

DOI: 10.37988/1811-153X_2020_3_54

А.А. Кулаков,
академик РАН, д.м.н., профессор

А.С. Каспаров,
к.м.н., хирург-стоматолог отделения
клинической и экспериментальной
имплантологии

Д.А. Порфенчук,
хирург-стоматолог, аспирант отделения
клинической и экспериментальной
имплантологии

ЦНИИСиЧЛХ

Математический расчет для ранней функциональной нагрузки дентальных имплантатов

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Кулаков А.А., Каспаров А.С., Порфенчук Д.А. Математический расчет для ранней функциональной нагрузки дентальных имплантатов. — *Клиническая стоматология*. — 2020; 3 (95): 54—60.
DOI: 10.37988/1811-153X_2020_3_54

Реферат. Цель — разработка объективных скрининговых методов прогноза осложненной дентальной имплантации, обладающих высокой чувствительностью и специфичностью для обеспечения необходимых профилактических и лечебных мер, позволяющих повысить эффективность выбранного протокола ранней функциональной нагрузки. **Материалы и методы.** Имплантацию с использованием протокола ранней функциональной нагрузки проводили в связи с утратой 4—7-го зуба верхней и нижней челюсти. Участникам исследования проводили установку имплантатов Thommen Medical (27 имплантатов), Astra Tech (26 имплантатов) и Конмет (7 имплантатов) конусной и цилиндрической формы. Первичную стабильность измеряли частотно-резонансным анализатором Osstell (Швеция). **Результаты.** Первичная стабильность имплантатов, установленных на верхней челюсти, ниже, чем на нижней, из-за анатомических особенностей челюсти. Из полученных результатов торк/КСИ-анализа можно сделать вывод, что на верхней челюсти преимущество имеют конусные имплантаты, а на нижней челюсти — цилиндрические. **Выводы.** Разработана математическая модель, описывающая зависимость исходных результатов определения торка и КСИ при операции и последующей несостоятельности функционирования дентальных имплантатов. При установке дентальных имплантатов в протокол операции должна быть включена оценка первичной стабильности имплантатов и использование математической модели для выявления групп риска. Разработка и внедрение моделей по прогнозу исходов дентальной имплантации способствовали выбору правильной тактики по срокам ортопедического лечения, увеличению сроков функционирования имплантатов и повышению качества оказания стоматологической помощи пациентам.

Ключевые слова: дентальная имплантация, остеоинтеграция, покрытие, функциональная нагрузка

A.A. Kulakov,
Academician of the Russian Academy
of Sciences, Grand PhD in Medical sciences,
professor

A.S. Kasparov,
PhD in Medical sciences, dentistry surgeon
in the Clinical and experimental implantology
department

D.A. Porfenchuk,
dentistry surgeon, postgraduate in the Clinical
and experimental implantology department

Central research institute of dental and
maxillofacial surgery, Moscow, Russia

Mathematical calculation for early functional loading of dental implants

FOR CITATION:

Kulakov A.A., Kasparov A.S., Porfenchuk D.A. Mathematical calculation for early functional loading of dental implants. — *Clinical Dentistry (Russia)*. — 2020; 3 (95): 54—60.
DOI: 10.37988/1811-153X_2020_3_54

Abstract. The aim — to develop objective screening methods for predicting complications of dental implantation, which have high sensitivity and specificity to provide the necessary preventive and therapeutic measures to improve the efficiency of the selected protocol for early functional loading. **Materials and methods.** Implantation using the protocol of early functional loading was performed in connection with the loss of the 4—7th teeth of the upper and lower jaws. The study participants underwent the installation of Thommen Medical (27 implants), Astra Tech (26 implants) and Konmet (7 implants) conical and cylindrical shapes. The primary stability was measured with an Osstell resonance frequency analyzer (Sweden). **Results.** The primary stability of implants installed in the upper jaw is lower than in the lower one due to the anatomical features of the jaw. From the obtained results of the Torque/ISQ analysis, conical implants have an advantage in the upper jaw, and cylindrical ones in the lower jaw.

Conclusions. A mathematical model has been developed that describes the dependence of the initial results of determining the torque and ISQ during the operation and subsequent failure of the functioning of dental implants. When installing dental implants, an assessment of the primary stability of implants and the use of a mathematical model to identify risk groups should be included in the operation protocol. The development and implementation of models for predicting

the outcomes of dental implantation contributed to the choice of the correct tactics for the timing of orthopedic treatment, an increase in the life of implants and an improvement in the quality of dental care for patients.

