

---

## ПОКАЗАТЕЛИ ЛДФ-ГРАММ В КОЖЕ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА И ИХ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ

**В.И. Козлов, О.А. Гурова**

Кафедра анатомии человека  
Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

**М.В. Морозов**

Фармацевтическая компания «Никомед Дистрибьюшен Сентэ»  
ул. Усачёва, 2, стр. 1, Москва, Россия, 119048

С помощью метода лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) изучены параметры кровотока в коже различных топографо-анатомических областей тела у здоровых лиц в возрасте 18—24 лет. Особенности строения кожи и ее микроциркуляторного русла в этих областях тела исследованы с помощью гистологических методов и капилляроскопии. Определены нормативные показатели состояния микроциркуляции в коже головы, туловища и основных сегментов верхней и нижней конечностей.

**Ключевые слова:** лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ), капилляроскопия, микроциркуляция крови, кожа, топографо-анатомические области тела.

В научных исследованиях, а также в клинической практике актуальна проблема оценки состояния микроциркуляции крови, поскольку от эффективности перераспределения потоков крови в тканях зависит сбалансированность в них обменных процессов и характер функционирования [1—3]. Широко используемый в настоящее время метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), являясь неинвазивным, позволяет оценивать как системное состояние микроциркуляции крови в организме, так и его локальные особенности, дает возможность осуществлять динамическое наблюдение за микроциркуляцией [4—6]. Областью исследования капиллярного кровотока методом ЛДФ являются, преимущественно, кожный покров и слизистые оболочки [4, 6, 7]. Вместе с тем до последнего времени не были четко определены нормативные показатели ЛДФ-грамм для кожи разных топографо-анатомических областей тела и не дано их морфофункциональное обоснование.

**Цель исследования** — определить параметры ЛДФ-грамм в коже различных топографо-анатомических областей тела и с помощью гистологических и биомикроскопических методов обосновать выявленные особенности микроциркуляции крови.

**Материал и методы исследования.** Состояние кожной микроциркуляции оценивалось с помощью лазерного анализатора кровотока «ЛАКК-01» (НПП «Лазма», Россия). Обследовано 80 практически здоровых лиц мужского пола в возрасте от 18 до 24 лет. Запись ЛДФ-грамм производилась в соответствии с методическими рекомендациями [6] в положении испытуемых сидя. ЛДФ-сигнал регистрировался последовательно в 15 точках тела: груди (5-е межреберье справа по перед-

ней подмышечной линии), живота (у латерального края прямой мышцы живота), лба, мочки уха, плеча (медиальная поверхность в области нижней трети), предплечья (вентральная поверхность в области нижней трети), кисти (тыльная поверхность — 1-й межкостный промежуток), 4-го пальца кисти (ладонная и тыльная поверхности дистальной фаланги), бедра (медиальная поверхность в области нижней трети), голени (задняя поверхность в области нижней трети), медиальной и латеральной лодыжек, стопы (тыльная поверхность — 1-й межкостный промежуток), 1-го пальца стопы (тыльная поверхность дистальной фаланги).

В тех же 15 точках общего покрова с помощью усовершенствованной методики прижизненной микрофотокапиллярометрии [8] посредством контактного темнопольного люминесцентного операционного микроскопа МЛК–ЗМТ (ЛОМО) производилось биомикроскопическое исследование капилляров кожи.

Гистологическими методами (стандартная окраска кожи гематоксилином с последующей докраской эозином) выявлялась глубина залегания кровеносных сосудов в исследуемых участках кожи. Материалом для исследования послужили кусочки кожи, взятые от 10 трупов лиц, скоропостижно скончавшихся от несчастных случаев, не связанных с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Все полученные данные обработаны методами вариационной статистики.

**Результаты исследования.** Показатели кожного кровотока, полученные с помощью метода ЛДФ, представлены в табл. 1. Значения параметра микроциркуляции (ПМ), характеризующего интенсивность кожного кровотока, широко варьируют в зависимости от области исследования. Самые высокие показатели наблюдаются в коже мочки уха —  $27,9 \pm 1,2$  и в коже ладонной поверхности 4-го пальца кисти —  $25,4 \pm 0,9$ , самые низкие — в коже голени и медиальной лодыжки —  $6,1 \pm 0,3$ , а также в коже предплечья —  $6,7 \pm 0,3$  пф. ед. Различия носят достоверный характер ( $p \leq 0,01$ ).

