

doi: 10.25005/2074-0581-2022-24-1-59-65

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНЕРА, СПРОЕКТИРОВАННОГО МЕТОДОМ САД, ДЛЯ СВЕТОВОДНОГО ЗОНДА ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ДИАГНОСТИКЕ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ ПАРОДОНТА

А.А. ФЛЕНКИН, С.Н. ЕРМОЛЬЕВ

Кафедра пародонтологии, Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

Цель: оценка эффективности регистрации микроциркуляции пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) с использованием индивидуального позиционера, спроектированного методом компьютерного моделирования и изготовленного с применением стереолитографии.

Материал и методы: обследовано 66 молодых человек в возрасте 21-23 лет с клинически здоровым пародонтом. Первую группу составили обследуемые, которым применялся индивидуальный позиционер, изготовленный из оттискового С-силикона. Вторую группу составили обследуемые, которым применялся индивидуальный позиционер, изготовленный из фотополимера методом стереолитографии с применением компьютерного проектирования. Для оценки эффективности регистрации микроциркуляции пародонта методом ЛДФ анализировались расчётные параметры базовых показателей микроциркуляции: ПМ – средняя величина перфузии крови тканей пародонта; δ – среднее колебание перфузии относительно среднего значения потока крови и коэффициент вариации Kv. Статистическая обработка результатов проводилась в программном обеспечении «Statistica 13».

Результаты: статистический анализ базовых показателей микроциркуляции тканей пародонта по данным ЛДФ при применении различных индивидуальных позиционеров показал статистически значимые различия ($p < 0,05$). Значение медианы ПМ при применении силиконового позиционера в I группе было в 1,6 раза ниже, чем при применении фотополимерного позиционера во II группе. Значение медианы показателя σ при применении силиконового позиционера в I группе было выше в 2,3 раза, чем при применении фотополимерного позиционера во II группе. Значение медианы показателя Kv при применении силиконового позиционера в I группе оказалось выше в 2,5 раза, чем при применении фотополимерного позиционера во II группе.

Заключение: применение фотополимерного позиционера, в отличие от силиконового, обеспечивает постоянное фиксированное расстояние между тканями пародонта и световым зондом, исключает смещение световода, а также устраняет давление на ткани пародонта во время исследования, что обеспечивает высокую прецизионность лазерной диагностики.

Ключевые слова: функциональная диагностика, ЛДФ, микроциркуляция, пародонт, САД, стереолитография.

Для цитирования: Фленкин АА, Ермольев СН. Применение индивидуального позиционера, спроектированного методом САД, для световодного зонда при лазерной диагностике микроциркуляции пародонта. *Вестник Авиценны*. 2022;24(1):59-65. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2022-24-1-59-65>

USE A CUSTOM-MADE CAD PROBE HOLDERS FOR PERIODONTAL MICROCIRCULATION ASSESSMENT BY LASER DOPPLER FLOWMETRY

A. A. FLENKIN, S.N. ERMOLYEV

Department of Periodontology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Moscow, Russian Federation

Objective: To perform laser Doppler flowmetry (LDF) periodontal microcirculation assessment using custom-made, computer-aided-designed probe holders manufactured by stereolithography (SLA).

Methods: 66 young people aged 21-23 years old with clinically healthy periodontium were examined. The first group consisted of subjects where a custom-made probe holder was fabricated using a silicone impression mould technique. The second group consisted of subjects where a custom-made computer-aided-design probe holder made of a photopolymer by SLA was used. The basic microcirculation parameters were analysed to evaluate periodontal microcirculation by the LDF method: the PM – average perfusion value in periodontal tissues; δ – the average square deviation of the amplitude of blood flow fluctuations from the arithmetic mean value, Kv – coefficient of variation (%). Statistical processing of the results was carried out using the software package Statistica 13.0 (StatSoft Inc, USA).

Results: Statistical analysis results indicated that the functional characteristics of the periodontal microcirculation using various custom-made fibre optic probe holders used in capillary blood flow monitoring had significant differences $p < 0.05$. The value of the median PM when using a silicone holder in group I was 1.6 times lower than when using a photopolymer holder in group II. The median value of the σ index when using a silicone holder in group I was 2.3 times higher than when using a photopolymer holder in group II. The median value of the Kv when using a silicone holder in group I was 2.5 times higher than when using a photopolymer holder in group II.

Conclusion: A photopolymer probe holder, unlike a silicone one, provides a constant fixed distance between the periodontal tissues and the LDF probe, prevents movement or probe displacement, and makes it possible to avoid pressure on the gingival tissue, ensuring high accuracy of laser diagnostics.

Keywords: Functional diagnostics, LDF, microcirculation, periodontium, CAD, stereolithography.

