



Сравнительная оценка гемодинамики тканей пародонта у пациентов с зубочелюстными аномалиями в период ортодонтического лечения

Т.Б. Ткаченко¹, Л.Н. Солдатова¹⁻³, А.В. Федорова^{3*}, К.В. Тухужева²

¹Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Стоматологическая клиника ООО «Альфа-Дент», Санкт-Петербург, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Одной из важнейших задач ортодонтического лечения является снижение негативного влияния применяемой аппаратуры на ткани пародонта. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 73 пациента в возрасте 18–32 лет со здоровым пародонтом. Все пациенты были разделены на группы: первую группу (28 человек) составили пациенты, для лечения зубочелюстных аномалий (ЗЧА) у которых была использована несъемная ортодонтическая аппаратура (брекет-система), вторую группу (30 человек) – пациенты, у которых коррекция ЗЧА проводили с помощью съемной ортодонтической аппаратуры (элайнеры), группу контроля (15 человек) – пациенты без ЗЧА, не проходящие ортодонтическое лечение. Изучение кровотока в микроциркуляторном русле пародонта проводили с помощью ультразвукового доплеровского флоуметра «Минимакс-Допплер-К» (ММ-Д-К) модель НБ; датчик 20 МГц. **Результаты.** В ходе исследования установлено, что у пациентов первой группы, проходивших ортодонтическое лечение с применением брекет-систем, наблюдалось более выраженное снижение гемодинамических показателей тканевого кровотока. Максимальная систолическая скорость (Vas) снижалась до 0,55 см/с, что сопровождалось увеличением индексов сосудистого сопротивления PI и RI до 2,8 и 0,80 соответственно. Указанные изменения отражают повышение периферического сосудистого сопротивления, связанное с механическим воздействием ортодонтической аппаратуры и изменениям перфузии тканей пародонта. Во второй группе, при использовании элайнеров, изменения гемодинамических показателей были менее выраженными: снижение Vas до 0,69 см/с и умеренное уменьшение объемных параметров кровотока (Qas до 1,17 мл/мин, Qam до 0,77 мл/мин) сопровождалось незначительным увеличением PI (до 2,1) и RI (до 0,71). Это указывает на минимальное влияние съемной аппаратуры на сосудистый тонус тканей пародонта. Сравнительный анализ показал, что съемные ортодонтические аппараты (элайнеры) оказывают более щадящее воздействие на гемодинамику тканей пародонта по сравнению с несъемными аппаратами (брекет-системами), что обусловлено меньшей интенсивностью механической нагрузки. **Заключение.** Результаты проведенного анализа помогают аргументировать выбор ортодонтической аппаратуры в пользу съемных индивидуальных капп (элайнеров) в связи с меньшим их негативным влиянием на состояние тканевого кровотока пародонта в процессе лечения.

Ключевые слова: зубочелюстные аномалии, пародонт, гемодинамика, ортодонтическое лечение, элайнеры, брекет-система

Для цитирования: Ткаченко ТБ, Солдатова ЛН, Федорова АВ, Тухужева КВ. Сравнительная оценка гемодинамики тканей пародонта у пациентов с зубочелюстными аномалиями в период ортодонтического лечения. *Пародонтология*. 2026;31(2):000-000. <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2026-1205>

***Автор, ответственный за связь с редакцией:** Федорова Анастасия Вадимовна, стоматологическая клиника ООО «Альфа-Дент», 190005, ул. 5-я Красноармейская, д. 32, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация. Для переписки: ortofedorova@yandex.ru

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Благодарности: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования. Индивидуальные благодарности для декларирования отсутствуют.

Periodontal hemodynamics during orthodontic treatment in patients with Class I malocclusion: a comparative study

T.B. Tkachenko¹, L.N. Soldatova¹⁻³, A.V. Fedorova³, K.V. Tukhuzheva²

¹Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation

²Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Saint Petersburg, Russian Federation

³Dental Clinic "Alfa-Dent" LLC, Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Relevance. Minimizing the adverse effects of orthodontic appliances on periodontal tissues is an important objective of orthodontic treatment. **Materials and methods.** The study included 73 patients aged 18–32 years with healthy periodontal tissues. All patients were divided into three groups: Group 1 included 28 patients treated for malocclusion with fixed orthodontic appliances (braces); Group 2 included 30 patients whose malocclusion was corrected using removable orthodontic appliances (aligners); and the control group included 15 patients without malocclusion who were not undergoing orthodontic treatment. Blood flow in the periodontal microvasculature was assessed using a Minimax-Doppler-K ultrasonic Doppler flowmeter (MM-D-K), NB model, with a 20-MHz probe. **Results.** Group 1 showed a more pronounced decrease in periodontal blood flow parameters. Peak systolic velocity (Vas) decreased to 0.55 cm/s, whereas the vascular resistance indices PI and RI increased to 2.8 and 0.80, respectively. These changes indicate increased peripheral vascular resistance associated with the mechanical effects of fixed orthodontic appliances and altered periodontal tissue perfusion. In Group 2, hemodynamic changes were less pronounced: Vas decreased to 0.69 cm/s, and blood flow parameters showed a moderate decrease, with Qas reaching 1.17 mL/min and Qam reaching 0.77 mL/min. These changes were accompanied by only slight increases in PI to 2.1 and RI to 0.71. Comparative analysis showed that aligner treatment had a milder effect on periodontal hemodynamics than treatment with fixed orthodontic appliances, owing to the lower intensity of mechanical loading. **Conclusion.** The results of this analysis help justify the choice of removable aligners for orthodontic treatment because they have a less pronounced adverse effect on periodontal tissue blood flow during treatment.

Keywords: malocclusion, periodontium, hemodynamics, orthodontic treatment, aligners, fixed orthodontic appliances

Key words: dentofacial anomalies, periodontium, hemodynamics, orthodontic treatment, aligners, bracket systems

For citation: Tkachenko T.B., Soldatova L.N., Fedorova A.V., Tukhuzheva K.V. Periodontal hemodynamics during orthodontic treatment in patients with Class I malocclusion: a comparative study. *Parodontologiya*. 2026;31(2):000-000. (In Russ.). <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2026-1205>

***Corresponding author:** Anastasiia V. Fedorova, "Alfa-Dent" Dental Clinic, 32, 5th Krasnoarmeyskaya St., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation. For correspondence: ortofedorova@yandex.ru

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interests.

Acknowledgments: The authors declare that there was no external funding for the study. There are no individual acknowledgments to declare.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных задач современной ортодонтии является оценка локальных адаптационных реакций организма, возникающих в ответ на применение ортодонтических конструкций для коррекции зубочелюстных аномалий [1-5]. Периодонтальная сосудистая система демонстрирует высокую чувствительность к механическим воздействиям, особенно при использовании несъёмных ортодонтических аппаратов [1-4, 6-8]. Подобные изменения могут стать ключевым фактором развития патологических состояний, особенно при чрезмерно быстрой смене дуг, что не соответствует физиологическим возможностям пародонта и/или рекомендованному протоколу лечения. В связи с этим крайне важно вести наблюдение за состоянием тканей пародонта у пациентов на всех этапах ортодонтического лечения и своевременно корректировать лечебную тактику на основе индивидуальной адаптационной реакции [3-6, 9]. При активации ортодонтических аппаратов, в том числе вследствие создаваемой ими избыточной нагрузки, могут развиваться патологи-

ческие процессы в пародонте [3-6, 9, 10]: нарушения тканевого кровотока, структурные изменения эндотелия, изменения диаметра сосудов, а также гемодинамические нарушения в тканях пародонта [3, 5, 11]. Именно поэтому врачу-ортодонт необходимо грамотно подбирать силу воздействия аппаратуры и длительность ее применения [9].

