

DOI: 10.37988/1811-153X_2026_1_14

[И.В. Бажутова](#)¹,

к.м.н., доцент кафедры стоматологии ИПО

[А.В. Лямин](#)¹,

д.м.н., доцент, директор

Научно-образовательного
профессионального центра генетических
и лабораторных технологий (НОПЦ ГЛТ)[Д.А. Трунин](#)¹,д.м.н., профессор, зав. кафедрой
стоматологии ИПО[К.А. Каюмов](#)¹,специалист лаборатории культуромных
и протеомных исследований НОПЦ ГЛТ[А.Е. Пономарев](#)¹,биолог лаборатории иммунологических
методов исследования НОПЦ ГЛТ[И.А. Широков](#)¹,специалист лаборатории анализа BigData,
коллекции микроорганизмов, биобанка
НОПЦ ГЛТ[Н.В. Волов](#)²,

к.м.н., главный врач

[Д.Г. Глубоков](#)³,

зав. патологоанатомическим отделением

¹ СамГМУ, 443099, Самара, Россия² ЛОР-клиника «Амбулаторный центр
№ 1», 443008, Самара, Россия³ Самарская городская клиническая
больница № 8, 443035, Самара, Россия

Микробиота как прогностический предиктор риска развития периимплантита у пациентов с хроническим пародонтитом

Реферат. Развитие воспаления на месте установленного имплантата с развитием периимплантита и мукозита значительно чаще встречается у пациентов с хроническими заболеваниями пародонта. Исследование направлено на разработку модели прогнозирования риска развития периимплантита у пациентов с хроническим пародонтитом с использованием микробиологических маркеров и алгоритма CART. **Цель** — разработать модель классификации риска развития периимплантита у пациентов с хроническим пародонтитом на основе микробиологических маркеров, используя метод построения дерева решений. **Материалы и методы.** В исследовании были проанализированы 177 пациентов с хроническим пародонтитом, разделенных на три группы: без дентальных имплантатов, с имплантатами без признаков периимплантита и с наличием данных признаков (по 59 человек в каждой группе). Проведен анализ микробиологических показателей, позволивший выявить микробиологические маркеры риска развития периимплантита. Построена модель машинного обучения на базе алгоритма CART с включением индекса Джини. **Результаты.** Для общей выборки модель показала следующие метрики: общая корректность — 0,667, согласованность — 0,639, ROC—AUC — 0,66. У пациентов с периимплантитом выявлены статистически значимые различия в микробиологических показателях. Наиболее характерными микроорганизмами оказались *Rothia mucilaginosa*, *Actinomyces odontolyticus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus australis*, *Streptococcus oralis*. Такие результаты соотносятся с данными научной литературы. **Заключение.** Микробиологический анализ пациентов с периимплантитом, включающий статистическую обработку данных и применение методов машинного обучения, позволяет прогнозировать риск развития периимплантита у пациентов с хроническим пародонтитом. Результаты подчеркивают важность включения возвратного микробиологического обследования в стандартные протоколы обследования, позволяющие ранее идентифицировать пациентов группы риска, персонализировать превентивные и лечебные мероприятия.

Ключевые слова: периимплантит, хронический пародонтит, микробиологические маркеры, прогнозирование, дентальная имплантация, машинное обучение

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Бажутова И.В., Лямин А.В., Трунин Д.А., Каюмов К.А., Пономарев А.Е., Широков И.А., Волов Н.В., Глубоков Д.Г. Микробиота как прогностический предиктор риска развития периимплантита у пациентов с хроническим пародонтитом. — *Клиническая стоматология*. — 2026; 29 (1): 14—21. DOI: 10.37988/1811-153X_2026_1_14

[I.V. Bazhutova](#)¹,PhD in Medical sciences, associate professor
of the Stomatology Department[A.V. Lyamin](#)¹,Doctor of Science in Medicine, associate
professor, director of the Center for Genetic
and Laboratory Technologies[D.A. Trunin](#)¹,Doctor of Science in Medicine, full professor,
head of the Stomatology Department[K.A. Kaiumov](#)¹,specialist of the Culturomics and proteomics
research Lab at the Center for Genetic and
Laboratory Technologies[A.E. Ponomarev](#)¹,biologist of the Immunological Research
Methods Lab at the Center for Genetic and
Laboratory Technologies