For citation: Flenkin AA, Ermolyev SN. Primenenie individual'nogo pozitsionera, sproektirovannogo metodom CAD, dlya svetovodnogo zonda pri lazernoy diagnostike mikrotsirkulyatsii parodontia [Use a custom-made CAD probe holders for periodontal microcirculation assessment by laser Doppler flowmetry]. *Vestnik Avitsenny [Avicenna Bulletin]*. 2022;24(1):59-65. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2022-24-1-59-65>

ВВЕДЕНИЕ

Нарушения микроциркуляции являются важным звеном в развитии патологических процессов в тканях пародонта. Ранняя диагностика позволяет выявить скрытые процессы, происходящие при нарушениях в тканях пародонта за счёт реакции микрососудов на выброс биологически активных веществ в сосудистое русло, вызывающих вазодилатацию, вазоконстрикцию, ишемию или стаз. Одним из ранних признаков нарушения микроциркуляции является локальный спазм артериол, застойные явления в венулах, а также снижение интенсивности кровотока в нутритивном звене капиллярного русла. При развитии патологического процесса центральным звеном в развитии микроциркуляторных нарушений является расстройство капиллярного кровотока, обычно начинающееся со снижения его интенсивности, а заканчивающееся развитием капиллярного стаза в нутритивном звене микроциркуляторного русла [1-5].

Объективная регистрация состояния именно капиллярного кровотока важна как для оценки системных и локальных расстройств микроциркуляции, так и для прогноза течения патологических состояний в пародонте. Для выявления патологических состояний в пародонте применяется лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ). Методика основана на регистрации уровня капиллярного кровотока в тканях пародонта при зондировании их лазерным излучением и определении параметров микроциркуляции крови по отражённому излучению от движущихся в микрососудах эритроцитов. ЛДФ позволяет определять уровень перфузии кровью тканей пародонта с целью диагностики степени нарушений микроциркуляции [6, 7].

Доставка лазерного излучения к ткани и приём отражённого сигнала в приборах, реализующих метод ЛДФ, осуществляются с помощью световодного зонда, состоящего из трёх световодных волокон. Одно из них используется для передачи зондирующего излучения, а два других – являются приёмными, по которым отражённое излучение доставляется к прибору для дальнейшей обработки. Объём зондируемой ткани в методе ЛДФ определяется геометрией и оптическими параметрами световодного зонда и составляет, как правило, около 1 мм³. В этом объёме число эритроцитов может достигать нескольких десятков тысяч [8].

В оптическом волокне, применяемом в современных аппаратах лазерной диагностики микроциркуляции, должно обеспечиваться фиксированное расстояние между исследуемым объектом и излучателем, исключаться смещение оптоволоконного зонда, а также давление на ткани пародонта во время исследования. Это приводит к необходимости применения индивидуальных позиционеров для обеспечения стабильной фиксации оптоволоконного зонда. Силиконовые позиционеры, получившие широкое распространение в настоящее время [9], имеют ряд недостатков, в связи с чем возникла необходимость разработки нового способа позиционирования оптоволоконного зонда [10].

На сегодняшний день в стоматологии широко применяется компьютерное проектирование – computer-aided design (CAD) и 3D печать. Использование данных методик для решения проблемы позиционирования оптоволоконного зонда при лазерной диагностике пародонта является актуальным [11].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка эффективности регистрации микроциркуляции пародонта методом ЛДФ с использованием индивидуального позиционера, спроектированного методом компьютерного проектирования и изготовленного с применением стереолитографии.

INTRODUCTION

Microcirculation disorders are an essential link in developing pathological processes in periodontal tissues. Early diagnosis identifies hidden pathological processes in periodontal tissues associated with microvessels' response upon releasing biologically active substances into the vascular bed, causing vasodilation, vasoconstriction, ischemia or stasis. One of the early signs of microcirculation disorders is a local spasm of arterioles, congestion in venules, and a decrease in the intensity of blood flow in the nutritive capillary bed. A central link in microcirculatory disorders is decreased intensity of capillary blood flow, leading to the development of capillary stasis in the nutritive capillary bed [1-5].

Objective assessment of capillary blood flow is essential for diagnosing systemic and local microcirculation disorders and predicting the periodontal pathological conditions outcomes. Laser Doppler flowmetry (LDF) is currently used to detect pathological conditions in the periodontium by recording capillary blood flow in periodontal tissues. The technique is based on probing tissue with laser radiation and determining blood microcirculation parameters by reflected radiation from erythrocytes moving in microvessels. Therefore, LDF estimates periodontal tissues' blood perfusion to assess the degree of microcirculatory dysfunction [6, 7].

LDF is carried out by illuminating tissue with low-power laser light using a probe containing three optical fibre light guides. Laser light from one fibre is scattered within the tissue while other fibres collect the light reflected from the tissue for photometry and further processing. The fibre optic laser probe's geometry and optical parameters determine the probed tissue volume, approximately 1.0 mm³. In this volume, the concentration of moving erythrocytes can reach several tens of thousands [8].

In modern devices for laser diagnostics of microcirculation, a constant fixed distance between the periodontal tissues and the LDF probe should be ensured. In addition, the displacement of the fibre optic probe and pressure on periodontal tissues during the study should be avoided. To secure the probe in the appropriate position, custom-made probe holders to ensure stable fixation of the fibre optic probe were used. However, silicone holders, which are currently widely used [9], have several disadvantages, and therefore it became necessary to develop a new method for correct positioning of fibre optic probes [10].

