

# Интегральная характеристика показателей ультразвуковой доплерографии при оценке состояния гемодинамики в тканях пародонта

А.В. Бондарчук, Я.Н. Харах, Л.Г. Киракосян, В.М. Карпова, С.Д. Арутюнов

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

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Нарушения микроциркуляции являются одним из ведущих механизмов в патогенезе воспалительных и дистрофических заболеваний пародонта. Для диагностики гемодинамики в современной медицине используется метод ультразвуковой доплерографии, имеющий ряд существенных для исследователя преимуществ. Однако возможности интерпретации данных ультразвуковой доплерографии в научной литературе остаются недостаточно освещенными.

**Материалы и методы.** У 40 пациентов обоих полов в возрасте от 18 до 25 лет с клинически интактным пародонтом методом ультразвуковой доплерографии было проведено исследование микроциркуляции в области зуба 1.6 на уровнях свободной десны, прикрепленной десны и переходной складки, с целью изучения интегральной характеристики показателей ультразвуковой доплерографии тканевого кровотока. На основе полученных данных был проведен статистический анализ методом анализа главных компонент.

**Результаты.** На основе анализа главных компонент показателями, наиболее близкими к интегральной скорости кровотока, определены Vam и Qam, а оптимальной точкой локализации датчика – область прикрепленной десны.

**Заключение.** В ходе анализа главных компонент удалось получить интегральный показатель скорости кровотока (ГК 1), а также его особенности в различных областях пародонта зуба 1.6. Необходимы дополнительные исследования ввиду возможной изменчивости показателей микроциркуляции пародонта в области остальных зубов верхней и нижней челюсти.

**Ключевые слова:** ультразвуковое исследование, доплерография, диагноз, пародонт, стоматологическая диагностика.

**Для цитирования:** Бондарчук АВ, Харах ЯН, Киракосян ЛГ, Карпова ВМ, Арутюнов СД. Интегральная характеристика показателей ультразвуковой доплерографии при оценке состояния гемодинамики в тканях пародонта. *Пародонтология*. 2022;27(2):126-133. <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2022-27-2-126-133>.

## Integral characteristics of Doppler ultrasound parameters in periodontal status assessment

A.V. Bondarchuk, Y.N. Kharakh, L.G. Kirakosyan, V.M. Karpova, S.D. Arutyunov

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

**Relevance.** Microcirculation disorder is one of the leading mechanisms in the pathogenesis of inflammatory and degenerative periodontal diseases. Modern medicine assesses the blood flow by the Doppler ultrasound, which has some essential advantages for a researcher. However, the possibilities of interpreting Doppler ultrasound data remain scarcely enlightened in the scientific literature.

**Materials and methods.** Forty patients of both sexes, aged 18–25 years, with clinically intact periodontium, underwent a Doppler ultrasound test to investigate microcirculation in the area of tooth 1.6 at the levels of free gingiva, attached gingiva and mucobuccal fold, to study the integral characteristics of a Doppler ultrasound of tissue blood flow. The obtained data were statistically analyzed using the method of principal component analysis.

**Results.** The principal component analysis demonstrated that Vam and Qam were the parameters closest to the integral blood flow velocity, and the attached gingiva was the optimal point for transducer position.

**Conclusion.** The principal component analysis allowed obtaining an integral parameter of blood flow velocity (PC 1) and its features in various areas of the periodontium on tooth 1.6. Further studies are necessary due to the possible variability of periodontal microcirculation on other maxillary and mandibular teeth.

**Key words:** ultrasound study, Doppler ultrasound, diagnosis, periodontium, oral diagnosis.

**For citation:** Bondarchuk AV, Kharakh YN, Kirakosyan LG, Karpova VM, Arutyunov SD. Integral characteristics of Doppler ultrasound parameters in periodontal status assessment. *Parodontologiya*. 2022;27(2):126-133 (in Russ.). <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2022-27-2-126-133>.

## ВВЕДЕНИЕ

Заболевания пародонта можно охарактеризовать как медико-социальную проблему, что обусловлено многофакторностью патогенеза, трудностями лечения и широкой распространенностью среди населения, в связи с чем они занимают одно из ведущих мест среди стоматологических заболеваний [1, 2]. Капиллярная сеть пародонта выполняет регуляторно-метаболическую и обменную функции, быстро реагируя на различные патологические процессы. В связи с этим микроциркуляция крови в них постоянно изменяется [3]. Имеется прямая связь между степенью расстройства микроциркуляции в тканях пародонта и стадией их воспаления [4, 5]. При развитии воспаления в области пародонта одними из первых изменений являются микрососудистые, проявляющиеся вазодилатацией и усилением скорости кровотока [6, 7].