На сегодняшний день значительный интерес вызывают методы функциональной диагностики, позволяющие количественно анализировать показатели кровотока и интенсивность процессов тканевой перфузии в пародонте в ответ на ортодонтическое вмешательство [1, 3, 5-7, 9, 12, 13].

Несмотря на активное внедрение элайнеров в практику, их влияние на гемодинамику тканей пародонта остается недостаточно изученным [1, 6, 8, 9, 11]. В то же время исследования в этой области могли бы способствовать более обоснованному выбору ортодонтической аппаратуры, минимизируя риск повреждения тканей пародонта для обеспечения оптимальных условий их функционирования. Это позволило бы не только повысить эффективность проводимого лечения, но и снизить вероятность

развития осложнений, связанных с нарушением тканевой перфузии [1-2, 5, 9, 13]. Таким образом, изучение состояния локальной гемодинамики тканей пародонта при применении различной ортодонтической аппаратуры является актуальной задачей современной ортодонтии.

Цель исследования: провести сравнительную доплерографическую оценку тканевого кровотока пародонта у пациентов, проходящих ортодонтическое лечение с помощью несъемной (брекет-системы) и съемной ортодонтической аппаратуры (элайнеров).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 73 человека (43 женщины и 30 мужчин) в возрасте 18–32 лет (средний возраст – $23 \pm 1,2$ года), проходивших наблюдение в клинике ООО «Альфа-Дент» с 2022 по 2025 год. Все обследуемые были распределены на три группы в соответствии с аппаратурой, применяемой во время ортодонтической коррекции зубочелюстных аномалий. Пациенты первой группы проходили ортодонтическое лечение с помощью несъемной аппаратуры (брекет-системы) – 28 человек (16 женщин и 12 мужчин, средний возраст $25,0 \pm 2,3$ года), во второй группе для коррекции положения зубов использовали съемную ортодонтическую аппаратуру (элайнеры) – 30 человек (19 женщин и 11 мужчин, средний возраст $22,0 \pm 1,8$ года). Третья, контрольная группа, состояла из 15 пациентов (8 женщин и 7 мужчин, средний возраст – $23,0 \pm 2,1$ года), не имеющих зубочелюстных аномалий и признаков заболеваний пародонта, не проходившие ортодонтическое лечение на момент исследования. Распределение пациентов в группах исследования по количеству человек независимо от пола представлено на рисунке 1.

Дизайн клинического исследования – проспективное, сравнительное исследование с параллельными группами.

Критериями отбора пациентов для участия в исследовании стало: наличие скученного (не более 5 мм) или неправильного положения отдельных зубов (ротации, наклоны, тремы, диастема) в переднем отделе с соотношением зубных дуг по I классу Энгля, отсутствие заболеваний тканей пародонта, хорошая гигиена полости рта, отсутствие общесоматических заболеваний.

Критериями исключения для участия в исследовании стали: дефицит места в зубной дуге более 5 мм в переднем отделе, патологический прикус, курение, беременность, общесоматические патологии, наличие заболеваний пародонта, неудовлетворительная гигиена полости рта, ортодонтическое лечение в анамнезе, установленные ранее несъемные ретенционные конструкции, прием препаратов, влияющих на микроциркуляцию мозгового, периферического и коронарного кровообращения, изменяя кровотоки,

свойства крови и меняющие проницаемость сосудистой стенки (ангиопротекторы, корректоры микроциркуляции, антиагреганты, вазодилататоры, производные никотиновой кислоты).

До начала исследования всем пациентам выполнялись: сбор анамнеза, визуальный осмотр зубочелюстной системы, оформление ортодонтической карты (форма 043-1/у), телерентгенография (ТРГ) в боковой проекции с анализом и расчетом, КЛКТ для оценки структур челюстно-лицевой области, анализировались модели зубных рядов, проводился полный фотопротокол, а также определялся индекс гигиены (индекс Грина – Вермиллиона) [1, 3, 12, 14]. Объективная оценка тканевого кровотока пародонта проводилась с использованием ультразвукового доплеровского аппарата «Минимакс-Допплер-К» (ММ-Д-К) модель НБ; датчик 20 МГц (рис. 2) [3, 10, 11]. Исследование проводили в тканях пародонта в области мукогингивального соединения в проекции клыков и боковых резцов верхней и нижней челюсти [3, 10, 12, 15].

У пациентов первой и второй группы оценка гемодинамики тканей пародонта проводилась до начала лечения, а затем один раз в три месяца на протяжении девяти месяцев. У пациентов контрольной группы измерения проводились однократно, показатели тканевой перфузии были сопоставимы с данным других авторов и соответствовали физиологической норме для взрослых [10, 15].

Оценивались следующие гемодинамические параметры:

Vas – максимальная систолическая скорость кровотока;

Qas – максимальная систолическая объемная скорость;

Vam – средняя линейная скорость кровотока;

Vakd – конечная диастолическая скорость кровотока;

Qam – средняя объемная скорость кровотока;

PI – индекс пульсации (перфузии), индекс Гослинга, отражающий амплитуду колебаний кровотока и степень сосудистого сопротивления;

RI – индекс резистентности, индекс Пурсело, характеризующий общее периферическое сопротивление сосудистого русла.

У пациентов трех групп проводилась индексная оценка гигиены полости рта (индекс Грина – Вермил-

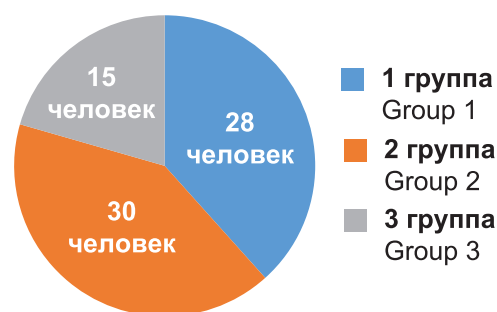


Рис. 1. Количество пациентов в группах исследования (источник: составлено авторами)

Fig. 1. Number of patients in the study groups (Sources: compiled by the author)

Таблица 1. Результаты оценки нормальности распределения количественных показателей по критерию Шапиро – Уилка (источник: составлено авторами)

Table 1. Shapiro–Wilk normality test results for quantitative parameters (Sources: compiled by the author)

Показатель / Parameter	W (диапазон) / W statistic	p (диапазон) / p value	Характер распределения / Distribution
Vas	0,934-0,986	0,278-0,965	Нормальное / Normal
Qas	0,915-0,978	0,160-0,782	Нормальное / Normal
Vam	0,958-0,987	0,412-0,962	Нормальное / Normal
Vakd	0,943-0,982	0,134-0,889	Нормальное / Normal
Qam	0,938-0,975	0,095-0,670	Нормальное / Normal
PI	0,928-0,977	0,067-0,649	Нормальное / Normal
RI	0,924-0,989	0,057-0,936	Нормальное / Normal

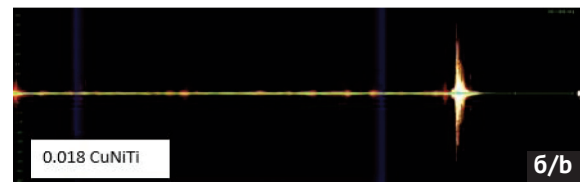
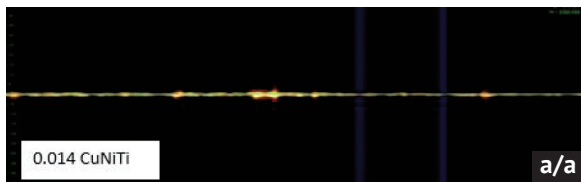


