

# Разработка устройства безопасной пространственной ориентации спиц аппарата внеочагового остеосинтеза

Д. Ю. Дьяченко<sup>1</sup>, А. А. Воробьев<sup>1,2</sup>, Ю. А. Македонова<sup>1,2</sup>, О. Н. Куркина<sup>1</sup>, С. А. Варгина<sup>1</sup>, С. В. Дьяченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» МЗ РФ, Волгоград, Россия

<sup>2</sup> ГБУ «Волгоградский медицинский научный центр», Волгоград, Россия

## Резюме

Особое место в методах хирургического лечения переломов костей занимает чрескостный остеосинтез при помощи аппаратов внешней фиксации.

**Цель исследования** – разработать устройство безопасной пространственной ориентации спиц аппарата внеочагового остеосинтеза.

**Материалы и методы.** Для разработки устройства пространственной ориентации спиц аппарата внешней фиксации была спроектирована 3D-модель с дальнейшим воспроизведением на 3D-принтере. Разработка устройства проводилась постановкой спиц аппарата внешней фиксации на 36 костях нижней челюсти человека, на которых был смоделирован перелом в области угла.

**Результаты и обсуждение.** Устройство для пространственной ориентации спиц аппарата внешней фиксации экзоскелета нижней челюсти частично воспроизведено при помощи 3D-принтера, что позволяет индивидуализировать части устройства на этапах подготовки к операции.

**Выводы.** Изобретение обеспечивает контроль глубины погружения остеофиксаторов на всю толщину кости и упрощение выбора оптимального угла взаимной пространственной ориентации при их введении и наибольшей устойчивой фиксации фрагментов нижней челюсти при закрытом внеочаговом остеосинтезе.

**Ключевые слова:** экзоскелет нижней челюсти, устройство пространственной ориентации, 3D-печать, трехмерная модель.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Development of a device for safe spatial orientation of the spokes of an extra-focal osteosynthesis apparatus

D. YU. D'yachenko<sup>1</sup>, A. A. Vorob'ev<sup>1,2</sup>, YU. A. Makedonova<sup>1,2</sup>, O. N. Kurkina<sup>1</sup>, S. A. Vargina<sup>1</sup>, S. V. D'yachenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal State Government-Financed Educational Institution of Higher Education «Volgograd State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

<sup>2</sup> Volgograd Medical Science Center

## Abstract

A special place in the methods of surgical treatment of bone fractures is occupied by transosseous osteosynthesis using external fixation devices.

**The aim of the study is to develop a device for the safe spatial orientation of the wires of the extrafocal osteosynthesis apparatus.**

**Materials and methods.** To develop a device for the spatial orientation of the external fixation spokes, a 3D model was designed with further reproduction on a 3D printer. The development of the device was carried out by placing the wires of the external fixation apparatus on 36 bones of the human lower jaw, on which a fracture in the angle was simulated.

**Results and discussion.** The device for the spatial orientation of the spokes of the external fixation device for the lower jaw exoskeleton is partially reproduced using a 3D printer, which allows individualizing the device parts at the stages of preparation for surgery.

**Conclusions.** Effect: control of the depth of immersion of osteofixers over the entire thickness of the bone and simplification of the choice of the optimal angle of mutual spatial orientation during their introduction and the greatest stable fixation of the fragments of the lower jaw during closed extrafocal osteosynthesis.

**Keywords:** lower jaw exoskeleton, spatial orientation device, 3D printing, three-dimensional model.

**Conflict of interest.** The rest of the authors declare no conflict of interests.

## Введение

Ранняя фиксация костных фрагментов является необходимым условием для правильного заживления перелома [1–7]. Одним из известных методов является закрытый остеосинтез при помощи спиц [8–13]. На современном этапе стало возможным применение различных остеофиксаторов (спиц) с нанесением на их поверхности различных биологически активных веществ (карбид титана с гидроксипатитом ( $\text{TiC}_{0,65} + 25\% \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$ ), антибиотики) [14–16], положительно сказывающихся на процессах остеогенеза в области линии перелома [17]. Преимуществами

данного метода остеосинтеза являются простота и малая травматичность, возможность сохранения функции жевательной мускулатуры, что способствует более быстрой консолидации фрагментов [18, 19].

