

Применение нейронной сети для морфологической оценки ремоделирования реваскуляризированного аутооттрансплантата на этапе дентальной имплантации дефектов челюстей

Г.Н. Берченко¹, Т.В. Брайловская^{2,3}, Н.В. Федосова¹, З.А. Тангиева²

¹НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

²НМИЦ СЧЛХ Минздрава РФ, Москва, Российская Федерация

³Первый МГМУ им. И. М. Сеченова, Москва, Российская Федерация

Резюме

Актуальность. В работе изучена возможность использования математической модели искусственной нейронной сети (ИНС) для сравнительной количественной морфологической оценки процесса ремоделирования реваскуляризированного аутооттрансплантата после реконструктивно-восстановительных операций у пациентов с дефектами челюстей.

Материалы и методы. Проведено гистологическое исследование биопсии костной ткани челюстей на сроках 6, 9, 12 месяцев у 30 пациентов после выполнения реконструктивно-восстановительной операции с использованием реваскуляризированного аутооттрансплантата малоберцовой кости на этапе установки дентальных имплантатов. Выполнялся анализ гистологических изображений с помощью математической модели, созданной на базе GoogLeNet, обучение которой проводилось на морфологических изображениях стадии ремоделирования созревающей костной ткани. Гистологические препараты были оцифрованы с помощью сканирующего микроскопа Leica SC2, и в потоковом режиме прогонялись через модель нейронной сети.

Результаты. На всех сроках наблюдения в области дефекта челюсти формировалась относительно зрелая костная ткань с различной степенью выраженности признаков ремоделирования и созревания новообразованной кости. При этом выводы описательного гистологического исследования согласовались с количественными результатами математической модели ИНС, построенной на базе разработанного авторами программно-аппаратного комплекса, подтвержденная достоверность которых не менее 95%.

Заключение. Исследование патоморфологических данных биопсийного материала с использованием математической модели ИНС, построенной на базе программного аппаратного комплекса, позволяет анализировать все поля зрения микроскопа гистологического препарата, минуя случайные выборки, а также оценку врачом-патологоанатомом отдельных полей зрения микроскопа, тем самым исключить возможность нерепрезентативной выборки и влияния человеческого фактора, что значительно повышает достоверность полученных результатов.

Ключевые слова: реваскуляризированный аутооттрансплантат малоберцовой кости, дентальная имплантация, морфологическое исследование, ремоделирование аутооттрансплантата, математическая модель, искусственная нейросеть

Для цитирования: Берченко ГН, Брайловская ТВ, Федосов НВ, Тангиева ЗА. Применение нейронной сети для морфологической оценки ремоделирования реваскуляризированного аутооттрансплантата на этапе дентальной имплантации дефектов челюстей. *Пародонтология*. 2021;26(3):188-196. <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2021-26-3-188-196>.

Application of neural network for morphological assessment of revascularized autograft remodeling at the stage of implant placement in jaw defects

G.N. Berchenko¹, T.V. Braylovskaya^{2,3}, N.V. Fedosova¹, Z.A. Tangieva²

¹National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov, Moscow, Russian Federation

²Central Research Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery, Moscow, Russian Federation

³I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Relevance. The study examines the possibility of using a mathematic model of an artificial neural network (ANN) for comparative quantitative morphological assessment of revascularized autograft remodeling after reconstructive surgery in patients with jaw defects.

Materials and methods. Jawbone biopsies of 30 patients were histologically examined during the implant placement stage, 6, 9, 12 months after the reconstructive surgery with a revascularized fibular graft. Histology images were analyzed using a mathematic model created on the basis of GoogLeNet and trained on morphological images of bone maturation. Histology slides were digitized by a scanning microscope Leica SC2 and streamed through the neural network model.

Results. During the follow-up period, jaw defect areas demonstrated relatively mature bone tissue formation with various intensity rates of remodeling and maturation of the newly-formed bone. At that, the results of the descriptive histology were consistent with the quantitative results of the ANN mathematic model, created on the basis of the software-hardware system developed by the authors. The confirmed significance level is 95% or higher.

Conclusion. Pathomorphological data of biopsies were studied using an ANN mathematical model, built on a software-hardware system, which allowed analyzing all microscope fields of view of a histological slide, bypassing random samples, as well as the evaluation by a pathologist of individual microscope fields of view, to exclude the possibility of unrepresentative sampling and the influence of human factor, which significantly increases the significance of the received results.

Key words: vascularized fibular autograft, dental implantation, morphological study, autograft remodeling, mathematic model, artificial neural network