Рис. 2. Допплерограмма сигнала, зарегистрированного с использованием ультразвукового доплеровского флоуметра «Минимакс-Допплер-К» у пациентов первой группы при лечении с помощью несъемной ортодонтической аппаратуры (брекет-систем) с использованием дуг: а) 0.014 CuNiTi и б) 0.018 CuNiTi (источник: составлено авторами)

Fig. 2. Doppler signal tracing recorded with the Minimax-Doppler-K ultrasonic Doppler flowmeter in Group 1 patients during treatment with fixed orthodontic appliances and the following archwires: а) 0.014 CuNiTi; б) 0.018 CuNiTi (Sources: compiled by the author)

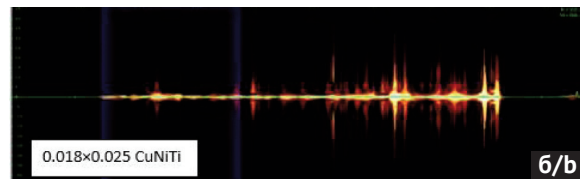
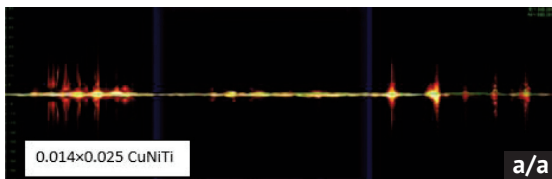


Рис. 3. Допплерограмма сигнала, зарегистрированного с использованием ультразвукового доплеровского флоуметра «Минимакс-Допплер-К» у пациентов первой группы при лечении с помощью несъемной ортодонтической аппаратуры (брекет-систем) с использованием дуг: а) 0.014 × 0.025 CuNiTi и б) 0.018 × 0.025 CuNiTi (источник: составлено авторами)

Fig. 3. Doppler signal tracing recorded with the Minimax-Doppler-K ultrasonic Doppler flowmeter in Group 1 patients during treatment with fixed orthodontic appliances and the following archwires: а) 0.014 × 0.025 CuNiTi; б) 0.018 × 0.025 CuNiTi (Sources: compiled by the author)

лиона), чтобы продемонстрировать изменения тканевого кровотока у пациентов без заболеваний пародонта на этапе ортодонтического лечения [2, 3, 11, 12, 14].

Все пациенты подписали информированное добровольное согласие на ортодонтическое лечение и участие в исследовании.

Лечение пациентов первой группы осуществлялось по универсальной схеме, в рамках которой происходила последовательная замена ортодонтических дуг, различающихся по форме и сечению, в соответствии с клиническим протоколом [3]. На первом этапе проводили начальное выравнивание зубных рядов при помощи круглой дуги 0.014 CuNiTi (рис. 2а). Средняя продолжительность данного периода составляла 8–10 недель. На втором этапе продолжалось активное выравнивание и подготовка к комплексным пространственным перемещениям с переходом на дугу 0.018 CuNiTi, срок ношения которой варьировал также от 6 до 8 недель (рис. 2б).

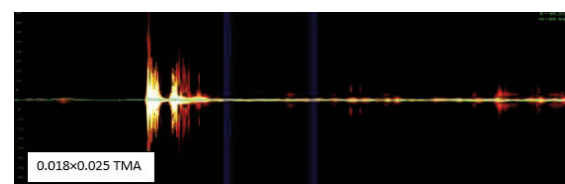


Рис. 4. Допплерограмма сигнала, зарегистрированного с использованием ультразвукового доплеровского флоуметра «Минимакс-Допплер-К» у пациентов первой группы при лечении с помощью несъемной ортодонтической аппаратуры (брекет-систем) с использованием дуг: 0.018 × 0.025 TMA (источник: составлено авторами)

Fig. 4. Doppler signal tracing recorded with the Minimax-Doppler-K ultrasonic Doppler flowmeter in Group 1 patients during treatment with fixed orthodontic appliances and the following archwires: 0.018 × 0.025 TMA (Sources: compiled by the author)

На третьем этапе применялись прямоугольные высокоэластичные дуги – 0.014×0.025 CuNiTi (рис. 3а) и 0.018×0.025 CuNiTi (рис. 3б).

Каждая из дуг использовалась на протяжении 6–8 недель. Благодаря своей форме указанные выше дуги обеспечивали более точное и равномерное распределение ортодонтических усилий, позволяя реализовать механические перемещения в трех плоскостях.

На четвертом, финальном, этапе лечения использовали индивидуально преформированную дугу 0.019×0.025 TMA (рис. 5), обладающую высокими упруго-деформационными свойствами по сравнению с CuNiTi, что позволило менее агрессивно завершить перемещения и провести точную коррекцию положения зубов без чрезмерного давления на ткани пародонта. Эта дуга применялась в течение 3–8 недель.

Лечение пациентов второй группы проводилось с использованием съемной ортодонтической аппаратуры (элайнеров), спроектированных на основе цифрового 3D-планирования в специализированном программном обеспечении. Каждый комплект кап предназначался для ношения в течение 10–14 дней, после чего осуществлялся переход к следующему набору. В среднем у каждого пациента использовалось 20 комплектов элайнеров, что обеспечивало сопоставимую длительность лечения с пациентами, проходившими ортодонтическое лечение с помощью несъемной аппаратуры – брекет-системами (9 месяцев). Лечение проводилось поэтапно, что обеспечивало контролируемую коррекцию положения зубов и формирование функционально стабильной окклюзии. Основные этапы коррекции с применением съемных ортодонтических аппаратов состояли из расширения зубных дуг, наклона зубов (раунд-триппинга), сепараций эмали, а также последовательного перемещения зубов в сагиттальной и вертикальной плоскостях. Пациенты соблюдали

стандартный режим ношения элайнеров, который составляет не менее 20–22 часов в сутки. Контрольные осмотры проводились с интервалом 4–6 недель, в ходе которых осуществлялась проверка адаптации к текущему этапу лечения, оценка динамики перемещений зубов, а также качества припасовки аппаратуры в полости рта. У пациентов второй группы регистрация сигнала тканевого кровотока пародонта с датчика ультразвукового доплеровского аппарата «Минимакс-Допплер-К» проводилась до начала лечения (рис. 5а), через три месяца после установки аппаратуры (рис. 5б), затем через шесть месяцев (рис. 5в) и через девять месяцев (рис. 5г).

Полученные данные подвергались статистической обработке с использованием программ Microsoft Excel (версия 2201), SPSS 13 и PAST. Все численные показатели выражались в формате среднего значения и стандартного отклонения ($\text{mean} \pm \text{SD}$). Для параметров, соответствующих нормальному распределению, применялся t-критерий Стьюдента. Нормальность распределения проверялась с помощью критерия Шапиро – Уилка (табл.1).

По результатам анализа установлено, что во всех исследуемых группах распределение изучаемых параметров не отличалось статистически значимо от нормального ($p > 0,05$), что свидетельствует о соответствии данных нормальному закону распределения и обоснованности применения параметрических методов статистической обработки при дальнейшем межгрупповом сравнении.

Дополнительно проводилась визуальная оценка распределения количественных показателей с использованием ящикообразных диаграмм (рис. 6).

