и штифтовых конструкций начали широко применять сплавы золота, в том числе с добавлением платины.

В. Гербст описал способ изготовления мостовидных протезов методом литья, ставший основой развития современных технологий изготовления литых мостовидных конструкций. Уже в 1911 г. в производственных цехах В. Гербста изготавливались аппараты и стоматологические инструменты. Его сын Теодор Гербст сконструировал механический литейный центробежный аппарат. Появились приборы для штамповки, аппарат для пайки, муфельные печи, кольца для замера коронок, параллелометр и другие инструменты для ортопедической



Рис. 6. Частичный съемный протез для нижней челюсти на основе благородного сплава с зафиксированными искусственными зубами. 1861 г. Источник: <https://stomatologclub.ru/galereya/muzej-stomatologii-3/chastichno-semnyj-zubnoj-protez-1860g-postroennyj-iz-metalla-i-vulkanita-2085/>

Fig. 6. Removable partial denture for the mandible made from a noble metal alloy, with fixed prosthetic teeth, 1861. Source: <https://stomatologclub.ru/galereya/muzej-stomatologii-3/chastichno-semnyj-zubnoj-protez-1860g-postroennyj-iz-metalla-i-vulkanita-2085/>



Рис. 7. Каучуковый протез верхней челюсти со штампованной пластиной [15]

Fig. 7. Rubber maxillary denture with a stamped plate [15]



Рис. 8. Молоток и золотая фольга [15]

Fig. 8. Hammer and gold foil [15]

стоматологии. Т. Гербст открыл в Бремене первую большую зуботехническую лабораторию, где работали золотых дел мастера, плавильщики, легировщики, зубные техники, керамисты, формовщики. Впервые при промышленном изготовлении зубных протезов был реализован принцип разделения труда [15].

В рассматриваемый период закладывались основы технологии штампованной коронки. Ранее коронки выштамповывали из дисков, что было трудозатратно.



Рис. 9. Монолитный протез с окружным кламмером. Типичный протез для солдат Первой мировой войны [15]

Fig. 9. Complete denture with a ring clasp. A typical denture for soldiers during World War I [15]

Впоследствии для производства коронок из неблагоприятных сплавов стали применять метод формирования стальных гильз, из которых потом в лаборатории изготавливали штампованные коронки. Для протяжки гильз был сконструирован и внедрен аппарат под названием Samson. Появились новые методы снятия оттисков, оттисковой гипс со специальными добавками для амортизации и уменьшения раздражения слизистой оболочки полости рта.

Были разработаны основные типы кламмеров, их применение определялось особенностями дефектов зубных рядов, нуждавшихся в замещении. Наряду с дорогими зубными протезами, сделанными по передовым технологиям, имелись бюджетные варианты для более бедных слоев населения (рис. 9).

В начале XX в. получила дальнейшее развитие технология штампованных коронок и изготовления па-яных мостовидных протезов. С появлением в 1930-х гг. акриловых пластмасс их стали применять вместо каучука для изготовления базисов протезов. Совершенствование методик литья дало толчок развитию изготовления цельнолитых мостовидных протезов с дальнейшей облицовкой, а также изготовлению бюгельных протезов [15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полонейчик Н.М., Петрук А.А. Материаловедение и основы изготовления зубных протезов. Минск: Вышэйшая школа, 2023. 367 с.
2. Пашков К.А. Зубы и зубопротезирование. Очерки истории. Москва: Вече, 2014. 240 с.
3. Лапина Н.В., Ижнина Е.В., Гришечкин С.Д., и др. Исторические аспекты развития медицинской специальности «стоматология» // Кубанский научный медицинский вестник. 2017. № 1(162). С. 165–170. EDN: YNSHPH
4. Сорокина Т.С. История медицины. Москва: Академия, 2014. 560 с. EDN: SHPMTB
5. DENTALMAGAZINE.RU [Интернет]. Бендарская Д. Эволюция протезирования. От дерева до фарфора. Часть 1. 2018. Режим доступа: <https://dentalmagazine.ru/posts/jevoljucija->

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На протяжении всего развития человечества были актуальны вопросы лечения зубной боли и восстановления отсутствующих зубов. Во все времена, кроме раннего Средневековья, уделялось внимание личной гигиене и профилактике стоматологических заболеваний, развивались представления о причинах их появления. Формировалась стоматологическая мысль. Эволюция зубного протезирования была долгой и сложной. Характер исполнения протеза всегда был отражением технологического уклада эпохи.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Вклад каждого автора: Р.А. Фадеев — концепция и дизайн исследования, внесение окончательной правки; А.В. Кузнецов — обзор литературы, обработка материалов, написание текста.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при написании статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. All authors have made a significant contribution to the development of the concept, research, and preparation of the article, as well as read and approved the final version before its publication. Personal contribution of the authors: R.A. Fadeev — general conception and design of the study, final edits of the manuscript; A.V. Kuznetsov — literature review, collecting and preparation of samples, writing.

Funding source. The authors claim that there is no external funding when writing the article.

Competing interests. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

protezirovanija-ot-dereva-do-farfora-chast-pervaja.html Дата обращения: 15.03.2024.

6. Hussain A, Khan F. History of dentistry // Archives of Medicine and Health Sciences. 2014. Vol. 2, N 1. P. 106–110. doi: 10.4103/2321-4848.133850
7. Горяинова К. Медицина древнего востока // Цифровая стоматология. 2018. Т. 8, № 1. С. 19–24. EDN: RXKSTD
8. Кац П. Стоматология в искусстве. Сокровища изобразительного искусства от древности до настоящего времени. Москва: Квинтэссенция, 2015. 215 с.
9. Абуали Ибн Сина (Авиценна). Канон врачебной науки. Пер. с арабского Салье М.А., Каримова У.И., Расулева А. Ташкент: Фан, 1981. 398 с.