Microbiota as a prognostic predictor of the risk of peri-implantitis development in patients with chronic periodontitis

Abstract. Development of inflammation at the site of the installed implant, with the development of peri-implantitis and mucositis are much more common in patients with chronic periodontal diseases. The study is aimed at developing a model for predicting the risk of peri-implantitis in patients with chronic periodontitis using microbiological markers and the CART algorithm. Objective: to develop a model for classifying the risk of peri-implantitis in patients with chronic periodontitis based on microbiological markers using the decision tree method. **Materials and methods.** The study analyzed 177 patients with chronic periodontitis, divided into three groups: without dental implants, and implants without signs of peri-implantitis and with the presence of these signs (59 people in each group). An analysis of microbiological indicators was carried out, which allowed us to identify microbiological markers of the risk of peri-implantitis. A machine learning model was built based on the CART algorithm with the inclusion of the Gini index. **Results.** For the total sample, the model demonstrated the following metrics: overall correctness — 0.667, consistency — 0.639, ROC—AUC — 0.66. Statistically significant differences in microbiological

I.A. Shirokov¹,

specialist of the BigData analysis Lab
at the Center for Genetic and Laboratory
Technologies

N.V. Volov²,

PhD in Medical Sciences, chief medical officer

D.G. Glubokov³,

head of the pathoanatomical department

¹ Samara State Medical University,
443099, Samara, Russia

² Otolaryngology Clinic "Ambulatory
Center No. 1", 443008, Samara, Russia

³ Municipal clinical hospital no. 8,
443035, Samara, Russia

parameters were revealed in patients with peri-implantitis. The most typical microorganisms were *Rothia mucilaginosa*, *Actinomyces odontolyticus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus australis*, *Streptococcus oralis*. These results are consistent with the literature data. **Conclusions.** Microbiological analysis of patients with peri-implantitis, including statistical data processing and the use of machine learning methods, allows us to predict the risk of peri-implantitis in patients with chronic periodontitis. The results emphasize the importance of including repeat microbiological examination in standard examination protocols, which allow for early identification of at-risk patients and personalization of preventive and therapeutic measures.

Key words: periimplantitis, chronic periodontitis, microbiological markers, forecasting, dental implantation, machine learning

FOR CITATION:

Bazhutova I.V., Lyamin A.V., Trunin D.A., Kaiumov K.A., Ponomarev A.E., Shirokov I.A., Volov N.V., Glubokov D.G. Microbiota as a prognostic predictor of the risk of peri-implantitis development in patients with chronic periodontitis. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2026; 29 (1): 14—21 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2026_1_14

ВВЕДЕНИЕ

В современной стоматологической практике процедура дентальной имплантации широко применяется у различных групп пациентов при восстановлении утраченных зубов, в том числе у пациентов с хроническим пародонтитом. Периимплантные заболевания рассматриваются как бактериально обусловленные инфекции, традиционно их связывали с пародонтитом и возможной транслокацией пародонтопатогенов в периимплантную борозду [1]. Воспалительные реакции на месте установленного имплантата с развитием мукозита и периимплантита в 3 раза чаще встречаются у пациентов с хроническими заболеваниями пародонта [2, 3]. Состав микробных сообществ, формирующихся при пародонтите, их антагонизм и синергизм, а также способность к образованию биопленок, являются главным этиологическим фактором в последующем развитии периимплантита [4]. Формирование биопленки — это ключевой триггер, запускающий деструктивные процессы в тканях пародонта. Биопленка образуется в придесневых зонах и в межзубных промежутках и представляет собой сообщество из сотен видов микроорганизмов. По мере развития заболевания биопленка заполняет пародонтальный карман, который формируется вокруг зуба.