Computer-aided design (CAD) and 3D printing are widely used in dentistry. Therefore, using these techniques to solve the problem of positioning a fibre optic probe in laser diagnostics of the periodontium is relevant [11].

PURPOSE OF THE STUDY

LDF periodontal microcirculation assessment using custom-made, computer-aided-designed probe holders manufactured by stereolithography (SLA).

METHODS

The study was carried out at the Department of Periodontology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Moscow, Russia. 66 young people aged 21-23 years with clinically healthy periodontium were selected. Ethical principles were observed during the study, and

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование осуществлялось на кафедре пародонтологии Клинического центра челюстно-лицевой, реконструктивно-восстановительной и пластической хирургии Клиники МГМСУ им. А.И. Евдокимова. Были обследованы 66 молодых человек в возрасте 21-23 лет с клинически здоровым пародонтом. При проведении исследования соблюдены этические принципы, получено добровольное письменное согласие пациентов на обследование.

Первую группу составили 33 человека (средний возраст $21,4 \pm 0,12$ лет), которым применялся индивидуальный позиционер для лазерного световода, изготовленный из оптического С-силикона [9].

Вторую группу также составили 33 человека (средний возраст $21,53 \pm 0,13$ лет), которым применялся индивидуальный позиционер, изготовленный из фотополимера методом компьютерного проектирования, в программном обеспечении для трёхмерного моделирования хирургических шаблонов «Blue Sky Plan» версия 4.8.41. Распечатка позиционера осуществлялась на 3D принтере, работающем по технологии стереолитографии SLA (Stereolithography) [10, 11].

Регистрация состояния микроциркуляции крови в пародонте изучалась методом ЛДФ в состоянии физиологического покоя аппаратом ЛАКК-М Лазма (Россия). Обработка данных осуществлялась с применением программы Диастом (Россия) [8]. Запись ЛДФ-грамм проводилась в зоне свободной десны ближе к маргинальной части пародонта, в течение 5 минут с применением светового зонда диаметром 3,2 мм в красном диапазоне лазерного излучения с длиной волны 0,63 мкм.

Для оценки микроциркуляции пародонта, анализировались расчетные показатели: ПМ (средняя величина перфузии объёма крови тканей пародонта) в перфузионных единицах – пф. ед.; δ (среднее колебание перфузии) – пф. ед.; Kv (коэффициент вариации) в процентах – % [8].

Статистическая обработка результатов проводилась в программном обеспечении «Statistica 13» (StatSoft Inc., USA). При описании количественного признака, распределение которого отличалось от нормального, использовались медиана и межквартильный интервал (Me [25q; 75q]), для графического отображения данных – ящичковая диаграмма. Сравнение групп проводилось непараметрическим методом для пары независимых выборок – по U-критерию Манна-Уитни. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$ [12-15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показала статистическая обработка полученных результатов, диагностические характеристики микроциркуляции тканей пародонта при применении различных индивидуальных позиционеров световодного зонда лазерного анализатора капиллярного кровотока, имели значимые различия $p < 0,05$. Распределение полученных данных в исследуемых группах представлено на диаграммах размаха (рис. 1-3) [15].

Выраженная левосторонняя асимметрия тела ящичка диаграммы показателя ПМ I группы за счёт значительного смещения медианы от среднего значения к нижнему квартилю свидетельствует о ненормальном распределении данных в выборке и тенденции к низким значениям ПМ пародонта. В то же время симметричное тело ящичка диаграммы ПМ пародонта II группы и максимально приближённая к среднему значению медиана свидетельствовала о распределении данных во II группе близко к нормальному распределению, что является признаком более точных показателей во II группе (рис. 1) [14, 15].

subjects' voluntary written informed consent for the examination was obtained.

The first group consisted of 33 people (mean age 21.4 ± 0.12 years) who used a custom-made holder for a fibre optic probe made of a c-silicone impression material [9].

The second group also consisted of 33 people (mean age 21.53 ± 0.13 years) who used a custom-made photopolymer holder. The holder was digitally designed as a surgical template using the Blue Sky Plan® software version 4.8.41. The surgical template then was printed on a 3D printer using stereolithography (SLA) technology [10, 11].

The LDF periodontal microcirculation measurement at rest was carried out using a multifunctional laser non-invasive certified diagnostic system "LAKK-M" (SPE "LAZMA" Ltd., Moscow, Russia). Data processing was carried out using the Diastom program (Russia) [8]. LDF measurements were performed in the area of the marginal (free) gingiva of the periodontium for 5 minutes using a fibre optic probe with a diameter of 3.2 mm emitting red light with a wavelength of 630 nm.

In order to assess the microcirculation of the periodontium, the calculated indicators were analysed: the PM – average perfusion value in periodontal tissues; δ – the average square deviation of the amplitude of blood flow fluctuations from the arithmetic mean value, Kv – coefficient of variation (%) [8].