Как и другие методы чрескожного (закрытого) остеосинтеза, данный метод имеет один общий недостаток – невозможность визуального контроля четкости репозиции и фиксации фрагментов нижней челюсти [20, 21]. Особое место в методах хирургического лечения переломов костей занимает чрескостный остеосинтез при помощи аппаратов внешней фиксации различной конструкции [22–24].

**Цель исследования** – разработать устройство безопасной пространственной ориентации спиц аппарата внеочагового остеосинтеза.

### Материалы и методы

В ходе разработки конструкции аппарата внешней фиксации экзоскелета нижней челюсти для взаимной ориентации спиц потребовалась разработка устройства, позволяющего зафиксировать 2 спицы в пространстве после установки в кости следующим образом:

- ход спиц в плоскости вращения печатаемых на 3D-принтере пластин должен быть параллелен друг другу;
- перекрест спиц в плоскости, перпендикулярной штифту для фиксации пластин, должен проходить на достаточном расстоянии от мягких тканей пациента;
- должна быть возможность регулировки угла, формируемого при пересечении спиц в плоскости, перпендикулярной штифту для фиксации пластин;
- спицы должны отстоять друг от друга на запрограммированное расстояние для возможности установки мини-фиксаторов.

Для разработки устройства пространственной ориентации спиц аппарата внешней фиксации была спроектирована 3D-модель в программной среде «Cinema 4d» с дальнейшим воспроизведением на 3D-принтере Prusia i3 по технологии FDM из PLA пластика (рис. 1).

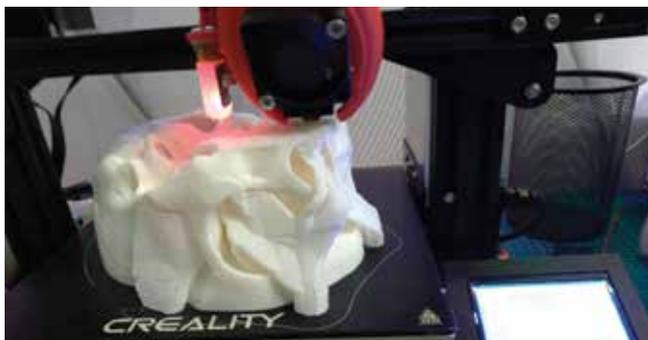


Рисунок 1. 3D-принтер

Разработка устройства проводилась постановкой спиц аппарата внешней фиксации на 36 костях нижней челюсти человека, на которых был смоделирован перелом в области угла.

Апробация устройства проводилась на неопознанном трупe мужчины при апробации экзоскелета нижней челюсти.

### Результаты и обсуждение

В ходе разработки устройства для взаимной пространственной ориентации и контроля глубины погружения остеофиксаторов (патент на изобретение № 2646568 от 05.03.2018 г.) получилось достичь конструкции, позволяющей контролировать угол наклона устанавливаемых спиц друг относительно друга за счет поворота пластин друг относительно друга, контролировать глубину погружения спиц в кости, сохранить в ходе установки спиц их параллельность друг относительно друга в плоскости вращения печатаемых на 3D-принтере пластин, сохранить расстояние между параллельными спицами, равное двум шайбам ми-

ни-фиксатора для возможности установки мини-фиксаторов. Также устройство легко удаляется после установки спиц (рис. 2–5).