Идеальный метод измерения микроциркуляции пародонта должен предоставлять информативную, точную и воспроизводимую информацию в режиме реального времени, быть безопасным, неинвазивным и простым в использовании [2].

Лазерная доплерография, или флоуметрия (ЛДФ), является длительно используемым (более 30 лет [8]) и часто используемым при исследовании микроциркуляции пародонта методом. Недостатки ЛДФ связаны с неконтролируемыми микродвижениями руки, держащей датчик, давлением оператора на ткань, углом наклона датчика. Следует подчеркнуть, что лазерная доплерография – не очень простая методика, трудоемкая и требующая наличия определенного опыта. Кроме того, необходимо учитывать относительно высокую стоимость этого типа аппаратов в частной практике. Небольшой размер датчика (1 мм<sup>3</sup>), его оптические свойства и вариации микрососудистого гематокрита являются некоторыми возможными объяснениями недостатков этого метода [8–13].

В сравнении с ЛДФ ультразвуковая доплерография обладает рядом преимуществ, в том числе упрощенным контролем проведения исследования, а также отсутствием непосредственного контакта датчика с поверхностью тканей [14].

Методика ультразвуковой доплерографии позволяет осуществлять сбор диагностических данных, в особенности в случаях заболеваний, протекающих без видимых нарушений, а также проведение динамического наблюдения пациентов для контроля проводимого лечения воспалительных заболеваний пародонта [15]. Однако у данного метода определяются недостатки, обусловленные самой техникой исследования. Так, например, непреднамеренное движение губ или языка пациентом может нарушить адапта-

цию зонда аппарата. Также успешность обнаружения кровотока в значительной степени зависит от навыков оператора, что требует достаточной подготовки оператора [16]. Вместе с тем остается актуальным вопрос интерпретации данных, полученных с помощью метода УЗДГ, ввиду недостаточной освещенности данного метода в научной литературе, а именно фундаментальных исследований технологии применения, что и определило цель нашего исследования – изучить интегральную характеристику показателей ультразвуковой доплерографии в различных точках локализации датчика, посредством статистического анализа методом главных компонент.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методом УЗДГ на аппарате «МИНИМАКС Допплер-К» (ММ-Д-К) комплектация ЖК было обследовано 40 пациентов. В группу исследования входили лица обоих полов в возрасте от 18 до 25 лет с клинически интактным пародонтом. УЗДГ-исследование пародонта проводилось в трех точках – в области свободной десны, прикрепленной десны и переходной складки зуба 1.6 с целью получения интегральной характеристики тканевого кровотока. Обработка доплерограмм производилась автоматически с помощью компьютерной программы. Для получения репрезентативных данных нами разработано специальное устройство многократного пользования, позволяющее регистрировать положение датчика и угол его наклон по отношению к поверхности измеряемого объекта [17].

В процессе выполнения ультразвуковой доплерографии определялись шесть показателей:

$V_{as}$  – максимальная систолическая скорость по кривой средней скорости (см/с);

$V_{am}$  – средняя линейная скорость потока по кривой средней скорости (см/с);

$V_{ad}$  – максимальная диастолическая скорость по кривой средней скорости (см/с);

$V_{akd}$  – конечная диастолическая скорость по кривой средней скорости (см/с).

$Q_{as}$  – максимальная объемная систолическая скорость по кривой средней скорости (мл/мин);

$Q_{am}$  – средняя объемная скорость по кривой средней скорости (мл/мин).

За конечные результаты принимали значения, полученные после трехкратного измерения параметров в каждой обозначенной точке. Анализ был проведен для каждой точки локализации датчика отдельно (слизистая оболочка, прикрепленная десна, переходная складка), далее анализировали верхнюю и нижнюю челюсть.

**Таблица 1.** Сравнение показателей ультразвуковой доплерографии, измеренных в разных областях слизистой оболочки десны пациентов (n = 40), (Me [Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>])

**Table 1.** Comparison of the Doppler ultrasound parameters measured in different areas of the patients' gingival mucosa (n = 40), (Me [Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>])

Показатель Parameter	Свободная десна Free gingiva	Прикрепленная десна Attached gingiva	Переходная складка Mucobuccal fold	Значимость различий Statistical significance of the differences
V <sub>as</sub>	0.551 [0.276; 0.827]	0.551 [0.276; 1.103]	0.551 [0.276; 1.103]	$\chi^2_{(2)} = 1.39$ p = 0.499
V <sub>am</sub>	0.093 [0.040; 0.230]	0.115 [0.039; 0.217]	0.204 [0.059; 0.422]	$\chi^2_{(2)} = 3.35$ p = 0.187
V <sub>akd</sub>	0.110 [0.033; 0.258]	0.118 [0.063; 0.247]	0.203 [0.066; 0.330]	$\chi^2_{(2)} = 8.55$ p = 0.014
Q <sub>as</sub>	0.032 [0.016; 0.048]	0.032 [0.016; 0.064]	0.032 [0.016; 0.064]	$\chi^2_{(2)} = 1.39$ p = 0.499
Q <sub>am</sub>	0.005 [0.002; 0.013]	0.007 [0.002; 0.013]	0.014 [0.003; 0.025]	$\chi^2_{(2)} = 4.20$ p = 0.123