Исследование полностью соответствовало этическим стандартам Комитета по экспериментам на человеке Хельсинкской декларации 1975 года и ее пересмотренного варианта 2000 года.

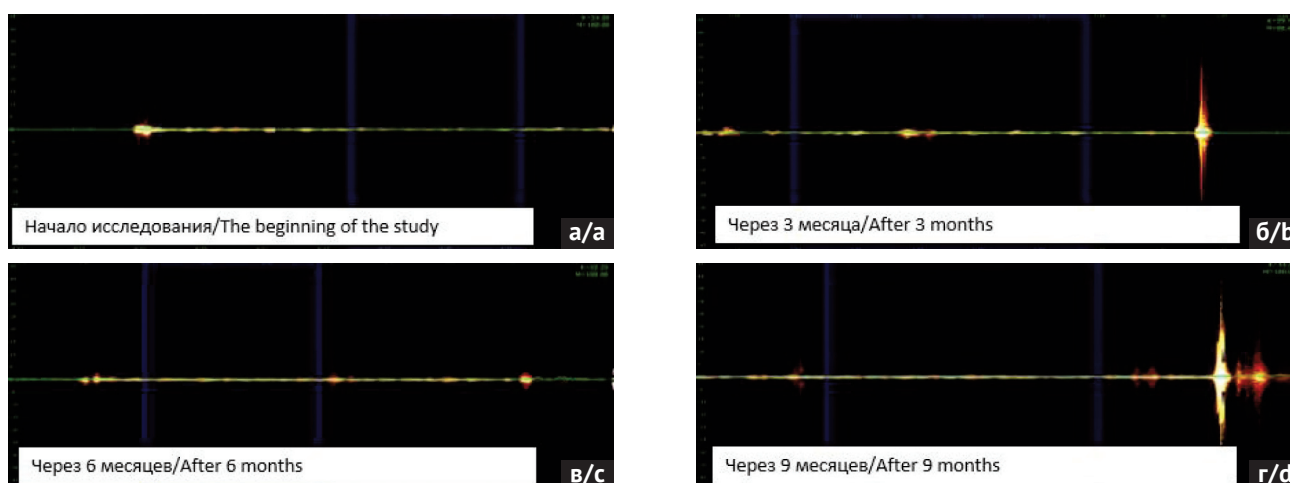


Рис. 5. Допплерограмма сигнала, зарегистрированного с использованием ультразвукового доплеровского флоуметра «Минимакс-Допплер-К» у пациентов второй группы при лечении с помощью съемной ортодонтической аппаратуры (элайнеров): а) начало исследования; б) через три месяца; в) через шесть месяцев; г) через девять месяцев (источник: составлено авторами)

Fig. 5. Doppler signal tracing recorded with the Minimax-Doppler-K ultrasonic Doppler flowmeter in Group 2 patients during aligner treatment: a) baseline; b) 3 months; c) 6 months; d) 9 months (Sources: compiled by the author)

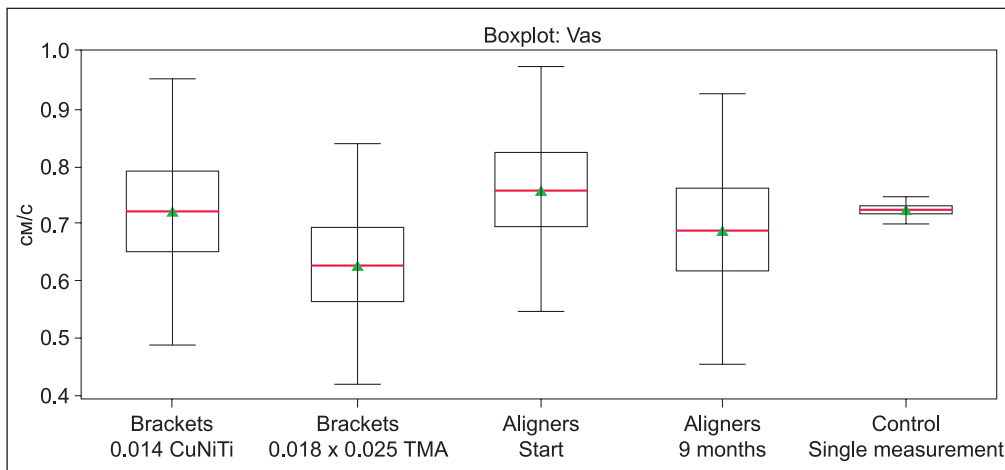


Рис. 6.

Ящикообразная диаграмма распределения показателя Vas в исследуемых группах (источник: составлено авторами)

Fig. 6.

Box plot showing the distribution of Vas across the study groups (Sources: compiled by the author)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В первой группе, где применялась несъемная ортодонтическая аппаратура (брекет-система), несмотря на регулярные профилактические мероприятия и мотивацию к уходу за полостью рта, средний индекс гигиены был несколько выше по сравнению с контрольной группой и составил $0,90 \pm 0,26$ балла, что свидетельствует о наличии незначительных затруднений в поддержании оптимального гигиенического статуса. У пациентов второй группы, использовавших съемную ортодонтическую аппаратуру (элайнеры), гигиеническое состояние оставалось стабильно высоким на протяжении всего периода наблюдения: среднее значение упрощенного индекса Грина – Вермиллиона составило $0,50 \pm 0,16$ балла, что соответствует хорошему уровню гигиены (рис. 7). Наличие съемной конструкции позволяло пациентам проводить полноценную гигиену полости рта без существенных затруднений.

У пациентов контрольной группы гигиеническое состояние полости рта было наилучшим: среднее значение упрощенного индекса Грина – Вермиллиона составило $0,40 \pm 0,12$ балла, что соответствует очень хорошему уровню гигиены. Исследование микроцир-

куляции в данной группе проводилось однократно, что позволило получить нормативные показатели для последующего сравнения с данными у пациентов, проходящих ортодонтическое лечение (табл. 2).

У пациентов первой группы исследования, проходящих ортодонтическое лечение с применением несъемной аппаратуры (брекет-систем), наиболее заметная сосудистая реакция отмечалась при переходе от круглых к прямоугольным дугам, особенно при установке дуги 0.018×0.025 CuNiTi, что сопровождалось изменением показателей RI (индекс резистентности) и PI (индекс пульсации) (табл. 3).

Так, скорость артериального кровотока (Vas) снижалась последовательно с $0,72 \pm 0,11$ см/с (при дуге 0.014 CuNiTi) до $0,55 \pm 0,13$ см/с (при 0.018×0.025 CuNiTi) (-23,6%), ($p < 0,05$ по сравнению с контрольной группой $0,724 \pm 0,046$), что отражает уменьшение интенсивности кровотока в тканях пародонта на данном этапе лечения [1, 3]. Объем артериального кровотока (Qas) уменьшался с $1,24 \pm 0,23$ мл/мин (при 0.014 CuNiTi) до $0,91 \pm 0,19$ мл/мин (при 0.018×0.025 CuNiTi) (спад на 26,6%). Средняя скорость кровотока (Vam) также последовательно снижалась от $0,45 \pm 0,09$ см/с до $0,35 \pm 0,08$ см/с (уменьшение на 22,2%), а периферическая скорость (Vakd) с $0,22 \pm 0,06$ см/с до

