



**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «DR. STUDENT» – ОНЛАЙН ПОМОЩНИК
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СРОКОВ НАГРУЗКИ ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ
НА ДЕНТАЛЬНЫЕ ИМПЛАНТАТЫ**

Р.В. СТУДЕНИКИН*, А.А. МАМЕДОВ**

*ФГБОУ ВО Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н.Бурденко Минздрава России, ул. Студенческая, д. 10, г. Воронеж, 394036, Россия, e-mail: studeikin@yahoo.com

**ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, г. Москва, 119048, Россия

Аннотация. *Цель работы* – создание мобильного программного комплекса на основе искусственного интеллекта, учитывающего факторов, влияющих на остеоинтеграцию, для определения срока нагрузки ортопедической конструкцией на дентальные имплантаты непосредственно во время операции. **Материалы и методы исследования.** Для разработки программного комплекса «Dr. Student», доступного к скачиванию из *Google Play* и *App Store*, использовали данные из пакета прикладных программ *Statistica Neural Networks*, полученные на основе многочисленных предварительных экспериментальных данных. В мобильном устройстве во время хирургической операции вручную в приложении вводятся данные о типе костной ткани, классе резорбции, первичной стабильности по динамометрическому ключу, коэффициенте стабильности, угле вкручивания и типе фиксации имплантата, виде ортопедической конструкции. Затем нажимается кнопка «Рассчитать» и на экране появляется срок нагрузки ортопедической конструкцией в днях. **Выводы.** Разработанный комплекс позволяет мгновенно, используя введенные значения входных параметров, влияющих на остеоинтеграцию имплантата, рассчитать с высокой точностью срок ортопедической нагрузки, что существенно снижает временные рамки, необходимые для реабилитации пациентов.

Ключевые слова: программный комплекс, срок нагрузки ортопедической конструкцией, дентальные имплантаты.

**THE SOFTWARE PACKAGE "DR. STUDENT" – ONLINE ASSISTANT FOR DETERMINING
THE TIMING OF LOADING OF AN ORTHOPEDIC STRUCTURE ON DENTAL IMPLANTS**

R.V. STUDENIKIN*, A.A. MAMEDOV**

*Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Studentskaya str., 10, Voronezh, 394036, Russia, e-mail: studeikin@yahoo.com

**First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Ministry of Healthcare of the Russian Federation (Sechenovskiy University), Trubetskaya str., 8, p. 2, Moscow, 119048, Russia

Abstract. *The aim of the work* was to create a mobile software system based on artificial intelligence, taking into account factors affecting osseointegration, to determine the period of loading of an orthopedic structure on dental implants directly during surgery. To develop the software package "Dr. Student, available for download from Google Play and the App Store, used data from the Statistica Neural Networks application package based on numerous preliminary experimental data. In a mobile device, during a surgical operation, data on the type of bone tissue, resorption class, primary stability using a torque wrench, stability coefficient, screwing angle and type of implant fixation, type of orthopedic structure are entered manually in the application. Then the "Calculate" button is pressed and the period of loading by the orthopedic structure in days appears on the screen. The developed complex allows you to instantly, using the entered values of the input parameters that affect the osseointegration of the implant, calculate with high accuracy the period of orthopedic loading, which significantly reduces the time frame required for the rehabilitation of patients.

Key words: software package, period of loading by an orthopedic structure, dental implants.

Введение. Учеными разработана единая классификация протоколов установки и нагрузки дентальных имплантатов для всех возможных клинических ситуаций [8, 9]. Дентальную имплантацию с медленной нагрузкой могут выполнять только специалисты с высокой квалификацией и большим опытом при наличии определенных клинических состояний с обеспечением первичной фиксации крутящего момента в пределах 35-40 Н•см или *коэффициенте стабильности (ISQ) > 70*, что обеспечивает выживаемость имплантатов в течение срока его интеграции в костной ткани под нагрузкой [7].

