

**ФОТОЭЛЕКТРОННАЯ (ГРВ) ЭМИССИЯ КАК ОТРАЖЕНИЕ  
МИКРОЦИРКУЛЯТОРНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ**

О. В. Сорокин<sup>1</sup>, А. И. Хаданов<sup>2</sup>, К. Г. Коротков<sup>3</sup>, В. Ю. Куликов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет Росздрава»  
(г. Новосибирск)

<sup>2</sup>ГУ «НИИ терапии СО РАМН» (г. Новосибирск)

<sup>3</sup>НИИ физической культуры и спорта  
(г. Санкт-Петербург)

В статье приводятся данные о возможных физиологических и биофизических механизмах, вовлечённых в процесс формирования стимулированной фотоэлектронной эмиссии кожи. Приводятся оригинальные данные по моделированию состояния ишемии и реперфузии с закономерностями, отражающимися на характере эмиссии.

*Ключевые слова:* ГРВ/биоэлектрография, микроциркуляция

---

Понимание биофизических механизмов формирования сигнала газоразрядной визуализации (ГРВ-сигнала) на сегодня сводится к двум основным концепциям. Первая – апеллирует к опыту восточной медицины и правомочна только при условии допущения существования канальной структуры человека. Именно в силу этого допущения концепция не получила широкого академического признания, хотя с успехом используется в системе нетрадиционной медицины. Вторая – основана на связи ГРВ-эмиссии с уже изученными физиологическими и типовыми патологическими процессами, протекающими в тканях, и базируется на идеях биоэлектроники, заложенных нобелевским лауреатом Альбертом Сент-Дьерди, а также другими учёными, работающими в области нелинейной квантовой биофизики и квантовой биохимии [1]. Пейсмейкерами принято называть структуры или динамические процессы, которые обладают синхронизирующим/корректирующим воздействием на течение физиологических процессов. Пейсмейкер буквально – это водитель биологического ритма [3]. Рабочая гипотеза, выдвинутая нами, предполагает, что один из физиологических механизмов, влияющих на осцилляции первичной фотоэлектронной лавины (рис. 1), инициирующей газовый разряд и фактически определяющей всю дальнейшую феноменологию ГРВ-эмиссии, связан с особенностями микроциркуляторных пульсовых флуктуаций [2].

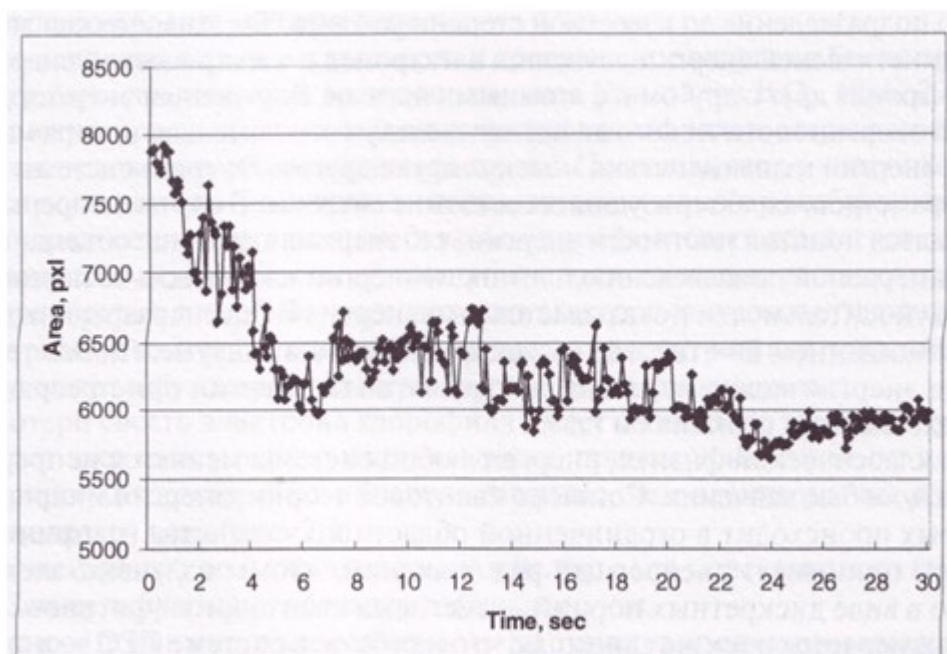


Рис. 1. Динамика изменение площади свечения

Феномен «мерцания» капилляров является сложным физиологическим процессом, дозирующим массоперенос вещества из крови в интерстиций и обратно в сосудистое русло. Данный процесс является лимитирующим по отношению к кинетике окислительно-восстановительных процессов, протекающих в тканях. В частности, он лимитирует донорно-акцепторные взаимоотношения между системами транспорта кислорода, что проявляется в изменении кинетики редокс-системы ткани и, как следствие, в регуляции тканевого метаболизма [4]. Последнее обстоятельство, в свою очередь, может определять долгосрочные изменения миграции электронно-возбуждённых состояний по соединительнотканному матриксу [5]. Таким образом, возможности метода ГРВ также распространяются на отслеживание биоэлектронных процессов, связанных с окислительно-восстановительными реакциями в тканях.

По нашему мнению, ГРВ-сигнал можно разложить на постоянную и переменную от времени составляющие. Поэтому любой ГРВ-параметр можно представить выражением суммы этих компонент:

$$\text{ГРВ}(t) = M + \delta\text{ГРВ}(t), \text{ где}$$

$M$  – постоянная составляющая ГРВ-эмиссии;  $\delta\text{ГРВ}(t)$  – переменная составляющая ГРВ-эмиссии.