Таблица 1

Показатели микроциркуляции крови в коже различных областей тела

Область тела	ПМ, пф. ед.	СКО, пф. ед.	ИФМ, усл. ед.
Лоб	$18,7 \pm 0,5$	$1,8 \pm 0,1$	$1,18 \pm 0,02$
Мочка уха	$27,9 \pm 1,2$	$3,3 \pm 0,3$	$1,56 \pm 0,04$
Грудь	$14,6 \pm 1,0$	$2,0 \pm 0,2$	$1,53 \pm 0,05$
Живот	$12,4 \pm 0,6$	$1,2 \pm 0,1$	$1,51 \pm 0,04$
Плечо	$10,1 \pm 1,0$	$1,2 \pm 0,1$	$1,65 \pm 0,05$
Предплечье	$6,7 \pm 0,3$	$0,8 \pm 0,1$	$1,63 \pm 0,05$
Кисть	$7,1 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,1$	$1,94 \pm 0,07$
Палец кисти (ладонная поверхность)	$25,4 \pm 0,9$	$3,1 \pm 0,2$	$2,09 \pm 0,05$
Палец кисти (тыльная поверхность)	$17,1 \pm 1,0$	$2,9 \pm 0,2$	$1,89 \pm 0,06$
Бедро	$6,5 \pm 0,3$	$0,7 \pm 0,03$	$1,67 \pm 0,06$
Голень	$6,1 \pm 0,3$	$0,5 \pm 0,04$	$1,54 \pm 0,06$
Медиальная лодыжка	$6,1 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,03$	$1,57 \pm 0,06$
Латеральная лодыжка	$6,7 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,04$	$1,57 \pm 0,05$
Стопа	$7,2 \pm 0,4$	$0,6 \pm 0,1$	$1,53 \pm 0,05$
Палец стопы (тыльная поверхность)	$6,9 \pm 0,4$	$0,8 \pm 0,1$	$1,59 \pm 0,06$

Среднее квадратичное отклонение (СКО), как важная характеристика изменчивости потока эритроцитов, также имеет наибольшие значения в коже мочки уха —  $3,3 \pm 0,3$  пф. ед. и дистальной фаланги пальца кисти:  $3,1 \pm 0,2$  на ладонной поверхности и  $2,9 \pm 0,2$  пф. ед. на тыльной поверхности. Высокие значения СКО свидетельствуют об активности механизмов модуляции тканевого кровотока в коже терминальных областей тела. Значительно меньшая величина СКО зарегистрирована в коже туловища:  $2,0 \pm 0,2$  на груди и  $1,2 \pm 0,1$  на животе ( $p \leq 0,05$ ), а самая малая — в коже нижней конечности:  $0,5 \pm 0,04$  на голени и  $0,6 \pm 0,04$  пф. ед. на лодыжке ( $p \leq 0,01$ ). Снижение величины СКО обычно свидетельствует об угнетении активных вазомоторных механизмов модуляции тканевого кровотока или преобладании в регуляции тонических симпатических влияний. Величина СКО существенна для оценки состояния микроциркуляции и сохранности механизмов ее регуляции [1, 4].

При биомикроскопическом исследовании установлено, что величина ПМ зависит от анатомических особенностей кожи в области исследования. Высокие значения ПМ определяются в тех областях кожи, где имеется большая плотность функционирующих капилляров и наибольшее количество артериовенозных анастомозов (табл. 2).

Таблица 2

**Особенности строения кожи в разных анатомических областях тела**

Область тела	Плотность функционирующих капилляров на $1 \text{ мм}^2$	Толщина эпидермиса, мкм	Глубина залегания	
			капилляров сосочкового слоя, мкм	сосудов субпапиллярного сплетения, мкм
Лоб	$28 \pm 0,4$	$52 \pm 0,4$	$55 \pm 0,35$	$87 \pm 0,35$
Мочка уха	$54 \pm 0,6$	—	—	—
Грудь	$16 \pm 0,5$	$53 \pm 0,45$	$56 \pm 0,35$	$89 \pm 0,45$
Живот	$14 \pm 1$	$38 \pm 0,6$	$49 \pm 0,4$	$106 \pm 0,95$
Плечо	$12 \pm 0,4$	$74 \pm 0,71$	$78 \pm 1,21$	$123 \pm 0,75$
Предплечье	$16 \pm 0,4$	$72 \pm 1,31$	$83 \pm 1,11$	$121 \pm 0,85$
Кисть (тыльная поверхность)	$48 \pm 0,5$	$88 \pm 0,85$	$89 \pm 0,85$	$133 \pm 0,65$
Кисть (ладонная поверхность)	—	$516 \pm 2,32$	$530 \pm 1,26$	$619 \pm 0,55$
4-й палец кисти (тыльная поверхность)	$57 \pm 0,7$	$131 \pm 2,52$	$94 \pm 0,65$	$167 \pm 1,11$
Бедро	$14 \pm 0,8$	$62 \pm 0,95$	$66 \pm 0,7$	$85 \pm 0,45$
Голень	$16 \pm 0,6$	$129 \pm 1,11$	$136 \pm 0,8$	$147 \pm 0,55$
Медиальная лодыжка	$22 \pm 0,5$	$146 \pm 0,9$	$149 \pm 0,7$	$174 \pm 0,6$
Стопа (тыльная поверхность)	$36 \pm 0,6$	$138 \pm 0,95$	$145 \pm 0,85$	$167 \pm 0,8$
Стопа (подошва)	—	$631 \pm 2,47$	$652 \pm 1,71$	$727 \pm 1,26$
1-й палец стопы (тыльная поверхность)	$37 \pm 0,5$	$144 \pm 0,7$	$150 \pm 1,31$	$188 \pm 0,96$