For citation: Berchenko GN, Braylovskaya TV, Fedosova NV, Tangieva ZA. Application of neural network for morphological assessment of revascularized autograft remodeling at the stage of implant placement in jaw defects. *Parodontologiya*. 2021;26(3):188-196. (in Russ.) <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2021-26-3-188-196>.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из острых медико-социальных проблем современной стоматологии и челюстно-лицевой хирургии является лечение и реабилитация пациентов с дефектами и деформациями челюстей, которые часто сопровождаются выраженной атрофией костной ткани, функциональными и эстетическими нарушениями, приводящими к ограничениям жизнедеятельности пациентов, их социальной дезадаптации и глубоким социопсихологическим проблемам [1, 2]. Значимость решения данной проблемы стала крайне актуальной в последние годы в связи с ростом числа пациентов с онкологическими заболеваниями и случаев травматизма и ранений челюстно-лицевой области [3, 4]. Внедрение микрохирургической техники с использованием реваскуляризированных аутоотрансплантатов в реконструктивно-восстановительную хирургию и проведение последующей дентальной имплантации позволят расширить возможности комплексной реабилитации пациентов и повысить положительную результативность лечения в сложных клинических ситуациях. Основоположающим условием, определяющим эффективность дентальной имплантации, является достаточный объем костной ткани челюстей в местах предполагаемой имплантации [5-9]. Однако вопросы сроков ремоделирования реваскуляризированных аутоотрансплантатов и выполнения последующей дентальной имплантации у данной категории пациентов остаются открытыми.

Нами проведено сравнительное патоморфологическое исследование биопсийного материала из области ранее выполненной реконструктивно-восстановительной операции челюсти с использованием реваскуляризированного аутоотрансплантата малоберцовой кости на поздних сроках ремоделирования имплантата в трех группах больных (6-й, 9-й и 12-й месяцы после имплан-

тации аутокости, соответственно). Было обнаружено, что на всех сроках исследования в области дефекта челюсти формировалась относительно зрелая костная ткань с различной степенью выраженности признаков ремоделирования и созревания новообразованной кости. При этом в 1-й группе больных в биоптате определялись микрофрагменты безостеоцитной трансплантированной аутокости, незрелой фиброретикулярной остеогенетической ткани и остеоидной кости, тогда как наиболее выраженными были признаки перестройки новообразованной кости. В биоптатах 2-й группы больных, по сравнению с 1-й, не определялись безостеоцитная аутокость и незрелая фиброретикулярная ткань, реже встречалась незрелая остеоидная кость, признаки ремоделирования новообразованной кости ослабевали, тогда как степень зрелости сформированной кости увеличивалась. В биоптатах 3-й группы больных, по сравнению со 2-й и особенно с 1-й группой, преобладали элементы зрелой компактной кости, значительно ослабевали признаки ремоделирования, не выявлялись элементы трансплантированной безостеоцитной аутокости, фиброретикулярной ткани и остеоидной кости.

С помощью созданной [10, 11] математической модели ИНС проводился морфологический анализ оцифрованных гистологических препаратов с целью выявления количественного распределения морфологических признаков ремоделирования и созревания реваскуляризированного аутоотрансплантата в зависимости от сроков наблюдения. Показано, что выводы описательного гистологического исследования полностью согласуются с количественными результатами математической модели ИНС, построенной на базе разработанного авторами данной работы программно-аппаратного комплекса, подтвержденная достоверность которых не менее 95%.

Таблица 1. Распределение пациентов по полу и возрасту
Table 1. Allocation of patients according to the sex and age

Пол Sex	Возраст / Age						Всего Total	Средний возраст Mean age
	До 25 лет Under 25 years	25-34 года 25-34 years	35-44 года 35-44 years	45-54 года 45-54 years	55-64 года 55-64 years	Старше 65 лет Over 65 years		
Мужчины / Male	2	2	7	2	2	1	16	41,8
Женщины / Female	0	3	6	3	1	1	14	43,5
Всего / Total	2	5	13	5	3	2	30	42,6
%	6,66	16,66	43,33	16,66	10	6,66		

Согласно метрикам использованной авторами модели ИНС, ее индекс достоверности около 100%, а достоверность результатов использованной в работе выборки данных выше 95%, что свидетельствует о том, что суммарная достоверность результатов проведенного количественного морфологического анализа изображений с помощью ИНС выше, чем достоверность обработки результатов человеком-экспертом.

В данной работе мы вместо статистических методов, традиционно используемых для обработки результатов исследования, создали математическую модель на базе открытой архитектуры ИНС GoogleNet. Тем самым мы показали новый подход к обработке количественных данных морфологического исследования с использованием математической модели ИНС при сравнительной оценке новообразованной костной ткани в зоне ремоделирования реваскуляризированных аутотрансплантатов дефекта челюсти.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследование включено 30 пациентов возрастной категории от 17 до 65 лет с дефектами верхней и нижней челюсти различной локализации и генеза, проходивших лечение в клинике челюстно-лицевой хирургии ФГБУ «ЦНИИС и ЧЛХ» Минздрава России за период с 2016 по 2019 год. Морфологическую оценку процесса ремоделирования реваскуляризированных аутотрансплантатов малолберцовой кости проводили на базе патологоанатомического отделения ЦИТО им. Н.Н. Приорова. Выполнено гистологическое исследование образцов биопсии костной ткани челюстей на сроках 6, 9, 12 месяцев (1-я, 2-я и 3-я группы больных, соответственно) после выполнения реконструктивно-восстановительной операции с использованием реваскуляризированного аутотрансплантата малолберцовой кости на этапе установки дентальных имплантатов. В ходе работы выполнялся морфологический анализ изображений с помощью математической модели, обучение которой проводилось на базе морфологических изображений стадии ремоделирования созревающей костной ткани. Распределение пациентов по полу и возрасту указано в таблице 1.