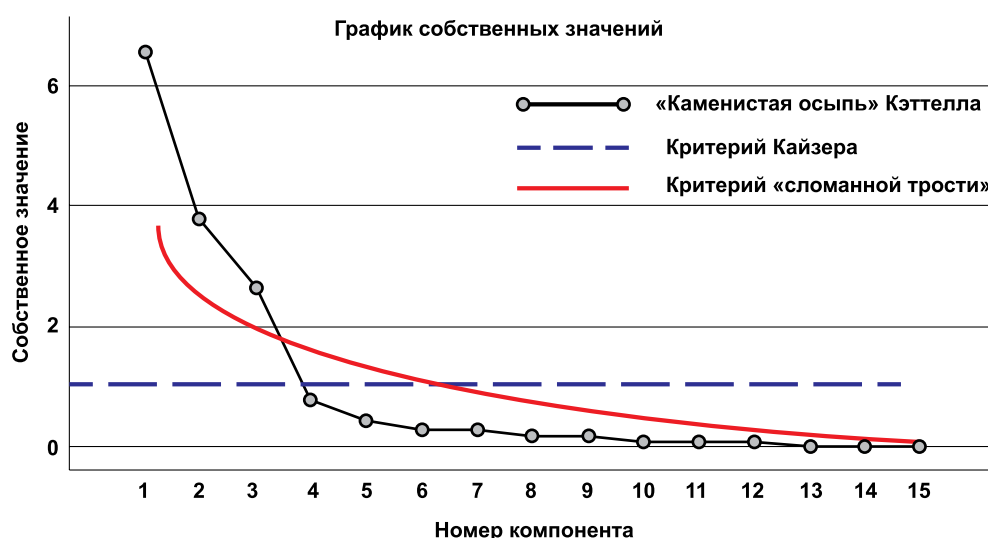
В ходе статистического анализа использовали методы описательной статистики, выборочных сравнений и редукцию данных с обобщением. Для всех показателей рассчитывались медианные значения с квантилями (Me [Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>]). Сравнения зависимых выборок проводили с помощью критерия Фридмана с расчетом статистики Хи-квадрат. Для редукции данных применяли анализ главных компонент, проведенный на предварительно преобразованных по Боксу – Коксу данных. При выборе числа латентных переменных руководствовались критериями Кэттелла, Кайзера и «сломанной трости» [18]. Важность вклада показателя в главную компоненту оценивали по величине факторной нагрузки и статистической значимости корреляции между показателем и факторной меткой главной компоненты. Расчеты и графические построения выполнены в программе SPSS v. 26.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В таблице 1 приведены измерения скорости кровотока, полученные в результате проведенных измерений (проб), локализованных в трех анатомических участках десны, в областях: свободной десны, прикрепленной и переходной складки.

Наиболее стабильные оценки наблюдались для показателей V<sub>as</sub> и Q<sub>as</sub>, а наименее стабильные – для V<sub>akd</sub>. В последнем случае различия между измерениями в свободной десне, прикрепленной десне и переходной складке были статистически значимыми в тесте Фридмана.

На первом этапе анализа из данных таблицы видно, что для трех показателей из пяти наблюдалось увеличение в ряду свободная десна – прикрепленная десна – переходная складка. Таким образом, предпочтительной областью измерения является



**Рис. 1.** Выделение обобщающих переменных в ходе анализа главных компонент показателя скорости кровотока в области зуба 1.6

**Fig. 1.** Identification of core variables for the principal components analysis of the blood flow velocity parameters in the tooth 1.6 area

