

УДК 611.161+611.728

**РЕАКТИВНОСТЬ МИКРОСОСУДОВ В СТОПЕ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ПЛОСКОСТОПИЯ**

Дж.А. Акамбасе, О.А. Гурова

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**Резюме**

С помощью метода лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) изучена степень изменчивости микроциркуляции крови и реактивности микрососудов в стопе у 40 молодых людей, имеющих разную высоту сводов стопы. С целью выявления реактивности микрососудов стопы показатели микроциркуляции регистрировали в покое (в положении испытуемого лежа) и при постуральной пробе (при опущенной вниз ноге). Установлено, что у лиц со средней высотой стопы интенсивность микроциркуляции и показатели реактивности микрососудов кожи стопы при нагрузке сбалансированы. При высокосводчатой стопе отмечается усиление перфузии тканей кровью и тенденция к повышенной активности регуляторных механизмов микроциркуляции. При истощении миогенного механизма регуляции микроциркуляции заметно возрастает активность нейрогенного механизма. При уплощении стопы и плоскостопии наблюдается снижение кровотока в микрососудах подошвы. Это может быть связано с уменьшением внутрисосудистого сопротивления и повышением миогенного тонуса микрососудов. У лиц с плоскостопием реактивность микрососудов подошвы снижается. Снижение реактивности микрососудов в плоской стопе уменьшает способность ее адаптации к различным условиям функционирования.

**Ключевые слова:** плоскостопие, микроциркуляция, ЛДФ.

**Для цитирования:** Акамбасе Дж.А., Гурова О.А. Реактивность микрососудов в стопе при различной степени плоскостопия // Лазерная медицина. – 2019. – Т. 23. – Вып. 1. – С. 41–46.

**Контакты:** Акамбасе Дж.А., e-mail: atulebire2006@gmail.com; Гурова О.А., e-mail: oagur@list.ru.

**REACTIVITY OF MICROVESSELS IN FOOT AT DIFFERENT DEGREE OF FLATNESS**

Akambase J.A., Gurova O.A.

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

**Abstract**

Using the laser Doppler method (LDF), the degree of variability of blood microcirculation and microvascular reactivity in the foot was studied in 40 young people with varying degrees of flatfoot. In order to identify the reactivity of microvessels in foot, the microcirculation indicators were recorded at rest (at lying position) and during the postural test (with the leg hanging down).

It has been established that in individuals with an average height of the foot arch, the microcirculation intensity and the microvascular reactivity of the foot skin are balanced under load. In the case of a high-arched foot, there is an increase in blood perfusion of tissues and a tendency to an increased activity of microcirculation regulatory mechanisms. With the depletion of the myogenic mechanism of regulation of microcirculation, the activity of the neurogenic mechanism was identified increasing. In the case of low-arched foot and flatfoot, there is a decrease in blood flow in the microvessels of the sole. This may be due to a decrease in intravascular resistance and an increase in the myogenic tone of microvessels. In individuals with flatfoot, the microvascular reactivity in the sole of the foot significantly decreases. The decrease in microvascular reactivity in flatfoot reduces the ability of its adaptation to different functional conditions.

**Keywords:** flatfoot, microcirculation, LDF.

**For citation:** Akambase J.A., Gurova O.A. Reactivity of microvessels in foot at different degree of flatness // *Lasernaya Medicina*. 2019; 23 (1): 41–46.

**Contacts:** Akambase J.A., atulebire2006@gmail.com; Gurova O.A., e-mail: oagur@list.ru.

**Введение**

В структуре ортопедических заболеваний деформации стоп занимают значительное место [3, 9]. Среди ортопедической патологии плоскостопие встречается в 26,4% наблюдений, а среди деформаций стоп статическое плоскостопие занимает первое место, составляя 81,5% [13]. В этом аспекте проблема диагностической, морфологической и функциональной оценки состояния стоп и реабилитации плоскостопия приобретает особо важное значение [2, 14].

Сложность анатомического строения стопы человека [12] в сочетании с разнообразием ее функциональных назначений (опора, рессора, толчок, балансировка) [4] делает этот орган уникальным и вместе с тем доступным для познания закономерностей его работы. Локальные изменения морфологических соотношений костно-суставных элементов неизбежно приводят не только к перестройке внешнего контура стопы, но и к изменению в ней тканевого кровотока. Некоторые клинические наблюдения показывают, что вальгусная деформация и *pes planus*, более распространенные у афро-американцев по сравнению

с европейцами [15, 16], могут сопровождаться расстройствами венозного кровотока в нижних конечностях.

Диагностика состояния микроциркуляции крови методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) в настоящее время приобретает все большее значение в клинике и научных исследованиях [5, 6, 8]. Интерес представляет зависимость показателей ЛДФ-грамм как от индивидуально-типологических и возрастных особенностей микроциркуляции, так и от разных нарушений опорно-двигательного аппарата [1, 5, 10]. Стопа человека, ее форма и функции – важнейшее эволюционное приобретение человечества.