Для исследования использовалась модель нейронной сети, предварительно обученная выявлять следующие гистологические признаки:

Признак 1 – участки безостеоцитной аутокости (рис. 1).

Признак 2 – фиброретикулярная остеогенетическая ткань [12] или ранее называемая грубопучковая и сетчатоволокнистая незрелая костная субстанция [13] – беспорядочно расположенные коллагеновые волокна, среди которых выявляются сосуды, неориентированные фибробласто- и остеобластоподобные клетки (рис. 2).

Признак 3 – незрелая остеоидная костная ткань – беспорядочно и часто расположенные костные лакуны с остеоцитами, отсутствие признаков формирования остеонов, пластинчатого строения, спайных линий и минерализации (рис. 3).

Признак 4 – ремоделирование новообразованной костной ткани – часто и неравномерно расположенные костные лакуны с остеоцитами и без них, ломаные или прерывистые спайные линии между остеонами, расположенными хаотично и не ориентированно (рис. 4).

Признак 5 – зрелая новообразованная компактная кость, характеризующаяся пластинчатым строением, обызвествлением, относительно редко расположенными костными лакунами с остеоцитами, ориентированными остеонами (рис. 5).

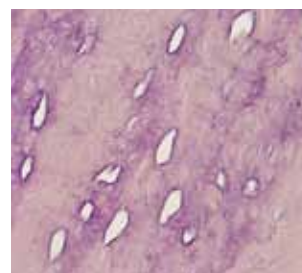


Рис. 1. Фрагмент резорбируемой безостеоцитной аутокости с пустыми расширенными костными лакунами. Окраска гематоксилином и эозином. х400

Fig. 1. Fragment of resorbed acellular autogenous bone with empty osseous lacunae. Hematoxylin & Eosin Staining. x400

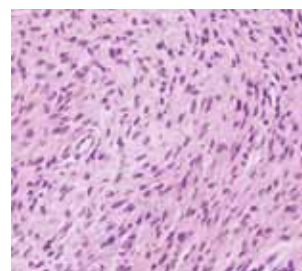


Рис. 2. Анигиогенез и мезенхимальные клетки-предшественники. Окраска гематоксилином и эозином. х400

Fig. 2. Angiogenesis and mesenchymal progenitor cells. Hematoxylin & Eosin Staining. x400

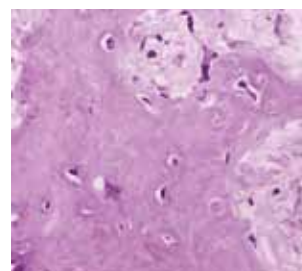


Рис. 3. Незрелая остеоидная костная ткань. Окраска гематоксилином и эозином. х400

Fig. 3. Immature osteoid bone tissue. Hematoxylin & Eosin Staining. x400

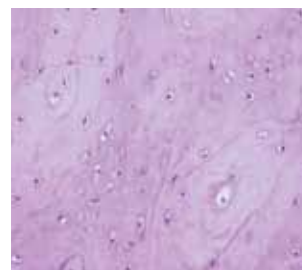


Рис. 4. Ремоделирование новообразованной костной. Окраска гематоксилином и эозином. х400

Fig. 4. Remodeling of newly-formed bone tissue. Hematoxylin & Eosin Staining. x400

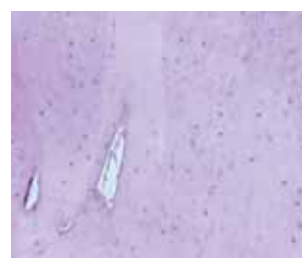


Рис. 5. Участок зрелой новообразованной компактной кости. Окраска гематоксилином и эозином. х400

Fig. 5. Fragment of mature newly-formed compact bone. Hematoxylin & Eosin Staining. x400

С помощью созданной математической модели проводили сравнительный количественный морфологический анализ гистологических препаратов биопсий костной ткани челюстей трех групп больных. Гистологические препараты были оцифрованы с помощью сканирующего микроскопа Leica SC2, переведены в формат JPEG и поделены на сегменты. Размер каждого сегмента составлял 1024 на 1024 пикселя, что, с одной стороны, соответствовало размерам изображений, на которых была обучена данная модель, а с другой – полю зрения микроскопа, что позволяло эксперту морфологу оценивать результаты работы модели. Данные сегменты в потоковом режиме прогонялись через модель нейронной сети. Модель возвращала вероятность принадлежности сегмента к одному из искомым гистологических признаков или сообщала о невозможности категоризовать данное изображение, что свидетельствовало о том, что модель не может соотнести фрагмент ни с одним из выявляемых признаков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного морфологического исследования биопсийного материала из области ранее выполненной реконструктивно-восстановительной операции с использованием ревааскуляризованного аутооттрансплантата малоберцовой кости выявлено, что на всех сроках наблюдения в области дефекта челюсти формировалась относительно зрелая костная ткань с различной степенью выраженности признаков ремоделирования и созревания. Лишь в первой группе пациентов обнаруживались микроочаги безостеоцитной трансплантированной аутокости, незрелой фиброретикулярная остеогенетической ткани, ползущего замещения резорбируемой безостеоцитной аутокости новообразованной костной тканью. В данной группе пациентов были наиболее выраженные признаки перестройки кости в виде хаотичности расположения остеонов, их различной конфигурации, неравномерного распределения среди костных пластинок, замурованных в костном матриксе остеоцитов, беспорядочного и прерывистого расположения между остеонами спайных линий.

