

© В.В.Сидоров, А.И.Крупаткин, 2004.
УДК 612.818:617.57/617.58

В.В.Сидоров¹, А.И.Крупаткин² ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ЛАЗЕРНОЙ ДОППЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ

¹Научно-производственное предприятие лазерной медицинской аппаратуры «ЛАЗМА»,
²ГУН «Центральный институт травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова»
Москва, Россия

Аннотация: Диагностические критерии оценки состояния микроциркуляции крови основаны на анализе функционирования эндотелиальной активности, нейрогенной и миогенной регуляций, дыхательного и кардио ритмов. Приведены количественные соотношения для определения миогенного и нейрогенного сосудистых тонусов и показателя шунтирования кровотока по артериоло-венулярным анастомозам. Найдены оптимальные режимы воздействия на кожу для стимуляции секреторной активности NO эндотелием и электростимуляции сенсорных терминалей нейрогенной регуляции, и разработан инструментарий для их осуществления, входящий в состав лазерного анализатора ЛАКК-02.

Ключевые слова: диагностика, микроциркуляция, лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ).

Среди неинвазивных способов исследований микроциркуляции крови метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) является ведущим по информативности о состоянии функционирования механизмов регуляции кровотока в микроциркуляторном русле (эндотелиальные влияния, нейрогенная и миогенная регуляции).

Регистрируемой характеристикой в методе ЛДФ является изменение перфузии, которое зависит от концентрации и скорости эритроцитов в микроциркуляторном русле. Движение эритроцитов модулируется колебаниями сосудистой стенки, обусловленными функционированием эндотелия, нейрогенной и миогенной регуляцией (активные ритмы), а также внешними для микроциркуляторного русла колебаниями – сердечным ритмом со стороны артерий и дыхательным ритмом – со стороны вен (пассивные ритмы).

В таблице приведены частотные диапазоны, в которых осуществляется модуляция сосудистой стенки.

Таблица 1.

	Частотный интервал (Гц)	Пик частоты (Гц)	Происхождение
I	0,0095-0,02	0,01	Локальное метаболическое эндотелиальное [1]
II	0,02-0,06	0,04	Нейрогенное [2]
III	0,06-0,15	0,1	Миогенное [3]
IV	0,15-0,4	0,3	Дыхательное
V	0,4-1,6	1	Кардиальное

Чем выше амплитуда колебаний А, тем более глубокая модуляция сосудистой стенки, вследствие более интенсивного функционирования того или иного активного механизма регуляции. Объектами нейрогенной регуляции в микроциркуляторном русле являются артериолы и артериоло-венулярные анастомозы, а миогенной регуляции – прекапиллярные сосуды и прекапиллярные сфинктеры.

Известно, что объектом регуляции на уровне

мышечно-содержащихся сосудов является тонус сосудистых мышц.

Нейрогенный тонус (НТ) определяется выражением: $HT = s / A_{max}^H$, где s - усредненное колебание по активным и пассивным ритмам, A_{max}^H - максимальное значение амплитуды колебаний в диапазоне нейрогенных ритмов; миогенный тонус (МТ) оценивается аналогично: $MT = s / A_{max}^M$, где A_{max}^M - наибольшее значение амплитуды колебаний в миогенном диапазоне.

В зависимости от состояний нейрогенного и миогенного тонусов кровотока распределяется между нутритивным руслом и анастомозом. Очевидно, что показатель шунтирования (ПШ) кровотока обусловлен соотношением миогенного и нейрогенного тонусов: при более высоком миогенном тонусе (низкое значение A_{max}^M) увеличивается шунтирующий кровоток, растет значение показателя шунтирования: $ПШ = МТ/НТ$.

Эндотелиальные колебания

Колебания перфузии, связанные с эндотелиальной активностью, обусловлены осцилляционными изменениями концентрации в крови вазодилатора NO, выделяемого эндотелием [1]. Метод ЛДФ позволяет регистрировать эти колебания. Наряду с регистрацией эндотелиальных ритмов в базальном кровотоке, активность эндотелия тестируется при нагрузочных пробах: используется локальный ионофорез с ацетилхолином или окклюзионная проба. Ионофорез с ацетилхолином приводит к увеличению выработки NO эндотелием и, как следствие, к более глубокой модуляции сосудистой стенки и повышению амплитуды эндотелиального ритма. Определены оптимальные условия ионофореза в ходе исследований, проведенных с помощью лазерного анализатора микроциркуляции крови ЛАКК-02 с блоком «ЛАКК-ТЕСТ», имеющим ионофоретический пробник, - ток 5 мкА и однопроцентный раствор ацетилхолина.

При окклюзионной пробе увеличение амплитуды эндотелиального ритма отмечается на участке ЛДФ-граммы после реактивной гиперемии вследствие реакции эндотелия при резком увеличении объема и скорости кровотока.

Сравнивая амплитуды эндотелиального русла в покое и при нагрузочных пробах, оценивается сохранность вазорегулирующей функции эндотелия в микроциркуляторном русле.