**Целью** настоящего исследования стало изучение степени изменчивости микроциркуляции крови и реактивности микрососудов в стопе у молодых людей, имеющих разную степень плоскостопия.

**Материал и методы**

Для определения контингента испытуемых сначала с помощью плантографической методики В.А. Штритера [11, 17] обследовали стопы 92 мужчин в возрасте

19–23 лет. Из них были выделены 4 группы испытуемых: со среднесводчатой (группа 1), высокосводчатой (группа 2), уплощенной (группа 3) и плоской (группа 4) стопой. Свод здоровой стопы имеет умеренную высоту – мы определили такую стопу как среднесводчатую. Опора происходит на три точки: большой палец, пяточную кость и головку пятой плюсневой кости. При увеличенной высоте свода (высокосводчатая стопа) подошвенный апоневроз укорочен, растет нагрузка на опорные точки стопы. При уплощенной стопе уменьшается высота ее продольных сводов. При плоскостопии деформация стопы заключается в уменьшении высоты ее продольных сводов в сочетании с пронацией пятки и супинационной контрактурой переднего отдела стопы. В связи с этим во время стояния и ходьбы основная нагрузка приходится на уплощенный внутренний край стопы, рессорные свойства стопы при плоскостопии в значительной степени утрачиваются.

В каждой группе было обследовано по 10 человек – всего 40 человек (80 стоп).

Тканевой кровоток в коже стопы оценивали с помощью метода лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) на аппарате «ЛАКК-ОП» (НПП «Лазма», Россия) по стандартной методике [7]. Датчик размещали на вентральной (подошвенной) поверхности большого пальца стопы. Продолжительность записи ЛДФ – 3 мин.

Рассчитывали параметр микроциркуляции (ПМ) – среднюю величину перфузии единицы объема ткани за единицу времени, и среднее квадратичное отклонение (СКО), демонстрирующее интенсивность колебаний в потоке эритроцитов, так называемый «флукс» (в перфузионных единицах, пф. ед.). При анализе частотно-амплитудного спектра ЛДФ-грамм вычислялись амплитуды (А) и вклад (в%) в мощность всего спектра физиологически значимых колебаний кровотока: VLF – очень низкочастотных, NF – нейрогенных, LF – миогенных, CF – пульсовых и HF – обусловленных дыханием.

В стандартной методике ЛДФ-метрии автоматически определяются показатели миогенного (СТм) и нейрогенного (СТн) тонууса микрососудов:  $СТ = СКО/А$  (в усл. ед.), а также показатель внутрисосудистого сопротивления  $R_c$  – отношение суммы амплитуд высокочастотных колебаний (дыхательных и пульсовых) к СКО. Интегральную характеристику дает индекс флуксуций

(ИФМ) – соотношение амплитуд активных (низкочастотных миогенных и нейрогенных) и пассивных (высокочастотных пульсовых и дыхательных) колебаний кровотока.

С целью выявления реактивности микрососудов стопы показатели микроциркуляции регистрировали в покое (в положении испытуемого лежа) и при постуральной пробе (при опущенной вниз ноге).

Полученные результаты обработаны методами вариационной статистики с использованием пакета программ Excel.

### Результаты и обсуждение

В состоянии покоя лежа у испытуемых наблюдается относительно монотонный характер ЛДФ-грамм, уровень которых при высоком своде стопы наиболее значителен и заметно снижается при уплощенной и плоской стопе. Испытуемых со среднесводчатой стопой отличает ЛДФ-грамма со средним уровнем ПМ (рис. 1А). В частотно-амплитудном спектре отмечается средняя выраженность колебаний миогенной и нейрогенной природы (низкочастотных), но заметное влияние высокочастотных пульсовых колебаний (рис. 1Б).

При постуральной пробе на ЛДФ-грамме уровень параметра микроциркуляции постепенно снижается (рис. 2А), заметно увеличивается количество низкочастотных колебаний при одновременном снижении влияния высокочастотных (рис. 2Б).

Результаты исследования показали, что при разной высоте свода стопы наблюдаются разные показатели тканевого кровотока (ПМ) и его колеблемости (СКО) в коже стопы. При этом в уплощенной и плоской стопе они более низкие по сравнению с высокосводчатой и среднесводчатой стопами (табл. 1).