Тренд сегодняшнего дня – сокращение продолжительности последующих ортопедических реабилитаций. Немедленная имплантация и немедленная интраоперационная функциональная жевательная нагрузка могут сократить продолжительность лечения и объем оперативного вмешательства, и позволят получить высокий функциональный и эстетический результат [1, 4].

Вокруг имплантатов, при нагрузке, происходит усиление кровотока и вазомоторной активности микроциркуляторного тракта опорных тканей, увеличение объема кости и возрастание крутящего момента, что является положительным фактором для ускорения темпов остеоинтеграции [2, 10].

Систематизация взглядов на дифференциацию результатов немедленной нагрузки и немедленной имплантации и их интерпретация с точки зрения современного понимания механизмов ремоделирования костей расширяют возможности для обсуждения и аргументации различных протоколов имплантации зубов с учетом начальных условий клинической ситуации [6].

Чем больше факторов, рассматриваемых и учитываемых перед и во время операции имплантации, тем надежнее, на наш взгляд, прогнозирование возможности немедленной нагрузки.

Исходя из вышеперечисленного, **цель работы** – создание мобильного программного комплекса на основе искусственного интеллекта, учитывающего множество факторов, влияющих на остеоинтеграцию, для моментального определения срока нагрузки ортопедической конструкцией на дентальные имплантаты.

Материалы и методы исследования. Для разработки программного комплекса «*Dr. Student*» использовали данные из пакета прикладных программ *Statistica Neural Networks*, версия 13 [3].

На основе предварительных экспериментальных данных определили основные, на наш взгляд, переменные параметры (входные сигналы), оказывающие наибольший вклад на регенерацию кости вокруг имплантата.

Входные сигналы и их уровни варьирования были следующими: тип протезирования (одиночное, мостовидное), динамометрическое усилие, Н•см (от 20 до 45), коэффициент стабильности имплантата (*ISQ*), измеренный прибором *Penguin^{RF-A}* (от 50 до 75 единиц), тип фиксации (стандартная, бикортикальная), тип кости (твердая, плотная, мягкая, рыхлая), класс резорбции (от *A* до *E*), угол вкручивания (*straight, angled*).

Функцией отклика (выходным сигналом) являлся *срок нагрузки ортопедической конструкцией на дентальные имплантаты* (СНОК) в сутках.

При обучении программного комплекса некоторым входным сигналам, не измеряемым непосредственно во время операции дентальной имплантации, присваивались числовые значения:

- тип протезирования (1 – одиночное, 2 – мостовидное);
- тип фиксации (1 – стандартная, 2 – бикортикальная);
- тип кости (1 – рыхлая, 2 – мягкая, 3 – плотная, 4 – твердая);
- класс резорбции (1 – *A*, 2 – *B*, 3 – *C*, 4 – *D*, 5 – *E*);
- угол вкручивания (1 – *straight*, 2 – *angled*).

Результаты и их обсуждение. Разработанный программный комплекс «*Dr. Student*» состоит из трех компонентов.

1. **МОБИЛЬНЫЙ КЛИЕНТ.** Разработанный на языке программирования *Dart* мобильный клиент представляет из себя кросс-платформенное приложение, которое может работать на различных операционных системах (*Android, Windows, iOS*), что заметно облегчает работу, так как исключается подготовка различных версий для каждой платформы. Была использована экосистема пакетов *Flutter* [5], характеризующийся тем, что для создания мобильных приложений не использует технологию веб-браузера.

Во *Flutter* есть оптимизированный движок 2D-рендеринга для телефонов и планшетов с поддержкой текста, достаточный набор виджетов в стиле *iOS*, интерфейс прикладного программирования для модульных и интеграционных тестов и набор инструментов для повышения производительности и отладки *Dart DevTools*.

Используемая среда разработки – *Visual Studio Code*.