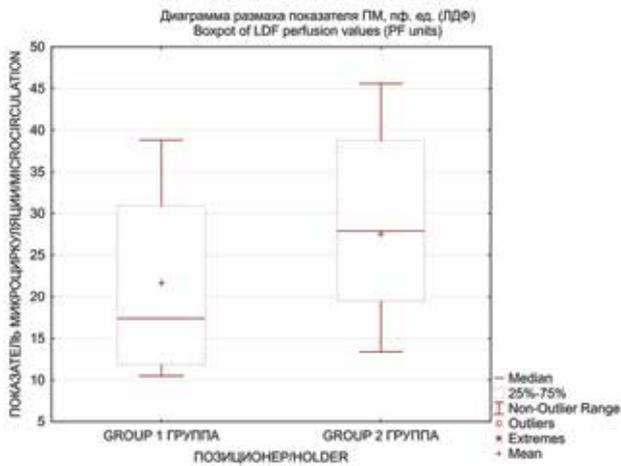
Statistical processing of the results was carried out using the software package Statistica 13.0 (StatSoft Inc, USA). For quantitative parameters – median, lower and upper quartiles (Me [25q; 75q]) were calculated. A box plot was used to visualise the variability of values in a dataset. Study groups were compared by a non-parametric test for the distribution of two independent samples according to the Mann-Whitney U-test. P values were considered statistically significant at $p < 0.05$ [12-15].

RESULTS AND DISCUSSION

Statistical analysis results indicated that the functional characteristics of the periodontal microcirculation using various custom-made fibre optic probe holders used in capillary blood flow monitoring had significant differences $p < 0.05$. The data distribution in the studied groups is presented as box plots (Fig. 1-3) [15].

The pronounced left-sided asymmetry observed in the group I box of the LDF perfusion values boxplot due to a significant average value of quartile shift to the lower quartile indicates that the data sample deviates from the normal distribution and the tendency towards low values of PM. At the same time, the symmetrical group II box of the LDF perfusion values boxplot and the median were close to the average. The symmetry indicates that the data distribution in group II was close to the normal distribution, signifying more accurate indicators in group II (Fig. 1) [14, 15].

According to the results obtained, the value of the median PM when using a silicone holder in group I was 1.6 times lower than when using a photopolymer holder in group II. At the same time, in group I, 50% of the examined PM ranged from 11.9 to 30.9 perfusion units (PU), and in group II – in the range from 19.5 to 38.7 PU (Fig. 1) [12, 13]. The distance between the object and the probe is limited to no more than 1.2 mm; at a greater distance, the recorded signal becomes weak, leading to lower measurement values [8, 16-18]. The use of a photopolymer holder, un-



По полученным результатам значение медианы ПМ при применении силиконового позиционера в I группе было в 1,6 раза ниже, чем при использовании фотополимерного позиционера во II группе. При этом, в I группе у 50% обследуемых ПМ находился в диапазоне от 11,9 до 30,9 пф. ед., а во II группе – в диапазоне от 19,5 до 38,7 пф. ед. (рис.1) [12, 13]. Расстояние между исследуемым объектом и зондирующей частью световодного зонда является ограниченным и должно составлять не более 1,2 мм, при больших расстояниях регистрируемый сигнал становится слабым, что может приводить к более низким показателям измерений [8, 16-18]. Применение фотополимерного позиционера, в отличие от силиконового, обеспечивает фиксированное расстояние между зондом и тканью за счёт программного моделирования и точной стереолитографической печати.

Выраженная левосторонняя асимметрия тела ящика диаграммы показателя σ I группы и смещение медианы от среднего значения к нижнему квантилю свидетельствуют о ненормальном распределении данных в выборке и тенденции к низким значениям показателя σ . В то время, как тело ящика диаграммы II группы более симметрично, и значение медианы максимально приближено к среднему значению, что свидетельствует о распределении данных во II группе близко к нормальному распределению, что является признаком более точных результатов исследования во II группе (рис. 2) [14, 15].

По результатам исследования, значение медианы показателя σ при применении силиконового позиционера в I группе было выше в 2,3 раза, чем при применении фотополимерного позиционера во II группе. При этом, в I группе σ у 50% обследуемых находился в диапазоне от 2,4 до 7,9 пф. ед., а во II группе – от 2,4 до 2,7

Рис. 1 Диаграммы размаха показателя ПМ в исследуемых группах;

$p < 0,05$ – статистическая значимость различий показателей между группами

(по U-критерию Манна-Уитни, при $U_{emp} = 369$; $U_{crit} = 415$; $U_{emp} < U_{crit}$.)

Fig. 1 Boxplot of LDF perfusion values (perfusion units – PU) in the studied groups;

$p < 0.05$ – statistically significant differences between the two groups (according to the Mann-Whitney U-test, with $U_{emp} = 369$; $U_{crit} = 415$; $U_{emp} < U_{crit}$)

like a silicone one, provides a fixed distance between the probe and the tissue due to computer-aided design and precise stereolithography (SLA) 3D printing.

The pronounced left-sided asymmetry observed in the group I box of the σ index and average value of the quartile shift to the lower quartile indicate that the data sample deviates from the normal distribution and the tendency towards low values of the σ index. On the other hand, while group II box of the boxplot was more symmetrical than the one of the group I, and the median was close to the average. This indicates that the data distribution in group II was close to the normal distribution, signifying more accurate study results in group II (Fig. 2) [14, 15].