Key words: dental implantation, osseointegration, coating, functional load

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях, когда продолжительность жизни во всем мире неуклонно растет, все больше людей сталкивается с проблемой полного или частичного отсутствия зубов [5]. Одновременно с этим прогресс в области стоматологических медицинских технологий и рост благосостояния населения определяют растущую популярность дентальной имплантологии и повышение требований к качеству проводимой имплантации [6, 7].

Традиционная схема лечения, при которой имплантация происходит в два этапа, между которыми проходит 3–6 месяцев, доказала свою высокую надежность и эффективность в долгосрочном периоде. Так называемая отложенная нагрузка обеспечивает хорошую стабильность имплантатов и высокий процент окончательного удачного протезирования [4]. Однако достаточно большие сроки лечения и высокая травматичность процедуры стали поводом для поиска новых, более прогрессивных подходов к имплантации [1].

Одной из наиболее перспективных методик, позволяющих сократить сроки проведения процедуры имплантации, уменьшить травматичность и при этом, как минимум, сохранить эффективность лечения, является использование протоколов ранней функциональной нагрузки (РФН) [8, 10]. В отличие от классического метода отложенной нагрузки, протекающего в два этапа, РФН подразумевает установку протеза на зубные имплантаты раньше, чем пройдет традиционный период заживления, длящийся, как правило, от 3 до 6 месяцев [9, 17]. Помимо очевидного преимущества, заключающегося в уменьшении травматичности процедуры имплантации, РФН приводит к улучшению качества жизни пациента, способствует лучшей остеоинтеграции и долгосрочной выживаемости имплантата [2].

Основной риск, возникающий на первых этапах интеграции имплантата при РФН, заключается в трудностях обеспечения первичной стабильности имплантата, которая зависит от целого ряда факторов, в первую очередь от плотности и структуры костной ткани, площади контакта имплантата с костной тканью, силы торка в момент внедрения имплантата, формы, размера и материала имплантата, а также от специфики оперативных процедур в процессе подготовки ложа [3]. Недостаточная первичная стабильность является одной из основных (хотя и не единственной) причиной отторжения имплантата. Если она окажется недостаточной, возникнет мобильность имплантата, и под действием функциональной нагрузки движение превысит

50–150 мкм, что приведет к лизису костной ткани и потере имплантата [13].

Несмотря на то что эффективность протокола РФН активно обсуждается в научных кругах, исследования, посвященные данной методике, носят по большей части обзорный характер, и многие вопросы, связанные с эффективностью протокола, оставляют место для дискуссии. К тому же опубликованные работы основаны на использовании имплантатов различных форм и марок, и выборки пациентов также весьма гетерогенны. В связи с этим имеется острая необходимость в исследованиях, изучающих сам процесс РФН и факторы, определяющие успешность протокола. И здесь ключевую роль играют прогнозирование риска реимплантации установленных конструкций и учет факторов, влияющих на этот риск.

Целью нашего исследования являлась разработка объективных скрининговых методов прогноза осложнений дентальной имплантации, обладающих высокой чувствительностью и специфичностью для обеспечения необходимых профилактических и лечебных мер, позволяющих повысить эффективность выбранного протокола РФН.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняло участие 60 человек (42 женщины и 18 мужчин) в возрасте от 18 до 62 лет. Исследование проводилось на базе отделения клинической и экспериментальной имплантологии ЦНИИСиЧЛХ. Период наблюдения составил 2 года.

Показанием к применению протокола РФН являлось наличие дефектов зубных рядов в дистальных отделах челюстей в области моляров и премоляров. Критериями включения пациентов в исследования также были: I или II тип костной ткани по классификации качества кости по U. Lekholm и G. Zarb (1985); одиночные, концевые или включенные дефекты на верхней или нижней челюсти в области премоляров или моляров; доступность пациентов для контрольных осмотров на протяжении 2 лет после дентальной имплантации.

Имплантацию с использованием протокола РФН проводили в связи с утратой 4–7-го зуба верхней и нижней челюсти. Пациенты были разделены на 3 группы по марке имплантатов конусной и цилиндрической формы:

- I — Astra Tech, 26 имплантатов;
- II — Thommen Medical, 27 имплантатов;
- III — Конмет, 7 имплантатов.

Первоначальное состояние мягких и твердых структур височно-нижнечелюстного сустава, процесс остеоинтеграции имплантатов и окончательный результат лечения контролировали с использованием клинических, рентгенологических и лабораторных методов исследования. При проведении клинического исследования, помимо стандартных манипуляций, также определяли индекс гигиены Грина—Вермиллона и индекс кровоточивости Мюллемана в модификации Коуэлла. В качестве рентгенологических методов исследования использовали панорамный снимок (ортопантомограмму) и компьютерную томографию.