В зависимости от клинической значимости пародонтопатогены классифицируют на два порядка. К пародонтопатогенам 1-го порядка относятся микроорганизмы, наиболее тесно связанные с прогрессированием хронического пародонтита (ХП). Они обладают выраженными факторами патогенности, включая способность к внутриклеточному паразитизму и передаче от человека к человеку. К этому порядку принадлежат, например, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* (серотип b тоx), *Porphyromonas gingivalis* и *Tannerella forsythia*. Пародонтопатогены 2-го порядка в развитии ХП играют второстепенную роль и характеризуются меньшей вирулентностью. Они не обладают всеми ключевыми признаками патогенности, присущими микроорганизмам 1-го порядка [5].

Также микроорганизмы, ассоциированные с заболеваниями пародонта, разделены на соответствующие пародонтопатогенные комплексы. Основные возбудители, такие как *Porph. gingivalis*, *Tan. forsythia*, *Agg. actinomycetemcomitans*, *Filifactor alocis*, *Porph. endodontalis*, *Treponema denticola*, *Prevotella intermedia* и *Fusobacterium nucleatum*, входят в красный и оранжевый пародонтопатогенные комплексы. Помимо данных микроорганизмов, существуют и другие виды бактерий, которые также могут быть связаны с заболеваниями пародонта. Например, к зеленому комплексу относятся *Agg. actinomycetemcomitans*, *Capnocytophaga*, *Campylobacter concisus* и *Eikenella corrodens*. Эти микроорганизмы вызывают воспаление пародонта и могут способствовать воспалительным изменениям в слизистой оболочке рта и твердых тканях зубов. Желтый комплекс включает *Streptococcus sanguinis*, *Str. mitis*, *Str. oralis*, *Str. intermedius* и *Str. gordonii*. Эти бактерии могут выполнять защитную функцию, конкурируя с пародонтальными патогенами и препятствуя их размножению. Пурпурный или фиолетовый комплекс представлен *Actinomyces odontolyticus* и *Veillonella parvula* [6, 7].

Для современной стоматологии исследование микробиоты при пародонтите и периимплантите имеет ключевое значение. Микробиоценоз полости рта представляет собой сложную, динамически изменяющуюся систему, которая играет важную роль в поддержании стоматологического здоровья [8]. Понимание структуры микробиома в периимплантатной зоне и при пародонтите способствует разработке более эффективных методов диагностики, профилактики и лечения заболеваний.

Исследования показывают, что микробиологический профиль пациентов с пародонтитом и периимплантитом имеет схожие характеристики. В обоих случаях в пародонтальных карманах и вокруг имплантатов обнаруживаются схожие микробные ассоциации. Однако некоторые авторы считают, что инфицирование периимплантной зоны патогенами из пародонтальных тканей маловероятно [1].

Отмечается, что микробиом периимплантита характеризуется большим разнообразием по сравнению с микробиотой при пародонтите. В периимплантатной зоне выявляются различные виды бактерий, включая аэробы и анаэробы. В то время как при пародонтите доминируют определенные группы микроорганизмов, такие как *Str. spp.* и *Act. spp.*, в периимплантных тканях обнаруживается более широкий спектр бактерий, включающий грамотрицательные анаэробные виды [9, 10].

Вокруг здоровых имплантатов чаще всего присутствуют микроорганизмы из желтого и пурпурного комплексов, которые являются частью нормальной микробиоты полости рта. Эти бактерии обычно не вызывают воспалительных реакций и способствуют поддержанию здоровья тканей. В то же время при периимплантите основными компонентами микробного сообщества становятся грамотрицательные анаэробные бактерии, такие как *Porph. gingivalis*, *Prev. intermedia* и *Tan. forsythia*. Эти микроорганизмы способны индуцировать воспалительные процессы и приводить к резорбции костной ткани вокруг имплантата [11, 12].

В связи со скрытым началом и бессимптомным течением на ранних стадиях одной из ключевых сложностей в лечении заболеваний пародонта является их поздняя диагностика. При своевременном выявлении и лечении шансы сохранить целостность зубных рядов и избежать осложнений значительно выше [13].

Таким образом, прогнозирование развития периимплантита на основании наличия у пациента пародонтита, данных о выделенных микроорганизмах и других микробиологических параметров, поможет ранней диагностике и своевременной профилактике развития данной патологии.