According to the study results, the value of the median σ index when using a silicone holder in group I was 2.3 times higher than when using a photopolymer holder in group II. At the same time, the σ index in 50% of the subjects ranged from 2.4 to 7.9 PU and from 2.4 to 2.7 PU in groups I and II, respectively (Fig. 2) [12, 13]. Since the σ index reflects the average modulation of the periodontal microcirculation at all frequency ranges, the increase in the σ index is due mainly to more intensive functioning of the regulatory mechanisms of active control of microcirculation. However, the increase can also occur due to displacements and bends of the optical fibre of the LDF device probe affecting the microcirculation indicators' consistency [8, 16-18]. The use of a rigid, securely attached to the teeth photopolymer holder, unlike a soft and unstable silicone one, eliminates the displacement and bending of the optical fibre during the procedure.

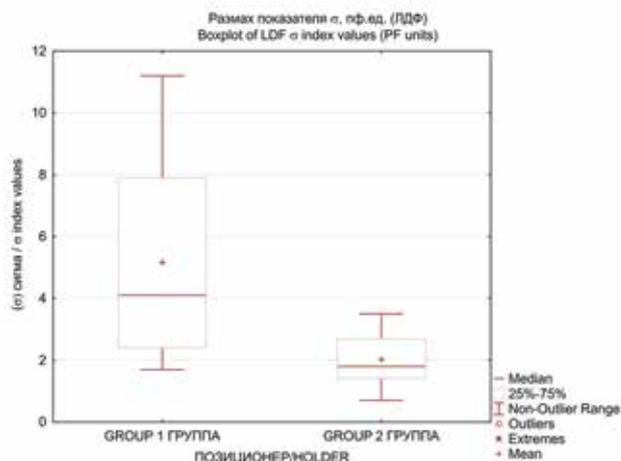
Рис. 2 Диаграммы размаха показателя σ в исследуемых группах;

$p < 0,05$ – статистическая значимость различий показателей между группами

(по U-критерию Манна-Уитни, при $U_{emp} = 175,5$; $U_{crit} = 415$; $U_{emp} < U_{crit}$.)

Fig. 2 Boxplot of LDF σ index values (perfusion units – PU) in the studied groups;

$p < 0.05$ – statistically significant differences between the two groups (according to the Mann-Whitney U-test, with $U_{emp} = 175.5$; $U_{crit} = 415$; $U_{emp} < U_{crit}$)



пф. ед. (рис. 2) [12, 13]. Поскольку σ отражает среднюю модуляцию микрокровотока пародонта во всех частотных диапазонах, то повышение σ обусловлено преимущественно более интенсивным функционированием регуляторных механизмов активного контроля микроциркуляции. Однако, повышение может происходить и в результате смещений и изгибов оптического волокна зонда лазерного анализатора капиллярного кровотока во время исследования, так как они влияют на постоянство показателей тока крови в микроциркуляторном русле [8, 16-18]. Применение жёсткого, стабильно удерживающегося на зубах, фотополимерного позиционера, в отличие от мягкого и не стабильного силиконового, исключает смещение и изгибы оптического волокна зонда во время исследования.

Выраженная левосторонняя асимметрия тела ящика диаграммы показателя Kv I группы и смещение медианы от среднего значения к нижнему квартилю также свидетельствуют о ненормальном распределении данных в I группе и тенденции к низким значениям показателя Kv. Напротив, симметричное тело ящика диаграммы показателя Kv II группы и максимально приближённая к среднему значению медиана свидетельствуют о распределении данных во II группе близко к нормальному, что является признаком более точных результатов исследования во II группе (рис.3) [14, 15].

По полученным данным значение медианы показателя Kv при применении силиконового позиционера в I группе выше в 2,5 раза, чем при применении фотополимерного позиционера во II группе. При этом, в I группе у 50% обследуемых показатель Kv находился в диапазоне от 14,2 до 34,7%, а во II группе – в пределах от 3,8 до 12,4% (рис 3) [14, 15]. Поскольку Kv отражает вазомоторную активность сосудов, его повышение обусловлено преимущественно напряжённостью функционирования регуляторных систем микрососудистого русла. Однако повышение показателя может быть связано и с наличием малейшего давления на исследуемый объект при проведении ЛДФ [8, 16-18]. Силиконовый позиционер плотно контактирует со слизистой, оказывая на неё неконтролируемое давление, искажая получаемые результаты. Применение фотополимерного позиционера, спроектированного методом CAD, позволяет изолировать исследуемую область пародонта на трёхмерной модели и исключить любое давление на мягкие ткани.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение фотополимерного позиционера, в отличие от силиконового, обеспечивает постоянное фиксированное расстояние между тканями пародонта и световым зондом, исключает смещение световода, а также устраняет давление на ткани пародонта.

The pronounced left-sided asymmetry in the group I box of coefficient of variation (Kv) boxplot and the average value of quartile shift to the lower quartile also indicate an abnormal distribution of data in group I and a tendency to low values of the Kv. On the contrary, the symmetrical group II box of the diagram of coefficient of variation (Kv) boxplot and the median were close to the average. The symmetry indicates that the data distribution in group II was close to the normal distribution, signifying more accurate research results in group II (Fig. 3) [14, 15].