Таблица 2. Факторные нагрузки показателей скорости кровотока в области зуба 1.6

Table 2. Factor loadings of blood flow velocity parameters in the tooth 1.6 area

Показатель Parameter	Главная компонента / Principal component		
	1	2	3
<b>Свободная десна / Free gingiva</b>			
$V_{as1}$	<b>0,681</b>	<b>- 0,566</b>	0,273
$V_{am1}$	<b>0,654</b>	<b>- 0,567</b>	<b>0,410</b>
$V_{akd1}$	<b>0,665</b>	<b>- 0,370</b>	<b>0,460</b>
$Q_{as1}$	<b>0,666</b>	<b>- 0,593</b>	0,266
$Q_{am1}$	<b>0,609</b>	<b>- 0,623</b>	<b>0,374</b>
<b>Прикрепленная десна / Attached gingiva</b>			
$V_{as2}$	<b>0,687</b>	- 0,099	<b>- 0,612</b>
$V_{am2}$	<b>0,751</b>	- 0,050	<b>- 0,595</b>
$V_{akd2}$	<b>0,721</b>	0,149	<b>- 0,357</b>
$Q_{as2}$	<b>0,687</b>	- 0,098	<b>- 0,613</b>
$Q_{am2}$	<b>0,753</b>	- 0,047	<b>- 0,594</b>
<b>Переходная складка / Mucobuccal fold</b>			
$V_{as3}$	<b>0,593</b>	<b>0,634</b>	0,268
$V_{am3}$	<b>0,709</b>	<b>0,597</b>	0,246
$V_{akd3}$	<b>0,688</b>	<b>0,524</b>	0,233
$Q_{as3}$	<b>0,533</b>	<b>0,695</b>	0,290
$Q_{am3}$	<b>0,588</b>	<b>0,591</b>	0,307
<b>Доля объясненной дисперсии, % Fraction of explained variance, %</b>	44,6	22,9	17,4

Выделены статистически значимые нагрузки ( $p \leq 0,05$ ) / Statistically significant loadings are highlighted ( $p \leq 0,05$ )

прикрепленная десна, показатели которой имеют усредненные значения, а предпочтительными метрологическими характеристиками обладает показатель  $V_{as}$ , имеющий самое высокое абсолютное значение и, следовательно, меньшую погрешность измерения по сравнению с  $Q_{as}$ .

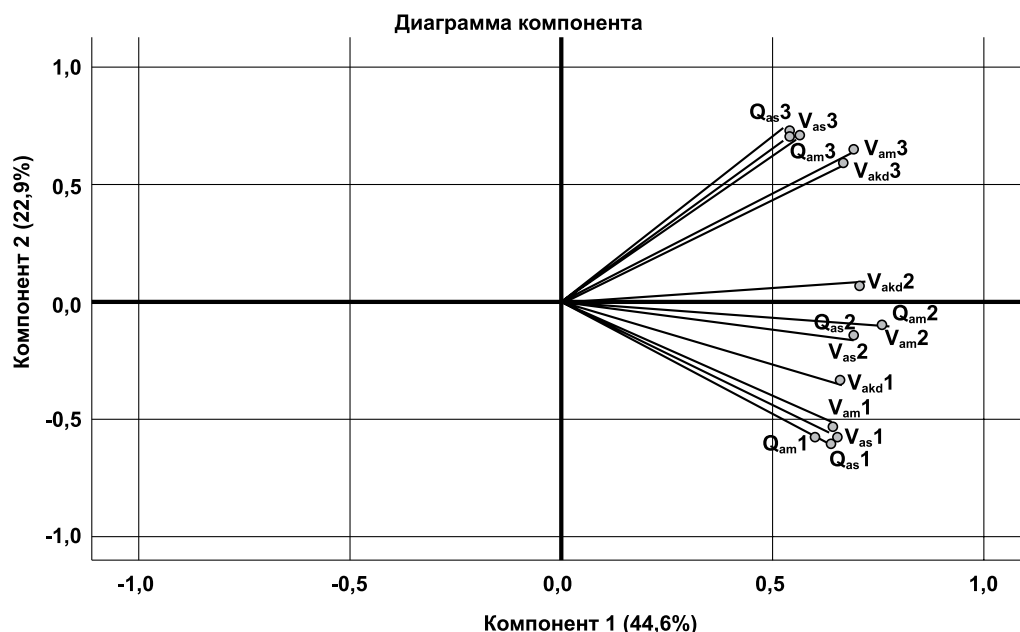
Для выявления наиболее общих закономерностей измерения кровотока в разных областях пародонта был использован анализ главных компонент [19]. Поскольку данный анализ основан на параметрической корреляции Пирсона, для получения надежных оценок он требует нормального распределения анализируемых показателей и даже строже – многомерного нормального распределения. Поскольку распределение всех изученных показателей характеризовалось выраженной положительной асимметрий, предварительно было применено адаптивное к данным преобразование Бокса – Кокса. Как и логарифмическое преобразование или преобразование квадратного корня, оно относится к семейству степенных преобразований, но приближает исходное распределение к нормальному настолько, насколько это позволяют сами данные [20].