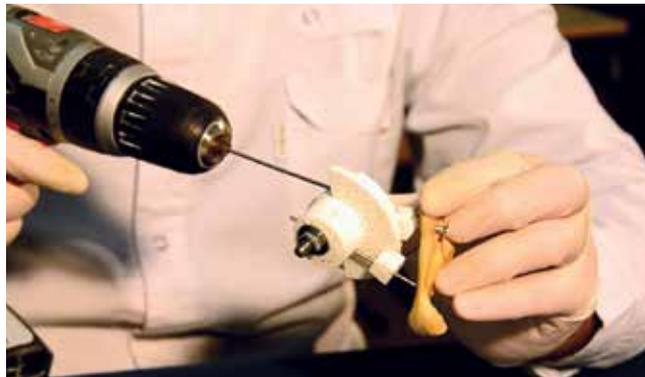


Рисунок 2. Постановка спиц аппарата внешней фиксации экзоскелета нижней челюсти при помощи устройства для ориентации спиц



Рисунок 3. Первый вид устройства для безопасной установки экзоскелета нижней челюсти



Рисунок 4. Вид фрагмента после снятия устройства для ориентации спиц аппарата внешней фиксации экзоскелета нижней челюсти



Рисунок 5. Вид после снятия устройства для пространственной ориентации спиц аппарата внешней фиксации экзоскелета нижней челюсти и установки мини-фиксатора

Виртуальная 3D-модель позволила смоделировать, визуализировать и оценить все возможные степени свободы разработанной конструкции в идеальных условиях ее функционирования, а также проанализировать качество и возможности виртуальной реконструкции кости после перелома.

Разработанное устройство для безопасной установки спиц экзоскелета нижней челюсти позволяет позиционировать спицы следующим образом [25]:

- ход спиц в плоскости вращения печатаемых на 3D-принтере пластин параллелен друг другу. Это позволяет точно контролировать направление движения спиц. Данное действие имеет особое значение в связи с близкой локализацией нижнечелюстного нерва для предотвращения его повреждения (рис. 6);
- перекрест спиц в плоскости, перпендикулярной штифту для фиксации пластин, происходит на достаточном расстоянии от мягких тканей пациента и может быть спрогнозирован врачом. Это необходимо для проведения гигиенических процедур пациентов, предотвращения чрезмерного контакта металла с мягкими тканями (рис. 7);
- имеется возможность регулировать угол, формируемый при пересечении спиц в плоскости, перпендикулярной основному штифту для фиксации пластин. Вращение пластин со спицами происходит по оси основного штифта. Контроль угла установки спиц происходит по шкале, нанесенной на пластины. Благодаря этому достигается высокая точность позиционирования спиц и мини-фиксаторов в кости (рис. 8);
- спицы отстоят друг от друга на запрограммированное расстояние для возможности установки мини-фиксаторов. Выбор данного расстояния происходит на этапе планирования операции и соответствует размерам элементов мини-фиксатора, участвующих в фиксации спиц, – прокладочная шайба и две шайбы мини-фиксатора (рис. 9).

Устройство для взаимной пространственной ориентации остеофиксаторов и контроля глубины погружения остеофиксаторов содержит разъемный корпус. Оно состоит из двух одинаковых пластин, выполненных в форме полукруга, и упора, соединенных между собой, с возможностью обеспечения поворота пластин относительно друг друга с последующей фиксацией на упоре (рис. 10).

Пластины устройства представляют собой полукруг. На соприкасающихся плоскостях пластины наносится угломерная шкала для определения угла между вводимыми в кость спицами. Внутри пластины проходит сквозной канал идентичного диаметра спиц аппарата внешней фиксации экзоскелета нижней челюсти. Сквозной направляющий канал для введения остеофиксаторов на каждой пластине выполнен перпендикулярно основанию по одну сторону от места их соединения. В ходе работы пластина направлена полукруглым концом в сторону, противоположную пациенту. На этой стороне по ходу канала спицы, продолжая его, выступает пластина контроля глубины погружения спицы. На ней нанесена миллиметровая гра-



Рисунок 6. Спицы аппарата внешней фиксации параллельны в плоскости вращения мини-фиксатора