Так, наибольшая интенсивность микроциркуляции на подошвенной поверхности большого пальца стопы отмечается у лиц с высокосводчатой стопой: ПМ равен  $7,9 \pm 3,3$  пф. ед., что на 14% больше, чем у лиц со среднесводчатой стопой. Наименьшие значения ПМ наблюдаются при уплощенной стопе –  $5,8 \pm 0,7$  (меньше на 16%, чем при среднесводчатой стопе, и на 27% – чем при высокосводчатой стопе) и при плоскостопии –  $5,1 \pm 0,8$  пф. ед. (меньше на 26 и 35%, соответственно). Эти различия могут быть связаны с более высоким внутрисосудистым сопротивлением (возрастает показатель  $R_c$

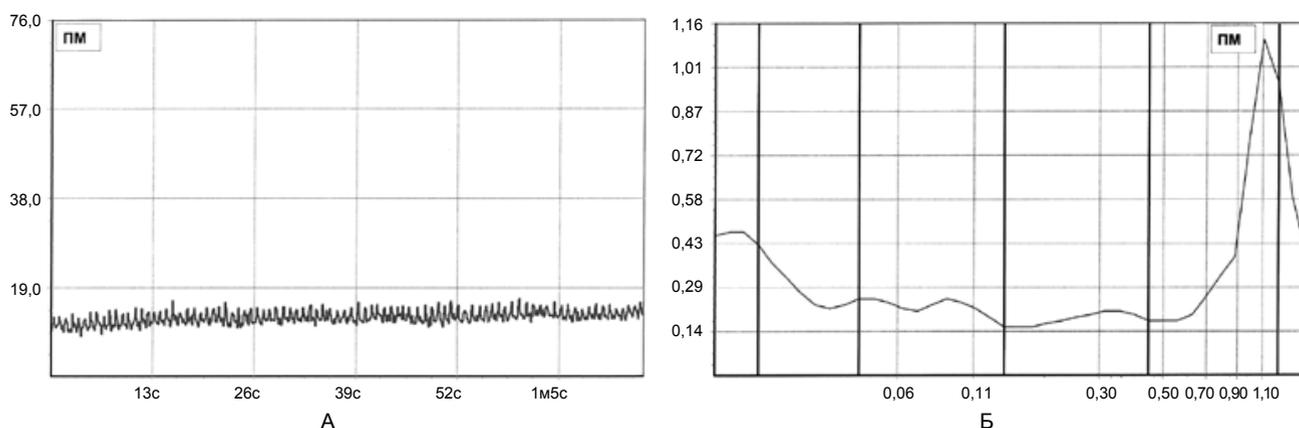
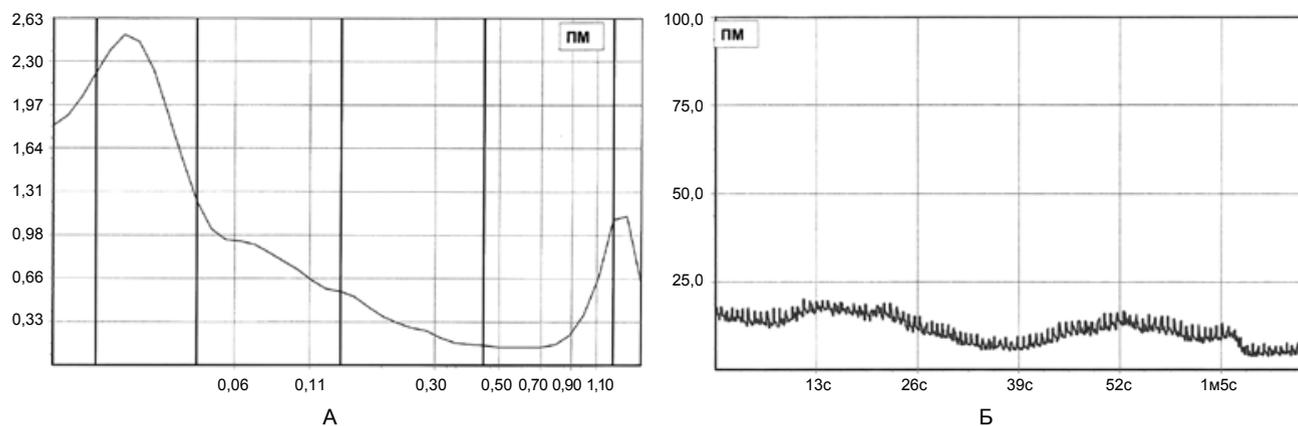


Рис. 1. ЛДФ-грамма (А) и ее частотно-амплитудный спектр (Б) у испытуемого со среднесводчатой стопой в положении лежа

Fig. 1. LDF-gramma (A) and its frequency-amplitude spectrum (B) in the subject with an average arched foot in the supine position



**Рис. 2.** ЛДФ-грамма (А) и ее частотно-амплитудный спектр (Б) у испытуемого со среднесводчатой стопой после проведения поструральной пробы  
**Fig. 2.** LDF-gramma (A) and its frequency-amplitude spectrum (B) in a test subject with an average arched foot after postural test

**Таблица 1**

Состояние микроциркуляции и реактивность микрососудов в стопе при различной высоте сводов стопы ( $M \pm m$ )