Во 2-й и особенно в 3-й группе пациентов признаки ремоделирования зрелой пластинчатой костной ткани

Суммарные результаты по первой группе
Overall results, Group 1

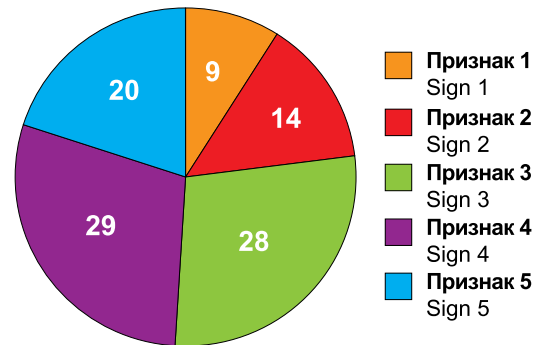


Рис. 6. Диаграмма распределения выявленных признаков в гистологических препаратах исследуемых пациентов (1-я группа пациентов)

Fig. 6. Pie chart of the detected sign distribution in patient histology samples (Patient group #1)

в виде часто и неравномерно расположенных костных лакун остеоцитов, ломанных и прерывистых спайных линий между хаотично ориентированными остеонами, ослабевали. Во 2-й группе пациентов не определялись элементы трансплантированной аутокости и фиброретикулярная ткани и реже, чем в 1-й группе больных, выявлялись признаки остеοидной ткани и ремоделирования кости, тогда как степень зрелости новообразованной компактной кости увеличивалась. В 3-й группе пациентов, по сравнению со 2-й и особенно с 1-й, отсутствовали элементы трансплантированной аутокости, незрелой фиброретикулярной ткани и остеοидной кости, значительно ослабевали признаки ремоделирования и преобладали проявления зрелой компактной кости, отличающейся пластинчатым строением, обызвествлением, относительно редко расположенными костными лакунами, ориентированными остеонами.

С помощью созданной нами математической модели ИНС проводили сравнительный морфологический анализ гистологических препаратов с целью выявления количественного распределения гистологических признаков ремоделирования и созревания ревааскуляризованного аутооттрансплантата в зависимости от

Таблица 2. Распределение сегментов гистологических препаратов в соответствии с искомыми признаками (1-я группа пациентов)

Table 2. Distribution of histology sample segments according to the required signs (Patient group #1)

№ п/п #	Объем изображения (МБ) Image volume (IV)	Число сегментов Number of segments	Количество сегментов, соответствующих признаку с вероятностью более 95% Number of segments corresponding to a sign, probability is over 95%					Всего Total
			Признак 1 Sign 1	Признак 2 Sign 2	Признак 3 Sign 3	Признак 4 Sign 4	Признак 5 Sign 5	
11	11811	3938	45	326	622	288	12	1293
12	10974	3658	36	51	294	335	587	1303
13	11430	3810	4	30	378	660	196	1268
14	9376	3126	193	497	243	183	2	1118
15	9552	3184	2	3	282	228	515	1030
16	9754	3250	6	12	341	500	204	1063
17	9312	3104	6	35	198	234	663	1136
18	11400	3800	788	465	198	112	26	1589
19	9794	3268	38	226	504	282	13	1063
20	11076	3892	6	11	296	670	235	1218
Итого / Total			1124	1656	3356	3492	2453	12081

зом, вероятность ошибки первого типа составляет 5%, следовательно, вероятность отсутствия этой ошибки составит $P = 0,95$, или 95%.

Использование математической модели ИНС для точной количественной оценки гистологических признаков стадии ремоделирования костной ткани, то есть переход в количественную гистологию, выводит патоморфологическую диагностику на новый технологический уровень. Внедрение элементов количественного анализа в практику гистологического исследования – одна из важнейших задач в морфологических исследованиях, которая решается уже на протяжении многих десятилетий. Количественный анализ повышает эффективность при поиске зависимостей между структурой и функцией, одновременно увеличивая точность получаемых оценок. Кроме того, он снижает влияние субъективного фактора на результаты анализа, а также помогает автоматизировать процедуры исследования и диагностики [14].

Авторы показывают принципиально новый подход в изучении репарации поврежденной кости с точки зрения доказательной медицины. Большинство публикаций с описанием применяемых методик основано на визуальных результатах или клинических наблюдениях. Немногочисленные работы, содержащие результаты гистологических исследований, носят, как правило, описательный характер [15], выполняются в интерактивном режиме и базируются на программном обеспечении, которое не содержит серьезной доказательной базы [16]. Достоверность полученных таким образом результатов сопряжены с многочисленными ошибками, вызванными использованием применяемых методов математической статистики. [17, 18].

Использование статистических методов в медицине является наиболее слабым местом во многих исследованиях [18], что навело авторов данной статьи на идею разработки нового более современного подхода к обработке полученных результатов. Изучив возможности современных нейронных сетей, а также особенности их применения в биологии и медицине [19-22], нами было принято решение о создании математической модели ИНС и обучение ее на наборе данных из гистологических изображений.