Первичную стабильность измеряли частотно-резонансным анализатором Osstell (Швеция) сразу после имплантации, на 21-е сутки и через 3—4 месяца после протезирования. В исследовании также были использованы показатели торк-теста, который проводили с использованием специального динамометрического ключа с крутящим моментом приблизительно 30 Н·см.

Методы статистического анализа

В ходе статистической обработки данных нормальность выборок оценивали по критерию Шапиро—Уилка. При оценке различий количественных показателей между тремя группами использовали дисперсионный анализ с применением критерия Краскела—Уоллиса. При парном сравнении средних величин между группами учитывали поправку Бонферрони. При динамическом сравнении средних величин по сравнению с исходной величиной использовали непараметрический *T*-критерий Вилкоксона для связанных выборок.

Для расчета долей использовали метод частотного анализа. При сравнении номинальных или ранговых переменных (качественных показателей) и анализе их сопряжения использовался критерий согласия Пирсона χ^2 , который проверяет значимость расхождения эмпирических и теоретических частот с поправкой Мантеля—Хэнзеля на правдоподобие (M-L χ^2) и поправкой Йейтса на непрерывность. При сравнении долей в малых выборках применяли точный критерий Фишера. Ввиду независимости групп по признакам использовали двусторонний критерий.

В исследовании также была проведена оценка чувствительности, специфичности и точности рассчитанной диагностической модели на основании составленной матрицы решения и соответствующих формул. Диагностическая чувствительность модели (sensitivity)

определялась по формуле $Se = \frac{a}{a+b} \cdot 100\%$, а специфич-

ность (specificity) по формуле $Sp = \frac{d}{d+c} \cdot 100\%$.

Исходя из значений чувствительности и специфичности мы строили характеристическую кривую (ROC-кривая, или Receiver Operator Characteristic curve) с помощью ROC-анализа, который представляет собой графическую методику оценки эффективности моделей с использованием их чувствительности

и специфичности. Конечная цель проведенного анализа заключалась в подборке значений точек отсечения, которые позволят с наибольшей точностью распознавать положительные или отрицательные исходы лечения и выдавать наименьшее количество ложноположительных или ложноотрицательных ошибок. Порог отсечения соответствует максимальной диагностической чувствительности и специфичности метода. Идеальная модель имеет 100%-ную чувствительность и специфичность. Но добиться этого на практике невозможно, так как одновременно повысить чувствительность и специфичность модели нельзя. Порог отсечения представляет собой компромисс между чувствительностью и специфичностью метода.

Кроме того, с помощью анализа ROC-кривых оценивали диагностическую эффективность моделей путем определения площади под ROC-кривой, которая представляет собой обобщенный показатель качества диагностического теста и автоматически рассчитывается методом трапеций.

Многофакторные модели строили на основе множественной логистической регрессии, коэффициенты для которой рассчитывали методом Ньютона. Метод логистической регрессии позволял индивидуально по каждому больному оценить риск события по коэффициенту z . Данный вид анализа применяют, когда результирующее событие альтернативно описывается двумя состояниями — присутствия или его отсутствия (1 или 0). Математическое выражение модели по прогнозированию осложнения имеет вид:

$$K = \frac{e^z}{1 + e^z},$$

где K — прогностический коэффициент, z — коэффициент линейной регрессии, рассчитываемый по формуле

$$z_i = a_0 + a_1 x_{i1} + a_2 x_{i2} + a_3 x_{i3} + \dots$$

Статистическую значимость разработанной модели оценивали по величине χ^2 . Высокое значение χ^2 , превышающее критический уровень, и его доверительная вероятность $p < 0,001$ свидетельствовали о статистической значимости модели.

Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости (p), при этом критический уровень значимости принимался равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследовании между группами не наблюдалось статистически значимого различия по полу ($p=0,65$). Возраст пациентов трех групп также статистически значимо не различался. Высота слизистой оболочки у пациентов в целом по группе составила $3,06 \pm 0,08$ мм и не различалась между подгруппами.

Форма имплантатов чаще была цилиндрической, однако различия между подгруппами в форме имплантатов по результатам дисперсионного анализа также отсутствовали. Диаметр и длина имплантатов в зависимости от фирмы не изменялись. Средний диаметр

имплантата составил 4 мм, медиана длины в целом по группе составила 9,5 мм. Диаметр формирователя десны при установке дентальных имплантатов Astra Tech и Конмет был шире по сравнению с Thommen Medical. По длине формирователя десны в подгруппах не различались. В целом диаметр формирователя десны составил $4,75 \pm 0,13$ мм, а длина — $4,52 \pm 0,17$ мм.

В течение всего периода наблюдения отсутствие первичной стабильности наблюдали у 8,3% пациентов. Из них 80% приходилось на имплантаты Astra Tech и 20% на Конмет. Множественное сравнение между тремя подгруппами было статистически значимым ($p=0,04$, M-L $\chi^2=6,35$). При использовании χ^2 без поправок различие не установлено ($p=0,10$, $\chi^2=4,47$).