Полученные нами данные, на основе результатов статистического анализа (рис. 1), определяют необходимость и достаточность выделения трех первых главных компонент, объясняющих в сумме 84,9% все

изменчивости (количественно – дисперсии) в наборе данных. Факторные нагрузки показателей на эти компоненты представлены в таблице 2.

Первая главная компонента (ГК 1) объясняла почти половину всей дисперсии данных – 44,6%. С высокими положительными и статистически значимыми нагрузками в нее вошли все показатели. Это хорошо видно из сдвоенного графика (биplota) на рисунке 2, где векторы всех показателей вдоль ГК 1 направлены в одну сторону от нуля. Таким образом, ГК 1 вобрала в себя то общее, что имелось во всех 15 показателях и потому является интегральным показателем скорости кровотока в зубе. Исходя из величин нагрузок, можно отметить, что с несколько большими весами в нее вошли измерения в прикрепленной десне, а из последних –  $V_{am}$  и  $Q_{am}$ . Полученные результаты можно объяснить промежуточным анатомическим положением прикрепленной десны относительно двух других точек локализации датчика, отсутствием в ней крупных сосудов, влияющих на показания в области переходной складки.

Вторая главная компонента (ГК 2) объясняла 22,9% общей дисперсии данных. В отличие от ГК 1 она была биполярной и характеризовалась как положительными, так и отрицательными нагрузками. Из таблицы 1 и рисунка 2 видно, что вдоль ГК 2 проявились различия между измерениями, проведенными в свободной



**Рис. 2.** Показатели скорости кровотока (векторы) и пациенты (точки) в пространстве двух первых главных компонент.

Индексы: 1 – свободная десна, 2 – прикрепленная десна, 3 – переходная складка

**Fig. 2.** Blood flow velocity parameters (vectors) and patients (points) in the space of the first two principal components.

Indices: 1 – free gingiva, 2 – attached gingiva, 3 – mucogingival junction

десне и в переходной складке. Таким образом, данная ГК объясняла специфику указанных областей.

Третья главная компонента (ГК 3) объясняла 17,4% общей дисперсии данных и также была биполярной. Из таблицы 1 видно, что она характеризовала специфику показателей в прикрепленной десне относительно свободной десны и переходной складки.

На основе анализа главных компонент, показателями, наиболее близкими к интегральной скорости кровотока, являются  $V_{am}$  и  $Q_{am}$ . При необходимости выбора только одного показателя предпочтение следует отдать показателю  $V_{am}$ , как наиболее близкому к ГК 1 и имеющему лучшие метрологические характеристики ввиду большего абсолютного значения по сравнению с  $Q_{am}$  (соответственно, 0,115 и 0,007), и, следовательно, позволяющему получать более разнообразные и менее дискретные оценки для пациентов. Последнее обстоятельство важно при использовании показателя для постановки диагноза или характеристики заболевания. Показатели  $V_{am}$  и  $Q_{am}$  характеризуют среднюю скорость по кривой средней скорости кровотока и рассчитываются на основе остальных линейных и объем-

ных показателей УЗДГ соответственно, что объясняет возможность их применения для интегральной характеристики микроциркуляции пародонта.

## ВЫВОДЫ

В ходе анализа главных компонент удалось получить интегральный показатель скорости кровотока (ГК 1), а также информацию о его особенностях в различных областях пародонта, в частности в области свободной десны, прикрепленной десны и переходной складки исследуемого зуба.

1. При необходимости выбора области измерения предпочтение следует отдать прикрепленной десне ввиду более высоких нагрузок для нее на ГК 1.

2. На основе анализа главных компонент интегральными показателями кровотока пародонта зуба являются  $V_{am}$  и  $Q_{am}$ .

В дальнейшем планируются дополнительные исследования ввиду возможной изменчивости показателей микроциркуляции пародонта в области остальных зубов верхней и нижней челюсти.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Canjau S, Todea C. Minimally-invasive diagnostic approaches in periodontics: laser Doppler imaging and optical coherence tomography. *Clinical Dentistry Reviewed*. 2021;5(1). doi: 10.1007/s41894-021-00099-x
2. Todea C, Canjau S, Miron M, Vitez B, Noditi B.V. Laser Doppler Flowmetry Evaluation of the Microcirculation in Dentistry. In: Lenasi H editor. *Microcirculation Revisited – From Molecules to Clinical Practice* [e-

book]. London: IntechOpen; 2016 [cited 2022 Apr 28]. doi: 10.5772/64926

3. Benedek T, Rodean I, Ratiu M, Rat N, Yero Eremie L, Biris C, et al. Periodontal disease, inflammation and atherosclerotic progression in patients with acute coronary syndromes – the ATHERODENT study. *Journal of Cardiovascular Emergencies*. 2018;4(1):17–23.