Алгоритм построения дерева решений (CART — Classification and Regression Trees) является мощным и гибким методом машинного обучения, который широко используется для решения различных задач, включая классификацию и регрессию. Этот метод позволяет с высокой точностью прогнозировать исходы событий, основываясь на наборе входных данных, при этом он обеспечивает возможность интерпретации результатов, что делает его особенно ценным для специалистов в области медицины, биологии, финансов и в других областях, где важна прозрачность и объяснимость моделей.

Дерево решений представляет собой иерархическую структуру, состоящую из узлов и листьев. Узлы проверяют определенные условия, а листья содержат прогнозируемые значения или решения. Процесс построения дерева начинается с корневого узла, который затем разделяется на дочерние узлы в зависимости от выполнения условий. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут достигнуты листья, представляющие собой конечные результаты или прогнозы.

В медицине алгоритм CART находит широкое применение для диагностики заболеваний, прогнозирования исходов лечения и разработки персонализированных терапевтических стратегий. Использование данных о наличии или отсутствии пародонтита, а также ряда микробиологических параметров (выделенные микроорганизмы, антагонизм или синергизм микробных

сообществ) позволит адекватно прогнозировать риск развития осложнений после дентальной имплантации [14–16].

Цель исследования — разработать модель классификации риска развития периимплантита у пациентов с хроническим пародонтитом на основе микробиологических маркеров, используя метод построения дерева решений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании использовался набор данных, включающий информацию о 325 пациентах. Изначально пациенты были разделены на 3 группы:

- I — 171 человек без имплантатов;
- II — 95 человек с имплантатами без периимплантита;
- III — 59 человек с имплантатами и диагностированным периимплантитом.

Однако такой значительный дисбаланс в выборке мог негативно повлиять на точность прогнозирования модели. Случайным способом первые две группы были сокращены до 59 человек в каждой, дав итоговую выборку из 177 пациентов.

Далее мы проанализировали широкий спектр микробиологических параметров, которые потенциально могут быть связаны с развитием периимплантита.

В соответствии с методическими указаниями МУ 4.2.2039-05 для микробиологического исследования был собран и транспортирован биоматериал.

Посев биоматериала проводился на 7 типов питательных сред HiMedia (Индия): агар Мюллера—Хинтона с 5% дефибрированной бараньей крови, универсальную хромогенную среду, *Veillonella*-агар, агар для выделения облигатных анаэробов, *Clostridium*-агар, агар для выделения лактобактерий и *Brucella*-агар с 7% дефибрированной бараньей крови. Рассев осуществлялся методом Дригальского. Для культивирования в анаэробных условиях использовалась анаэробная станция Bactron 300-2 (Sheldon Manufacturing, США). Аэробные и микроаэрофильные микроорганизмы культивировались в обычных условиях и при 4–6% CO₂ соответственно, при температуре 36 °С в течение 120 часов.

Идентификацию выросших микроорганизмов проводили с использованием матрично-активированной лазерной десорбции/ионизации (MALDI-ToF) масс-спектрометрии на приборе Microflex LT (Bruker, Германия).

Для идентифицированных микроорганизмов рассчитан коэффициент постоянства, оценивающий их долю в микробиоте. Микроорганизмы, обнаруженные более чем в 50% случаев, относятся к постоянной микробиоте, в диапазоне 25–50% случаев — к добавочной, менее 25% случаев — к транзитной. Из 197 микроорганизмов были отобраны 20, относящиеся к постоянной и добавочной микробиоте. В ходе работы было проанализировано наличие у пациентов *Actinomyces odontolyticus*, *Actinomyces oris*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Fusobacterium nucleatum*, *Neisseria flavescens*, *Neisseria macacae*, *Porphyromonas gingivalis*, *Rothia dentocariosa*, *Rothia mucilaginosa*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus*

anginosus, *Streptococcus australis*, *Streptococcus cristatus*, *Streptococcus infantis*, *Streptococcus mitis*, *Streptococcus oralis*, *Streptococcus sanguinis*, *Streptococcus vestibularis*, *Tannerella forsythia* и *Veillonella atypica*.

Затем мы разделили данные на обучающую (80%) и тестовую (20%) выборки, сохраняя баланс классов. Такой подход (142 пациента в обучающей выборке и 35 в тестовой) позволил обеспечить корректное обучение модели и получить адекватную оценку ее производительности.