Плотность функционирующих капилляров имеет решающее значение для величины базовых показателей ЛДФ-грамм. Значения плотности функционирующих

капилляров варьируют в довольно широких пределах в разных топографо-анатомических областях тела. Меньше всего функционирующих капилляров выявлено в коже плеча —  $12 \pm 0,4$  и в коже бедра —  $14 \pm 0,8$  на  $1 \text{ мм}^2$ . В коже груди и живота отсутствуют выраженные различия в количестве функционирующих капилляров:  $16 \pm 0,5$  и  $14 \pm 1$  капилляров на  $1 \text{ мм}^2$ , соответственно.

Наибольшая плотность функционирующих капилляров наблюдается в коже ногтевого валика пальцев кисти —  $57 \pm 0,7$  и в коже мочки уха —  $54 \pm 0,6$  капилляра на  $1 \text{ мм}^2$ .

На базовые показатели ЛДФ-грамм влияют также толщина эпидермиса кожи и глубина залегания микрососудов. С помощью гистологических методов установлено, что толщина эпидермиса кожи колеблется от  $38 \pm 0,6$  мкм в области живота до  $146 \pm 0,9$  мкм на нижней конечности. Наибольшая толщина эпидермиса отмечается в коже ладоней и подошв:  $516 \pm 2,3$  и  $631 \pm 2,5$  мкм, соответственно. Несмотря на то, что плотность капилляров в коже плеча достоверно выше ( $p < 0,01$ ), что несомненно оказывает влияние на величину базовых показателей ЛДФ-грамм — основные показатели в коже нижней конечности имеют меньшую величину, чем в коже живота и верхней конечности, что обусловлено, главным образом, большей толщиной эпидермиса и большей глубиной залегания микрососудов. В коже конечностей наблюдается снижение ПМ в проксимальных отделах (плечо и бедро) по сравнению с показателями в коже туловища, а также тенденция к постепенному возрастанию величины показателя по мере приближения к дистальным отделам конечностей (рис. 1). В коже верхней конечности эта закономерность выражена ярче: величина ПМ в коже пальца кисти достоверно ( $p \leq 0,01$ ) превосходит таковую в коже других сегментов конечности.

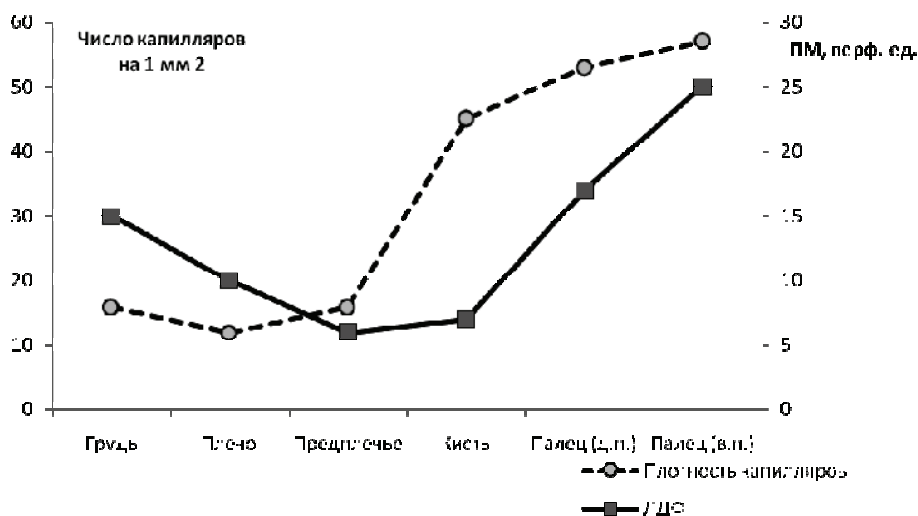


Рис. 1. Соотношение плотности расположения капилляров и параметра микроциркуляции в коже груди и разных сегментов верхней конечности

Таким образом, при смещении исследований от центра тела — туловища — к дистальным сегментам верхней конечности наблюдается градиентное повышение

ние базовых показателей ЛДФ, которое коррелирует с увеличением плотности расположения капилляров в коже этих областей.