doi: 10.2478/jce-2018-0001

4. Орехова ЛЮ, Александрова АА, Александрова ЛА, Мусаева РС, Толибова ГХ, Посохова ЭВ. Состояния ротовой полости у беременных при различных типах сахарного диабета: клиническая и цитологическая характеристика. *Журнал акушерства и женских болезней*. 2016;65(6):45–51.  
doi: 10.17816/JOWD65645-51

5. Yang PY, Chen YT, Wang YH, Su NY, Yu HC, Chang YC. Malignant transformation of oral submucous fibrosis in Taiwan: a nationwide population-based retrospective cohort study. *Journal of Oral Pathology and Medicine*. 2017;46(10):1040–1045.  
doi: 10.1111/jop.12570

6. Kerdvongbundit V, Vongsavan N, Soo-Ampon S, Hasegawa A. Microcirculation and micromorphology of healthy and inflamed gingivae. *Odontology*. 2003;91(1):19–25.  
doi: 10.1007/s10266-003-0024-z

7. Rodríguez-Martínez M, Patiño-Marín N, Loyola-Rodríguez JP, Brito-Orta MD. Gingivitis and periodontitis as antagonistic modulators of gingival perfusion. *Journal of periodontology*. 2006;77(10):1643–1650.  
doi: 10.1902/jop.2006.050311

8. Kouadio AA, Jordana F, Koffi NJ, Le Bars P, Soueidan A. The use of laser Doppler flowmetry to evaluate oral soft tissue blood flow in humans: A review. *Archives of oral biology*. 2018;86:58–71.  
doi: 10.1016/j.archoralbio.2017.11.009

9. Gou H, Fan R, Chen X, Li L, Wang X, Xu Y, et al. Adjunctive effects of laser therapy on somatosensory function and vasomotor regulation of periodontal tissues in patients with periodontitis: A randomized controlled clinical trial. *Journal of periodontology*. 2020;91(10):1307–1317.  
doi: 10.1002/JPER.19-0562

10. To M, Matsuo M, Wada-Takahashi S, Sugiyama S, Tamaki K, Takahashi SS. Microcirculation changes in gingival tissue after ultrasonic tooth preparation in beagle dogs. *Journal of applied oral science: revista FOB*. 2020;28:1-9.  
doi: 10.1590/1678-7757-2019-0145

11. Nakamoto T, Kanao M, Kondo Y, Kajiwaru N, Masaki C, Takahashi T, и др. Two-dimensional real-time blood flow and temperature of soft tissue around maxillary anterior implants. *Implant dentistry*. 2012;21(6):522–527.  
doi: 10.1097/ID.0b013e318272fe81

## REFERENCES

1. Canjau S, Todea C. Minimally-invasive diagnostic approaches in periodontics: laser Doppler imaging and optical coherence tomography. *Clinical Dentistry Reviewed*. 2021;5(1).  
doi: 10.1007/s41894-021-00099-x

2. Todea C, Canjau S, Miron M, Vitez B, Noditi B.V. Laser Doppler Flowmetry Evaluation of the Microcirculation in Dentistry. In: Lenasi H editor. *Microcirculation Revisited – From Molecules to Clinical Practice* [e-book]. London: IntechOpen; 2016 [cited 2022 Apr 28]  
doi: 10.5772/64926

12. Patiño-Marín N, Martínez F, Loyola-Rodríguez JP, Tenorio-Govea E, Brito-Orta MD, Rodríguez-Martínez M. A novel procedure for evaluating gingival perfusion status using laser-Doppler flowmetry. *Journal of clinical periodontology*. 2005;32(3):231–237.  
doi: 10.1111/j.1600-051X.2005.00655.x

13. Yamamoto R, Amano K, Takahashi SW, To M, Takahashi S, Matsuo M. Changes in the microcirculation in periodontal tissue due to experimental peri-implantitis. *Journal of oral biosciences*. 2021;63(2):153–160.  
doi: 10.1016/j.job.2021.03.002

14. Кречина ЕК, Маслова ВВ, Рахимова ЭН. Определение гемомикроциркуляции в тканях пародонта с использованием методов лазерной и ультразвуковой доплерографии [Электронный ресурс]. Москва: ЦНИИС и ЧЛХ Росмедтехнологий; 2008 [дата обращения 2022 Апр 28]. Режим доступа:

[https://www.cniis.ru/downloads/download\\_private/scientific/files/technology\\_n5\\_doppler.pdf](https://www.cniis.ru/downloads/download_private/scientific/files/technology_n5_doppler.pdf).