Для построения модели классификации был выбран алгоритм CART (Classification and Regression Tree), реализованный в модели DecisionTreeClassifier. CART представляет собой алгоритм машинного обучения, который строит дерево решений — иерархическую структуру, где каждый узел представляет собой проверку условия, а ветви ведут к дальнейшему разбиению данных, пока не будет достигнут конечный результат — классификация пациента по риску развития периимплантита. Процесс построения дерева решений с применением данного алгоритма основан на рекурсивном разбиении данных с учетом ряда критериев. Ключевыми из них являются достижение максимальной глубины дерева, однородность узла (все объекты относятся к одному классу), идентичность значений признаков, а также недостаточный информационный выигрыш для дальнейшего разбиения. В процессе построения дерева оптимальное разбиение на каждом этапе определяется путем максимизации уменьшения коэффициента Джини, который оценивает неоднородность выборки.

Коэффициент Джини определяется по формуле:

$$G = 1 - \sum_{i=1}^k p_i^2,$$

где k — количество классов, p_i — доля объектов класса i в наборе.

Для оценки качества модели использованы метрики:

- Accuracy (общая корректность) — показывает, сколько предсказаний модель сделала правильно.
- Recall (чувствительность, полнота) — отражает, сколько реальных случаев заболевания модель смогла правильно определить.
- Precision (точность, достоверность) — определяет, насколько можно доверять предсказаниям модели о наличии заболевания.
- Specificity (специфичность) — случаи, когда модель не выявила периимплантит у пациента, однако периимплантит диагностирован.
- F1-score (согласованность) — позволяет оценить баланс между точностью и полнотой.
- ROC—AUC — площадь под кривой ошибок (Receiver Operating Characteristic — Area Under Curve), показывающая способность модели различать классы.

С показателями метрик модели, основанной на выделенных микроорганизмах для прогнозирования риска развития периимплантита, можно ознакомиться в табл. 1.

В процессе обучения модель выявляет значимость признаков, которые позволяют приходиться к определенному решению. Важность признаков — это числовой балл, отражающий вклад каждого входного признака

в предсказания модели на основе дерева решений. Она оценивает, насколько использование данного признака снижает неопределенность в модели за счет того, сколько улучшения разделения в узлах достигается при его участии. Оценки важности выражаются в долях, нормированных так, что сумма важностей всех признаков равна 1. Данные важности признаков модели, основанной на выделенных микроорганизмах для прогнозирования риска развития периимплантита, указаны в табл. 2.

После обучения данной модели были построены деревья решений, ведущие к исходам наличия риска развития периимплантита и к его отсутствию (рис. 1 и 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанная модель дерева решений показала следующие метрики для общей выборки. Общая корректность составила 0,667, т.е. модель правильно классифицирует 66,7% случаев. Общая согласованность (F1-score overall), которая показывает сбалансированность модели, составила 0,639. ROC—AUC составляет 0,66, т.е. модель в 66% случаев верно отличает пациентов с периимплантитом от пациентов без данной нозологии. Эти результаты свидетельствуют о том, что модель имеет

Таблица 1. Метрики дерева решений, основанного на выделенных микроорганизмах для прогнозирования риска развития периимплантита

Table 1. Decision tree performance metrics based on identified microorganisms for predicting peri-implantitis risk

| Метрика | Класс 0 | Класс 1 |
|----------------|---------------|---------|
| Accuracy | 0,667 (66,7%) | |
| Общий F1-score | 0,639 (63,9%) | |
| ROC—AUC | 0,66 | |
| Precision | 0,81 | 0,47 |
| Recall | 0,68 | 0,64 |
| Specificity | 68,0% | 63,64% |
| F1-score | 0,74 | 0,54 |

Таблица 2. Важность признаков согласно модели, основанной на выделенных микроорганизмах для прогнозирования риска развития периимплантита