Доля итоговой неудачной РФН в общем составила 16,7%. При этом во II группе отрицательный результат был в 7,4%, в I группе — в 26,9%, в III — в 14,3% случаев. При дисперсионном анализе различий между подгруппами по частоте отрицательного результата у пациентов после хирургического и ортопедического этапов лечения дефектов зубных рядов не установлено ($p=0,15$, M-L $\chi^2=3,78$).

Определение первичной стабильности имплантата

В среднем по группе величина торка составила $34,1 \pm 1,0$ Н·см. Параметры торка были близки в подгруппах, что определило отсутствие различий как при множественном ($p=0,95$), так и при попарном сравнении.

Коэффициент стабильности имплантата (КСИ) позволил выявить различия первичной стабильности в зависимости от системы внутрикостных имплантатов. В целом КСИ во время операции составил $74,5 \pm 0,92$ ед. В III группе средний КСИ был статистически значимо ниже по сравнению с I и II группой ($p=0,004$). Наибольший разброс КСИ, характеризующих первичную стабильность, отмечался для II группы. Таким образом, первичная стабильность внутрикостных дентальных имплантатов по сравнению с системой Конмет была выше для Thommen Medical ($p=0,0045$) и Astra Tech ($p=0,005$).

Поскольку измерение стабильности проводили после окончательной установки имплантатов динамометрическим ключом и фиксации значения торка, объединяющим параметром между торком и КСИ стал относительный коэффициент первичной стабильности, определяемый как $\text{торк}/\text{КСИ} \cdot 100\%$. Интегративный относительный коэффициент первичной стабильности дентальных имплантатов у пациентов всей группы составил $45,5 \pm 1,16\%$ — ни множественное, ни попарное сравнение при дисперсионном анализе статистической значимости различий показателя между подгруппами не выявило.

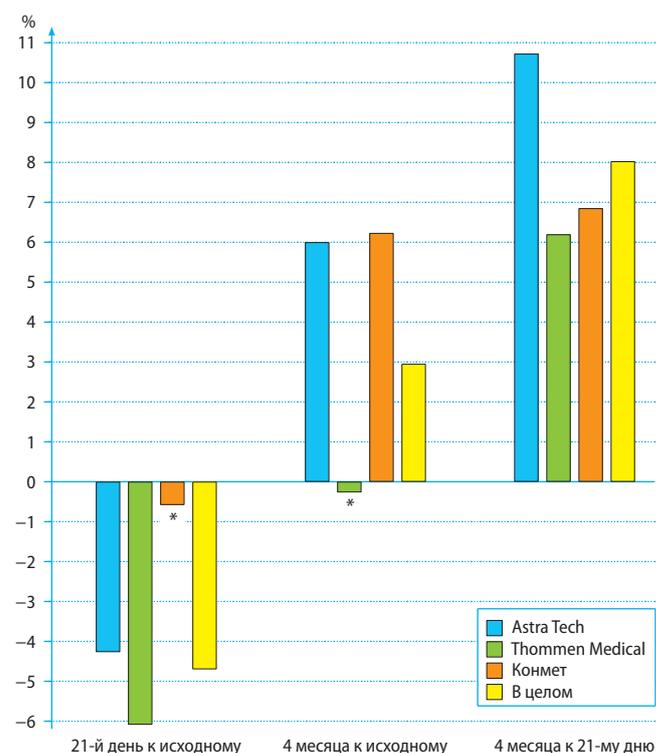
Относительный коэффициент первичной стабильности имплантатов у пациентов изменялся в зависимости от локализации установки и формы имплантата. Относительный коэффициент первичной стабильности у пациентов на верхней челюсти составил $40,3 \pm 1,0\%$,

на нижней челюсти был выше ($p=0,002$) и соответствовал $45,8 \pm 1,4\%$. Цилиндрические имплантаты имели относительный коэффициент первичной стабильности $33,9 \pm 1,7\%$, а конусные — $45,4 \pm 1,45\%$. В целом конусные имплантаты отличались большей стабильностью ($p=0,03$).

Через 21 день после операции КСИ статистически значимо ($p<0,05$) снизился по сравнению с исходным уровнем в I (на 6,1%) и во II (на 4,3%) группах. К 3–4-му месяцу после операции в I группе уровень КСИ восстановился, а во II и в III превышал исходный на 6 и 6,2% соответственно ($p<0,05$). Сравнение величины КСИ через 3–4 месяца после операции по сравнению со вторым этапом наблюдения иллюстрировало статистически значимое повышение КСИ во всех группах (см. рисунок).