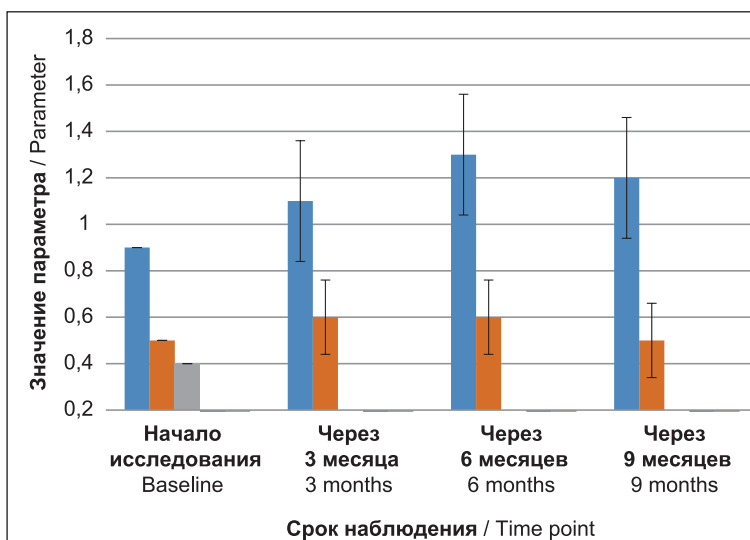


Рис. 7.

Изменения упрощенного индекса гигиены полости рта (OHI-S), данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения (mean $\pm$ SD) (источник: составлено авторами)

Fig. 7.

Changes in the Simplified Oral Hygiene Index (OHI-S). Data are presented as mean $\pm$ SD (Sources: compiled by the author)

Таблица 2. Показатели гемодинамики у пациентов контрольной группы, (n = 15), данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения (mean ± SD) (источник: составлено авторами)**Table 2.** Periodontal hemodynamic parameters in the control group (n = 15). Data are presented as mean ± SD (Sources: compiled by the author)

Показатель / Parameter	Показатели контрольной группы / Value, mean ± SD	Единицы измерения / Unit
Vas	0,724 ± 0,046	см/с cm/s
Qas	0,340 ± 0,004	мл/мин mL/min
Vam	0,435 ± 0,046	см/с cm/s
Vakd	0,405 ± 0,097	см/с cm/s
Qam	0,200 ± 0,004	мл/мин mL/min
PI	1,740 ± 0,349	–
RI	0,732 ± 0,194	–

Таблица 3. Показатели гемодинамики тканей пародонта у пациентов первой группы при лечении с помощью несъемной ортодонтической аппаратуры (брекет-систем) (n = 28), данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения (mean ± SD) (источник: составлено авторами)**Table 3.** Periodontal hemodynamic parameters in Group 1 during treatment with fixed orthodontic appliances (n = 28). Data are presented as mean ± SD (Sources: compiled by the author)

Показатель Parameter	0.014 CuNiTi	0.018 CuNiTi	0.014 × 0.025 CuNiTi	0.018 × 0.025 CuNiTi	0.018 × 0.025 TMA	Единицы измерения Unit
Vas	0,72 ± 0,11	0,64 ± 0,10	0,59 ± 0,12	0,55 ± 0,13	0,63 ± 0,10	см/с / cm/s
Qas	1,24 ± 0,23	1,06 ± 0,21	0,98 ± 0,20	0,91 ± 0,19	1,05 ± 0,21	мл/мин / mL/min
Vam	0,45 ± 0,09	0,41 ± 0,08	0,37 ± 0,07	0,35 ± 0,08	0,40 ± 0,07	см/с / cm/s
Vakd	0,22 ± 0,06	0,19 ± 0,05	0,16 ± 0,04	0,15 ± 0,04	0,18 ± 0,04	см/с / cm/s
Qam	0,78 ± 0,15	0,65 ± 0,13	0,59 ± 0,12	0,53 ± 0,11	0,64 ± 0,12	мл/мин / mL/min
PI	2,10 ± 0,30	2,004 ± 0,40	2,6 ± 0,50	2,80 ± 0,50	2,50 ± 0,40	–
RI	0,720 ± 0,040	0,750 ± 0,050	0,780 ± 0,050	0,800 ± 0,060	0,760 ± 0,040	–

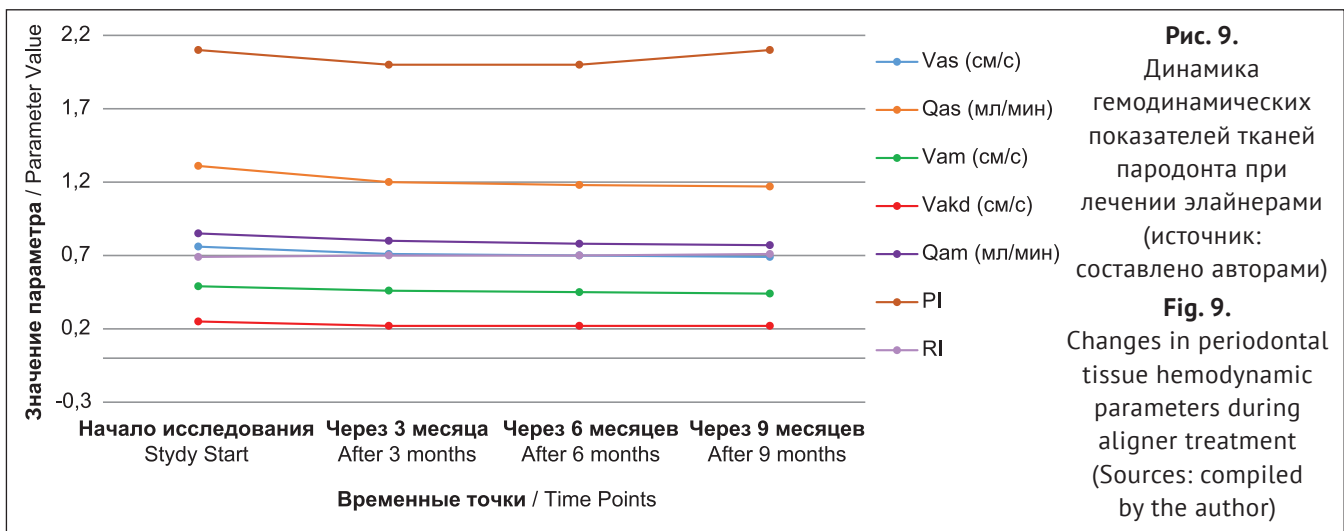
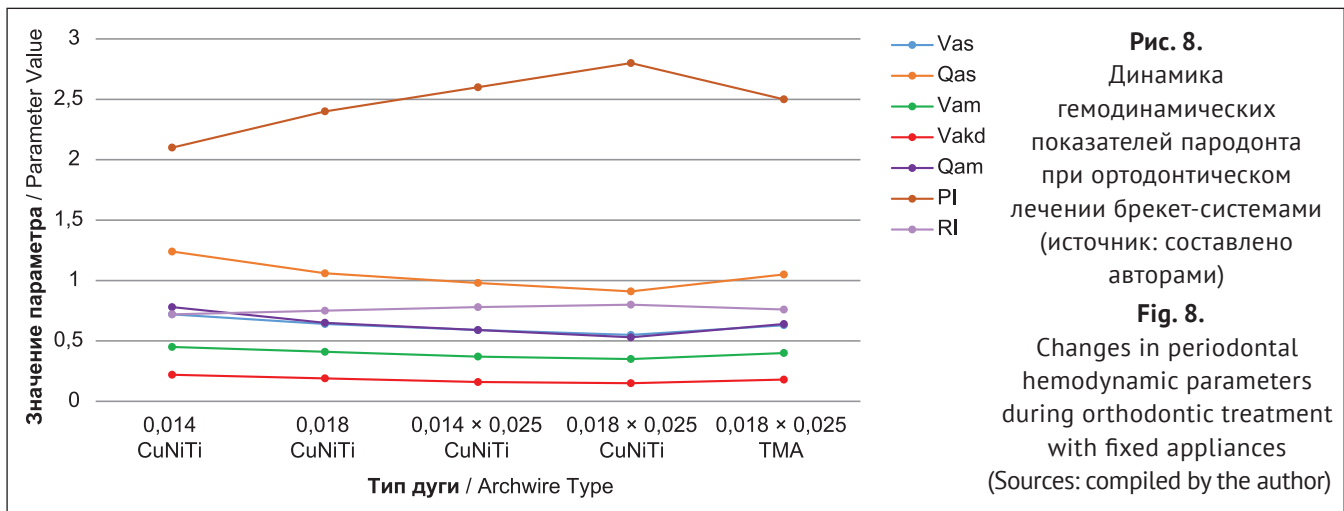
Таблица 4. Показатели микроциркуляции тканей пародонта у пациентов второй группы при лечении с помощью съемной ортодонтической аппаратуры (элайнеров) (n = 30), данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения (mean ± SD) (источник: составлено авторами)**Table 4.** Periodontal hemodynamic parameters in Group 2 during aligner treatment (n = 30). Data are presented as mean ± SD (Sources: compiled by the author)