2. **СЕРВЕРНАЯ ЧАСТЬ А.** Предоставляет *REST API* (интерфейс, используемый двумя компьютерными системами для безопасного обмена информацией через Интернет) к вызову математической модели, настройкам и содержанию элементов интерфейса клиентской части.

Она реализована с помощью языка программирования *Python* с применением фреймворка *Fast API*, который является одним из самых быстрых вебфреймворков для данного языка программирования [11]. К другим преимуществам можно отнести поддержку асинхронного режима работы, легкость в применении, встроенная и автоматическая генерация документации *API Swagger u Redoc*.

Среда разработки – *Visual Studio Code*.

3. **СЕРВЕРНАЯ ЧАСТЬ В.** Реализует математическую модель на основе искусственного интеллекта с применением языка программирования *Python*. Использовались библиотеки *scikit-learn, pandas*.

Pandas это высокоуровневая *Python* библиотека для обработки и анализа данных, полученных в результате исследований и представленных в виде таблицы.

Scikit-learn – это библиотека *Python*, включает все алгоритмы и инструменты, которые нужны для задач классификации, регрессии и кластеризации. Предоставляет очень эффективные инструменты для прогнозной аналитики.

Среда разработки – *Visual Studio Code*.

Мобильное приложение создано для молодых специалистов, которые на начальном этапе карьеры стоматолога будут оптимизировать свою работу за счет искусственного интеллекта, позволяющей, предположительно, определить срок нагрузки ортопедической конструкцией на дентальные имплантаты после их установки в костную ткань. Это поможет быстрее и с большой вероятностью предсказать время ортопедической реабилитации пациентов.

Аналогичных по предназначению мобильных приложений нет, поэтому отсутствует возможность сравнения полученных данных с известными.

Интерфейс программного комплекса «*Dr. Student*» поддерживает два языка – русский и английский.

Для обучения использовали данные более 1000 пациентов, наблюдавшихся в течение пяти лет, для которых были известны все параметры, составляющие входные и выходной сигналы.

На пациентах, включенных в контрольную группу, проводили прогнозирование СНОК с использованием мобильного приложения.

На рис. 1 представлены скриншоты интерфейса программного комплекса, где СНОК определен как одни сутки.