Table 2. Feature importance according to the model based on the identified microorganisms for predicting the risk of peri-implantitis development

| Микроорганизм | Важность |
|----------------------------------|----------|
| <i>Actinomyces oris</i> | 0,133 |
| <i>Rothia mucilaginosa</i> | 0,116 |
| <i>Tannerella forsythia</i> | 0,096 |
| <i>Rothia dentocariosa</i> | 0,089 |
| <i>Fusobacterium nucleatum</i> | 0,071 |
| <i>Porphyromonas gingivalis</i> | 0,066 |
| <i>Streptococcus cristatus</i> | 0,059 |
| <i>Neisseria macacae</i> | 0,058 |
| <i>Streptococcus australis</i> | 0,056 |
| <i>Actinomyces odontolyticus</i> | 0,043 |

умеренную предсказательную способность, что может быть связано с многофакторностью периимплантита и сложностью взаимодействий между микроорганизмами и иммунными реакциями организма. Такая модель может служить полезным инструментом для предварительной оценки риска и выявления пациентов, требующих более детального обследования.

При этом модель дерева решений, построенная на основе выборки, состоящей из II (с имплантатами без периимплантита) и III группы (с имплантатами и диагностированным периимплантитом), достигла общей корректности 0,792 (79,2%), согласованности — 0,788, ROC—AUC — 0,79.

Отдельно в выборке, состоящей из II и III группы, были проанализированы комбинации микроорганизмов:

- *Str. mitis*, *Neis. macacae* и *Veil. atypica*;
- *Str. australis* и *Str. infantis*;
- *Tan. forsythia* и *Porph. gingivalis*;
- *Str. vestibularis* и *Roth. dentocariosa*;
- *Str. anginosus*, *Str. sanguinis* и *Roth. mucilaginosa*;
- *Str. sanguinis*, *Veil. atypica* и *Agg. actinomycetemcomitans*;
- *Str. oralis*, *Str. mitis*, *Staph. epidermidis* и *Roth. dentocariosa*;
- *Act. odontolyticus* и *Roth. dentocariosa*;
- *Neis. macacae*, *Roth. mucilaginosa*, *Str. australis* и *Porph. gingivalis*;
- *Str. oralis*, *Str. mitis*, *Str. vestibularis* и *Neis. flavescens*.

Общая корректность составила 0,917 (91,7%), согласованность — 0,916, ROC—AUC — 0,92.

При анализе микробиологических показателей у пациентов с ХП выявлены наиболее значимые микроорганизмы, ассоциированные с развитием периимплантита: *Roth. mucilaginosa*, *Act. odontolyticus*, *Staph. epidermidis*, *Str. australis*, *Str. oralis*. Эти микроорганизмы являются ключевыми участниками патогенеза периимплантита, что подтверждается их наличием в биопленках, связанных с воспалительными процессами. Такие результаты в целом соответствуют данным литературы о микробиоте, ассоциированной с периимплантитом и пародонтитом [1]. Выделенные представители *Str. spp.* входят в оранжевый пародонтопатогенный комплекс, который вступает в антагонизм с пародонтопатогенами. Однако роль *Str. oralis* в развитии периимплантита до сих пор не ясна. Кроме данных об антагонизме с ведущими пародонтопатогенами, имеются исследования, в том числе *in vivo* на крысиных моделях, где с помощью *Str. oralis* было индуцировано развитие периимплантита [17].

Кроме того, известно, что *Str. oralis* является первичным колонизатором биопленок на имплантате [18].

Act. odontolyticus является представителем пурпурного пародонтопатогенного комплекса, может встречаться как в нормальной микробиоте ротовой полости, так и способствовать развитию воспаления [11].

Roth. mucilaginosa — один из микроорганизмов, который, по данным литературы, более распространены в здоровой биопленке, в отличие от биопленки, связанной с периимплантитом [19]. Это может свидетельствовать о том, что данный микроорганизм играет роль в поддержании баланса микробиоты и предотвращении развития воспалительных процессов. Однако в условиях хронического пародонтита и периимплантита его присутствие может изменяться, что требует дальнейшего изучения.

