

УДК 616-009.12:616.314-089.23-053.2/6

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КАПИЛЛЯРНОГО КРОВОТОКА ПРИ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ ОРТОДОНТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРОЙ МЕХАНИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

<sup>1</sup>Д.А. Доменюк, <sup>1</sup>А.Г. Карслиева, <sup>2</sup>Э.Г. Ведешина, <sup>2</sup>С.В. Дмитриенко,  
<sup>1</sup>А.С. Кочконян, <sup>1</sup>Ю.С. Арутюнян

<sup>1</sup>Ставропольский государственный медицинский университет, г. Ставрополь  
<sup>2</sup>Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал ГБОУ ВПО ВолгГМУ  
Минздрава России, г. Пятигорск

## CAPILLARY BLOOD FLOW STATE ESTIMATION DURING PATIENTS TREATMENT WITH ORTODONTIC MECHANICAL APPLIANCES

<sup>1</sup>D.A. Domenyuk, <sup>1</sup>A.G. Karslieva, <sup>2</sup>E.G. Vedeshina, <sup>2</sup>S.V. Dmitrienko,  
<sup>1</sup>A.S. Kochkonyan, <sup>1</sup>Yu.S. Arutyunyan

<sup>1</sup>Stavropol State Medical University, Stavropol  
<sup>2</sup>Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – a branch of Volgograd State Medical  
University, Pyatigorsk  
E-mail: s.v.dmitrienko@pmedpharm.ru

Методом лазерной доплеровской флоуметрии проведено исследование показателей капиллярного кровотока в слизистой оболочке неба у детей в возрасте от 4,5 до 9 лет со скученным расположением зубов после наложения съемной ортодонтической аппаратуры из базисных материалов холодной полимеризации. Результаты изучения состояния капиллярного кровотока на основании среднего квадратического отклонения амплитуды колебаний, коэффициента вариации, амплитуд колебаний вазомоторного, дыхательного и кардиоритмов, а также показателей активных и пассивных механизмов модуляции кровотока в области слизистой оболочки неба у детей со скученным положением зубов позволяют утверждать, что через месяц с момента аппаратного лечения показатели гемодинамики в слизистой оболочке неба расстраиваются, а на более поздних сроках наблюдений происходит значительное усугубление нарушений.

**Ключевые слова:** лазерная доплеровская флоуметрия, зубочелюстные аномалии, детское население, капиллярный кровоток, микроциркуляция.

Laser Doppler flowmetry was used to investigate the palatal mucosa capillary blood-flow in children aged 4.5-9 years with crowded teeth undergoing treatment with removable orthodontic appliances from cold-cured base polymers. The results obtained from the examination of the capillary blood flow based on the amplitude standard deviation, the variation coefficient, the amplitudes of vasomotor, breathing, and cardiorythms, as well as the indices for active and passive mechanisms of blood flow modulation at the areas under study, showed that the hemodynamics indices in the palatal mucosa got disturbed a month after the treatment was started while the disturbances went even worse at later stages.

**Keywords:** laser Doppler flowmetry, dentoalveolar anomalies, child population, capillary blood flow, microcirculation, variation coefficient.

Ортодонтическое лечение пациентов со скученным положением зубов является одной из актуальных задач в ортодонтии вследствие высокой распространенности и значительной положительной динамики данной зубочелюстной аномалии (ЗЧА) во всех возрастных категориях. Проведенный в рамках Национальной программы мониторинг стоматологической заболеваемости детского населения Российской Федерации (2009) показал, что в среднем по стране распространенность скученного положения зубов у 10-12-летних детей составляет 51,7%, у 15-летних подростков – 63,8%. В период постоянного прикуса тесное положение зубов выявляется у 76,3% обследованных, причем в 39,6-49,4% случаев эта аномалия зубочелюстной системы сочетается с заболеваниями краевого пародонта. Тортоаномалия нередко встречается у детей с врожденной патологией челюстно-лицевой области [9, 10]. Скученное положение зубов оказывает влияние не только на эстетику и психологическое состояние пациента, но и на состояние их опорных тканей, так как осложняет физиологическую подвижность зубов, что может привести к развитию атрофических процессов в тканях пародонта в области тесно расположенных зубов [11].