According to the data obtained, the value of the median of the Kv when using a silicone holder in group I is 2.5 times higher than when using a photopolymer holder in group II. In 50% of the examined, the Kv ranged from 14.2 to 34.7%, and 3.8 to 12.4% in groups I and II, respectively (Fig. 3) [14, 15]. Since the Kv reflects the vasomotor activity of blood vessels, its increase is mainly due to the functional activity of the microcirculation modulation mechanisms. However, the Kv increase can also be associated with even the slightest pressure on the object during LDF [8, 16-18]. The silicone holder is in close contact with the gingival mucosa, exerting uncontrolled pressure on it, distorting the results. The use of a computer-aided-designed photopolymer holder makes it possible to determine the examined area of the periodontium on a three-dimensional model and eliminate any pressure on soft tissues.

CONCLUSION

The use of a photopolymer probe holder, unlike a silicone one, provides a constant fixed distance between the periodontal tissues and the LDF probe, prevents movement or probe displacement, and makes it possible to avoid pressure on the gingival tissue, ensuring high accuracy of laser diagnostics. In addition, custom-made computer-aided-designed photopolymer probe holders open up new opportunities for accurate assessment of the state of periodontal microcirculation. Therefore, it has the potential for further improving the accuracy of diagnosing periodontal diseases and standardising the procedure.

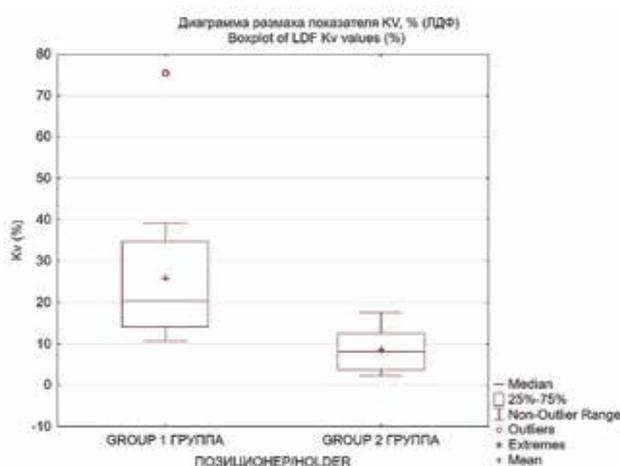


Рис. 3 Диаграммы размаха показателя Kv в исследуемых группах; $p < 0,05$ – статистическая значимость различий показателей между группами

(по U-критерию Манна-Уитни, при $U_{emp} = 72$; $U_{crit} = 415$; $U_{emp} < U_{crit}$.)

Fig. 3 Boxplot of LDF Kv values (%) in the studied groups;

$p < 0.05$ – statistically significant differences between the two groups (according to the Mann-Whitney U-test, with $U_{emp} = 72$; $U_{crit} = 415$; $U_{emp} < U_{crit}$)

донта во время исследования, что обеспечивает высокую точность лазерной диагностики. Применение индивидуальных фотополимерных позиционеров, спроектированных методом компьютерного моделирования и изготовленных с применением стереолитографии, открывает новые возможности для диагностики микроциркуляции пародонта, что позволит в дальнейшем повысить точность диагностики болезней пародонта и стандартизировать методику.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орехова ЛЮ, Лобода ЕС, Яманидзе НА, Берёзкина ИВ. Значение микроциркуляции в диагностике и динамике лечения воспалительных заболеваний пародонта. *Медицина: теория и практика*. 2019;4(5):404-5.
2. Горбатова ЕА, Михайлова АБ, Козлова МВ, Якушечкина ЕП. Особенности гемодинамики микроциркуляторного русла десны пациентов с воспалительными заболеваниями пародонта на этапах комплексного лечения с применением современных фитопрепаратов. *Кремлёвская медицина. Клинический вестник*. 2018;1:159-64.
3. Ковалевский АМ, Поточкая АВ, Подберёзкина ЛА, Борисова ЭГ, Шарфутдинова ДО. Возможности применения физических методов в комплексном лечении воспалительных заболеваний пародонта. Часть 3. *Институт стоматологии*. 2019;2:90-3.
4. Степанов ЕА, Курашвили ЛВ, Микulyak НИ, Моисеев ЯП, Кинзирский АС. Особенности микроциркуляции в пародонте при различных системных заболеваниях. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки*. 2021;2:137-50. Available from: <https://doi.org/10.21685/2072-3032-2021-2-13>
5. Янушевич ОО, Дмитриева ЛА. *Пародонтология. Национальные руководства*. Москва, РФ: ГЭОТАР-Медиа; 2018. 752 с.
6. Ерганова ОИ, Корнев НА, Ермолев СН, Волков ЕА. Методы функциональной диагностики в стоматологии сравнительная оценка регионарного кровотока в тканях пародонта и пульпы зуба. *Стоматология для всех*. 2018;4:41-3.
7. Тарасенко СВ, Кречина ЕК, Загорский СВ. Состояние микрогемодинамики и оксигенации в слизистой оболочке альвеолярного гребня после контурной пластики десны при дентальной имплантации. *Стоматология*. 2020;99(5):46-9. Available from: <https://doi.org/10.17116/stomat20209905146>
8. Крупаткин АИ, Сидоров ВВ. *Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем. Колебания, информация, нелинейность. Руководство для врачей*. Москва, РФ: Ленанд; 2013. 496 с.
9. Ермолев СН, Жолудев СЕ, Ерошкина ЕА, Делец АВ. Способ позиционирования световодного зонда при использовании доплеровской флоуметрии в стоматологии. Патент Российской Федерации № 2400133. 27.09.2010.
10. Фленкин АА, Ермолев СН, Янушевич ОО, Винниченко ЮА, Меркушева НА, Боярский ЮВ, и др. Способ позиционирования оптоволоконного зонда для прецизионной оптической диагностики гемодинамики и кислородного режима тканей пародонта на основе CAD технологии. Патент Российской Федерации № 2758660. 01.11.2021.
11. Иванова ВА, Борисов ВВ, Платонова ВВ, Данышина СД. Высокая точность конструкций при применении 3D печати в имплантологии. *Актуальные проблемы медицины*. 2020;43(1):93-101. Available from: <https://doi.org/10.18413/2687-0940-2020-43-1-93-101>