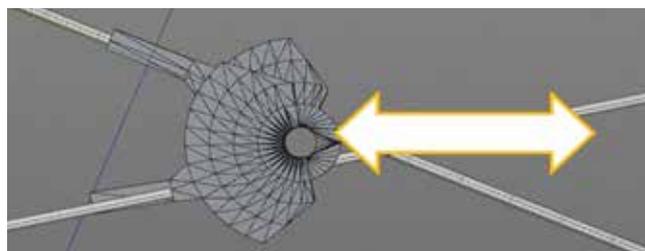


Рисунок 7. Перекрест спиц в плоскости, перпендикулярной штифту

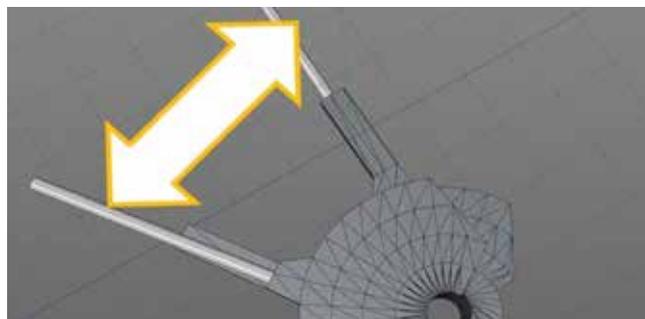


Рисунок 8. Регулировка угла, формируемого при пересечении спиц, в плоскости, перпендикулярной штифту

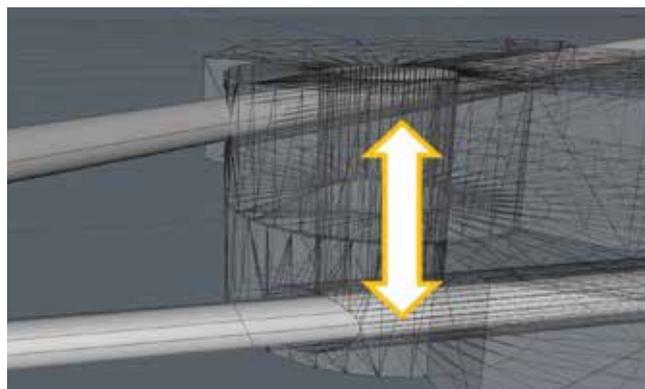


Рисунок 9. Спицы отстоят друг от друга на запрограммированное расстояние вдоль центральной оси

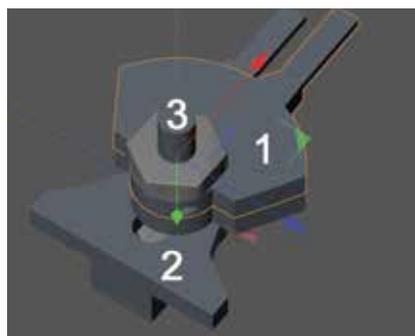


Рисунок 10. Устройство для пространственной ориентации спиц аппарата внешней фиксации в виртуальной среде (1 – печатаемая на 3D-принтере пластина, 2 – ограничитель высоты, 3 – штифт для фиксации пластин)

дуировка, которая в процессе постановки спицы позволяет точно контролировать глубину погружения спицы в кость. Отверстие в пластине сформировано так, чтобы в него заходил основной стержень, вокруг которого происходит вращение пластин (рис. 11).

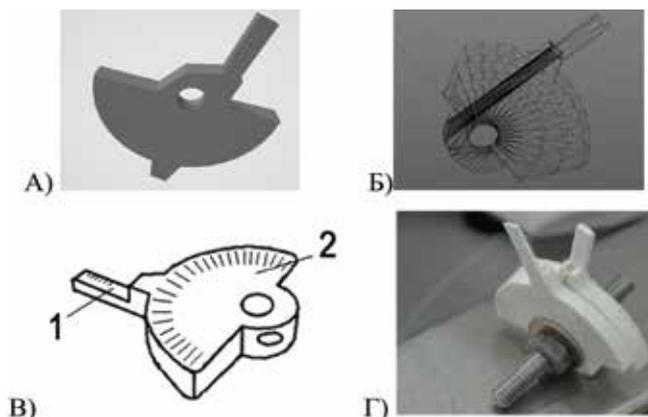


Рисунок 11. Деталь устройства для пространственной ориентации спиц аппарата внешней фиксации, воспроизводимая методом 3D-печати. А – внешний вид, Б – демонстрация канала для спицы, В – схема градуированных шкал: 1 – глубины погружения и 2 – угла наклона спиц, Г – пластины на центральном штифте