Тортоаномалийное положение зубов способствует механическому сдавлению сосудов, уменьшению их просвета и, соответственно, увеличению сопротивления току крови в артериях. Существенное увеличение сопротивления в приводящих артериях вызывает снижение давления в микрососудах, а ослабление микроциркуляции при ишемии не только затрудняет питание тканей при уменьшении доставки кислорода и энергетических материалов, но аккумулирует продукты обмена веществ [6]. При прогрессировании патологического поражения тканей пародонта происходит повышение посткапиллярного сопротивления, снижение числа функционирующих капилляров, нарушение трофики пародонта и, как следствие, накопление в тканях вазоактивных и биологически активных веществ, что усугубляет гемодинамические и реологические сдвиги [2, 3].

Своевременная регистрация микроциркуляторных изменений является одной из важных задач современной стоматологии. Значительный успех в этом направлении достигнут благодаря внедрению функциональных методов исследования, которые позволяют производить объективную регистрацию состояния капиллярного кровотока. Это является важным не только для оценки системных и локальных расстройств микроциркуляции, но и для диагностики донозологических состояний, непосредственно предшествующих возникновению клинической картины заболеваний, при которых еще возможны обратимые изменения [1, 4, 5].

По мнению большинства отечественных и зарубежных исследователей, лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) является простым, атравматичным, безопасным и достоверным методом функциональной диагностики, поэтому этот метод достаточно широко применяется практически во всех медицинских дисциплинах, нуждающихся в изучении микроциркуляции у человека. Применение ЛДФ в медицине позволяет: во-первых, оценить состояние и расстройства микроциркуляции крови, повысив качество диагностики различных заболеваний путем распознавания их на ранних стадиях развития; во-вторых, сформировать базу для более глубокого понимания патогенеза возникающих расстройств микроциркуляции; в-третьих, осуществлять объективный контроль за проводимыми лечебно-профилактическими мероприятиями и индивидуальным подбором фармакологических средств [8]. В стоматологии ЛДФ наиболее эффективна для количественного определения линейных, объемных параметров структуры капиллярного кровотока, а также интенсивности гемодинамических процессов в тканях слизистой оболочки на уровне прикрепленной десны [7]. Комплексная оценка результатов капиллярного кровотока методом ЛДФ позволит провести объективную оценку функционального состояния тканей микроциркуляторного русла в слизистой оболочке полости рта у детей со скученным положением зубов на ранних этапах аппаратного лечения, получив

значимые для детской стоматологии результаты.

Цель исследования – изучение показателей капиллярного кровотока в слизистой оболочке неба у детей со скученным положением зубов верхней челюсти во фронтальном отделе после наложения съемной аппаратуры из базисных материалов холодной полимеризации по данным лазерной доплеровской флоуметрии.

Исследование состояния показателей капиллярного кровотока в слизистой оболочке неба проводилось у 37 детей в возрасте от 4,5 до 9 лет с ЗЧА (смыкание моляров по I классу Энгля, скученное положение зубов верхней и нижней челюсти во фронтальном отделе) с удовлетворительными и хорошими показателями гигиены полости рта через 1 месяц (ранний этап) и 6 месяцев (поздний этап) после наложения съемной ортодонтической аппаратуры с помощью метода ЛДФ. Пациентам было изготовлено 54 ортодонтических аппарата из базисных пластмасс холодного способа отверждения на основе полиметилметакрилата (ПММА): «Rebaron» («GS», Япония), «Triplex cold» («Ivoclar-Vivadent», Лихтенштейн), «Vertex self curing» («Vertex», Голландия). Базисные материалы холодной полимеризации на основе ПММА относятся к сополимерам на основе акриловых смол. Порошок – мелкодисперсный, суспензионный акриловый сополимер, содержащий инициатор – пероксид бензоила и активатор – дисульфанил; жидкость – стабилизированный метиловый эфир метакриловой кислоты с добавлением активатора радикальной полимеризации – диметилпартолуидина и сшивагента.