15. Орехова ЛЮ, Лобода ЕС, Яманидзе Н. Значение ультразвуковой доплерографии в динамике лечения воспалительных заболеваний пародонта. *Евразийский союз ученых*. 2016;30:89–94. Режим доступа:

<https://elibrary.ru/item.asp?id=27316055>

16. Ahn SY, Kim D, Park SH. Efficacy of Ultrasound Doppler Flowmetry in Assessing Pulp Vitality of Traumatized Teeth: A Propensity Score Matching Analysis. *Journal of endodontics*. 2018;44(3):379–383.  
doi: 10.1016/j.joen.2017.10.004

17. Арутюнов СД, Бондарчук АВ, Атрушкевич ВГ, Золотницкий ИВ, Пивоваров АА, авторы; Арутюнов СД, патентообладатель. Устройство для мониторинга гемодинамики тканей пародонта. Пат. 2758963 Рос. Федерация. Оpubл. 03.11.2021.

18. Jackson DA. Stopping rules in principal component analysis: a comparison of heuristic and statistical approaches. *Ecology*. 1993;74(8):2204–2214.  
doi: 10.2307/1939574

19. Jolliffe IT, редактор. *Principal component analysis*. New York: Springer-Verlag; 2002. 486 с.

20. Osborne JW. Improving your data transformations: applying the Box-Cox transformation. *Practical Assessment, Research & Evaluation*. 2010;15(12):1–9.  
doi: 10.7275/QBPC-GK17

3. Benedek T, Rodean I, Ratiu M, Rat N, Yero Eremie L, Biris C, et al. Periodontal disease, inflammation and atherosclerotic progression in patients with acute coronary syndromes – the ATHERO-DENT study. *Journal of Cardiovascular Emergencies*. 2018;4(1):17–23.  
doi: 10.2478/jce-2018-0001

4. Orekhova LYu, Aleksandrova AA, Aleksandrova LA, Musaeva RS, Tolibova GK, Posokhova EV. Clinical and cytological characteristic of a condition of the oral cavity at pregnant women with various types of a diabe-

tes mellitus. *Journal of obstetrics and womans diseases*. 2016;65(6):45–51 (In Russ.).

doi: 10.17816/JOWD65645-51.

5. Yang PY, Chen YT, Wang YH, Su NY, Yu HC, Chang YC. Malignant transformation of oral submucous fibrosis in Taiwan: a nationwide population-based retrospective cohort study. *Journal of Oral Pathology and Medicine*. 2017;46(10):1040–1045.

doi: 10.1111/jop.12570

6. Kerdvongbundit V, Vongsavan N, Soo-Ampon S, Hasegawa A. Microcirculation and micromorphology of healthy and inflamed gingivae. *Odontology*. 2003;91(1):19–25.

doi: 10.1007/s10266-003-0024-z

7. Rodríguez-Martínez M, Patiño-Marín N, Loyola-Rodríguez JP, Brito-Orta MD. Gingivitis and periodontitis as antagonistic modulators of gingival perfusion. *Journal of periodontology*. 2006;77(10):1643–1650.

doi: 10.1902/jop.2006.050311

8. Kouadio AA, Jordana F, Koffi NJ, Le Bars P, Soueidan A. The use of laser Doppler flowmetry to evaluate oral soft tissue blood flow in humans: A review. *Archives of oral biology*. 2018;86:58–71.

doi: 10.1016/j.archoralbio.2017.11.009

9. Gou H, Fan R, Chen X, Li L, Wang X, Xu Y, et al. Adjunctive effects of laser therapy on somatosensory function and vasomotor regulation of periodontal tissues in patients with periodontitis: A randomized controlled clinical trial. *Journal of periodontology*. 2020;91(10):1307–1317.

doi: 10.1002/JPER.19-0562

10. To M, Matsuo M, Wada-Takahashi S, Sugiyama S, Tamaki K, Takahashi SS. Microcirculation changes in gingival tissue after ultrasonic tooth preparation in beagle dogs. *Journal of applied oral science: revista FOB*. 2020;28:1–9.

doi: 10.1590/1678-7757-2019-0145

11. Nakamoto T, Kanao M, Kondo Y, Kajiwara N, Masaki C, Takahashi T, et al. Two-dimensional real-time blood flow and temperature of soft tissue around maxillary anterior implants. *Implant dentistry*. 2012;21(6):522–527.

doi: 10.1097/ID.0b013e318272fe81

12. Patiño-Marín N, Martínez F, Loyola-Rodríguez JP, Tenorio-Govea E, Brito-Orta MD, Rodríguez-Martínez M. A novel procedure for evaluating gingival perfusion status using laser-Doppler flowmetry. *Journal of clinical periodontology*. 2005;32(3):231–237.