**Table 1**

The state of microcirculation and reactivity of microvessels in the foot at different height of the foot arches ( $M \pm m$ )

| Параметры ЛДФ<br>LDF parameters             | Положение лежа<br>Prone position | Постуральная проба<br>Postural test | Изменчивость показателя, $\Delta\%$<br>Variability of indicator, $\Delta\%$ |
|---|----------------------------------|-------------------------------------|---|
| Среднесводчатая стопа<br>Normal-arched foot |                                  |                                     |   |
| ПМ, перф. ед. perfusion unit                | $6,9 \pm 0,4$                    | $6,4 \pm 0,5$                       | -7  |
| СКО, перф. ед. perfusion unit               | $1,9 \pm 0,4$                    | $2,3 \pm 0,5$                       | + 21  |
| СТм, усл. ед. conventional unit             | $6,8 \pm 0,3$                    | $7,7 \pm 0,1$                       | + 13  |
| СТп, усл. ед. conventional unit             | $4,2 \pm 0,4$                    | $3,8 \pm 0,2$                       | -10   |
| Ре, усл. ед. conventional unit              | $0,3 \pm 0,1$                    | $0,2 \pm 0,1$                       | -33   |
| ИФМ, усл. ед. conventional unit             | $1,5 \pm 0,1$                    | $1,8 \pm 0,1$                       | + 20  |
| Высоководчатая стопа<br>High-arched foot    |                                  |                                     |   |
| ПМ, перф. ед. perfusion unit                | $7,9 \pm 3,3$                    | $7,2 \pm 1,1$                       | -9  |
| СКО, перф. ед. perfusion unit               | $2,1 \pm 0,2$                    | $2,7 \pm 0,4$                       | + 29  |
| СТм, усл. ед. conventional unit             | $5,3 \pm 0,3$                    | $9,0 \pm 0,1$                       | + 70  |
| СТп, усл. ед. conventional unit             | $3,0 \pm 0,1$                    | $4,5 \pm 0,2$                       | + 50  |
| Ре, усл. ед. conventional unit              | $0,3 \pm 0,2$                    | $0,2 \pm 0,1$                       | -33   |
| ИФМ, усл. ед. conventional unit             | $1,6 \pm 0,1$                    | $1,8 \pm 0,1$                       | + 15  |
| Уплощенная стопа<br>Low-arched foot         |                                  |                                     |   |
| ПМ, перф. ед. perfusion unit                | $5,8 \pm 0,7$                    | $4,9 \pm 0,5$                       | -16   |
| СКО, перф. ед. perfusion unit               | $2,3 \pm 0,2$                    | $2,1 \pm 0,3$                       | -9  |
| СТм, усл. ед. conventional unit             | $5,8 \pm 0,2$                    | $7,0 \pm 0,3$                       | + 21  |
| СТп, усл. ед. conventional unit             | $3,3 \pm 0,1$                    | $3,5 \pm 0,2$                       | + 6   |
| Ре, усл. ед. conventional unit              | $0,5 \pm 0,1$                    | $0,4 \pm 0,1$                       | -20   |
| ИФМ, усл. ед. conventional unit             | $0,9 \pm 0,1$                    | $1,0 \pm 0,2$                       | + 11  |
| Плоская стопа<br>Flat foot                  |                                  |                                     |   |
| ПМ, перф. ед. perfusion unit                | $5,1 \pm 0,8$                    | $4,2 \pm 0,7$                       | -18   |
| СКО, перф. ед. perfusion unit               | $1,9 \pm 0,2$                    | $1,5 \pm 0,1$                       | -21   |
| СТм, усл. ед. conventional unit             | $6,3 \pm 0,2$                    | $7,5 \pm 0,4$                       | + 19  |
| СТп, усл. ед. conventional unit             | $3,8 \pm 0,1$                    | $3,7 \pm 0,3$                       | -3  |
| Ре, усл. ед. conventional unit              | $0,5 \pm 0,3$                    | $0,4 \pm 0,2$                       | -20   |
| ИФМ, усл. ед. conventional unit             | $0,8 \pm 0,1$                    | $0,9 \pm 0,1$                       | + 13  |

**Примечание.**

ПМ – параметр микроциркуляции; СКО – показатель флаксмаций; СТм – показатель миогенного тонуса микрососудов; СТп – показатель нейрогенного тонуса микрососудов; Ре – показатель внутрисосудистого сопротивления; ИФМ – индекс флаксмаций

**Note.**

PM – Microcirculation parameters; SKO – Indicators of Flux-motion; CTm – Indicator of microvascular myogenic tone; CTp – Indicator of the neurogenic tonus of microvessels; Re – Indicator of intravascular resistance; IFM – Flux-motion index

до 0,5 усл. ед. на 67%) и явлениями застоя в кровеносном русле стопы при развитии плоскостопия.

Анализ частотно-амплитудного спектра ЛДФ-грамм указывает на высокую активность механизмов регуляции микроциркуляции у лиц со среднесводчатой и с высокосводчатой стопами. В положении лежа в коже пальца стопы суммарный вклад активных (нейрогенных и миогенных) вазомоторных колебаний в общую мощность спектра ЛДФ-грамм составляет при среднесводчатой стопе 30%, при высокосводчатой – 33%. В то же время у лиц с уплощенной и плоской стопами этот показатель равен 25% и 28%, соответственно.