Показатель Parameter	Начало исследования Baseline	Через 3 месяца 3 months	Через 6 месяцев 6 months	Через 9 месяцев 9 months	Единицы измерения Unit
Vas	0,76 ± 0,10	0,71 ± 0,12	0,70 ± 0,11	0,69 ± 0,11	см/с / cm/s
Qas	1,31 ± 0,22	1,20 ± 0,21	1,18 ± 0,19	1,17 ± 0,18	мл/мин / mL/min
Vam	0,49 ± 0,07	0,46 ± 0,08	0,45 ± 0,07	0,44 ± 0,07	см/с / cm/s
Vakd	0,25 ± 0,05	0,22 ± 0,05	0,22 ± 0,04	0,22 ± 0,04	см/с / cm/s
Qam	0,85 ± 0,14	0,80 ± 0,12	0,78 ± 0,11	0,77 ± 0,11	мл/мин / mL/min
PI	1,90 ± 0,30	2,00 ± 0,30	2,0 ± 0,30	2,10 ± 0,30	–
RI	0,690 ± 0,030	0,700 ± 0,040	0,700 ± 0,040	0,710 ± 0,040	–

0,15 ± 0,04 см/с (на 31,8%). Эти изменения указывают на уменьшение скорости кровотока в мелких сосудах, вероятно связанное с функциональной реакцией сосудистого русла на механическую нагрузку [9, 10]. Объем среднего артериального кровотока (Qam) снижался с 0,78 ± 0,15 мл/мин до 0,53 ± 0,11 мл/мин (на 32,1%), что отражает общее снижение перфузии тканей пародонта. Индексы пульсации (PI) и резистентности (RI), отражающие сосудистое сопротивление, увеличивались при переходе в ортодонтическое ле-

чении от тонких круглых к жестким прямоугольным CuNiTi дугам (p < 0,05 для различий между этапами лечения) : PI вырос с 2,1 ± 0,30 до 2,8 ± 0,50 (p < 0,05 между этапами лечения и контрольной группой), RI – с 0,72 ± 0,04 до 0,80 ± 0,06 (+11,1%), что отражает повышение сосудистого сопротивления в тканях пародонта на данном этапе лечения.

Наблюдение на этапе применения дуги 0.018 × 0.025 TMA показало тенденцию к стабилизации показателей гемодинамики тканей пародонта: значения



PI и RI снижались по сравнению с предыдущей фазой ($p < 0,05$ между CuNiTi и TMA этапами), что указывает на снижение сосудистого сопротивления (табл. 3).

При использовании дуг $0,018 \times 0,025$ TMA показатель Vas возрастал до $0,63 \pm 0,10$ см/с (+14,5%) по сравнению с прямоугольной CuNiTi. При переходе к дугам $0,018 \times 0,025$ TMA наблюдается повышение Qas до $1,05 \pm 0,21$ мл/мин (+15,4%), что указывает на улучшение благодаря более физиологичному распределению нагрузки [1, 3]. Это может свидетельствовать о более щадящей нагрузке со стороны TMA-дуги в финальной стадии лечения. При применении дуг TMA показатели Vam и Vakd возросли до $0,40 \pm 0,07$ см/с и $0,18 \pm 0,04$ см/с, соответственно. Дуги $0,018 \times 0,025$ TMA обеспечивали увеличение Qam до $0,64 \pm 0,12$ мл/мин (+20,7%). При использовании дуг TMA индексы пульсации (PI) и резистентности (RI), отражающие сосудистое сопротивление снижались до $2,5 \pm 0,40$ (PI) и $0,76 \pm 0,040$ (RI), что говорит о частичном восстановлении сосудистой эластичности и снижении сопротивления [1, 3].

В противоположность лечению с помощью несъемной аппаратуры (брекет-системы), ортодонтическое лечение элайнерами сопровождалось более мягкими изменениями параметров гемодинамики

тканей пародонта ($p < 0,05$ по сравнению с брекет-системами) (табл. 4).

На начальном этапе скорость артериального кровотока (Vas) составляла $0,76 \pm 0,10$ см/с, на втором – снижалась до $0,71 \pm 0,12$ см/с (–6,6%), а на третьем этапе – до $0,69 \pm 0,11$ см/с (–9,2% относительно начального уровня). Подобное постепенное снижение связано с умеренным механическим воздействием, оказываемым элайнерами, которое не приводит к значительным нарушениям кровотока [1].

Объем артериального кровотока (Qas) на первом этапе был $1,31 \pm 0,22$ мл/мин, затем уменьшился до $1,20 \pm 0,21$ мл/мин (–8,4%) и к третьему этапу составил $1,17 \pm 0,18$ мл/мин (–10,7%), что указывает на умеренные изменения перфузии при сохранении общей стабильности кровоснабжения.

Средняя скорость кровотока (Vam) снижалась с $0,49 \pm 0,07$ см/с до $0,44 \pm 0,07$ см/с (–10,2%), а периферическая скорость (Vakd) – с $0,25 \pm 0,05$ см/с до $0,22 \pm 0,04$ см/с (–12,0%) на последнем этапе, оставаясь выше, чем в первой группе. Объем среднего артериального кровотока (Qam) уменьшился с $0,85 \pm 0,14$ мл/мин до $0,77 \pm 0,11$ мл/мин (–9,4%), что подтверждает щадящее воздействие элайнеров на сосудистую систему пародонта ($p < 0,05$ по сравнению с брекет-системами).

Индекс пульсации (PI) при лечении на элайнерах изменился незначительно: с $1,90 \pm 0,30$ до $2,10 \pm 0,40$, а индекс резистентности (RI) увеличился с $0,690 \pm 0,030$ до $0,71 \pm 0,040$, что свидетельствует о минимальном повышении сосудистого сопротивления.