Принцип метода ЛДФ основан на лазерной доплеровской низкочастотной спектроскопии с использованием излучения гелий-неонового лазера малой мощности и длиной волны 632,8 нм, проникающего в поверхностные слои тканей. Отражение лазерного излучения от движущихся в микрососудах эритроцитов приводит к изменению частоты сигнала (эффект Доплера), что позволяет определить интенсивность микроциркуляции в исследуемом участке тела. Обратное рассеяние моно-

хроматического зондирующего сигнала формируется в результате многократного рассеивания на поверхности эритроцитов. Поэтому спектр отраженного сигнала после многократного детектирования, фильтрации и преобразования дает интегральную характеристику капиллярного кровотока в заданной единице объема тканей, которая складывается из средней скорости движения эритроцитов, показателя капиллярного гематокрита и числа функционирующих капилляров.

ЛДФ проводили лазерным анализатором капиллярного кровотока (ЛАКК-02; исполнение 2 – с двумя излучателями на длину волны 0,8 мкм) при использовании кварцевого световодного зонда диаметром 3 мм и длиной 1,8 м (производитель НПП «ЛАЗМА» г. Москва, разрешение Минздрава РФ для применения в практическом здравоохранении – Протокол № 1 от 13.01.1993 г. Комиссии по клинко-диагностическим приборам). Аппарат ЛАКК - 02 обеспечивает определение показателя капиллярного кровотока в диапазоне скоростей от 0,03 до 6 мм/с за период времени, не превышающий 10 секунд.

Лазерное излучение к поверхности исследуемого объекта подводится с помощью трехканального световодного кабеля (зонда), состоящего из трех световодов (волокон). По одному из них поступает лазерное излучение к ткани, а по двум другим принимается отраженное от ткани рассеянное излучение, которое поступает в блок обработки анализатора. После аналоговой обработки формируется выходной сигнал. На экране монитора компьютера можно наблюдать в реальном масштабе времени изменения кровотока в виде кривой (доплерограммы). Используемый в анализаторе ЛАКК-02 зонд позволяет регистрировать кровотоки в ткани объемом около 1 мм<sup>3</sup>. Фрагментарный характер колебаний на определенной частоте в реальной доплерограмме, когда наблюдается случайное чередование колебаний различной частоты, а также ограничение времени регистрации поступающего сигнала, определили необходимость использования цифрового метода фильтрации для анализа доплеро-

рограмм. Поэтому для получения более полной диагностической информации применяли амплитудно-частотный анализ гармонических ритмов исходной доплерограммы при спектральном разложении на гармонические составляющие физиологических колебаний тканевого кровотока.

Исследование микроциркуляции в тканях десны проводили в сидячем положении (угол наклона спины 95-100°) в стоматологическом кресле. Голова фиксирована на подголовнике при горизонтальном расположении трагоорбитальной линии. Запись исходной доплерограммы проводили на вестибулярной поверхности десны и в области неба.

При проведении исследований вычисляли следующие статистические характеристики показателя микроциркуляции (**ПМ**): среднее арифметическое значение –  $M$ , среднее квадратическое отклонение среднего арифметического –  $\sigma$ , коэффициент вариаций –  $K_v$ .

Для характеристики гемодинамических процессов определяли соотношение сопротивления на путях притока и оттока крови. По результатам анализа ритмических составляющих колебаний кровотока внутрисосудистое сопротивление ( $R$ ) характеризовали соотношением:

$$R = A_{CF} / M \times 100\% \quad (1),$$

где  $A_{CF}$  – амплитуда кардиоритма (пульсовых колебаний),

$M$  – среднее значение параметра микроциркуляции за время измерения.

Соотношение пассивных и активных процессов в системе микроциркуляции обозначали как индекс, характеризующий эффективность микроциркуляции (**ИЭМ**), который определяли из соотношения ритмов колебаний тканевого кровотока:

$$ИЭМ = A_{LF} / A_{CF} + A_{HF} \quad (2),$$

где  $A_{LF}$  – амплитуда вазомоторных колебаний,  
 $A_{CF}$  – амплитуда пульсовых колебаний,  
 $A_{HF}$  – амплитуда высокочастотных колебаний.