Нейрогенная регуляция

Тоническая и рефлекторная (фазическая) активность преганглионарного нейрона (ПН) – это функционально разные и несовпадающие процессы. Поэтому необходимо не только оценивать исходный НТ, но и нейрогенную рефлекторную регуляцию сосудов. Для этого целесообразно проведение функциональных проб. Для исследования симпатической адренергической регуляции целесообразно применение дыхательной, холодовой, постуральной проб, когнитивного теста с целью оценки степени снижения перфузии или показателя микроциркуляции (ПМ) в ответ на кратковременную активацию симпато-адреналовой системы. При холодном тесте сегмент конечности, например, кисть помещают в охлажденную воду (от 0°C до 12°C – 15°C по разным авторам) на 0,5 – 6 минут, чаще на 1 минуту. Для регистрации нейрогенно обусловленного рефлекторного снижения кровотока используют интактные конечности - не только контралатеральную кисть, но и обе стопы.

Дыхательная проба не только проста в применении, но и высокоинформативна - в участках кожи с высокой плотностью симпатической иннервации (акральные зоны конечностей, особенно пальцы кисти) она положительна у всех здоровых лиц. Глубокий вдох сопровождается активацией сосудосуживающих эфферентных симпатических волокон и снижением ПМ.

Предлагается оценивать симпатическую вазомоторную активность по двум параметрам – нейрогенному тону в покое и величине дыхательной пробы. Разработана классификация основных нарушений амплитуды симпатического вазомоторного рефлекса, диагностируемых с помощью ЛДФ.

Для оценки сенсорных пептидергических волокон наиболее эффективно исследование их локальной эффекторной функции путем перкутанной антидромной электростимуляции ноцицептивных С-афферентов электродом блока «ЛАКК-ТЕСТ». Электростимуляция сенсорных терминалей, стимулируя выделение вазоактивных нейропептидов, способна вызвать антидромную вазодилатацию кожи как в эксперименте у животных, так и на коже у человека, причём эффект вазодилатации можно количественно оценить с помощью ЛДФ. Для электростимуляции С-афферентов используется ток частотой 2 Гц и длительностью импульса 0,5 мс, сила тока подбирается индивидуально, не дово-

дя 0,5 мА до порога боли. Обычно для пальцев она не превышает 9 – 10 мА. Реакция оценивается по степени прироста ПМ после электростимуляции.

Нами используется новый показатель резерва нейромедиаторной регуляции микроциркуляторного русла (РНР, в %), являющийся суммой величин степени снижения ПМ при дыхательной пробе (Δ ПМ) и степени прироста ПМ при электростимуляционном тесте (Δ ПМс). РНР характеризует степень участия нейрогенного фактора в микрососудистой регуляции. Соответственно, доля каждого из компонентов РНР, выраженная в % от общего РНР, отражает соотношение вазомоторной и сенсорной пептидергической видов регуляции.

Миогенная регуляция.

Функциональными пробами на активность миогенных механизмов могут служить постуральная проба при изменении позы конечности от горизонтальной к вертикальной вниз, а также проба с кратковременной окклюзией (до 30 сек). В первом случае фиксируют степень снижения, а во втором - увеличения ПМ.

Пассивные ритмы

Повышение амплитуды в диапазоне кардиоритмов является следствием увеличения числа эритроцитов в артериолах (пониженный сосудистый тонус), поступающих в микроциркуляторное русло из артерий, где эритроциты модулированы сердечным ритмом. Увеличение амплитуды сердечного ритма может быть также обусловлено ригидностью сосудистой стенки, в этом случае ритмы из артерий с минимальными искажениями проникают в артериолы как по системе «жестких» не эластичных сосудов.

Аналогично, повышение амплитуды колебаний в диапазоне дыхательных ритмов является следствием увеличения числа эритроцитов в веноулярном звене (веноулярный застой). Это обстоятельство приводит к повышению вклада в отраженный сигнал колебаний от большего числа эритроцитов, находящихся в веноулярном звене.

Литература:

1. Kvandel P., Stefanovska A., Veber M., Kvernmo H.D., Kirkeboin K.A. Regulation of human Cutaneous evaluated by laser Doppler flowmeter, iontophoresis and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandins, *Microvasc. Res.*, 65 (2003), p. 160-171.
2. Kastrup J., Buhlow J., Lassen N.A. Vasomotion in human skin before and after local heating recorded with laser Doppler flowmetry. A method for induction of vasomotion, *Int. J. Microcirc. Lin. Exp.* 1989, v. 8, p. 205-215.
3. Meyer M.F., Rose C.J., Hulsmann J.-O., Schatz H., Pfohl M. Impaired 0.1-Hz vasomotion assessed by laser Doppler anemometry as an early index of peripheral sympathetic neuropathy in diabetes, *Microvasc. Res.*, 65 (2003), p. 88-95.

V.V. Sidorov¹, A.I. Krupatkin²

DIAGNOSTIC POSSIBILITIES OF METHOD LASER DOPPLER FLOWMETRY

¹NPP "LAZMA", ²CITO,

Moscow, Russia

Microcirculation blood diagnostic criteria are based on analysis blood modulations by the endothelium, neurogenic, intrinsic myogenic activity of vascular smooth muscle and the heart, respiratory rhythms. There are quantitative ratios for the myogenic, neurogenic vascular tones and the index of opening arteriolo-venules anastomoses. There are the optimum rates for the nitric oxide (NO), neurogenic stimulation and the laser analyzer LAKK-02 set of instruments tools for its.

E-mail: lazma@plusnet.ru