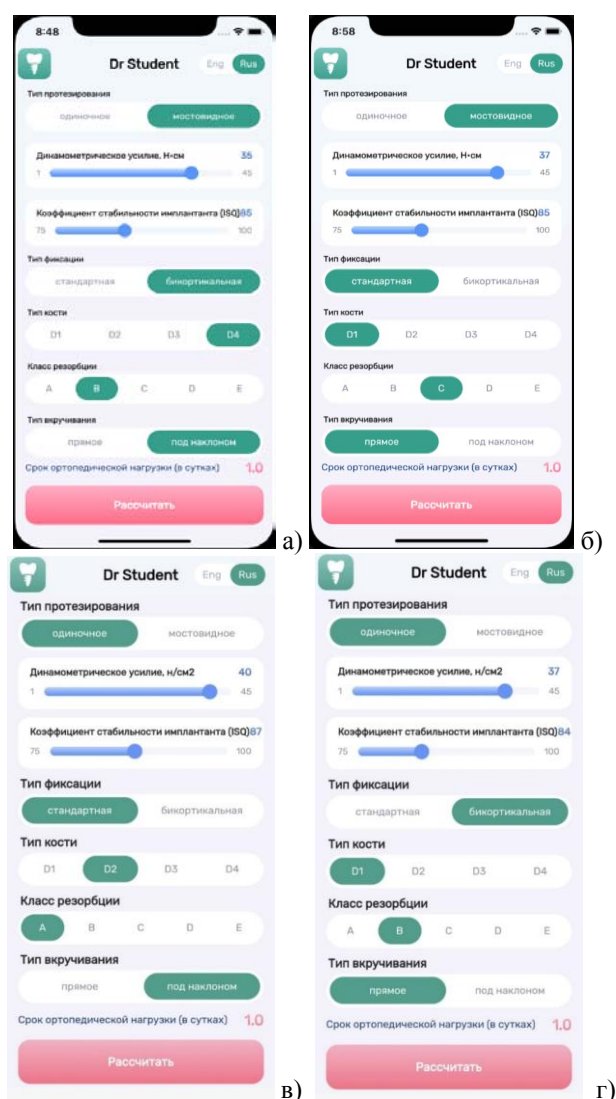


Рис. 1. Скриншоты страницы программного обеспечения, где СНОК определен как одни сутки (немедленная нагрузка)

В первых двух вариантах (а, б) тип протезирования мостовидным, данные ISQ одинаковые – по 85, динамометрические усилия отличаются незначительно – 35 и 37 Н•см, соответственно, тип кости различные – $D4$ и $D1$, так же, как и класс резорбции и тип вкручивания.

В другом случае (в, г) тип протезирования одиночный, различаются типы фиксации, кости, вкручивания и класс резорбции. Исходя из прогноза в течение суток была проведена нагрузка имплантата временной ортопедической конструкцией. Пациенты наблюдались в течение шести месяцев. Через каждые четыре недели проводилось рентгенографическое обследование для изучения остеоинтеграции. Патологий не выявлено, приживаемость имплантатов 100 %.

Ранняя нагрузка определялась в интервале от 6 до 8 недель. Примеры приведены на рис. 2.