Проведено нормирование показателя амплитуды соответствующих ритмов к величине максимального разброса среднего значения параметра микроциркуляции за время измерения ( $3\sigma$ )

$$AF / 3\sigma \times 100\% \quad (3)$$

Состояние активных и пассивных механизмов микроциркуляции характеризовали по нормированным показателям ритмических составляющих флаксомоций. Расчет по формуле (3) для вазомоторных колебаний в большей мере характеризует состояние активного механизма вазомоций и их вклад в продвижение крови по микрососудам. Для высокочастотных (дыхательных) колебаний – пассивную активацию микроциркуляции за счет усиления перепадов давления в венозном русле в результате дыхательных экскурсий; для пульсовых колебаний – вклад сердечных сокращений в микроциркуляторную гемодинамику.

Обработка доплерограмм проводилась с помощью специализированного программного обеспечения к аппарату «ЛАКК-02» (НПП «ЛАЗМА») – пакета прикладных программ «LDF 2.20.0.507WL» на персональном компьютере. Статистическая обработка результатов исследований проводилась с использованием программы «Microsoft Excel XP», «Statistica 6.0» и включала описательную статистику, оценку достоверности различий по Стьюденту и корреляционный анализ с оценкой достоверности коэффициентов корреляции. При оценке достоверности отличий использовалось значение  $p < 0,05$ .

Показатели капиллярного кровотока слизистой оболочки неба у детей на этапах аппаратного лечения представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Показатели микроциркуляции слизистой оболочки неба на этапах лечения ( $M \pm m$ )**

Показатель	Сроки проведения исследований		
	До лечения	Через 1 месяц	Через 6 месяцев
M (пф.ед)	5,83±0,28	4,29±0,19	5,21±0,25
СКО (пф.ед)	0,81±0,03	0,89±0,04	0,29±0,01
K вариации	15,38	10,51	6,09
Fmax LF (Hz)	3,81±0,17	5,18±0,24	4,85±0,21
Fmax HF (Hz)	15,65±0,75	11,65±0,56	14,85±0,73
Fmax CF(Hz)	48,71±2,37	54,02±2,68	57,64±2,87
Amax LF (пф.ед)	0,78±0,03	0,34±0,01	0,31±0,01
Amax HF (пф.ед)	0,51±0,02	0,30±0,01	0,15±0,01
Amax CF(пф.ед)	0,19±0,01	0,15±0,01	0,12±0,01
AmaxLF/3100%	27,19±1,31	23,61±1,18	21,02±1,04
AmaxHF/3100%	18,74±0,96	17,68±0,87	16,63±0,82
AmaxCF/3100%	8,37±0,42	9,08±0,43	13,47±0,66
AmaxLF/M100%	14,91±0,72	9,17±0,44	4,27±0,21
AmaxHF/M100%	9,43±0,41	6,47±0,31	3,69±0,16
AmaxCF/M100%	3,68±0,17	3,23±0,15	2,52±0,11
ИЭМ	0,97	0,79	0,66

Анализ результатов проведенных исследований позволяет утверждать, что на ранних этапах ортодонтического лечения в слизистой оболочке неба отмечается небольшое уменьшение коэффициента вариации и показателя среднего арифметического значения микроциркуляции (M), что свидетельствует о нарушении вазомоторной активности сосудов и снижении уровня перфузии ткани. При этом величина среднего квадратического отклонения (СКО) увеличивалась, что указывает на сохранение механизмов модуляции тканевого кровотока. Также одномоментно наблюдался незначительный рост частот вазомоторных и кардиоритмов (Fmax LF, Fmax CF) при уменьшении частоты дыхательного ритма (Fmax HF). Кроме того, отмечалось снижение амплитуд во всех ритмических составляющих (Amax LF, Amax HF, Amax CF), причем наиболее выраженное сокращение амплитуды регистрировалось у медленных (вазомоторных) волн флаксомаций.