Сравнение гемодинамических параметров у пациентов на брекет-системах и элайнерах с контрольными значениями выявило существенные различия. При применении брекет-систем в фазе применения дуги 0.018×0.025 CuNiTi максимальная систолическая скорость кровотока (Vas) снижалась до $0,55$ см/с, что продемонстрировало уменьшение значения на 24% по сравнению с нормой ($0,724 \pm 0,046$). Пульсационный индекс (PI) при этом увеличивался до 2,8, что превышало контрольное значение ($1,740 \pm 0,349$) примерно на 60,9%, а индекс резистентности (RI) увеличивался до 0,80. Эти изменения указывают на рост периферического сосудистого тонуса. Полученные изменения указывают на более выраженное напряжение сосудистого русла тканей пародонта на механическое воздействие ортодонтической аппаратуры.

В ходе исследования было установлено, что при ортодонтическом лечении с помощью несъемной аппаратуры (брекет-системы) изменения параметров тканевого кровотока зависят от материала и сечения ортодонтических дуг (рис. 8).

У пациентов, проходивших лечение с применением элайнеров, отклонения от физиологических значений были значительно менее выраженными ($p > 0,05$ для большинства показателей между этапами). На третьем этапе лечения Vas снижалась до $0,69$ см/с ($-4,7\%$ относительно нормы), PI составил 2,1 что соответствовало умеренному увеличению по сравнению с контролем ($+20,7\%$), а RI увеличивался до $0,71$, оставаясь близким к контрольному значению. Несмотря на выявленные изменения, значения Vas и объемы кровотока оставались близкими к физиологическим значениям, чем при лечении брекет-системами (рис. 9).

Таким образом, в ходе исследования было продемонстрировано, что съемная ортодонтическая аппаратура (элайнеры) обеспечивает мягкое воздействие на ткани пародонта и гемодинамический профиль, более приближенный к контрольным значениям, по

сравнению с несъемной ортодонтической аппаратурой (брекет-системой), где наблюдаются более выраженные нарушения кровотока и повышенное сосудистое сопротивление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования выявлены значимые изменения параметров гемодинамики тканей пародонта у пациентов, проходящих ортодонтическое лечение с применением несъемной ортодонтической аппаратуры (брекет-системы) и съемной аппаратуры (элайнеров). При переходе от круглых тонких дуг CuNiTi к более жестким прямоугольным дугам CuNiTi наблюдалось снижение скорости и объема кровотока, а также увеличение значений индексов PI и RI, что отражает усиление сосудистого сопротивления в ответ на увеличение механической нагрузки. Использование дуг из титано-молибденового сплава (ТМА) сопровождалось частичной стабилизацией и улучшением показателей тканевого кровотока, что связано с их большей гибкостью и способностью снижать компрессию сосудов.

Анализ данных показал, что при переходе от тонких круглых дуг 0.014 CuNiTi к прямоугольным дугам 0.018×0.025 CuNiTi наблюдалось наиболее выраженное снижение показателей гемодинамики, однако при использовании дуг 0.018×0.025 ТМА параметры демонстрировали тенденцию к нормализации параметров. На этом фоне применение элайнеров продемонстрировало наименьшее отклонение от нормальных значений. Vas, Qas, Vam и другие параметры снижались не более чем на 5–11% от контрольных значений, а PI и RI демонстрировали незначительные колебания и оставались близкими к контрольным уровням, что отражает щадящее воздействие системы элайнеров на сосудистую систему пародонта и сохранение стабильной микроциркуляции.

Результаты исследования подчеркивают необходимость при выборе ортодонтической аппаратуры уделять внимание не только эстетическим аспектам, но и функциональным параметрам состояния здоровья пациента, учитывая возможные риски и последствия ортодонтического лечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриенко ИВ. Результаты оценки ультразвуковой доплерографии на этапах ортодонтического лечения. *Стоматология детского возраста и профилактика*. 2022;22(2):128–132.

<https://doi.org/10.33925/1683-3031-2022-22-2-128-132>

2. Овчаренко ЕС, Самохвалова ИД, Перова МД, Еричев ВВ, Майчуб ИЮ, Мелехов СВ. Возможности контроля состояния тканей пародонта при планировании и выполнении ортодонтического перемещения зубов. *Пародонтология*. 2022;27(2):171–182.

<https://doi.org/10.33925/1683-3759-2022-27-2-171-182>

3. Ткаченко ТБ, Косач СА, Солдатов ЛН, Бархатова ЧТ. Исследование микроциркуляции тканей пародонта у пациентов с аномалиями положения зубов в процессе ортодонтического лечения. *Институт стоматологии*. 2022;4(97):55–57. Режим доступа:

https://elibrary.ru/download/elibrary_50085798_17348153.pdf

4. Кереева ЗВ, Тхазаплизева МТ, Шхагапсоева КА, Карданова ЛВ, Карданова КХ. Влияние ортодонтического лечения на состояние тканей пародонта.

донта (обзор литературы). *Клиническая медицина*. 2021;8:174-179.

<https://doi.org/10.37882/2223-2966.2021.08.13>

5. Евневич КА. Оценка микроциркуляции крови в десне при ортодонтическом лечении пациентов с заболеваниями пародонта. *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*. 2018;17(3): 222-225. Режим доступа:

https://elibrary.ru/download/elibrary_35722179_89536569.pdf

6. Robertson L, Kaur H, Fagundes NCF, Romanyk D, Major P, Flores MC. Effectiveness of clear aligner therapy for orthodontic treatment: A systematic review. *Orthod Craniofac Res*. 2020;23(2):133-142.

<https://doi.org/10.1111/ocr.12353>

7. Иорданишвили АК. Истоки прижизненной функциональной диагностики гемомикроциркуляции в тканях пародонта в норме и при патологии в отечественной стоматологии. *Пародонтология*. 2019;24(3):203-206.

<https://doi.org/10.33925/1683-3759-2019-24-3-203-206>

8. Zasciurinskiene E, Lindsten R, Slotte C, Bjerklin K. Orthodontic treatment in periodontitis-susceptible subjects: a systematic literature review. *Clin Exp Dent Res*. 2016;2(2):162-173.

<https://doi.org/10.1002/cre2.28>

9. Jati AS, Furquim LZ, Consolaro A. Gingival recession: Its causes and types, and the importance of orthodontic treatment. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2016;21(3):18-29.

<https://doi.org/10.1590/2177-6709.21.3.018-029>

10. Орехова ЛЮ, Лобода ЕС, Яманидзе Н. Значение ультразвуковой доплерографии в динамике лече-

ния воспалительных заболеваний пародонта. *Евразийский союз ученых*. 2016;30-1:89-94. Режим доступа:

https://elibrary.ru/download/elibrary_27316055_68419473.pdf

11. Орехова ЛЮ, Петров АА, Лобода ЕС, Березкина ИВ, Шадрин КВ. Изучение функционального состояния системы микроциркуляторного русла в тканях пародонта у лиц различных возрастных групп. *Стоматология детского возраста и профилактика*. 2020;20(2):88-94.

<https://doi.org/10.33925/1683-3031-2020-20-2-88-94>

12. Кочконян ТС, Доменюк ДА, Давыдов БН, Иванюта ОО, Доменюк СД. Состояние микроциркуляции у пациентов с заболеваниями пародонта и нарушениями окклюзионных взаимоотношений зубных рядов. *Медицинский алфавит*. 2024;(1):34-48.

<https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-1-34-48>

13. Yassir YA, Nabbat SA, McIntyre GT, Bearn DR. Clinical effectiveness of clear aligner treatment compared to fixed appliance treatment: an overview of systematic reviews. *Clin Oral Investig*. 2022;26(3):2353-2370.