Поскольку показатели торк-тестирования и КСИ отражают стабильность имплантатов, но имеют различную информационную ценность, на следующем этапе методом корреляционного анализа оценивали тесноту связи между двумя показателями. Коэффициент корреляции между величиной торка и КСИ составил 0,62 ($p<0,0001$), что свидетельствовало о тесной связи между показателями. Следовательно, как один, так и другой показатель эффективно характеризуют стабильность положения имплантата в костной ткани челюсти.

В начале исследования, после проведения профессиональной гигиены, до дентальной имплантации в целом



Изменение КСИ после операции по сравнению с исходным уровнем в динамике наблюдения. Все различия, кроме отмеченных *, статистически достоверны ($p<0,05$)

по группе индекс гигиены Грина—Вермильона составлял $1,36 \pm 0,3$. Через 21 день после операции индекс гигиены незначительно повысился, но через 3—4 месяца и в дальнейшие периоды наблюдения стабилизировался. Индекс Мюлеманна у пациентов исходно имел низкие значения, что свидетельствовало об отсутствии воспаления тканей десны. После операции через 21 день, 3—4 месяца индекс Мюлеманна повысился, однако уже через 6 месяцев и 1 год после установки дентальных имплантатов ситуация нормализовалась. На всем протяжении динамического наблюдения за пациентами не выявлено заболеваний пародонта либо обострения хронического генерализованного пародонтита.

По результатам рентгенологического исследования после имплантации была проведена оценка потери кости альвеолярного гребня и площади рентгенопрозрачности вокруг имплантата. Минимальная потеря кристаллической кости до 0,2 мм наблюдалась у трети пациентов, а в половине случаев (51,7%) составила 0,2—0,5 мм. Выраженная потеря кристаллической кости более 0,5 мм встречалась редко.

При анализе результатов рентгенологического исследования обращали внимание на резорбцию костной ткани вокруг имплантата, динамику вертикальной резорбции костной ткани в области имплантатов (табл. 1).

Как видно из табл. 1, резорбция костной ткани у пациентов была более выражена через 1 год функционирования имплантатов. Это связано с перестройкой структуры кости под действием функциональной нагрузки. Через 2 года после установки имплантатов показатели резорбции костной ткани по всем трем системам имплантатов были выше, чем значения резорбции через 6 месяцев после операции, однако ни по одной из исследуемых систем значения не достигли статистической значимости. Наименьшие показатели резорбции костной ткани наблюдались после установки имплантов Astra Tech. По двум другим маркам показатели оказались примерно равны. По окончании исследования в целом по группе резорбция была выражена незначительно и умеренно.

Таким образом, динамика пародонтального статуса и состояния костной ткани вокруг имплантатов при ранней функциональной нагрузке была благоприятной как в целом по группе, так и с учетом системы внутрикостных имплантатов.

Таблица 1. Динамика резорбции костной ткани вокруг имплантатов (в мм)

Марка	Исходно	21 день	3—4 мес	6 мес	1 год
Thommen Medical	$1,35 \pm 0,3$	$1,49 \pm 0,4^*$	$1,38 \pm 0,2$	$1,41 \pm 0,3$	$1,38 \pm 0,5$
Astra Tech	$1,38 \pm 0,2$	$1,48 \pm 0,3^*$	$1,36 \pm 0,5$	$1,43 \pm 0,6$	$1,39 \pm 0,5$
Конмет	$1,39 \pm 0,4$	$1,51 \pm 0,3^*$	$1,37 \pm 0,4$	$1,44 \pm 0,4$	$1,40 \pm 0,4$
В целом	$1,36 \pm 0,3$	$1,49 \pm 0,4^*$	$1,37 \pm 0,5$	$1,42 \pm 0,4$	$1,38 \pm 0,3$

* — различие статистически значимо по сравнению с исходными величинами ($p < 0,05$).

Для выявления факторов риска осложнений после РФН изучаемые количественные показатели в подгруппах были ретроспективно проанализированы в зависимости от наличия или отсутствия неудовлетворительного результата. Влияние факторов риска, длины, формы и марки имплантатов на вероятность развития осложнений и отсутствие первичной стабильности имплантата в различные сроки было изучено методом логистической регрессии и расчета отношения шансов (ОШ). Значения $ОШ < 1$ при обязательной статистической значимости $p < 0,05$ говорили о протективном влиянии фактора. Если значение ОШ было > 1 , то при уровне значимости $p < 0,05$ данный фактор рассматривали как фактор риска. При этом рассчитывался доверительный интервал ОШ — это интервал, в пределах которого варьирует величина ОШ фактора в генеральной совокупности с заданной доверительной вероятностью 0,95. Рассчитываемый достигнутый уровень значимости вероятности p для каждого фактора свидетельствовал о том, статистически значимо или незначимо ($p \leq 0,05$ или $p > 0,05$) ОШ фактора отличается от 1.