REFERENCES

1. Orekhova LYu, Loboda ES, Yamanidze NA, Beryozkina IV. Znachenie mikrotsirkulyatsii v diagnostike i dinamike lecheniya vospalitel'nykh zabolevaniy parodonta [The importance of microcirculation in the diagnosis and dynamics of treatment of inflammatory periodontal diseases]. *Meditsina: teoriya i praktika*. 2019;4(5):404-5.
2. Gorbatova EA, Mikhaylova AB, Kozlova MV, Yakushechkina EP. Osobennosti gemodinamiki mikrotsirkulyatornogo rusla desny patsientov s vospalitel'nymi zabolevaniyami parodonta na etapakh kompleksnogo lecheniya s primeneniem sovremennykh fitopreparatov [Features of hemodynamics of the microcirculatory bed of the gums of patients with inflammatory periodontal diseases at the stages of complex treatment with the use of modern phytopreparations]. *Kremlyovskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik*. 2018;1:159-64.
3. Kovalevskiy AM, Pototskaya AV, Podberozkina LA, Borisova EG, Sharafutdinova DO. Vozmozhnosti primeneniya fizicheskikh metodov v kompleksnom lechenii vospalitel'nykh zabolevaniy parodonta. Chast' 3 [The possibilities of using physical methods in the complex treatment of inflammatory periodontal diseases. Part 3]. *Institut stomatologii*. 2019;2:90-3.
4. Stepanov EA, Kurashvili LV, Mikulyak NI, Moiseev YaP, Kinzirskiy AS. Osobennosti mikrotsirkulyatsii v parodontе pri razlichnykh sistemnykh zabolevaniyakh [Features of microcirculation in periodontal disease in various systemic diseases]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Meditsinskie nauki*. 2021;2:137-50. Available from: <https://doi.org/10.21685/2072-3032-2021-2-13>
5. Yanushevich OO, Dmitrieva LA. *Parodontologiya. Natsional'nye rukovodstva [Periodontology. National guidelines]*. Moscow, RF: GEOTAR-Media; 2018. 752 p.
6. Erganova OI, Kornev NA, Ermolyev SN, Volkov EA. Metody funktsional'noy diagnostiki v stomatologii sravnitel'naya otsenka regionalnogo krovotoka v tkanyakh parodonta i pul'py zuba [Methods of functional diagnostics in dentistry comparative assessment of regional blood flow in periodontal tissues and tooth pulp]. *Stomatologiya dlya vseh*. 2018;4:41-3.
7. Tarasenko SV, Krechina EK, Zagorskii SV. Sostoyanie mikrohemodinamiki i oksigenatsii v slizistoy obolochke al'veolyarnogo grebnya posle konturnoy plastiki desny pri dental'noy implantatsii [The state of microhemodynamics and oxygenation in the mucous membrane of the alveolar ridge after contouring of the gum during dental implantation]. *Stomatologiya*. 2020;99(5):46-9. Available from: <https://doi.org/10.17116/stomat20209905146>
8. Krupatkin AI, Sidorov VV. *Funktsional'naya diagnostika sostoyaniya mikrotsirkulyatornotkanevykh sistem. Kolebaniya, informatsiya, nelineynost'. Rukovodstvo dlya vrachey [Functional diagnostics of the state of microcirculatory and tissue systems. Fluctuations, information, non-linearity. Guide for doctors]*. Moscow, RF: Lenand; 2013. 496 p.
9. Ermolyev SN, Zholudev SE, Eroshkina EA, Delets AV. Sposob pozitsionirovaniya svetovodnogo zonda pri ispol'zovanii dopplerovskoy floumetrii v stomatologii [Method of positioning a light guide probe when using Doppler flowmetry in dentistry]. Patent Rossiyskoy Federatsii № 2400133. 27.09.2010.
10. Flenkin AA, Ermolyev SN, Yanushevich OO, Vinnichenko YuA, Merkusheva NA, Boyarskiy YuV, i dr. Sposob pozitsionirovaniya optovolokonnogo zonda dlya pretsizionnoy opticheskoy diagnostiki gemodinamiki i kislородnogo rezhima tkaney parodonta na osnove CAD tekhnologii [Method for positioning a fiberoptic probe for precision optical diagnostics of hemodynamics and oxygen recovery of periodontal tissues based on CAD technology]. Patent Rossiyskoy Federatsii № 2758660. 01.11.2021.
11. Ivanova VA, Borisov VV, Platonova VV, Danshina SD. Vysokaya tochnost' konstruktii pri primeneniі 3D pechati v implantologii [High accuracy of designs when using 3D printing in implantology]. *Aktual'nye problemy meditsiny*. 2020;43(1):93-101. Available from: <https://doi.org/10.18413/2687-0940-2020-43-1-93-101>