Staph. epidermidis в литературе описывается как один из первых колонизаторов зубных имплантатов. Этот микроорганизм способен формировать биопленки, которые могут служить матрицей для присоединения других патогенов. Таким образом, *Staph. epidermidis* может играть важную роль в начальной стадии развития периимплантита, создавая благоприятные условия для присоединения более агрессивных микроорганизмов [20, 21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование подтвердило влияние микробиологических факторов на развитие периимплантита у пациентов с ХП. Применение алгоритмов машинного обучения, в частности CART, позволило создать модель прогнозирования риска развития периимплантита. Это свидетельствует о том, что микробиологические данные могут быть эффективно использованы для разработки персонализированных подходов к лечению и профилактике периимплантита.

Включение микробиологических исследований в стандартный мониторинг пациентов с ХП способствует раннему выявлению риска развития периимплантита. Это позволяет своевременно принять меры по предотвращению воспалительных процессов и увеличению срока службы имплантатов. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации тактики ведения пациентов и повышения эффективности предупреждения развития периимплантита.

Поступила/Received: 29.04.2025

Принята в печать/Accepted: 22.02.2026

Л И Т Е Р А Т У Р А / R E F E R E N C E S :

- Robitaille N., Reed D.N., Walters J.D., Kumar P.S. Periodontal and peri-implant diseases: identical or fraternal infections? — *Mol Oral Microbiol.* — 2016; 31 (4): 285—301. [PMID: 26255984](#)
- Якупов Б.А., Гуляева О.А., Аверьянов С.В., Лакман И.А. Профилактика периимплантита в области дентальных имплантатов у пациентов с генерализованным пародонтитом в анамнезе. — *Институт стоматологии.* — 2024; 2 (103): 39—41.
[Yakupov B.A., Gulyaeva O.A., Averyanov S.V., Lakman I.A. Prevention of periimplantitis in the field of dental implants in patients with a history of generalized periodontitis. — *The Dental Institute.* — 2024; 2 (103): 39—41 (In Russian)]. [eLibrary ID: 68366247](#)
- Schwarz F., Derks J., Monje A., Wang H.L. Peri-implantitis. — *J Periodontol.* — 2018; 89 Suppl 1: S267—S290. [PMID: 29926957](#)
- Mombelli A., Müller N., Cionca N. The epidemiology of peri-implantitis. — *Clin Oral Implants Res.* — 2012; 23 Suppl 6: 67—76. [PMID: 23062130](#)
- Царев В.Н., Николаева Е.Н., Ипполитов Е.В. Пародонтопатогенные бактерии — основной фактор возникновения и развития пародонтита. — *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии.* — 2017; 5: 101—112.
[Tsarev V.N., Nikolaeva E.N., Ippolitov E.V. Periodontopathogenic bacteria of the main factors of emergence and development of periodontitis. — *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology.* — 2017; 5: 101—112 (In Russian)]. [eLibrary ID: 32628890](#)
- Романова Р.О., Зюлькина Л.А., Иванов П.В., Куряев И.И., Кашлевская М.Е. Современные аспекты этиопатогенеза воспалительных заболеваний пародонта (обзор литературы). — *Вятский медицинский вестник.* — 2022; 1 (73): 96—102.
[Romanova R.O., Zylkina L.A., Ivanov P.V., Kuryaev I.I., Kashlevskaya M.E. Modern aspects of etiopathogenesis inflammatory periodontal diseases (review). — *Medical Newsletter of Vyatka.* — 2022; 1 (73): 96—102 (In Russian)]. [eLibrary ID: 48112443](#)
- Rafiei M., Kiani F., Sayehmiri K., Sayehmiri F., Tavirani M., Dousti M., Sheikhi A. Prevalence of anaerobic bacteria (*Porphyromonas gingivalis*) as major microbial agent in the incidence periodontal diseases by meta-analysis. — *J Dent (Shiraz).* — 2018; 19 (3): 232—242. [PMID: 30175194](#)
- Li X., Liu Y., Yang X., Li C., Song Z. The oral microbiota: Community composition, influencing factors, pathogenesis, and interventions. — *Front Microbiol.* — 2022; 13: 895537. [PMID: 35572634](#)