Устройство для пространственной ориентации спиц аппарата внешней фиксации экзоскелета нижней челюсти частично воспроизведено при помощи 3D-принтера, что позволяет индивидуализировать части устройства на этапах подготовки к операции (рис. 12).



Рисунок 12. А – апробация устройства на неопознанном трупe мужчины, Б – применение устройства в ходе операции

## Заключение.

Изобретение обеспечивает контроль глубины погружения остеофиксаторов на всю толщину кости и упрощение выбора оптимального угла взаимной пространственной ориентации при их введении и наибольшей устойчивой фиксации фрагментов нижней челюсти при закрытом внеочаговом остеосинтезе.

## Список литературы / References

- Zedgenidze I.V., Tishkov N.V. Сравнительная характеристика систем аппаратов внешней фиксации, используемых при лечении диафизарных и внутрисуставных переломов длинных костей. *Сибирский медицинский журнал*. 2015; (4): 135–142.  
Zedgenidze I.V., Tishkov N.V. Comparative characteristics of the systems of external fixation devices used in the treatment of diaphyseal and intra-articular fractures of long bones (in English). *Siberian Medical Journal*. 2015; (4): 135–142.
- Datarkar A., Tayal S., Thote A., Galie M. An in-vitro evaluation of a novel design of miniplate for fixation of fracture segments in the transition zone of parasymphysis-body region of mandible using finite element analysis. *J Craniomaxillofac Surg*. 2019; 1 (47): 99–105.