При развитии плоскостопия значительно увеличивается значение высокочастотных колебаний: вклад сердечного ритма в общую мощность спектра ЛДФ-грамм составляет 35% при уплощенной стопе и 45% – при плоской. У лиц с среднесводчатой стопой вклад пульсовых колебаний в 2–2,5 раза меньше (17%); при высокосводчатой стопе меньше в 1,5 раза (25%).

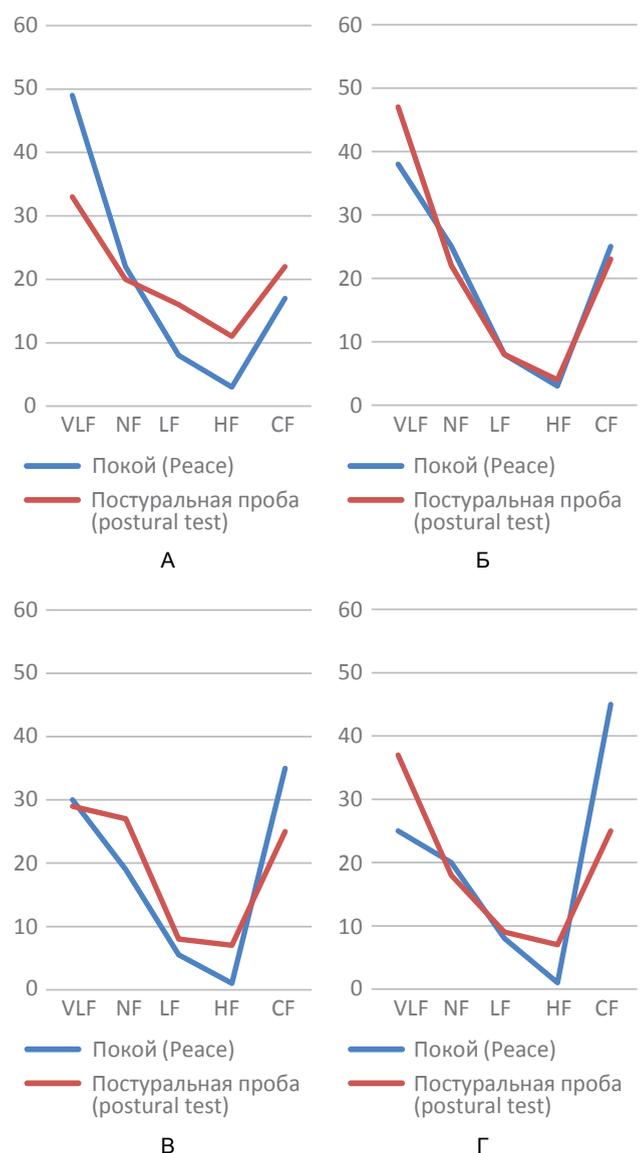
Показатель эффективности флакмоций (ИФМ) у лиц с высокосводчатой и среднесводчатой стопами достоверно превышает таковой у испытуемых, имеющих уплощенную и плоскую стопу ( $p \leq 0,05$ ). Это подтверждает высокую активность механизмов регуляции тонуса сосудов в коже стопы при среднем и высоком своде, что может быть обусловлено значительной нагрузкой на большой палец. При уплощенном и плоском своде большой палец стопы, по-видимому, находится в условиях меньшего давления, поскольку нагрузка в условиях сглаживания продольных сводов (рессорного свода) падает на весь медиальный край стопы.

Проведение постуральной пробы позволило выявить динамику реактивности микрососудов в стопе. При постуральной пробе происходит снижение внутрисосудистого сопротивления и возрастание миогенного тонуса микрососудов стопы. Это сопровождается снижением показателя кожной микроциркуляции (ПМ) в стопе, степень которого в большей мере выражена при развитии плоскостопия. Так, у лиц с уплощенной и плоской стопой при постуральной пробе ПМ снижается на 16–18%, в то время как при среднесводчатой стопе – на 7%, высокосводчатой стопе – на 9%. Показатель сосудистого сопротивления (Rc) у лиц с высокосводчатой и среднесводчатой стопами уменьшается при постуральной пробе на 33%. В то же время при уплощенной и плоской стопе снижение составляет лишь 20%.

Миогенный тонус микрососудов (показатель СТм) при выполнении постуральной пробы особенно сильно возрастает у испытуемых с высокосводчатой стопой: на 70%. Это свидетельствует о значительном возрастании напряжения механизмов регуляции микроциркуляции. В то же время у лиц с среднесводчатой стопой этот показатель увеличивается всего лишь на 13%, а при уплощенной и плоской стопах – на 19–21%. Обращает на себя внимание и значительное увеличение нейрогенной компоненты (показатель СТн) у лиц с высокосводчатой стопой: на 50%, в то время как в других группах изменения незначительны. По-видимому, в последнем случае возможности миогенного регулирования исчерпаны, и подключается нейрогенный механизм регуляции микроциркуляции.