Таблица 4. Распределение сегментов гистологических препаратов в соответствии с искомыми признаками (3-я группа пациентов)

Table 4. Distribution of histology sample segments according to the required signs (Patient group #3)

№ п/п #	Объем изображения (МБ) Image volume (IV)	Число сегментов Number of segments	Количество сегментов, соответствующих признаку с вероятностью более 95% Number of segments corresponding to a sign, probability is over 95%					
			Признак 1 Sign 1	Признак 2 Sign 2	Признак 3 Sign 3	Признак 4 Sign 4	Признак 5 Sign 5	Всего Total
31	11103	3800	0	1	2	97	954	1054
32	9891	3297	1	6	5	176	877	1065
33	9420	3140	0	0	2	134	928	1064
34	9471	3158	1	3	4	67	953	1028
35	9831	3278	4	6	2	134	941	1087
36	10143	3382	2	1	3	581	434	1021
37	10749	3582	2	4	1	128	967	1102
38	10059	3353	3	4	2	662	432	1103
39	9720	3240	0	0	1	214	807	1022
40	11436	3812	2	1	5	106	992	1106
Итого / Total			15	26	27	2299	8285	10652

Суммарные результаты по третьей группе
Overall results, Group 3

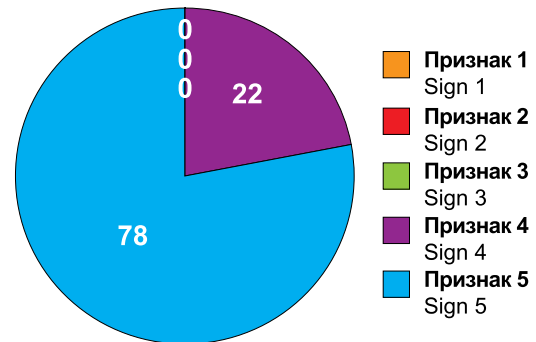


Рис. 8. Диаграмма распределения выявленных признаков в гистологических препаратах исследуемых пациентов (3-я группа пациентов)

Fig. 8. Pie chart of the detected sign distribution in patient histology samples (Patient group #3)

Использование математических моделей ИНС создает новые возможности для разработки и применения эффективных и рациональных решений. Модель способна обрабатывать полностью (всю поверхность) гистологический препарат и подсчитывать результаты, исключая случайные выборки и человеческий фактор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительное патоморфологическое исследование процесса ремоделирования реваскуляризированного аутотрансплантата малоберцовой кости после реконструктивно-восстановительных операций у пациентов с дефектами челюстей на этапе установки дентальных имплантатов показало, что на всех сроках наблюдения в области дефекта челюсти формировалась относительно зрелая костная ткань с различной степенью выраженности признаков ремоделирования и созревания компактной кости. При этом в 1-й группе пациентов обнаруживались микрофрагменты трансплантированной безостеоцитной аутокости, микроочаги незрелой фиброэпителиальной ткани и остеоидной кости, выраженные признаки перестройки новообразованной кости. Во 2-й и особенно в 3-й группах пациентов элементы транс-

планированной аутокости и незрелой фиброретикулярная ткани не выявлялись, признаки ремоделирования новообразованной кости ослабевали, прогрессировали явления формирования зрелой пластинчатой кости.

Данные выводы описательного гистологического исследования согласуются с количественными результатами математической модели ИНС, построенной на базе разработанного авторами данной работы программно-аппаратного комплекса, подтвержденная достоверность которых не менее 95%.

Согласно метрикам использованной авторами модели нейронной сети, ее индекс достоверности – 100%, а достоверность результатов использованной в работе выборки данных выше 95%, что свидетельствует о том, что суммарная достоверность результатов проведенного количественного морфологического анализа изображений с помощью ИНС выше, чем достоверность обработки результатов человеком-экспертом.

Исследование патоморфологических данных биопсийного материала с использованием математической

модели ИНС, построенной на базе программного аппаратного комплекса, позволяет анализировать все поля зрения микроскопа гистологического препарата, минуя случайные выборки и оценку врачом-патологоанатомом отдельных полей зрения микроскопа, тем самым исключить элемент случайности и человеческий фактор, что значительно повышает достоверность полученных результатов.