Марка имплантатов, их форма (цилиндрическая или конусная), пол и возраст пациентов не являлись значимыми факторами риска для низкой стабильности имплантата. Защитными факторами, снижающими вероятность развития развития нестабильности имплантата и воспалительных осложнений на 21-й день после операции, были высокая исходная стабильность (68—75 КСИ) по А.Р. Saadoun (ОШ=0,502, $p=0,001$), хороший торк (40—45 Н·см; ОШ=0,401, $p=0,001$), а на 3—4-м месяце после имплантации — высокая исходная стабильность (ОШ=0,488, $p=0,001$), торк 40—45 Н·см (ОШ=0,320, $p=0,01$), а также высокая стабильность на 21-й день после операции (ОШ=0,730, $p=0,001$).

В результате установлено, что у пациентов с последующим неблагоприятным результатом лечения в виде осложнений имплантационного лечения показатели КСИ, торк-тестирования, коэффициент торк/КСИ, полученный сразу после операции, были исходно ниже ($p < 0,05$) по сравнению с теми, у кого остеоинтеграция происходила успешно.

На следующем этапе путем использования ROC-анализа были найдены дифференциальные точки отсечки для $КСИ_{опер.}$, торк_{опер.} и торк/КСИ_{опер.}, которые позволили на оперативном этапе оценить риск развития отторжения имплантата.

Для КСИ порог отсечения составил 68 ед. Ниже этого показатели с диагностической чувствительностью 61% и специфичностью 100% можно заключить о высоком риске развития реимплантации (ОШ=10,0, ДИ 6,0—16,7).

При торк-тестировании уровень отсечки составил 27 Н·см. При снижении торка менее 27 Н·см с диагностической чувствительностью 80% и специфичностью 90% можно заключить о высоком риске неблагоприятного прогноза имплантации (ОШ=8,0, ДИ 5,8—11,1).

Для коэффициента торк/КСИ уровень отсечки составил 36,9%. При снижении коэффициента менее 36,9% с диагностической чувствительностью 80% и специфичностью 92% можно заключить о высоком риске отторжения имплантата (ОШ=10,0, ДИ 5,8–11,1).

Таким образом, из трех показателей у коэффициента торк/КСИ наибольшая прогностическая значимость для определения риска отторжения имплантата. Влияние различных факторов на развитие неблагоприятного исхода имплантации у пациентов представлено в табл. 2.

Несмотря на высокую величину отношения шансов отторжения дентальных имплантатов AstraTech и установки дентальных имплантатов цилиндрической формы на верхнюю челюсть, ни один из факторов не достиг статистической значимости. Следовательно, их нельзя рассматривать как факторы риска.

В результате с помощью логистической регрессии по клиническим данным 60 пациентов разработана математическая модель, описывающая зависимость исходных результатов определения торка и КСИ при операции и последующей несостоятельности функционирования дентальных имплантатов. Так, вероятность реимплантации дентальных имплантатов ввиду их несостоятельности (z) выражается формулой:

$$z = \frac{e^{3,22+0,012x-0,18y}}{1 + e^{3,22+0,012x-0,18y}},$$

где x — КСИ в отн.ед. при операции, y — торк, Н·см.

Прогностическую значимость модели оценивали критерием χ^2 и соответствующим уровнем значимости p . Для разработанной модели критерий $\chi^2=32,7$ (имел высокое значение) при статистическом значимом уровне $p=0,00029$.

У всех наблюдаемых пациентов с использованием разработанной модели по значениям КСИ и торка была рассчитана величина z . С учетом ранга наличия или отсутствия реимплантации в последующем отдаленном постимплантационном периоде был проведен ROC-анализ и установлена точка отсечки для критерия z , с помощью которого можно сформировать заключение о риске реимплантации.

Согласно проведенному исследованию, значения $z \geq 0,24$ с диагностической чувствительностью 70% (ДИ 34,8–93,3%) и специфичностью 90% (ДИ 78,2–96,7%) говорили о высоком риске несостоятельности дентальных имплантатов в отдаленный период. При этом шанс развития реимплантации был в 7 раз выше (ДИ 4,6–10,6). При $z < 0,24$ риск осложнений был низким.