Наиболее интересно ведет себя показатель флакмоций (СКО), характеризующий мобильность тканевого кровотока. В коже пальца среднесводчатой и высокосводчатой стоп он при постуральной пробе увеличивается на 21–29%, что преимущественно происходит за счет возрастания миогенного тонуса, а при развитии плоскостопия – снижается на 9% в уплощенной и 21% в плоской стопах. Все это свидетельствует о значительном снижении мобильности тканевого кровотока и указывает на возникновение явлений застоя крови в стопе при развитии плоскостопия.

Частотно-амплитудный спектр ЛДФ-грамм в условиях постуральной пробы подтверждает наличие существенных различий в реакции микрососудов подошвы у лиц с разной высотой сводов стопы (рис. 3).



**Рис. 3.** Паттерн колебаний ЛДФ-граммы в покое и при постуральной пробе у испытуемых с среднесводчатой (А), высокосводчатой (Б), уплощенной (В) и плоской (Г) стопой: VLF – очень низкочастотные колебания, NF – нейрогенные колебания, LF – миогенные колебания, CF – пульсовые колебания, HF – колебания, обусловленные дыханием

**Fig. 3.** The pattern of oscillations of LDF-grams at rest and during the postural test in subjects with normal-arched (A), high-arched (B), low-arched (V) and flat (Г) foot: VLF- very low frequency oscillations, NF-neurogenic oscillations, LF-myogenic oscillation, CF-pulse oscillations, HF – oscillations caused by breathing

Так, при среднесводчатой стопе изменение вклада различных колебаний в общую мощность спектра ЛДФ-граммы характеризуется снижением вклада активных низкочастотных колебаний и тенденцией к росту вклада пассивных высокочастотных колебаний. Слабый рост сосудистой активности у лиц с высокосводчатой стопой подтверждает уже отмеченный выше факт истощения у них возможностей миогенного регулирования микроциркуляции. При уплощенной стопе постуральная проба вызывает незначительный рост активности сосудистых механизмов (вклад нейрогенных и миогенных колебаний увеличивается) и ослабление пассивных механизмов регуляции микроциркуляции, связанных с сердечным ритмом. При плоскостопии проба приводит к увеличению вклада наиболее низкочастотных колебаний (VLF), обусловленных состоянием эндотелия микрососудов, в то же время нейрогенный и миогенный компоненты остаются без изменений, а снижение вклада пульсовых колебаний особенно заметно.

### Заключение

Постуральная проба позволяет выявить определенные тенденции в функционировании микрососудов стопы у лиц, имеющих разную высоту ее сводов. У лиц с нормальной (среднесводчатой) стопой интенсивность микроциркуляции и показатели активности регуляторных процессов в микроциркуляторном русле кожи стопы как в покое, так и при нагрузке свидетельствуют о сбалансированности регуляторных влияний на кровоток.

При высокосводчатой стопе отмечается усиление перфузии тканей кровью и тенденция к повышенной активности регуляторных механизмов микроциркуляции в коже вентральной поверхности пальца стопы, возможно, как следствие повышенной нагрузки на него. Постуральная проба показала, что в коже подошвенной поверхности стопы при истощении миогенного механизма регуляции микроциркуляции возрастает активность нейрогенного механизма.

При уплощении стопы и плоскостопии наблюдается снижение кровотока в микрососудах и тенденция к уменьшению уровня активности регуляторных механизмов микроциркуляции в коже подошвы. Это может быть связано со снижением внутрисосудистого сопротивления и повышением миогенного тонуса микрососудов. Изменения микроциркуляции при постуральной пробе свидетельствуют о заметном уменьшении реактивности микрососудов подошвы у лиц с плоскостопием.

### Литература

1. Акамбасе Д.А., Гурова О.А., Кокорева Т.В. Состояние микроциркуляции крови в стопе у лиц с различной высотой свода стопы // Единство науки, образования и практики – медицине будущего: сборник статей. – Воронеж: Научная книга, 2018. – С. 113–114.
2. Донсков В.И. Приобретенная плоско-вальгусная деформация стоп у детей (этиология, патогенез, консервативное лечение): Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. – Казань, 2000. – 22 с.
3. Истомина И.С., Кузьмин В.И., Левин А.Н. Оперативное лечение поперечного плоскостопия и hallux valgus // Вестник травматологии и ортопедии. – 2003. – № 1. – С. 55–60.
4. Кашуба В. А., Верховая Т.В. Методологические особенности исследования осанки человека // Педагогика, психология та медико-біологія проблеми фізичного виховання і спорту. – 2002. – № 13. – С. 48–53.