doi: 10.1111/j.1600-051X.2005.00655.x

13. Yamamoto R, Amano K, Takahashi SW, To M, Takahashi S, Matsuo M. Changes in the microcirculation in periodontal tissue due to experimental peri-implantitis. *Journal of oral biosciences*. 2021;63(2):153–160.

doi: 10.1016/j.job.2021.03.002

14. Krechina EK, Maslova VV, Rakhimova EN. Determination of hemomicrocirculation in periodontal tissues using laser and ultrasound Dopplerography [e-book]. Moscow: TSNIIS and ChLH of Rosmedtechnologies; 2008 [cited 2022 Apr 28] (In Russ.). Available from: [https://www.cniis.ru/downloads/download\\_private/scientific/files/technology\\_n5\\_doppler.pdf](https://www.cniis.ru/downloads/download_private/scientific/files/technology_n5_doppler.pdf).

15. Orekhova LY, Loboda EU, Yamanidze N. The significance of the ultrasound doppler during the treatment of inflammatory periodontal diseases. *Eurasian Union of Scientists*. 2016;30:89–94 (In Russ.). Available from:

<https://elibrary.ru/item.asp?id=27316055>

16. Ahn SY, Kim D, Park SH. Efficacy of Ultrasound Doppler Flowmetry in Assessing Pulp Vitality of Traumatized Teeth: A Propensity Score Matching Analysis. *Journal of endodontics*. 2018;44(3):379–383.

doi: 10.1016/j.joen.2017.10.004

17. Arutyunov SD, Bondarchuk AV, Atrushkevich VG, Zolotnitsky IV, Pivovarov AA, inventors; Arutyunov SD, assignee. Device for monitoring hemodynamics of periodontal tissues. Russian Federation patent RU 2758963. 2021 Nov 03 (In Russ.).

18. Jackson DA. Stopping rules in principal component analysis: a comparison of heuristic and statistical approaches. *Ecology*. 1993;74(8):2204–2214.

doi: 10.2307/1939574

19. Jolliffe IT, editor. Principal component analysis. *New York: Springer-Verlag*; 2002. 486 p.

20. Osborne JW. Improving your data transformations: applying the Box-Cox transformation. *Practical Assessment, Research & Evaluation*. 2010;15(12):1–9.

doi: 10.7275/QBPC-GK17

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Бондарчук Александра Вадимовна**, ассистент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

Для переписки: freya090994@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4809-1338>

**Автор, ответственный за связь с редакцией:**

**Ясер Насерович Харах**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний Московского государственного

медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

Для переписки: c.kharakh@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7181-8211>

**Киракосян Левон Гамлетович**, ассистент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

Для переписки: dr.lkirakosyan@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5380-1475>



**Карпова Вероника Марковна**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация  
Для переписки: karpovavm82@rambler.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1003-6667>

**Сергей Дарчоевич Арутюнов**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой пропедевтики стоматологических заболеваний Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация  
Для переписки: sd.arutyunov@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6512-8724>

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Aleksandra V. Bondarchuk**, DMD, Assistant Professor, Department of Introduction to Dental Diseases, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation  
For correspondence: freya090994@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4809-1338>

### Corresponding author:

**Yaser N. Kharakh**, DMD, PhD, Associate Professor, Department of Introduction to Dental Diseases, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation  
For correspondence: c.kharakh@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7181-8211>

**Levon G. Kirakosyan**, DMD, Assistant Professor, Department of Introduction to Dental Diseases, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation  
For correspondence: dr.lkirakosyan@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5380-1475>

**Veronika M. Karpova**, DMD, PhD, Associate Professor, Department of Introduction to Dental Diseases, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation  
For correspondence: karpovavm82@rambler.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1003-6667>

**Sergey D. Arutyunov**, DMD, PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Introduction to Dental Diseases, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation  
For correspondence: sd.arutyunov@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6512-8724>

### Конфликт интересов:

**Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов/ Conflict of interests:**

*The authors declare no conflict of interests*

**Поступила / Article received 10.02.2022**

*Поступила после рецензирования / Revised 15.03.2022*

*Принята к публикации / Accepted 23.03.2022*



**НАЦИОНАЛЬНАЯ ШКОЛА ПАРОДОНТОЛОГИИ РПА**  
при поддержке GSK

РЕГИСТРИРУЙТЕСЬ ПО ССЫЛКЕ  
<https://perio-school.ru/>

**Национальная Школа Пародонтологии ПА «РПА» 2021**

[www.rsparo.ru](http://www.rsparo.ru)



### Уникальная программа

Специализированная программа на основе международных стандартов подготовки специалистов в области стоматологии



### Опыт экспертов

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



### Более 200 участников

Отличный повод познакомиться со своими коллегами