Расчет нормированных величин амплитуд соответствующих ритмов к величине максимального разброса среднего значения параметра микроциркуляции за время измерения (утроенная сигма) не выявил изменений этого параметра ни в од-

ном из диапазонов частот (AmaxLF/3 100%, AmaxHF/3 100%, AmaxCF/3 100%). В то же время отмечено снижение показателей активной (вазомоторной) и пассивной дыхательной модуляции кровотока (Amax LF/M 100%, Amax HF/M100%) при сохранении его пассивной модуляции, синхронизированной с кардиоритмом (Amax CF/M 100%). Незначительное уменьшение индекса эффективности микроциркуляции (ИЭМ) указывает на нарушение соотношения пассивных и активных механизмов модуляции кровотока.

На поздних этапах аппаратного лечения в слизистой оболочке неба были обнаружены значительно более выраженные изменения показателей микроциркуляции. Несмотря на сохранение величины показателя среднего арифметического значения микроциркуляции (M), происходит существенное сокращение показателя среднего квадратического отклонения (СКО) и коэффициента вариации, что указывает на ухудшение функционирования не только механизмов регуляции тканевого кровотока, но и снижение вазомоторной активности сосудов. При небольшом повышении показателя частот вазомоторных ритмов (Fmax LF) по сравнению с данными до ле-

чения, отмечается увеличение частоты высокочастотных колебаний ( $F_{\max HF}$ ), но в кардиоритмах ( $F_{\max CF}$ ) этот показатель нормализовался.

В изученных ритмических составляющих установлено значительное снижение амплитуд колебаний ( $A_{\max LF}$ ,  $A_{\max HF}$ ,  $A_{\max CF}$ ). Установлены изменения и нормированные показатели амплитуд соответствующих ритмов к величине максимального разброса среднего значения параметра микроциркуляции за время измерения (утроенная сигма). Отмечается уменьшение нормированного показателя вазомоторных колебаний ( $A_{\max LF/3}$  100%), нормированный показатель дыхательного ритма повышается ( $A_{\max CF/3}$  100%), а аналогичный показатель кардиоритма оставался без изменений ( $A_{\max HF/3}$  100%). Выявлено значительное уменьшение показателя активной вазомоторной модуляции кровотока ( $A_{\max LF/M}$  100%) и пассивной дыхательной модуляции ( $A_{\max HF/M}$  100%) при сохранении пассивной сердечной модуляции (показатель внутрисосудистого сопротивления) ( $A_{\max CF/M}$  100%). Зафиксированное сокращение индекса эффективности микроциркуляции (ИЭМ) свидетельствует о преобладании пассивных механизмов модуляции кровотока в слизистой оболочке полости рта обследуемых детей.

Таким образом, статистически достоверная оценка результатов состояния капиллярного кровотока методом ЛДФ на основании среднего квадратического отклонения амплитуды колебаний, коэффициента вариации, амплитуд колебаний вазомоторного, дыхательного и кардиоритмов, показателей активных и пассивных механизмов модуляции кровотока в обла-

сти слизистой оболочки неба у детей со скученным положением зубов позволяет утверждать, что через месяц с момента аппаратного лечения показатели микроциркуляции в слизистой оболочке неба изменяются, а на более поздних сроках наблюдений эти нарушения значительно усугубляются.

Доказано, что после наложения съемной ортодонтической аппаратуры происходит достоверное усиление кровотока в сосудах микроциркуляторного русла.

Достигнутые в результате функциональных исследований данные указывают на то, что на этапе перемещения зубов отмечается перестройка пародонтального комплекса. Существенная роль в осуществлении этого процесса отводится сосудам микроциркуляторного русла, усиление кровотока в которых удовлетворяет увеличившуюся потребность в кислороде и питательных веществах, а также в удалении продуктов метаболизма. Выявление данного механизма чрезвычайно важно, т.к. перемещение зубов сопровождается взаимно антагонистичными процессами: усилением резорбции костной структуры параллельно с активацией ее построения при перестройке сосудистого русла, изменением его тонуса.

Установлено, что на этапе ортодонтической коррекции усиливается активность вазомоторных реакций и уменьшается периферическое сопротивление оттоку крови. По нашему мнению, это объективно отражает адаптационный процесс работы функциональных механизмов микроциркуляторного русла, направленных на восстановление структуры и функции зубочелюстной системы в результате аппаратного лечения.