5. Козлов В.И. Развитие системы микроциркуляции. – М.: РУДН, 2012. – 314 с.
6. Козлов В.И. Капилляроскопия в медицинской практике. – М.: Практическая медицина, 2015. – 232 с.
7. Козлов В.И., Азизов Г.А., Гурова О.А., Литвин Ф.Б. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови: Методическое пособие для врачей. – М., 2012. – 32 с.
8. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем. Колебания, информация, нелинейность. Руководство для врачей. – М.: Либроком, 2014. – 498 с.
9. Кузьмин В.И. Оперативное лечение больных с поперечным плоскостопием, hallux valgus: проектирование медицинского технологического процесса // Вестник травматологии и ортопедии. – 2003. – № 1. – С. 67–72.
10. Морозов М.В. Морфофункциональное состояние микроциркуляции в коже различных топографо-анатомических областей тела человека: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. – М., 2008. – 23 с.
11. Прокопьев Н.Я., Романова С.В. Спорт и плоскостопие // Молодой ученый. 2016. – № 12. – С. 525–529.
12. Самусев Р.П., Липченко В.Я. Атлас анатомии человека. – М.: ОНИКС, 2004. – 768 с.
13. Шугалова А.Б. О патогномичном симптоме поперечного плоскостопия // Травматология и ортопедия. – 1996. – № 2. – С. 49–51.
14. Akambase J.A., Kokoreva T.V., Gurova O.A. Racial and gender comparison of anthropometric parameters of the foot // *Archiv euromedica*. 2018; 1: 55–56.
15. Akambase J.A., Kokoreva T.V., Gurova O.A. Anthropometric evaluation of body composition and foot arches of African and European men // *Morphology*. 2018; 153 (3) (Supplement): 13.
16. Dunn J.E., Link C.L., Felson D.T. et al. Prevalence of foot and ankle conditions in a multiethnic community sample of older adults // *Am. J. Epidemiol.* 2004; 159 (5): 491–498.
17. Muzurova L.V., Kochelaevskaya I.E. Individual variability of morphometric parameters feet of girls 18–19 years from Saratov region of the Russian Federation // *Russian Open Medical Journal*. 2017; 6 (Issue 1).

### References

1. Akambase D.A., Gurova O.A., Kokoreva T.V. The state of microcirculation of blood in the foot of individuals with different heights of the foot // *Unity of science, education and practical medicine in the future: Collection of articles*. Moscow, 2018: 113–114.
2. Donсков V.I. Acquired flat-valgus foot deformity in children (etiology, pathogenesis, conservative treatment): Author's dissertation for candidate of medical sciences. Kazan, 2000: 22.
3. Istomina I.S., Kuzmin V.I., Levin A.N. Surgical treatment of transverse flatfoot and hallux valgus // *Vestnik traumatologii i ortopedii*. 2003; 1: 55–60.
4. Kashuba V.A., Verkhovaya T.V. Methodological peculiarities in studying the human posture // *Pedagogika, psihologiya ta mediko-biologiya problem physichnogo vikhovannia i sportu*. 2002; 13: 48–53.
5. Kozlov V.I. Development of microcirculation system. Moscow: RUDN, 2012: 314.
6. Kozlov V.I. Capillaroscopy in medical practice. Moscow: Praktichnaya medicina, 2015: 232.
7. Kozlov V.I., Azizov G.A., Gurova O.A., Litvin F.B. Laser Doppler flowmetry in assessing the status and disorders of microcirculation: A manual for doctors. Moscow, 2012: 32.
8. Krupatkin A.I., Sidorov V.V. Functional diagnostics of the state of microcirculatory and tissue systems. Vibrations, information, nonlinearity. A guide for doctors. Moscow: Librokom, 2014: 498.
9. Kuzmin V.I. Surgical treatment of patients with transverse flat foot, hallux valgus: designing of medical technological process // *Bulleten Traumatologii i ortopedii*. 2003; 1: 67–72.
10. Morozov M.V. Morphofunctional state of microcirculation in the skin of various topographic-anatomical areas of the human body: Author's dissertation for candidate of medical sciences. Moscow, 2008: 23.

11. Prokopiev N.Ya., Romanova S.V. Sport and flat-footedness // *Molodoy ucheniy*. 2016; 12: 525–529.
12. Samusev R.P., Lipchenko V.Ya. Atlas of human anatomy. Moscow: ONIKS, 2004: 768.
13. Shugalova A.B. About pathognomonic symptom of transverse flat foot // *Travma to logia i ortopedia*. 1996; 2: 49–51.
14. Akambase J.A., Kokoreva T.V., Gurova O.A. Racial and gender comparison of foot parameters // *Archiv euromedica*. 2018; 1: 55–56.
15. Akambase J.A., Kokoreva T.V., Gurova O.A. Anthropometric evaluation of body composition and foot arches of African and European men // *Morphology*. 2018; 153 (3) (Supplement): 13.
16. Dunn J.E., Link C.L., Felson D.T. et al. Prevalence of older adults and ankle conditions in the multiethnic community // *Am. J. Epidemiol.* 2004; 159 (5): 491–498.
17. Muzurova L.V., Kochelaevskaya I.E. Individual variability of morphometric parameters of feet of girls 18–19 years from the Russian Federation // *Russian Open Medical Journal*. 2017; 6: Issue 1.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по программе повышения конкурентоспособности РУДН «5-100» среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2016–2020 гг. (грант АААА-А18-118120790045-0).