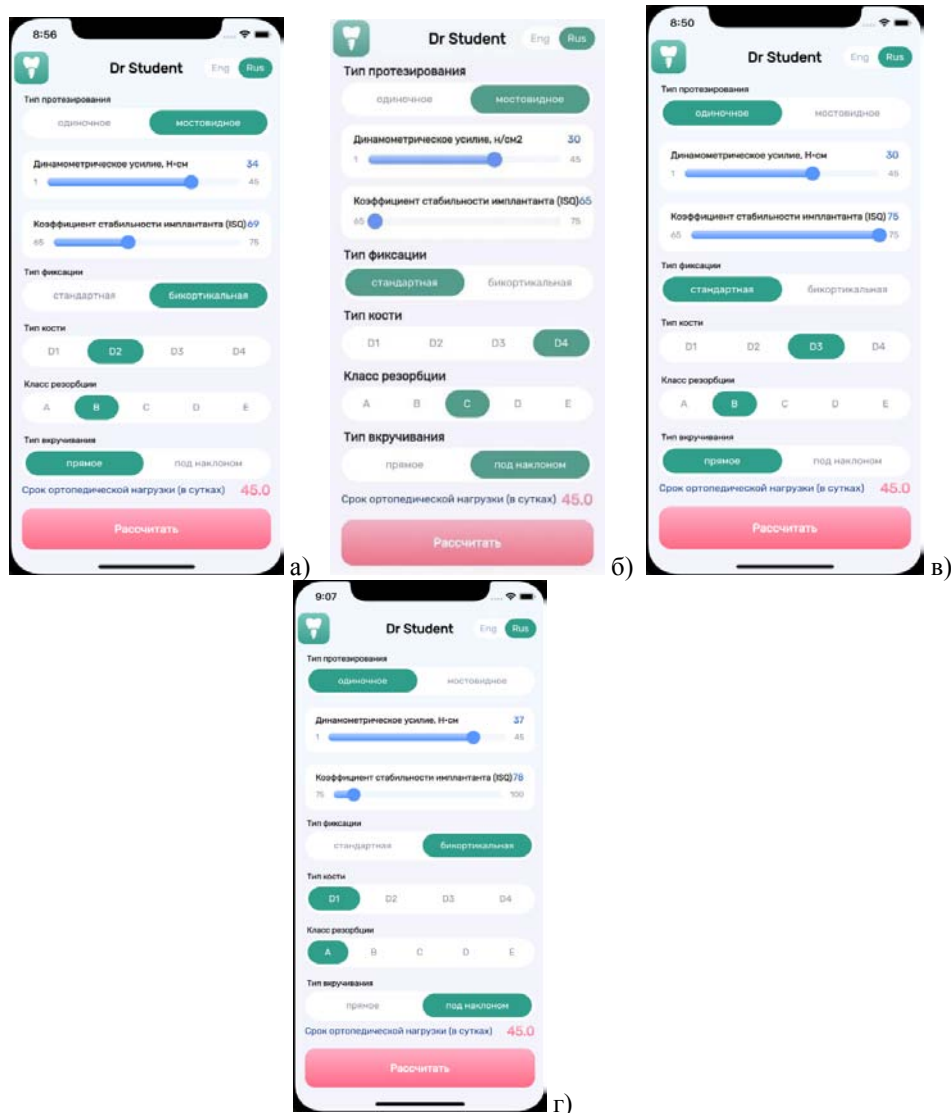


Рис. 2. Скриншоты страницы программного обеспечения, где СНОК определен как 45 суток (ранняя нагрузка)

Последний хирургический протокол – отсроченная нагрузка, исчисляемая в интервале 12-24 недель. На рис. 3 приведены сканы, СНОК определен в 120 суток. Во всех случаях отмечаются низкие значения коэффициента стабильности и динамометрического усилия. По истечении установленного срока имплантаты нагружали временной конструкцией, осуществляли двойной рентгенконтроль – до нагрузки и сразу после нее. Через каждые две недели в течение двух месяцев процедуру повторяли. Соединительные или фиброзные ткани вокруг имплантатов отсутствовали.

Результаты применения программного продукта «Dr. Student» на пациентах контрольной группы позволяют судить о значительном сокращении времени как для принятия стоматологом решения о нагрузке на имплантаты, так и необходимого для быстрой реабилитации больного. Особенно продукт будет актуален для молодых специалистов без достаточных практических навыков.

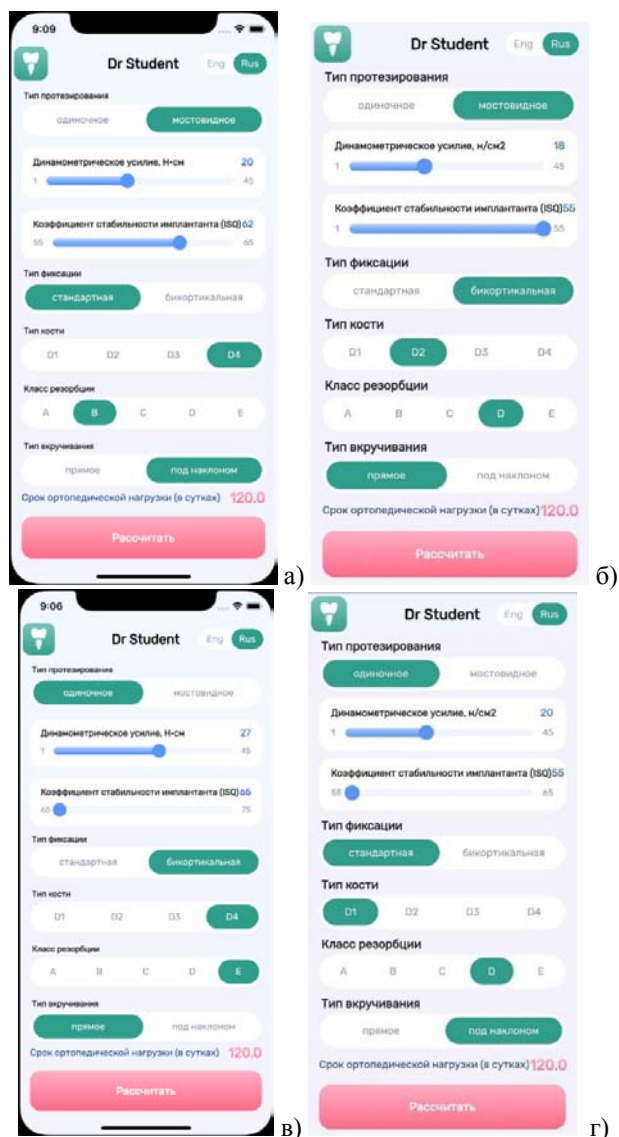


Рис. 3. Скриншоты страницы программного обеспечения, где СНОК определен как 120 суток (отсроченная нагрузка)