- Gazzani F., Pavoni C., Giancotti A., Cozza P., Lione R. Facemask performance during maxillary protraction: a finite element analysis (FEA) evaluation of load and stress distribution on Delaire facemask. *Prog Orthod*. 2018; 1 (19): 21.
- Kaura S., Kaur P., Bahl R., Bansal S., Sangha P. Retrospective Study of Facial Fractures. *Ann Maxillofac Surg*. 2018; 1 (8): 78–82.
- Sato K., Murakami K., Mimata Y., Numata N., Shiraihi H., Doita M. Conservative treatment of distal ulna metaphyseal fractures associated with distal radius fractures in elderly people. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2018; 7 (104): 1101–1105.
- Song I.S., Choi J., Kim S.R., Lee J.H. Stability of bioresorbable plates following reduction of mandibular body fracture: Three-dimensional analysis. *J Craniomaxillofac Surg*. 2019; 11 (47): 1752–1757.
- Wu P., Yang Z.Y., Liu Y., Li Y., Tan Y.H. Biomechanics analysis of the impact of maxillofacial injury on skull base damage. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. 2016; 8 (51): 480–485.
- Зедгенидзе И.В., Павлов А.Ю. Характеристика систем аппаратов внешней фиксации, используемых при лечении диафизарных переломов длинных костей (сравнительная оценка подвижности между отломками). *Сибирский медицинский журнал*. 2018; (1): 38–41.  
Zedgenidze I.V., Pavlov L.YU. Characteristics of the systems of external fixation devices used in the treatment of diaphyseal fractures of long bones (comparative assessment of mobility between fragments) (in English). *Siberian Medical Journal*. 2018; (1): 38–41.
- Datarkar A., Tayal S., Thote A., Galie M. An in-vitro evaluation of a novel design of miniplate for fixation of fracture segments in the transition zone of parasymphysis-body region of mandible using finite element analysis. *J Craniomaxillofac Surg*. 2019; 1 (47): 99–105.
- Kim D.Y., Sung I.Y., Cho Y.C., Park E.J., Son J.H. Bioabsorbable plates versus metal miniplate systems for use in endoscope-assisted open reduction and internal fixation of mandibular subcondylar fractures. *J Craniomaxillofac Surg*. 2018; 3 (46): 413–417.
- Meraghni N. Evolution of osteosynthesis: Historical review. *Tunis Med*. 2017; 2 (95): 77–78.
- Patussi C., Sassi L.M., Cruz R., Klein Parise G., Costa D., Rebellato N.L.B. Evaluation of different stable internal fixation in unfavorable mandible fractures under finite element analysis. *Oral Maxillofac Surg*. 2019; 3 (23): 317–324.
- Williams W.H., Chitsabesan P., Fazel S., McMillan T., Hughes N., Parsonage M., Tonks J. Traumatic brain injury: a potential cause of violent crime? *Lancet Psychiatry*. 2018; 10 (5): 836–844.
- Clavert P., Aim F., Bonneville N., Arboucalot M., Ehlinger M., Bauer T. Biomechanical properties of transosseous bony Bankart repair in a cadaver model. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2019; 2 (105): 271–274.
- Hindle B.R., Lorimer A., Winwood P., Keogh J.W.L. The Biomechanics and Applications of Strongman Exercises: a Systematic Review. *Sports Med Open*. 2019; 1 (5): 49.
- Rony L., Lancigu R., Hubert L. Intraosseous metal implants in orthopedics: A review. *Morphologie*. 2018; 339 (102): 231–242.
- Asad W.A., Younis M.H.S., Ahmed A.F., Ibrahim T. Open versus closed treatment of distal tibia physeal fractures: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2018; 3 (28): 503–509.
- Vorobyev A.A., Dyachenko D.Yu., Makedonova Yu.A., Dyachenko S.V. Study of elastic elements of lower jaw exoskeleton. *Archiv Euromedica*. 2020; 2 (10): 126–130.
- Feeley B.T., Lau B.C. Biomechanics and Clinical Outcomes of Partial Meniscectomy. *J Am Acad Orthop Surg*. 2018; 24 (26): 853–863.
- Воробьев А.А., Македонова Ю.А., Дьяченко Д.Ю., Саргсян К.А. Обоснование возможностей упругих элементов аппарата «экзоскелет нижней челюсти». *Russian Journal of Pain*. 2020; (18): 17–18.  
Vorob'ev A.A., Makedonova YU.A., D'yachenko D.YU., Sargsyan K.A. Substantiation of the possibilities of elastic elements of the apparatus «lower jaw exoskeleton» (in English). *Russian Journal of Pain*. 2020; (18): 17–18.
- Кинаш И.Н., Пусева М.Э., Бутаев Ч.З., Ипполитова Е.Г. Динамика показателей крови у пациентов с повреждением диафиза лучевой кости при использовании метода чрескостного остеосинтеза аппаратом внешней фиксации спицевой компоновки. *Acta Biomedica Scientifica*. 2018; (3): 95–99.  
Kinash I.N., Puseva M.E., Butaev CH.Z., Ippolitova E.G. Dynamics of blood parameters in patients with damage to the diaphysis of the radial bone using the method of transosseous osteosynthesis with an apparatus for external fixation of the wire assembly (in English). *Acta Biomedica Scientifica*. 2018; (3): 95–99.
- Dyusupov A., Dyusupov A., Manarbekov E., Bukatov A., Serikbaev A. Transosseous osteosynthesis of lower extremities bones fractures and quality of life of patients in the treatment period. *Georgian Med News*. 2018; (2): 22–28.
- Lauridsen E., Gerds T., Andreassen J.O. Alveolar process fractures in the permanent dentition. Part 2. The risk of healing complications in teeth involved in an alveolar process fracture. *Dent Traumatol*. 2016; 2 (32): 128–139.
- Molteni F., Gasperini G., Cannaviello G., Guanzirio E. Exoskeleton and End-Effector Robots for Upper and Lower Limbs Rehabilitation: Narrative Review. *PM R*. 2018; 9 (10): 174–188.
- Vorobyev A.A., Dyachenko D.Yu., Makedonova Yu.A., Mikhalchenko D.V., Fomichev E.V., Sargsyan K.A. Mandible Exoskeleton - First Results of Development and Implementation. *Journal of International Dental and Medical research*. 2020; 13 (2): 400–406.