12. Баврина А.П. В помощь исследователю современные правила использования методов описательной статистики в медико-биологических исследованиях. *Медицинский альманах*. 2020;2:95-104.
13. Петри А, Сабин К. *Наглядная медицинская статистика. Учебное пособие*. Москва, РФ: ГЭОТАР-Медиа; 2021. 221 с.
14. Michel MC, Murphy TJ, Motulsky HJ. New author guidelines for displaying data and reporting data analysis and statistical methods in experimental biology. *Mol Pharmacol*. 2020;7(1):49-60. Available from: <https://doi.org/10.1124/mol.119.118927.9>
15. Buttarazzi D, Pandolfo G, Porzio GC. A boxplot for circular data. *Biometrics*. 2018;74(4):1492-501. Available from: <https://doi.org/10.1111/biom.12889>
16. Moore JPR, Dyson A, Singer M, Fraser J. Microcirculatory dysfunction and resuscitation: Why, when, and how. *British Journal of Anaesthesia*. 2015;115(3):366-75.
17. Jacob M, Chappell D, Becker BF. Regulation of blood flow and volume exchange across the microcirculation. *Critical Care*. 2016;20:13.
18. Schmidt Harald HHW, Feelisch M. Red blood cell-derived nitric oxide bioactivity and hypoxic vasodilation. *Circulation*. 2019;139(23):2664-7.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Фленкин Андрей Андреевич, соискатель кафедры пародонтологии, Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова
 ORCID ID: 0000-0001-6023-1677
 SPIN-код: 5598-6092
 Author ID: 1071516
 E-mail: Dr.Flenkin@gmail.com

Ермолев Сергей Николаевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры пародонтологии, Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова
 ORCID ID: 0000-0002-4219-3547
 SPIN-код: 7109-4050
 Author ID: 636370
 E-mail: esn54@mail.ru

Информация об источнике поддержки в виде грантов, оборудования, лекарственных препаратов

Финансовой поддержки со стороны компаний-производителей лекарственных препаратов и медицинского оборудования авторы не получали

Конфликт интересов: отсутствует

АДРЕС ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:

Фленкин Андрей Андреевич
 соискатель кафедры пародонтологии, Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова

127473, Российская Федерация, г. Москва, ул. Делегатская, 20/1
 Тел.: +7 (925) 9810590
 E-mail: Dr.Flenkin@gmail.com

ВКЛАД АВТОРОВ

Разработка концепции и дизайна исследования: ЕСН
 Сбор материала: FAA
 Статистическая обработка данных: FAA
 Анализ полученных данных: FAA, ЕСН
 Подготовка текста: FAA
 Редактирование: ЕСН
 Общая ответственность: FAA

Поступила 27.12.21
 Принята в печать 31.03.22

AUTHOR INFORMATION

Flenkin Andrey Andreevich, PhD Applicant, Department of Periodontology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov
 ORCID ID: 0000-0001-6023-1677
 SPIN: 5598-6092
 Author ID: 1071516
 E-mail: Dr.Flenkin@gmail.com

Ermolyev Sergey Nikolaevich, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Periodontology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov
 ORCID ID: 0000-0002-4219-3547
 SPIN: 7109-4050
 Author ID: 636370
 E-mail: esn54@mail.ru

Information about support in the form of grants, equipment, medications

The authors did not receive financial support from manufacturers of medicines and medical equipment

Conflicts of interest: The author has no conflicts of interest

ADDRESS FOR CORRESPONDENCE:

Flenkin Andrey Andreevich
 PhD Applicant, Department of Periodontology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Moscow,

127473, Russian Federation, Moscow, Delegatskaya str., 20/1
 Tel.: +7 (925) 9810590
 E-mail: Dr.Flenkin@gmail.com

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conception and design: ESN
 Data collection: FAA
 Statistical analysis: FAA
 Analysis and interpretation: FAA, ESN
 Writing the article: FAA
 Critical revision of the article: ESN
 Overall responsibility: FAA

Submitted 27.12.21
 Accepted 31.03.22