УДК 616.002-194

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ЛЕЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕННОГО ГНОЙНОГО ПЕРИТОНИТА (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Ю.С. Вайнер<sup>1</sup>, С.Д. Никонов<sup>2</sup>, К.В. Атаманов<sup>1</sup>, Д.К. Атаманов<sup>1</sup>, Е.В. Федорова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет», Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ)», Новосибирск, Россия

### Резюме

*Цель исследования:* разработать новую технологию хирургического лечения гнойного перитонита. *Материал и методы.* Выполнены операции у 100 крыс линии Вистар, разделенных на 3 группы. Выполняли моделирование перитонита, далее на 2-е сутки формировали тонкокишечный анастомоз под углом 90° и 60°, на 7-е сутки животных выводили из эксперимента. Лазерную фотодинамическую терапию (ФДТ) сформированного анастомоза осуществляли энергией полупроводникового лазера Лакhta Милон при длине волны 662 нм и выходной мощности 200 мВт в дистантном монопозиционном режиме для достижения плотности световой дозы 20–25 Дж/см<sup>2</sup>. В качестве фотосенсибилизатора использовали раствор метиленовый синий 0,3%. Сравнивалась послеоперационная летальность, число случаев несостоятельности анастомоза, развития абдоминальных абсцессов. Также изучали площадь кровеносных и лимфатических сосудов кишечной стенки, число нейтрофильных лейкоцитов, лимфоцитов и фибробластов по линии кишечного шва. *Результаты.* Выявлено, что в группе животных, которым анастомоз формировался с пересечением кишки под углом 60° и после этого подвергался фотодинамической обработке, летальность, число несостоятельств и абдоминальных абсцессов были наименьшими. Также отмечено, что ФДТ способствовала снижению интенсивности локального воспалительного ответа в кишечной стенке. *Заключение.* Разработанная технология формирования тонкокишечного анастомоза с пересечением обеих петель кишки под углом 60° и последующим проведением ФДТ на анастомоз позволяет снизить вероятность его несостоятельности и развития абдоминальных абсцессов.

**Ключевые слова:** фотодинамическая терапия, перитонит, тонкокишечный анастомоз, несостоятельность анастомоза.

**Для цитирования:** Вайнер Ю.С., Никонов С.Д., Атаманов К.В., Атаманов Д.К., Федорова Е.В. Антимикробная фотодинамическая терапия оригинального тонкокишечного анастомоза в условиях экспериментального перитонита // *Лазерная медицина*. – 2019. – Т. 23. – Вып. 1. – С. 46–52.

**Контакты:** Вайнер Ю.С., e-mail: doctorenc@rambler.ru

## DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR TREATING WIDESPREAD PURULENT PERITONITIS (AN EXPERIMENTAL STUDY)

Weiner J.S.<sup>1</sup>, Nikonov S.D.<sup>2</sup>, Atamanov K.V.<sup>1</sup>, Atamanov D.K.<sup>1</sup>, Fedorova E.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk State National Research University (NSU), Novosibirsk, Russia

### Abstract

*Purpose:* To develop a new technique for surgical treatment of purulent peritonitis. *Material and methods.* 100 Wistar rats were divided into 3 groups and were operated on. Peritonitis was modulated and then, on day 2, enteric anastomosis was formed at 90° and 60° angles of intestinal resection. On day 7, the animals were taken out of the experiment. Laser photodynamic therapy (PDT) was applied to the formed anastomosis using semiconductor laser Lakhta Milon with wavelength 662 nm and output power 200 mW. The targeted area was irradiated with a distant mono position mode to achieve light dose density equal to 20–25 J/cm<sup>2</sup>. 0.3% methylene blue solution was used as a photosensitizer. Postoperative mortality, number of inconsistent anastomoses and abdominal abscesses were compared in the groups. The researchers also investigated blood and lymphatic vessels in the intestinal wall, level of neutrophilic leukocytes, lymphocytes and fibroblasts along the line of intestinal suture. *Results.* As it has been found out, the number of inconsistent anastomoses and abdominal abscesses as well the mortality rate were the smallest in the group of animals in which anastomoses were made at 60° angle and then treated with photodynamic sessions. It was also noted that photodynamic therapy decreased the intensity of local inflammatory response in the intestinal wall. *Conclusion.* The developed technique for intestinal anastomosis formation with the resection of both intestinal loops at the angle of 60° and the subsequent photodynamic treatment of anastomoses reduces the risk of their failure and abdominal abscesses.

**Key words:** photodynamic therapy, peritonitis, enteric anastomosis, anastomosis inconsistency