#### Информация об авторах

**Д. Ю. Дьяченко**<sup>1</sup>, ассистент кафедры стоматологии  
ORCID: 0000-0003-4445-6109

**А. А. Воробьев**<sup>1, 2</sup>, заслуженный деятель науки РФ, д. м. н., проф., зав. кафедрой оперативной хирургии и топографической анатомии, зав. лабораторией инновационных методов реабилитации и абилитации  
ORCID: 0000-0001-8378-0505

**Ю. А. Македонова**<sup>1, 2</sup>, д. м. н., доцент, зав. кафедрой стоматологии ИНМФО, старший научный сотрудник лаборатории инновационных методов реабилитации и абилитации  
ORCID: 0000-0002-5546-8570

**О. Н. Куркина**<sup>1</sup>, к. м. н., доцент кафедры стоматологии ИНМФО  
ORCID: 0000-0002-4759-3777

**С. В. Дьяченко**<sup>1</sup>, ассистент кафедры стоматологии ИНМФО  
ORCID: 0000-0002-5526-8130

**С. А. Варгина**<sup>1</sup>, к. м. н., доцент кафедры стоматологии ИНМФО  
ORCID: 0000-0003-0460-1471

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» МЗ РФ, Волгоград, Россия

<sup>2</sup> ГБУ «Волгоградский медицинский научный центр», Волгоград, Россия

#### Контактная информация:

Македонова Юлия Алексеевна. E-mail: mihai-m@yandex.ru

#### Author information

**D. YU. D'yachenko**<sup>1</sup>, assistant at the Department of Dentistry INMFO  
ORCID: 0000-0003-4445-6109

**A. A. Vorob'ev**<sup>1, 2</sup>, Honored Scientist, doctor of medical sciences, Professor, Head of the Department of operative surgery and topographic anatomy, Head of the Laboratory of innovative methods of rehabilitation and habilitation  
ORCID: 0000-0001-8378-0505

**Iu. A. Makedonova**<sup>1, 2</sup>, doctor of medical Sciences, head of the Department of dentistry INMFO, senior researcher of the Laboratory of innovative methods of habilitation and rehabilitation  
ORCID: 0000-0002-5546-8570

**O. N. Kurkina**<sup>1</sup>, candidate of medical Sciences, docent of the Department of dentistry INMFO  
ORCID: 0000-0002-5546-8570

**S. V. D'yachenko**<sup>1</sup>, assistant at the Department of Dentistry INMFO  
ORCID: 0000-0002-5546-8570

**S. A. Vargina**<sup>1</sup>, candidate of medical Sciences, docent of the Department INMFO  
ORCID: 0000-0002-5546-8570

<sup>1</sup> Federal State Government-Financed Educational Institution of Higher Education «Volgograd State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

<sup>2</sup> Volgograd Medical Science Center

#### Contact information

Makedonova Yulia A. E-mail: mihai-m@yandex.ru

**Для цитирования:** Дьяченко Д. Ю., Воробьев А. А., Македонова Ю. А., Куркина О. Н., Дьяченко С. В., Афанасьева О. Ю., Варгина С. А. Анализ экзоскелета нижней челюсти в программах конечных элементов. Медицинский алфавит. 2021; (24):93-97. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-24-93-97>

**For citation:** D'yachenko D. YU., Vorob'ev A. A., Makedonova YU. A., Kurkina O. N., D'yachenko S. V., Afanas'eva O. YU., Vargina S. A. Analysis of the lower jaw exoskeleton in finite element programs. Medical alphabet. 2021; (24):93-97. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-24-93-97>



17–19 февраля  
2022  
Москва, Россия



ДЕНТАЛ  
РЕВЮ