### Библиографический список

1. Доменюк, Д.А. Использование метода полимеразно-цепной реакции для идентификации маркерных пародонтопатогенов при оценке выраженности зубочелюстных аномалий у детского населения / Д.А. Доменюк, А.Г. Карслиева, Е.Н. Иванчева // *Стоматология детского возраста и профилактика*. – 2014. – Т. XIII, № 3 (50). – С. 26-33.
2. Доменюк Д.А. Исследование адаптационных реакций зубочелюстной системы у детей и подростков при использовании съемной ортодонтической аппаратуры // *Стоматология детского возраста и профилактика*. – 2012. – Т. XI, № 4 (43). – С. 41-46.
3. Доменюк, Д.А. Исследование состояния капиллярного кровотока в слизистой обо-

лочке полости рта у детей с аномалиями положения зубов/ Д.А. Доменюк, Е.Н. Иванчева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – №2. – С. 74-79.

4. Доменюк, Д.А. Оценка микроциркуляции в тканях протезного ложа при использовании съемной ортодонтической аппаратуры у детей и подростков / Д.А. Доменюк, Е.Н. Иванчева// Кубанский научный медицинский вестник. – Краснодар, 2012. – № 3 (132), – С. 52-56.

5. Доменюк, Д.А. Системный анализ факторов риска возникновения и развития кариеса у детей с аномалиями зубочелюстной системы (часть I) / Д.А. Доменюк, Б.Н. Давыдов // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2014. – Т. XIII, № 3 (50). – С. 40-48.

6. Козлов, В.И. Гистофизиология капилляров / В.И. Козлов, Е.П. Мельман, Б.В. Шутка.– СПб.: Наука, 2004. – 232 с.

7. Кречина, Е.К. Лазерная доплеровская флоуметрия в стоматологии: метод. рекомендации / Е.К. Кречина, В.И. Козлов, О.А. Терман. – М.: Медицина, 2007. – 18 с.

8. Кречина Е.К. Методы лазерной и ультразвуковой доплерографии в диагностике гемомикроциркуляции в тканях десны // Новая медицинская технология. – М., 2008. – 25 с.

9. Орехова Л.Ю. Здоровье молодежи - приоритетный национальный проект // Пародонтология. – 2009. – №1 (50).–С. 13-16.

10. Обоснование выбора металлических дуг при ортодонтическом лечении детей с расщелиной верхней губы и неба с использованием несъемной аппаратуры / И.В. Фоменко, С.В. Дмитриенко, И. Шаваша и др. // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 5 (2.). – С. 91.

11. Проффит, У.Р. Современная ортодонтия: пер. с англ. / У.Р. Проффит; под ред. Л.С. Персина. – М.: МЕДпресс-информ, 2008. – 560 с.

\* \* \*

*Доменюк Дмитрий Анатольевич – доктор медицинских наук, профессор кафедры стоматологии общей практики и детской стоматологии Ставропольского государственного медицинского университета. Область научных интересов: стоматология ортопедическая. E-mail: domenyukda@mail.ru.*

*Карслиева Анна Григорьевна – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры стоматологии общей практики и детской стоматологии Ставропольского государственного медицинского университета. Область научных интересов: ортодонтия.*

*Ведешина Эрнесса Григорьевна – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры стоматологии общей практики и детской стоматологии Ставропольского государственного медицинского университета. Область научных интересов: ортодонтия.*

*Дмитриенко Сергей Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой стоматологии Пятигорского медико-фармацевтического института – филиала ГБОУ ВПО ВолгГМУ Минздрава России. Область научных интересов: ортодонтия. E-mail: s.v.dmitrienko@pmedpharm.ru.*

*Кочконян Анна Суреновна – аспирант кафедры стоматологии общей практики и детской стоматологии Ставропольского государственного медицинского университета. Область научных интересов: стоматология ортопедическая.*

*Арутюнян Ю.С. – аспирант кафедры стоматологии общей практики и детской стоматологии Ставропольского государственного медицинского университета. Область научных интересов: стоматология ортопедическая.*