Низкие значения показателей ЛДФ-грамм в коже нижних конечностей и отсутствие выраженных различий между показателями в коже разных сегментов конечности обусловлено как большой толщиной эпидермиса и глубоким залеганием микрососудов в коже, так и, по-видимому, влиянием положения нижней конечности в пространстве.

Для оценки регуляторных влияний на микроциркуляцию в коже разных топографо-анатомических областей тела анализировали амплитудно-частотный спектр (АЧС) ЛДФ-грамм. Представленные в табл. 3 данные свидетельствуют о различном вкладе ритмических составляющих колебаний кожного кровотока в общий спектр флаксмоций в разных топографо-анатомических областях тела.

Таблица 3

**Спектральные характеристики колебаний кожного кровотока в коже разных анатомических областей тела человека (вклад частотных составляющих в общую мощность спектра, в %)**

Область тела	Частотные составляющие			
	VLF	LF	HF	CF
Лоб	50,1 ± 2,21	37,9 ± 2,4	9,2 ± 0,67	2,8 ± 0,3
Мочка уха	53,0 ± 2,33	35,4 ± 2,56	9,2 ± 0,99	2,4 ± 0,42
Грудь	44,5 ± 1,16	42,5 ± 0,98	10,9 ± 0,69	2,13 ± 0,28
Живот	52,2 ± 0,48	39,8 ± 0,36	6,4 ± 0,29	1,6 ± 0,11
Плечо	49,9 ± 1,19	40,4 ± 0,98	8,6 ± 0,63	1,1 ± 0,25
Предплечье	50,6 ± 1,08	39,3 ± 1,06	9,1 ± 0,65	1,0 ± 0,09
Кисть	53,2 ± 2,01	39,6 ± 1,77	6,2 ± 0,35	1,0 ± 0,14
Палец кисти (тыльная поверхность)	54,1 ± 0,78	38,4 ± 0,35	6,6 ± 0,42	0,9 ± 0,07
Палец кисти (ладонная поверхность)	56,4 ± 0,89	36,8 ± 0,61	6,1 ± 0,29	0,7 ± 0,06
Бедро	50,9 ± 0,73	40,1 ± 0,52	7,6 ± 0,58	1,4 ± 0,15
Голень	51,4 ± 0,92	37,9 ± 0,84	9,2 ± 0,77	1,5 ± 0,15
Медиальная лодыжка	49,8 ± 1,01	40,9 ± 0,88	8,1 ± 1,07	1,2 ± 0,12
Латеральная лодыжка	51,8 ± 2,06	36,5 ± 2,15	9,8 ± 0,85	1,9 ± 0,21
Стопа	50,3 ± 0,96	38,8 ± 0,48	9,1 ± 0,86	1,8 ± 0,45
Палец стопы (тыльная поверхность)	54,8 ± 1,57	35,2 ± 1,27	8,7 ± 0,79	1,3 ± 0,18

Наиболее выраженный вклад в мощность АЧС ЛДФ-грамм принадлежит колебаниям с очень низкой (VLF) и низкой (LF) частотой, которые связаны с работой самих микрососудов и относятся к механизмам активной модуляции кровотока. Вклад VLF-колебаний в общий спектр регистрируемого ЛДФ-сигнала в коже груди составляет  $44,5 \pm 1,2\%$ , а в коже ладонной поверхности 4-го пальца кисти —  $56,4 \pm 0,9\%$ . Вклад LF-колебаний изменяется от  $35,2 \pm 1,3\%$  в коже тыльной поверхности пальца стопы до  $42,5 \pm 1\%$  в коже груди.

Высокочастотные (HF) и пульсовые (CF) колебания обусловлены перепадами давления крови в микрососудах и отражают состояние пассивных механизмов мо-

дуляции кровотока. Вклад HF-колебаний в мощность общего спектра регистрируемого ЛДФ-сигнала колеблется в пределах от  $6,1 \pm 0,3\%$  в коже ладонной поверхности 4-го пальца кисти до  $10,9 \pm 0,7\%$  в коже груди. Вклад SF-колебаний самый низкий и составляет от  $0,7 \pm 0,1\%$  в коже ладонной поверхности пальца кисти до  $2,8 \pm 0,3\%$  в коже лба.