Насколько известно авторам данной работы, данное исследование было первой успешной попыткой применения математических алгоритмов, заложенных в ИНС, для точной количественной морфологической оценки процесса ремоделирования реvascularизованного аутотрансплантата малоберцовой кости после реконструктивно-восстановительных операций у пациентов с дефектами челюстей. Вопросы влияния на ремоделирование реvascularизованного аутотрансплантата локализации и генеза дефектов челюстей будут являться предметом дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кулаков АА, Брайловская ТВ, Осман БМ, Бедретдинов РМ. Результаты частотно-резонансного анализа при дентальной имплантации после выполнения костно-пластических операций в условиях атрофии костной ткани челюстей. *Стоматология*. 2014;4:33-37. <https://www.mediasphera.ru/issues/stomatologiya/2014/4/downloads/ru/030039-1735201448>
- Lang NP. *Clinical Periodontology and Implant Dentistry*. Wiley-Blackwell. 2015. 1480 p.
- Auday M. AL-Anee, Ahmed Fadhel Al-Quisi, Hassani A. Al-jumaily. Mandibular war injuries caused by bullets and shell fragments: a comparative study. *Oral Maxillofac Surg*. 2018;Sep;22(3):303-307. doi: 10.1007/s10006-018-0710-1
- Kilinc A, Saruhan N, Gundogdu B, Yalcin E, Ertas U, Urvassizoglu G. Benign tumors and tumor-like lesions of the oral cavity and jaws: An analysis of 709 cases. *Niger J Clin Pract*. 2017;Nov;20(11):1448-1454. doi: 10.4103/1119-3077.187309
- Кулаков АА, Винниченко ОЮ, Бадалян ВА. Сравнительный анализ изменения температуры костной ткани во время формирования ложа под дентальный имплантат традиционным и пьезохирургическим методами. *Стоматология*. 2015;6:8-10. <https://doi.org/10.17116/stomat20159468-10>
- Hof M, Tepper G, Semo B, Arnhart C, Watzek G, Pommer B. Relative positional change of a dental implant in the esthetic zone after 12 years: a case report. *Gen. Dent*. 2017;3:1-4. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28475091/>
- Xin Huang, Jin Bai, Xu Liu, Zhaosong Meng, Yuli Shang, Tiejun Jiao, Gang Chen, and Jiayin Deng. Scientometric Analysis of Dental Implant Research over the Past 10 Years and Future Research Trends. *Biomed Res Int*. 2021;Apr;13. doi: 10.1155/2021/6634055
- Chiapasco M, Casentini P. Horizontal bone augmentation procedures in implant dentistry: prosthetically guided regeneration. *Periodontology 2000*. 2018;77(1):213-240. doi: 10.1111/prd.12219
- Michael Korsch, Winfried Walther, Bernt-Peter Robra, Aynur Sahin, Matthias Hannig, Andreas Bartols. Decision-Making in Implantology – A Cross-Sectional Vignette-Based Study to Determine Clinical Treatment Routines for the Edentulous Atrophic Mandible. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;8;18(4):1596. doi: 10.3390/ijerph18041596
- Федосова НВ, Берченко ГН, Машошин ДВ. Создание математической модели нейронной сети для морфологической оценки репарации и ремоделирования костного дефекта. Матем. Моделирование. 2021;33:9. <http://dx.doi.org/10.20948/mm-2021-09-02>
- Брайловская ТВ, Берченко ГН, Федосова НВ, Тангиева ЗА. Способ диагностики и коррекции костного аутотрансплантата после выполнения реконструктивной костнопластической операции, патент на изобретение Номер патента: RU 2735648 C1. Патентное ведомство: Россия. Год публикации: 2020. Номер заявки: 2020103779. Дата регистрации: 29.01.2020. Дата публикации: 05.11.2020.
- Виноградова ТП, Лаврищева ГИ. Регенерация и пересадка костей. Москва: Медицина. 1974. 247 с.
- Русаков АВ. Болезни костной системы и суставов. Многотомное руководство по патологической анатомии. Том 5. МЕДГИЗ. 1959. 531 с.
- Никоненко АГ. Введение в количественную гистологию. Киев: Книга-плюс. 2013. 256 с.
- Ипполитов ЮА, Петров ИЮ, Петров АИ. Использование компьютерных технологий для анализа ошибок и осложнений дентальной имплантации. *Вестник новых медицинских технологий*. 2014;1:20-22. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kompyuternyh-tehnologiy-dlya-analiza-oshibok-i-oslozheniy-dentalnoy-implantatsii>
- Von See C, Rücker M, Schumann P, Goetz F, Wefstaedt P, Nolte I, Von der Hoehe N, Meyer-Lindenberg A, Tavassoli F, Gellrich NC. Micro-computed tomography and histologic evaluation of the interface of hydrogel expander and underlying bone: influence of pressure distributors on bone resorption. *J Oral Maxillofac Surg*. 2010;68(9):2179-2184. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2009.08.024>
- Леонов ВП. Ошибки статистического анализа биомедицинских данных. *Международный журнал медицинской практики*. 2007;2: 19-35. <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000426734>
- Леонов ВП. Классификация ошибок применения статистики в отечественной медицине. Материалы научной конференции «Системный анализ в медицине» (САМ 2007). Благовещенск. 2007. Амурский государственный университет. С. 18-21.
- Craig Mermel MD, Research Scientist, Kunal Nagpal M., Software Engineer. Using AI to identify the aggres-

siveness of prostate cancer. Google Health, Jul 23, 2020, Free DOI Lookup

<https://blog.google/technology/health/using-ai-identify-aggressiveness-prostate-cancer>

20. Jeremy R Burt., Neslisah Torosdagli, Naji Khosravan, Harish RaviPrakash, Aliasghar Mortazi, Fiona Tissavirasingham, Sarfaraz Hussein, Ulas Bagci. Deep learning beyond cats and dogs: recent advances in diagnosing breast cancer with deep neural networks. 2018;Apr:10

doi: 10.1259/bjr.20170545. Epub.