- Yeh H.C., Lu J.J., Chang S.C., Ge M.C. Identification of microbiota in peri-implantitis pockets by matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry. — *Sci Rep.* — 2019; 9 (1): 774. [PMID: 30692557](#)
- Di Spirito F., Giordano F., Di Palo M.P., D'Ambrosio F., Scognamiglio B., Sangiovanni G., Caggiano M., Gasparro R. Microbiota of peri-implant healthy tissues, peri-implant mucositis, and peri-implantitis: A comprehensive review. — *Microorganisms.* — 2024; 12 (6): 1137. [PMID: 38930519](#)
- Трунин Д.А., Тлустенко В.П., Комлев С.С., Тлустенко В.С., Хоменко И.Н., Лямин А.В. Оценка видового разнообразия микрофлоры, выделенной с эпителия слизистой оболочки полости рта, при использовании съемных ортопедических конструкций с опорой на дентальные имплантаты. — *Стоматология.* — 2021; 5: 43—47.
[Trunin D.A., Tlustenko V.P., Komlev S.S., Tlustenko V.S., Khomenko I.N., Lyamin A.V. Evaluation of the species diversity of microflora isolated from the epithelium of the oral mucosa in patients using removable orthopedic structures based on dental implants. — *Stomatology.* — 2021; 5: 43—47 (In Russian)]. [eLibrary ID: 47152092](#)
- Iuşan S.A.L., Lucaciu O.P., Petrescu N.B., Mirică I.C., Toc D.A., Albu S., Costache C. The main bacterial communities identified in the sites affected by periimplantitis: A systematic review. — *Microorganisms.* — 2022; 10 (6): 1232. [PMID: 35744750](#)
- Bornes R., Montero J., Correia A., Marques T., Rosa N. Peri-implant diseases diagnosis, prognosis and dental implant monitoring: a narrative review of novel strategies and clinical impact. — *BMC Oral Health.* — 2023; 23 (1): 183. [PMID: 36997949](#)
- Rajasekar A., Varghese S.S. Microbiological profile in periodontitis and peri-implantitis: A systematic review. — *J Long Term Eff Med Implants.* — 2022; 32 (4): 83—94. [PMID: 36017930](#)
- Kim H.J., Ahn D.H., Yu Y., Han H., Kim S.Y., Joo J.Y., Chung J., Na H.S., Lee J.Y. Microbial profiling of peri-implantitis compared to the periodontal microbiota in health and disease using 16S rRNA sequencing. — *J Periodontal Implant Sci.* — 2023; 53 (1): 69—84. [PMID: 36468472](#)
- Chun Giok K., Menon R.K. The Microbiome of peri-implantitis: A systematic review of next-generation sequencing studies. — *Antibiotics (Basel).* — 2023; 12 (11): 1610. [PMID: 37998812](#)
- Ancuţa D.L., Alexandru D.M., Crivineanu M., Coman C. Induction of experimental peri-implantitis with strains selected from the human oral microbiome. — *Biomedicines.* — 2024; 12 (4): 715. [PMID: 38672071](#)
- Petrini M., Giuliani A., Di Campi E., Di Lodovico S., Iezzi G., Piattelli A., D'Ercole S. The bacterial anti-adhesive activity of double-etched titanium (DAE) as a dental implant surface. — *Int J Mol Sci.* — 2020; 21 (21): 8315. [PMID: 33167597](#)
- Bessa L.J., Egas C., Pires C., Proença L., Mascarenhas P., Pais R.J., Barroso H., Machado V., Botelho J., Alcoforado G., Mendes J.J., Alves R. Linking peri-implantitis to microbiome changes in affected implants, healthy implants, and saliva: a cross-sectional pilot study. — *Front Cell Infect Microbiol.* — 2025; 15: 1543100. [PMID: 40313461](#)
- Fragkioudakis I., Konstantopoulos G., Kottaridi C., Doufexi A.E., Sakellari D. Quantitative assessment of *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis* in peri-implant health and disease: correlation with clinical parameters. — *J Med Microbiol.* — 2024; 73 (11): 2024 Nov; 73 (11)... [PMID: 39601508](#)
- Bürgers R., Morszeck C., Felthaus O., Gosau M., Beck H.C., Reichert T.E. Induced surface proteins of *Staphylococcus epidermidis* adhering to titanium implant substrata. — *Clin Oral Investig.* — 2018; 22 (7): 2663—2668. [PMID: 29948278](#)