Выводы. Разработанный мобильный программный комплекс «Dr. Student» на основе искусственного интеллекта, устанавливаемый на носимое устройство, позволяет мгновенно, используя введенные значения факторов, влияющих на остеоинтеграцию имплантата, рассчитать с высокой точностью срок ортопедической нагрузки, что существенно может снизить временные рамки, необходимые для реабилитации пациентов.

Литература

1. Attia S., Wiltfang J., Streckbein P., Wilbrand J.F., El Khassawna T., Mausbach K., Schaaf H. Functional and aesthetic treatment outcomes after immediate jaw reconstruction using a fibula flap and dental implants // Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. 2019. № 47(5). P. 786–791. DOI: 10.1016/j.jcms.2018.12.017
2. Flanagan D. Osseous remodeling around dental implants // Journal of Oral Implantology. 2019. № 45(3). P. 239–246.
3. Horak J., Vrbka J., Suler P. Support vector machine methods and artificial neural networks used for the development of bankruptcy prediction models and their comparison // Journal of Risk and Financial Management. 2020. № 13(3). P. 60.
4. Khachatryan L., Khachatryan G., Hakobyan G. The treatment of lower jaw defects using vascularized fibula graft and dental implants // Journal of Craniofacial Surgery. 2018. № 29(8). P. 2214–2217. DOI: 10.1097/SCS.0000000000005015

5. Kumar T., Sharma S., Sharma A., Malhotra J., Gupta V. Using Flutter to Develop a Hybrid Application of Augmented Reality. In Computational Intelligence for Information Retrieval. CRC Press; 2021. P. 141–156.
6. Naeini E.N., Atashkadeh M., De Bruyn H., D'Haese J. Narrative review regarding the applicability, accuracy, and clinical outcome of flapless implant surgery with or without computer guidance // Clinical Implant Dentistry and Related Research. 2020. № 22(4). P. 454–467. DOI: 10.1111/cid.12901
7. Norton M.R. The Influence of Low Insertion Torque on Primary Stability, Implant Survival, and Maintenance of Marginal Bone Levels: A Closed-Cohort Prospective Study // International Journal of Oral & Maxillofacial Implants. 2017. № 32(4). P. 849–857. DOI: 10.11607/jomi.5889
8. Potapchuk A.M., Onipko Y.L., Almashi V.M., Dedukh N.V., Kostenko O.Y. Experimental study of bone rebuilding in the periimplantation area under immediate loading on dental implants // Wiadomosci Lekarskie. 2021. № 74(4). P. 992–997. DOI: 10.36740/WLek202104134
9. Rojo R., Prados-Privado M., Reinoso A.J., Prados-Frutos J.C. Evaluation of fatigue behavior in dental implants from in vitro clinical tests: a systematic review // Metals. 2018. № 8(5). P. 313.
10. Traini T., Assenza B., Roman F.S., Thams U., Caputi S., Piattelli A. Bone microvascular pattern around loaded dental implants in a canine model // Clinical oral investigations. 2006. № 10(2). P. 151–156. DOI: 10.1007/s00784-006-0043-6
11. Zambelli P., Gebbert S., Ciolli M. Pygrass: An object oriented python application programming interface (API) for geographic resources analysis support system (GRASS) geographic information system (GIS). ISPRS International // Journal of Geo-Information. 2013. № 2(1). P. 201–219.