Таким образом, у молодых здоровых лиц доминирующим ритмом флуксуций является вазомоторный ритм, обусловленный активностью гладкомышечных компонентов в стенке микрососудов прекапиллярного звена микроциркуляторного русла, о чем свидетельствует максимальный вклад в общую мощность спектра VLF- и LF-колебаний. Подобное соотношение ритмических составляющих колебаний тканевого кровотока отражает сбалансированность механизмов его регуляции [1, 4].

Интегральная характеристика микроциркуляции — индекс флуксуций, ИФМ — дает представление о соотношении «активных» и «пассивных» механизмов модуляции кровотока. У здоровых молодых людей ИФМ имеет стабильные значения в коже туловища и проксимальных отделов конечностей, где составляет от  $1,51 \pm 0,04$  на животе до  $1,67 \pm 0,06$  на бедре. Низкие значения ИФМ отмечаются в коже лба —  $1,18 \pm 0,02$  ( $p \leq 0,05$ ), высокие — в коже пальца кисти:  $1,89 \pm 0,06$  на тыльной поверхности и  $2,09 \pm 0,05$  на ладонной поверхности ( $p \leq 0,05$ ) (см. табл. 1).

Полученные в результате исследования кожного кровотока в разных областях тела показатели ЛДФ-грамм и их АЧС у практически здоровых лиц в возрасте 18—24 лет могут служить нормативными [9]. Наибольшие значения показателей ПМ, СКО и ИФМ отмечаются в коже пальцев кисти, что делает эту область оптимальной для проведения исследований методом ЛДФ.

**Заключение.** С помощью метода ЛДФ получены нормативные показатели микроциркуляции в коже разных топографо-анатомических областей тела. Биомикроскопические и гистологические исследования подтвердили зависимость величины базовых показателей кожного кровотока от особенностей строения кожи и ее микроциркуляторного русла в конкретной области тела. На величину показателей ЛДФ-грамм оказывают влияние плотность функционирующих капилляров, толщина эпидермиса и глубина залегания микрососудов в коже. Оптимальной для проведения исследований методом ЛДФ можно считать область дистальных фаланг пальцев кисти.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Козлов В.И.* Система микроциркуляции крови: клинико-морфологические аспекты изучения // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. — 2006. — Т. 5. — № 2. — С.84—101.
- [2] *Козлов В.И.* Развитие системы микроциркуляции. — М.: Изд-во РУДН, 2012.
- [3] *Intaglietta M.* Capillary Flow motion // Int. J. Microcirculation. — 2002. — Vol. 14 (suppl. 1). — P. 3—15.
- [4] *Крупаткин А.И., Сидоров В.В.* Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. — М.: Медицина, 2005.

- [5] *Fargell B.* Problems using laser Doppler on the skin in clinical practice // *Laser Doppler*. — London; Los Angeles, Nicosia: Med-Orion Publish. Co., 1994. — P. 49—54.
- [6] *Козлов В.И., Мач Э.С., Литвин Ф.Б. и др.* Метод лазерной доплеровской флоуметрии. — М., 2001.
- [7] *Сабанцева Е.Г.* Патофизиологическая характеристика расстройств микроциркуляции при воспалительно-деструктивных заболеваниях слизистой оболочки рта // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. — 2006. — Т. 5. — С. 30—36.
- [8] *Козлов В.И., Тулицин И.О.* Микроциркуляция при мышечной деятельности. — М., 1982.
- [9] *Морозов М.В.* Морфофункциональное состояние микроциркуляции в коже различных топографо-анатомических областей тела человека: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. — М., 2008.

## **LDF OF THE SKIN MICROCIRCULATION IN DIFFERENT AREAS OF THE BODY AND RATIONALE MORPHOFUNCTIONAL**

**V.I. Kozlov, O.A. Gurova**

Department of Human Anatomy  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 8, Moscow, Russia, 117198*

**M.V. Morozov**

Pharmaceutical company "Nycomed Distribyushen Sente"  
*Moscow Usacheva str., 2, p. 1, Moscow, Russia, 119048*

Using laser doppler flowmetry (LDF) the parameters of skin microcirculation of different topographo-anatomic regions of the body at healthy persons age of 18—24 years were studied. Features of the skin structure and microvessels in these areas of the body are investigated by histological methods and capillaroscopy. Normative parameters of microcirculation in the skin of head, body and main segments of hand and leg are determined.

**Key words:** laser doppler flowmetry (LDF), capillaroscopy, blood microcirculation, skin, topographo-anatomic areas of the body.