21. Liron Pantanowitz, Gabriela M, Quiroga-Garza, Lilach BienRonen Heled Daphna Laifenfeld, Chaim Linhart et al.

REFERENCES

1. Kulakov AA, Brailovskaya TV, Osman BM, Bedretidinov RM, Results of frequency-resonance analysis for dental implantation after performing osteoplastic operations in conditions of atrophy of the jaw bone tissue. *Dentistry*. 2014;4: 33-37. (In Russ.).

<https://www.mediasphera.ru/issues/stomatologiya/2014/4/downloads/ru/030039-1735201448>

2. Lang NP. Clinical Periodontology and Implant Dentistry. Wiley-Blackwell. 2015. 1480 p.

3. Auday M. AL-Anee, Ahmed Fadhel Al-Quisi, Hassani A. Al-jumaily. Mandibular war injuries caused by bullets and shell fragments: a comparative study. *Oral Maxillofac Surg*. 2018;Sep;22(3):303-307.

doi: 10.1007/s10006-018-0710-1

4. Kilinc A, Saruhan N, Gundogdu B, Yalcin E, Ertas U, Urvasizoglu G. Benign tumors and tumor-like lesions of the oral cavity and jaws: An analysis of 709 cases. *Niger J Clin Pract*. 2017;Nov;20(11):1448-1454.

doi: 10.4103/1119-3077.187309

5. Kulakov AA, Vinnichenko OYu, Badalyan VA. Comparative analysis of changes in bone tissue temperature during the formation of the bed for a dental implant using traditional and piezosurgical methods. *Dentistry*. 2015;6:8-10. (In Russ.).

doi: <https://doi.org/10.17116/stomat20159468-10>

6. Hof M, Tepper G, Semo B, Arnhart C, Watzek G, Pommer B. Relative positional change of a dental implant in the esthetic zone after 12 years: a case report. *Gen. Dent*. 2017;3:1-4.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28475091/>

7. Xin Huang, Jin Bai, Xu Liu, Zhaosong Meng, Yuli Shang, Tiejun Jiao, Gang Chen, and Jiayin Deng. Scientometric Analysis of Dental Implant Research over the Past 10 Years and Future Research Trends. *Biomed Res Int*. 2021;Apr:13.

doi: 10.1155/2021/6634055

8. Chiapasco M, Casentini P. Horizontal bone augmentation procedures in implant dentistry: prosthetically guided regeneration. *Periodontology 2000*. 2018;77(1):213-240.

doi: 10.1111/prd.12219

9. Michael Korsch, Winfried Walther, Bernt-Peter Robra, Aynur Sahin, Matthias Hannig, Andreas Bartols. Decision-Making in Implantology – A Cross-Sectional Vignette-Based Study to Determine Clinical Treatment Routines for the Edentulous Atrophic Mandible. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;8;18(4):1596.

doi: 10.3390/ijerph18041596

10. Fedosova NV, Berchenko GN Mashoshin, DV. Creation of a mathematical model of a neural network for morphological assessment of bone defect repair and remodeling. *Matem. Modeling*. 2021;33:9. (In Russ.).

<http://dx.doi.org/10.20948/mm-2021-09-02>

11. Brajlovskaya T, Berchenko G, Fedosova N, Tangieva Z. Method for diagnosing and correcting bone autograft

An artificial intelligence algorithm for prostate cancer diagnosis in whole slide images of core needle biopsies: a blinded clinical validation and deployment study. Free DOI Lookup URL:

[https://www.thelancet.com/journals/landig/article/PIIS2589-7500\(20\)30159-X/fulltext#seccesstitle180](https://www.thelancet.com/journals/landig/article/PIIS2589-7500(20)30159-X/fulltext#seccesstitle180)

22. Yi Lin, Piotr Doll, Ross Girshick, Kaiming He, Bharath Hariharan, Serge Belongie. Feature Pyramid Networks for Object Detection. Tsung - Facebook AI Research (FAIR). Cornell University and Cornell Tech.

https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2017/papers/Lin_Feature_Pyramid_Networks_CVPR_2017_paper.pdf

after reconstructive osteoplastic surgery. Patent number: RU 2735648 C1. Patent office: Russia Publication year: 2020. Application number: 2020103779. Registration date: 01/29/2020. Publication date: 11/05/2020. (In Russ.).

12. Vinogradova TP, Lavrisheva GI. Bone regeneration and transplantation. Moscow: Medicine. 1974. 247 p. (In Russ.).

13. Rusakov AV. Diseases of the skeletal system and joints. A multivolume guide to pathological anatomy. Volume 5. MEDGIZ. 1959. 531 p. (In Russ.).

14. Nikonenko AG. Introduction to Quantitative Histology. Kiev: Kniga-plus. 2013. 256 p. (In Russ.).

15. Ippolitov YuA, Petrov IYu, Petrov AI. The use of computer technologies for the analysis of errors and complications of dental implantation. *Bulletin of new medical technologies*. 2014;1:20-22. (In Russ.).

<https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kompyuternyh-tehnologiy-dlya-analiza-oshibok-i-oslozheniy-dentalnoy-implantatsii>

16. Von See C, Rücker M, Schumann P, Goetz F, Wefstaedt P, Nolte I, Von der Hoehe N, Meyer-Lindenberg A, Tavasol F, Gellrich NC. Micro-computed tomography and histologic evaluation of the interface of hydrogel expander and underlying bone: influence of pressure distributors on bone resorption. *J Oral Maxillofac Surg*. 2010;68(9):2179-2184.