References

1. Attia S, Wiltfang J, Streckbein P, Wilbrand JF, El Khassawna T, Mausbach K, Schaaf H. Functional and aesthetic treatment outcomes after immediate jaw reconstruction using a fibula flap and dental implants. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. 2019; 47(5): 786-91. DOI: 10.1016/j.icms.2018.12.017
2. Flanagan D. Osseous remodeling around dental implants. Journal of Oral Implantology. 2019; 45(3): 239-46.
3. Horak J, Vrbka J, Suler P. Support vector machine methods and artificial neural networks used for the development of bankruptcy prediction models and their comparison. Journal of Risk and Financial Management. 2020; 13(3):60.
4. Khachatryan L, Khachatryan G, Hakobyan G. The treatment of lower jaw defects using vascularized fibula graft and dental implants. Journal of Craniofacial Surgery. 2018; 29(8): 2214-7. DOI: 10.1097/SCS.0000000000005015
5. Kumar T, Sharma S, Sharma A, Malhotra J, Gupta V. Using Flutter to Develop a Hybrid Application of Augmented Reality. In Computational Intelligence for Information Retrieval. CRC Press; 2021.
6. Naeini EN, Atashkadeh M, De Bruyn H, D'Haese J. Narrative review regarding the applicability, accuracy, and clinical outcome of flapless implant surgery with or without computer guidance. Clinical Implant Dentistry and Related Research. 2020; 22(4): 454-67. DOI: 10.1111/cid.12901
7. Norton MR. The Influence of Low Insertion Torque on Primary Stability, Implant Survival, and Maintenance of Marginal Bone Levels: A Closed-Cohort Prospective Study. International Journal of Oral & Maxillofacial Implants. 2017; 32(4): 849-57. DOI: 10.11607/jomi.5889
8. Potapchuk AM, Onipko YL, Almashi VM, Dedukh NV, Kostenko OY. Experimental study of bone rebuilding in the periimplantation area under immediate loading on dental implants. Wiadomosci Lekarskie. 2021; 74(4): 992-7. DOI: 10.36740/WLek202104134
9. Rojo R, Prados-Privado M, Reinoso AJ, Prados-Frutos JC. Evaluation of fatigue behavior in dental implants from in vitro clinical tests: a systematic review. Metals. 2018; 8(5): 313.
10. Traini T, Assenza B, Roman FS, Thams U, Caputi S, Piattelli A. Bone microvascular pattern around loaded dental implants in a canine model. Clinical oral investigations. 2006; 10(2); 151-6. DOI: 10.1007/s00784-006-0043-6
11. Zambelli P, Gebbert S, Ciolli M. Pygrass: An object oriented python application programming interface (API) for geographic resources analysis support system (GRASS) geographic information system (GIS). ISPRS International Journal of Geo-Information. 2013; 2(1): 201-19.

Библиографическая ссылка:

Студеникин Р.В., Мамедов А.А. Программный комплекс «dr. Student» – онлайн помощник по определению сроков нагрузки ортопедической конструкцией на дентальные имплантаты // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2023. №1. Публикация 1-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-1/1-4.pdf> (дата обращения: 27.01.2023). DOI: 10.24412/2075-4094-2023-1-1-4. EDN UOVKIT*

Bibliographic reference:

Studenikin RV, Mamedov AA. Programmnyj kompleks «dr. Student» – onlajn pomoshhnik po opredeleniju srokov nagruzki ortopedicheskoj konstrukciej na dental'nye implantaty [The software package "dr. Student" – online assistant for determining the timing of loading of an orthopedic structure on dental implants]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2023 [cited 2023 Jan 27];1 [about 6 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-1/1-4.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2023-1-1-4. EDN UOVKIT

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-1/e2023-1.pdf>

**идентификатор для научных публикаций EDN (eLIBRARY Document Number) будет активен после выгрузки полной версии журнала в eLIBRARY