<https://doi.org/10.1007/s00784-021-04361-1>

14. Федорова АВ, Солдатов ВС, Солдатова ЛН, Иорданишвили АК. Прикладные аспекты применения элайнеров у детей. *Институт стоматологии*. 2024;3(104): 32-35. Режим доступа:

https://elibrary.ru/download/elibrary_73733831_98784310.pdf

15. Кречина ЕК, Смирнова ТН. Современные подходы к оценке показателей микрогемодинамики в тканях пародонта. *Стоматология*. 2017; 96(1):28-32.

<https://doi.org/10.17116/stomat201796128-32>

REFERENCES

1. Dmitrienko I.V. Doppler ultrasound assessment results at stages of orthodontic treatment. *Pediatric dentistry and dental prophylaxis*. 2022;22(2):128-132 (In Russ.).

<https://doi.org/10.33925/1683-3031-2022-22-2-128-132>

2. Ovcharenko E.S., Samokhvalova I.D., Perova M.D., Erihev V.V., Maychub I.Y., Melekhov S.V. Possibilities of periodontal condition control during orthodontic planning and movement of teeth. *Parodontologiya*. 2022;27(2):171-182 (In Russ.).

<https://doi.org/10.33925/1683-3759-2022-27-2-171-182>

3. Tkachenko T.B., Kosach S.A., Soldatova L.N., Barkhatova Ch.T. Identification of Parodontum tissue's microcirculation in patients with dental dystopia during orthodontic treatment. *The Dental Institute*. 2022;4(97):55-57 (In Russ.). Available from:

https://elibrary.ru/download/elibrary_50085798_17348153.pdf

4. Karefova Z.V., Tk hazaplizcheva M.T., Shkhagapsoeva K.A., Kardanov K.V., Kardanov K.X. Influence of orthodontic treatment on the state of periodontal tissues. *Clinical Medicine (Russian Journal)*. 2021;8:174-179 (In Russ.).

<https://doi.org/10.37882/2223-2966.2021.08.13>

5. Evnevich K.A. Evaluation of gingival blood microcirculation during orthodontic treatment of patients with periodontal disease. *Bulletin of the Smolensk State Medical Academy*. 2018;(3):222-225 (In Russ.). Available from:

https://elibrary.ru/download/elibrary_35722179_89536569.pdf

6. Robertson L, Kaur H, Robertson L, Kaur H, Fagundes NCF, Romanyk D, Major P, Flores MC. Effectiveness of clear aligner therapy for orthodontic treatment: A systematic review. *Orthod Craniofac Res*. 2020;23(2):133-142.

<https://doi.org/10.1111/ocr.12353>

7. Iordanishvili A.K. The origins of in vivo functional diagnosis of hemomicrocirculation in periodontal tissues in normal and pathological conditions in domestic dentistry. *Parodontologiya*. 2019;24(3):203-206 (In Russ.).

<https://doi.org/10.33925/1683-3759-2019-24-3-203-206>

8. Zasciurinskiene E, Lindsten R, Slotte C, Bjerklin K. Orthodontic treatment in periodontitis-susceptible subjects: a systematic literature review. *Clin Exp Dent Res*. 2016;2(2):162-173.

<https://doi.org/10.1002/cre2.28>

9. Jati AS, Furquim LZ, Consolaro A. Gingival recession: Its causes and types, and the importance of orth-

odontic treatment. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2016;21(3):18-29.

<https://doi.org/10.1590/2177-6709.21.3.018-029>

10. Orekhova L.Yu., Loboda E.S., Yamanidze N. The significance of the ultrasound doppler during the treatment of inflammatory periodontal diseases. 2016;30-1:89-94 (In Russ.). Available from:

https://elibrary.ru/download/elibrary_27316055_68419473.pdf

11. Orekhova L.Yu., Petrov A.A., Loboda E.S., Berezina I.V., Shadrina K.V. Study of functional state of microcirculatory channel system in periodontal tissues in persons of different age groups. *Pediatric dentistry and dental prophylaxis*. 2020;20(2):88-94 (In Russ.).

<https://doi.org/10.33925/1683-3031-2020-20-2-88-94>

12. Kochkonyan T.S., Domenyuk D.A., Davydov B.N., Ivanyuta O.O., Domenyuk S.D. The state of microcirculation in patients with periodontal diseases and disorders of the occlusal relationships of the dentition. *Medical alphabet*. 2024;(1):34-48 (In Russ.).

<https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-1-34-48>

13. Yassir YA, Nabbat SA, McIntyre GT, Bearn DR. Clinical effectiveness of clear aligner treatment compared to fixed appliance treatment: an overview of systematic reviews. *Clin Oral Investig*. 2022;26(3):2353-2370.

<https://doi.org/10.1007/s00784-021-04361-1>

14. Fedorova A.V., Soldatov V.S., Soldatova L.N., Jordanishvili A.K. Practical aspects of use of aligners in children. *The Dental Institute*. 2024;3(104):32-35 (In Russ.). Available from:

https://elibrary.ru/download/elibrary_73733831_98784310.pdf

15. Krechina E.K., Smirnova TN. Modern approaches to periodontal microcirculatory parameters assessment. *Stomatology*. 2017;96(1):28-32. (In Russ.)

<https://doi.org/10.17116/stomat201796128-32>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Автор, ответственный за связь с редакцией:

Федорова Анастасия Вадимовна, врач-ортодонт стоматологической клиники ООО «Альфа-Дент», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Для переписки: ortofedorova@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7785-7617>

Ткаченко Татьяна Борисовна, доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой стоматологии детского возраста и ортодонтии Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Для переписки: decanstom@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9157-3845>

Солдатова Людмила Николаевна, доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии Первого

Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И. П. Павлова, старший преподаватель кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Для переписки: slnzub@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-2179>

Тухужева Карина Витальевна, студент стоматологического факультета Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Для переписки: tukhuzheva.karina@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4814-5519>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Corresponding author:

Anastasiia V. Fedorova, DMD, Orthodontist, dental clinic "Alfa-Dent" LLC, Saint Petersburg, Russian Federation

For correspondence: ortofedorova@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7785-7617>

Tatyana B. Tkachenko, DMD, PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation

For correspondence: decanstom@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9157-3845>

Lyudmila N. Soldatova, DMD, PhD, DSc, Docent, Professor, Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Senior Lecturer, Department of Maxillofa-

cial Surgery and Surgical Dentistry, S. M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russian Federation

For correspondence: slnzub@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-2179>

Karina V. Tukhuzheva, Student, Dental School, Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russian Federation

For correspondence: tukhuzheva.karina@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4814-5519>

Поступила / Article received 26.03.2026

Поступила после рецензирования / Revised 10.06.2026

Принята к публикации / Accepted 19.06.2026

Вклад авторов в работу. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE, а также согласны принять на себя ответственность за все аспекты работы: Федорова А. В. – проведение исследования, визуализация, написание черновика рукописи; Ткаченко Т. Б. – разработка концепции, разработка методологии, написание рукописи – рецензирование и редактирование, научное руководство; Солдатова Л. Н. – валидация результатов, курирование данных, формальный анализ; Тухужева К. В. – курирование данных, формальный анализ, проведение исследования.

Authors' contribution. All authors confirm that their contributions comply with the international ICMJE criteria and agree to take responsibility for all aspects of the work. A. V. Fedorova – investigation, visualization, writing (original draft preparation); T. B. Tkachenko – conceptualization, methodology development, writing (review and editing), supervision; L. N. Soldatova – validation, data curation, formal analysis; K.V. Tukhuzheva – data curation, formal analysis, investigation.