10. mystom.ru История стоматологии с древнейших времен [Интернет]. Режим доступа: <https://mystom-ru.turbopages.org/mystom.ru/s/articles/istoriya-stomatologii-s-drevneyshikh-vremen/> Дата обращения: 15.03.2024.

11. Фошар П. Хирург-дантист, или Трактат о зубах. Пер. с франц. Москва: ХЕЛЕНПРО, 2018. 478 с.

12. Ахмедов Г.Д., Казанский М.Р., Ахмедов К.Г. Роль Пьера Фошара в становлении и развитии современной стоматологии // Материалы VIII Всероссийской конференции «История стоматологии». Москва: МГМСУ, 2014. С. 6–8.

13. DENTALMAGAZINE.RU [Интернет]. Бендарская Д. Эволюция протезирования. Триумф керамики. Часть 2. 2018.

Режим доступа: <https://dentalmagazine.ru/posts/istorija-protezirovaniya-triumf-keramiki-chast-vtoraja.html> Дата обращения: 15.03.2024.

14. Муслов С.А., Арутюнов С.Д. Пьер Фошар в истории стоматологии через призму филателии // сборник материалов XV Международной научно-практической конференции. Вызовы современности в стратегии развития общества в условиях новой реальности. Москва: АЛЕФ, 2023. С. 528–532. EDN: GVUNOR

15. Вульфес Х. Современные технологии протезирования. Бремен: Академия дантал, 2004. 281 с.

REFERENCES

1. Poloneichik NM, Petruk AA. *Material science and basics of dental prostheses manufacturing*. Minsk: Vysheyshaya Shkola; 2023. 367 p. (In Russ.)
2. Pashkov KA. *Teeth and dentistry. Sketches of history*. Moscow: Veche; 2014. 240 p. (In Russ.)
3. Lapina NV, Izhnina EV, Grisechkin SD, et al. *Historical aspects of medical specialty "dentistry"*. Kuban Scientific Medical Bulletin. 2017;(1(162)):165–170. (In Russ.) EDN: YNSHPH
4. Sorokina TS. *History of Medicine*. Moscow: Academy; 2014. 560 p. (In Russ.) EDN: SHPMTB
5. DENTALMAGAZINE.RU [Internet]. Bendarskaya D. The evolution of prosthetics. From wood to porcelain. Part 1. 2018. Available from: <https://dentalmagazine.ru/posts/jevoljucija-protezirovaniya-ot-dereva-do-farfora-chast-pervaja.html>.
6. Hussain A, Khan F. *History of dentistry. Archives of Medicine and Health Sciences*. 2014;2(1):106–110. doi: 10.4103/2321-4848.133850
7. Goryainova K. Medicine of the ancient east. *Digital Dentistry*. 2018;8(1):19–24. (In Russ.) EDN: RXKSTD
8. Katz P. *Dentistry in Art. Treasures of fine art from antiquity to the present time*. Moscow: Quintessence; 2015. 215 p. (In Russ.)

9. Abuali Ibn Sina (Avicenna). *Canon of Medical Science*. Transl. Arabic by Salleh MA, Karimov UI, Rasulev A. Tashkent: Fan; 1981. 398 p.

10. History of stomatology since ancient times [Internet]. Available from: <https://mystom-ru.turbopages.org/mystom.ru/s/articles/istoriya-stomatologii-s-drevneyshikh-vremen/>

11. Fauchard P. *Dentist Surgeon, or Treatise on Teeth*. Transl. French. Moscow: HELENPRO; 2018. 478 p.

12. Akhmedov GD, Kazansky MR, Akhmedov KG. The role of Pierre Fauchard in the formation and development of modern dentistry. In: Proceedings of the VIII All-Russian Conference 'History of Stomatology'. Moscow: MGMSU; 2014:6–8.

13. DENTALMAGAZINE.RU [Internet]. Bendarskaya D. Evolution of prosthetics. The triumph of ceramics. Part 2. 2018. Available from: <https://dentalmagazine.ru/posts/istorija-protezirovaniya-triumf-keramiki-chast-vtoraja.html>

14. Muslov SA, Arutyunov SD. Pierre Fauchard in the history of dentistry through the prism of philately. In: Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference. Challenges of modernity in the strategy of society development in the conditions of new reality. Moscow: ALEF; 2023. P. 528–532. EDN: GVUNOR

15. Wolfes H. *Modern prosthodontic technology*. Bremen: Akademie Dental; 2004. 281 p.

ОБ АВТОРАХ

Роман Александрович Фадеев, д-р мед. наук, профессор; Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова; ORCID: 0000-0003-3467-4479; eLibrary SPIN: 4556-5177; e-mail: sobol.rf@yandex.ru

***Андрей Владимирович Кузнецов**, старший лаборант, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова; адрес: ул. Кирочная, 41, Санкт-Петербург, 191015, Россия; e-mail: 89119116143@mail.ru

AUTHORS' INFO

Roman A. Fadeev, MD, Dr. Sci. (Medicine), professor, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; ORCID: 0000-0003-3467-4479; eLibrary SPIN: 4556-5177; e-mail: sobol.rf@yandex.ru

***Andrei V. Kuznetsov**, senior laboratory assistant, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; address: 41 Kirochnaya st., Saint Petersburg, 191015, Russia; e-mail: 89119116143@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author