<https://doi.org/10.1016/j.joms.2009.08.024>

17. Leonov VP. Oshibki statisticheskogo analiza biomeditsinskikh dannykh. *Mezhdunarodnyy zhurnal meditsinskoy praktiki*. 2007;2:19-35. (In Russ.).

<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000426734>

18. Leonov VP. Klassifikatsiya oshibok primeneniya statistiki v otechestvennoy meditsine, Materialy konferentsiy „Systemnyy analiz v meditsine” (SAM 2007), Blagoveshchensk. 2007. Amurskiy gosudarstvennyy universitet S. 18-21. (In Russ.).

19. Craig Mermel MD, Research Scientist, Kunal Nagpal M., Software Engineer. Using AI to identify the aggressiveness of prostate cancer. *Google Health*. Jul 23, 2020, Free DOI Lookup

<https://blog.google/technology/health/using-ai-identify-aggressiveness-prostate-cancer>

20. Jeremy R Burt., Neslisah Torosdagli, Naji Khosravan, Harish RaviPrakash, Aliasghar Mortazi, Fiona Tissavirasingham, Sarfaraz Hussein, Ulas Bagci. Deep learning beyond cats and dogs: recent advances in diagnosing breast cancer with deep neural networks. 2018;Apr:10

doi: 10.1259/bjr.20170545. Epub.

21. Liron Pantanowitz, Gabriela M, Quiroga-Garza, Lilach BienRonen Heled Daphna Laifenfeld, Chaim Linhart et al. An artificial intelligence algorithm for prostate cancer diagnosis in whole slide images of core needle biopsies: a

blinded clinical validation and deployment study. Free DOI Lookup URL:

[https://www.thelancet.com/journals/landig/article/PIIS2589-7500\(20\)30159-X/fulltext#seccestitle180](https://www.thelancet.com/journals/landig/article/PIIS2589-7500(20)30159-X/fulltext#seccestitle180)

22. Yi Lin, Piotr Doll, Ross Girshick, Kaiming He, Bharath Hariharan, Serge Belongie. Feature Pyramid Networks for Object Detection. Tsung - Facebook AI Research (FAIR). Cornell University and Cornell Tech.

https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2017/papers/Lin_Feature_Pyramid_Networks_CVPR_2017_paper.pdf

Конфликт интересов:

Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов/

Conflict of interests:

The authors declare no conflict of interests

Поступила / Article received 01.09.2021

Поступила после рецензирования / Revised 20.09.2021

Принята к публикации / Accepted 25.09.2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Автор, ответственный за связь с редакцией:

Берченко Геннадий Николаевич, заведующий патологоанатомическим отделением НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, доктор медицинских наук, профессор, Москва, Российская Федерация

Для переписки: berchenko@cito-bone.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7920-0552>

Брайловская Татьяна Владиславовна, ведущий научный сотрудник отдела клинической и экспериментальной имплантологии НМИЦ Центрального научно-исследовательского института стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, доктор медицинских наук, профессор, Москва, Российская Федерация

E-mail: brailovsktv@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0407-0885>

Федосова Нина Вениаминовна, научный сотрудник патологоанатомического отделения НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

E-mail: hard_sign@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0829-9188>

Тангиева Захира, врач-стоматолог отдела клинической и экспериментальной имплантологии НМИЦ Центрального научно-исследовательского института стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, Москва, Российская Федерация

E-mail: Tangieva_Zakhira@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9140-1405>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Corresponding author:

Gennadiy N. Berchenko, Head of the Pathoanatomic Department of National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorova, DSc, Professor, Moscow, Russian Federation

For correspondence: berchenko@cito-bone.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7920-0552>

Tatiana V. Brailovskaya, Leading Researcher of the Department of Clinical and Experimental Implantology of Federal State Institution Central Research Institute of Dental and Maxillofacial Surgery, DSc, Professor, Moscow, Russian Federation

E-mail: brailovsktv@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0407-0885>

Nina V. Fedosova, Researcher of the Pathoanatomic Department of National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorova, Moscow, Russian Federation

E-mail: hard_sign@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0829-9188>

Zakhira Tangieva, MD, Dentist of the Department of Clinical and Experimental Implantology of Federal State Institution Central Research Institute of Dental and Maxillofacial Surgery, Moscow, Russian Federation

E-mail: Tangieva_Zakhira@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9140-1405>



НАЦИОНАЛЬНАЯ ШКОЛА ПАРОДОНТОЛОГИИ РПА

при поддержке GSK

РЕГИСТРИРУЙТЕСЬ ПО ССЫЛКЕ

<https://perio-school.ru/>

Национальная Школа Пародонтологии ПА «РПА» 2021

www.rsparo.ru



Уникальная программа

Специализированная программа на основе международных стандартов подготовки специалистов в области стоматологии



Опыт экспертов

Практические рекомендации и уникальный опыт экспертов по ведению пациентов с патологией пародонта



Более 200 участников

Отличный повод познакомиться со своими коллегами