Вторая разработанная модель также была направлена на прогноз несостоятельности установленных дентальных имплантатов и решение вопроса о возможности немедленной нагрузки на имплантаты. При этом в математическом выражении использовали не два параметра, а отношение между ними — торк/КСИ_{опер.}

Таблица 2. Величина отношения шансов отторжения имплантатов

Фактор	p	ОШ	95% ДИ нижний
Имплант AstraTech	0,07	3,80	0,87–16,52
Имплант Thommen	0,09	0,25	0,048–1,29
Имплант Конмет	0,85	0,81	0,087–7,62
Женский пол	0,45	0,58	0,14–2,38
Верхняя челюсть	0,37	1,89	0,46–7,80
Цилиндрическая форма	0,48	1,68	0,39–7,31

и именно от него зависел прогноз имплантационного лечения.

Математическое выражение имело вид:

$$y = \frac{e^{4,3-0,14x}}{1 + e^{4,3-0,14x}},$$

где y — вероятность реимплантации дентальных имплантатов ввиду их несостоятельности, x — величина торк/КСИ_{опер.}

Для разработанной модели $\chi^2=30,1$ (высокое значение) при уровне статистической значимости $p=0,0007$. При уменьшении торк/КСИ_{опер.} с 50 до 15 вероятность реимплантации дентальных имплантатов в отдаленный период повышалась от 6,3 до 90%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опираясь на полученную информацию, можно отметить, что у пациентов с I и II типом костной ткани РФН возможна для дентальных имплантатов всех изученных систем. Однако имплантаты Thommen Medical и AstraTech предпочтительнее по результатам оценки первичной стабильности после операции. Первичная стабильность имплантатов, установленных на верхней челюсти, ниже, чем на нижней, из-за анатомических особенностей челюсти. На верхней челюсти преимущество имеют конусные имплантаты, а на нижней челюсти — цилиндрические. Измерение КСИ в динамике наблюдения за пациентами позволяет создать объективную картину надежности прогноза и оценку микроподвижности при нагрузке, осуществлять контроль остеоинтеграции. Кроме того, показатели КСИ и торка являются дополнительными критериями для решения вопросов о сроках функциональной нагрузки имплантатов.

При установке дентальных имплантатов в план операции должна быть включена оценка первичной стабильности имплантатов и использование математической модели для выявления групп риска. Разработка и внедрение моделей по прогнозу исходов дентальной имплантации способствовало выбору правильной тактики по срокам ортопедического лечения, увеличению сроков функционирования имплантатов и повышению качества оказания стоматологической помощи пациентам.

ЛИТЕРАТУРА /
REFERENCES:

1. Гуськов А.В., Митин Н.Е., Зиманков Д.А., Мирнигматова Д.Б., Гришин М.И. Дентальная имплантация: состояние вопроса на сегодняшний день (обзор литературы). — *Клиническая стоматология*. — 2017; 2 (82) 32—4 [Gus'kov A.V., Mitin N.E., Zimankov D.A., Mirnigmatova D.B., Grishin M.I. Dental implants: state of the question today (literature review). — *Clinical Dentistry (Moscow)*. — 2017; 2 (82): 32—4 (In Russ.)].
eLIBRARY ID: 29276232
2. Добровольская О.В. Раннее протезирование на имплантатах. — *Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії*. — 2007; 4: 333—5 [Dobrovolskaya O.V. Early prosthetics on implants. — *Actual Problems of Contemporary Medicine News of the Ukrainian Medical Stomatological Academy*. — 2007; 4: 333—5 (In Russ.)].
3. Ерошин В.А., Джалалова М.В., Арутюнов С.Д., Степанов А.Г., Багдасарян Г.Г., Антоник М.М., Грачев Д.И. Подвижность и критерии готовности дентальных имплантатов к функциональным нагрузкам. — *Современные проблемы науки и образования*. — 2018; 2: 53 [Eroshin V.A., Dzhahalalova M.V., Arutyunov S.D., Stepanov A.G., Bagdasaryan G.G., Antonik M.M., Grachev D.I. Mobility and criteria for the readiness of dental implants to functional loads. — *Modern Problems of Science and Education*. — 2018; 2: 53 (In Russ.)].
eLIBRARY ID: 34954671
4. Зюлькина Л.А., Макарова Н.И., Грызункова Ю.Е., Пateeва Ю.Н., Криушин А.Е. Выбор способа функционального нагружения имплантата — немедленная, ранняя, отсроченная нагрузка. — *Авиценна*. — 2018; 20: 8—13 [Zyul'kina L.A., Makarova N.I., Gryzunkova J.E., Pateeva Yu.N., Kriushin A.E. The choice of the method of functional loading of the implant — immediate, early, delayed loading. — *Avicenna*. — 2018; 20: 8—13 (In Russ.)].
eLIBRARY ID: 35168027
5. Иорданишвили А.К., Веретенко Е.А., Сериков А.А., Лобейко В.В., Балин Д.В. Полная утрата зубов у взрослого человека: возрастные особенности распространенности, нуждаемости в лечении и клинической картины. — *Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье»*. — 2015; 1: 23—32 [Jordanishvili A.K., Veretenko E.A., Serikov A.A., Lobeyko V.V., Balin D.V. Total tooth loss in adults: age-related features of prevalence, needs in treatment and clinical picture. — *Kursk Scientific and Practical Bulletin "Man and His Health"*. — 2015; 1: 23—32 (In Russ.)].
eLIBRARY ID: 23279229
6. Смирнова Л.Е., Филимонова Л.Б. Законодательное и нормативное правовое обеспечение проведения дентальной имплантации. — *Стоматология*. — 2016; 6: 129—30 [Smirnova L.E., Filimonova L.B. Legislative and regulatory legal support for dental implantation. — *Stomatologiya*. — 2016; 6: 129—30 (In Russ.)].
eLIBRARY ID: 28362735
7. Фокина А.А., Евстафьева О.Л. Биохимические исследования в оценке интеграции дентальных имплантатов. — Сб. ст. междунар. научно-практ. конф. «В мире науки и инноваций». — Ч. 5. — Казань, 2017. — С. 191—195 [Fokina A.A., Evstafieva O.L. Biochemical studies in assessing the integration of dental implants. — *Proceedings of the "In the world of science and innovation" conference*. — Part 5. — Kazan, 2017. — P. 191—195 (In Russ.)].
eLIBRARY ID: 29048774
8. Alghamdi H.S. Methods to improve osseointegration of dental implants in low quality (type-IV) bone: an overview. — *J Funct Biomater*. — 2018; 9 (1): 7. PMID: 29342830
9. Cannizzaro G., Gastaldi G., Gherlone E., Vinci R., Loi I., Trullenque-Eriksson A., Esposito M. Two or three machined vs roughened surface dental implants loaded immediately supporting total fixed prostheses: 1-year results from a randomised controlled trial. — *Eur J Oral Implantol*. — 2017; 10 (3): 279—91. PMID: 28944356
10. Degidi M., Daprile G., Piattelli A. Determination of primary stability: a comparison of the surgeon's perception and objective measurements. — *Int J Oral Maxillofac Implants*. — 2010; 25 (3): 558—61. PMID: 20556255
11. Degidi M., Daprile G., Piattelli A. Influence of under-preparation on primary stability of implants inserted in poor quality bone sites: an in vitro study. — *J Oral Maxillofac Surg*. — 2015; 73 (6): 1084—8. PMID: 25861691
12. Gottlow J., Barkarmo S., Sennerby L. An experimental comparison of two different clinically used implant designs and surfaces. — *Clin Implant Dent Relat Res*. — 2012; 14 Suppl 1: e204—12. PMID: 22487460
13. Greenstein G., Cavallaro J., Romanos G., Tarnow D. Clinical recommendations for avoiding and managing surgical complications associated with implant dentistry: a review. — *J Periodontol*. — 2008; 79 (8): 1317—29. PMID: 18672980
14. Guljé F., Abrahamsson I., Chen S., Stanford C., Zadeh H., Palmer R. Implants of 6 mm vs. 11 mm lengths in the posterior maxilla and mandible: a 1-year multicenter randomized controlled trial. — *Clin Oral Implants Res*. — 2013; 24 (12): 1325—31. PMID: 22938573
15. Huang H.-L., Chang Y.-Y., Lin D.-J., Li Y.-F., Chen K.-T., Hsu J.-T. Initial stability and bone strain evaluation of the immediately loaded dental implant: an in vitro model study. — *Clin Oral Implants Res*. — 2011; 22 (7): 691—8. PMID: 21054551
16. Javed F., Romanos G.E. The role of primary stability for successful immediate loading of dental implants. A literature review. — *J Dent*. — 2010; 38 (8): 612—20. PMID: 20546821
17. Merli M., Moscatelli M., Mariotti G., Piemontese M., Nieri M. Immediate versus early non-occlusal loading of dental implants placed flapless in partially edentulous patients: a 3-year randomized clinical trial. — *J Clin Periodontol*. — 2012; 39 (2): 196—202. PMID: 22118014
18. Simunek A., Kopecka D., Brazda T., Strnad I., Capek L., Slezak R. Development of implant stability during early healing of immediately loaded implants. — *Int J Oral Maxillofac Implants*. — 2012; 27 (3): 619—27. PMID: 22616056
19. Torsiglieri T., Raith S., Rau A., Deppe H., Hölzle F., Steiner T. Stability of edentulous, atrophic mandibles after insertion of different dental implants. A biomechanical study. — *J Craniomaxillofac Surg*. — 2015; 43 (5): 616—23. PMID: 25865491