Постоянная составляющая  $M$ , по нашему мнению, отражает среднюю перфузию в микроциркуляторном русле, состояние транкапиллярного обмена, а также стромально-паренхиматозные процессы с аккумуляцией кислорода и активных кислородных метаболитов в тканевой метаболизм, т. е. энергетику тканей за определенный промежуток времени исследований или за выбранный временной интервал анализа ГРВ-граммы.

В то же время, переменная составляющая ГРВ-сигнала  $\delta\text{ГРВ}(t)$  обусловлена факторами, влияющими на постоянство потока крови в микроциркуляторном русле, т. е. связана с изменениями скорости  $V_{\text{ср}}$  и концентрации  $N_{\text{эр}}$  эритроцитов.

Кроме того, переменная составляющая ГРВ-сигнала связана с факторами, влияющими на донорно-акцепторные взаимоотношения между системами транспорта кислорода, что изменяет кинетику редокс-систем ткани, имеющих колебательный характер. Под термином редокс-системы мы понимаем интегральную совокупность процессов окислительно-восстановительного характера, протекающих в ткани.

Таким образом, характер изменения величины  $\delta ГРВ(t)$  определяется вариациями во времени диаметра сосудов, которые контролируются активными и пассивными факторами в системе микроциркуляции.

Колебания ГРВ-сигнала регистрируются в виде сложного, непериодического процесса, контролируемого активными и пассивными факторами (рис. 2).

Активные факторы контроля (т. е. факторы, непосредственно воздействующие на систему микроциркуляции изнутри) – это эндотелиальный, мио- и нейрогенный механизмы регуляции просвета и тонуса сосудов. Эти факторы контроля модулируют поток крови со стороны сосудистой стенки и реализуются через ее мышечный компонент.

Пассивные факторы (т. е. факторы, вызывающие колебания кровотока вне системы микроциркуляции) – это пульсовая волна со стороны артерий и присасывающее действие «дыхательного насоса» со стороны вен, деятельности сердца, т. е. систем, регулирующих венозный возврат крови в целом.

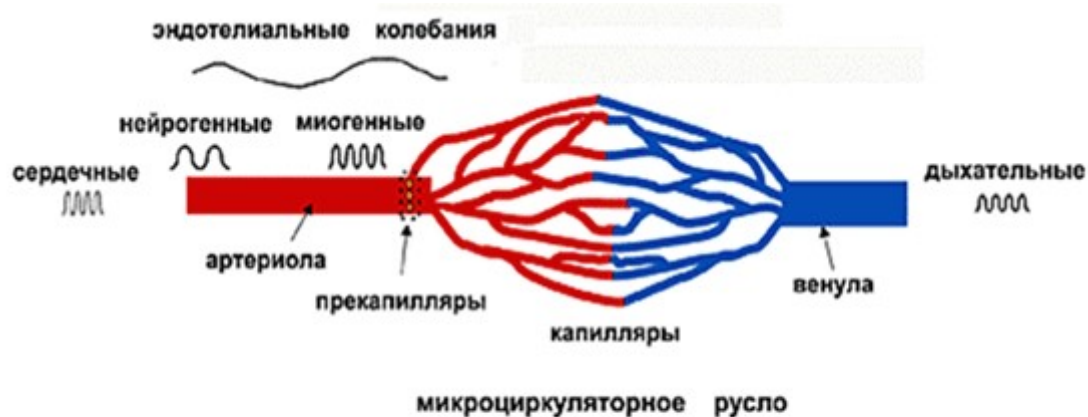


Рис. 2. Колебательные контуры регуляции сосудистого тонуса в микроциркуляторном регионе

Активные механизмы создают поперечные колебания кровотока в результате чередования сокращения и расслабления мышц сосудов.

Пассивные факторы организуют продольные колебания кровотока, выражающиеся в периодическом изменении объема крови в сосуде. В артериолах характер изменения объема определяется пульсовой волной, в венах – рабочим ритмом «дыхательного насоса» (рис. 3).

Таким образом, регистрируемый в ГРВ-грамме колебательный процесс является результатом наложения колебаний, обусловленных активными и пассивными факторами

**Активные факторы**  
(эндотелиальный, нейрогенный и миогенный механизмы)

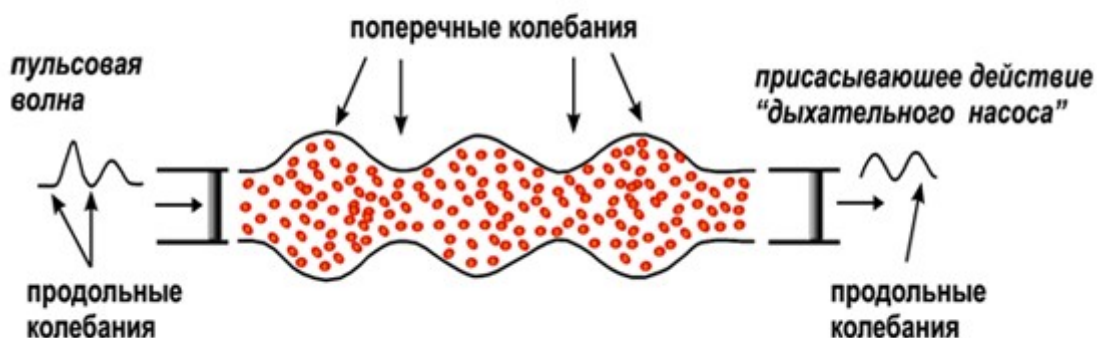


Рис. 3. Роль активных и пассивных факторов модуляции кровотока

Ранее мы показали (рис. 4), что спектрограммы динамических ГРВ-грамм, полученные методом Фурье-преобразования, указывают на возможность суперпозиции (наложения) некоторых физиологических ритмов, в частности это показано при воздействии лазерного облучения на точки акупунктуры общего действия [6].

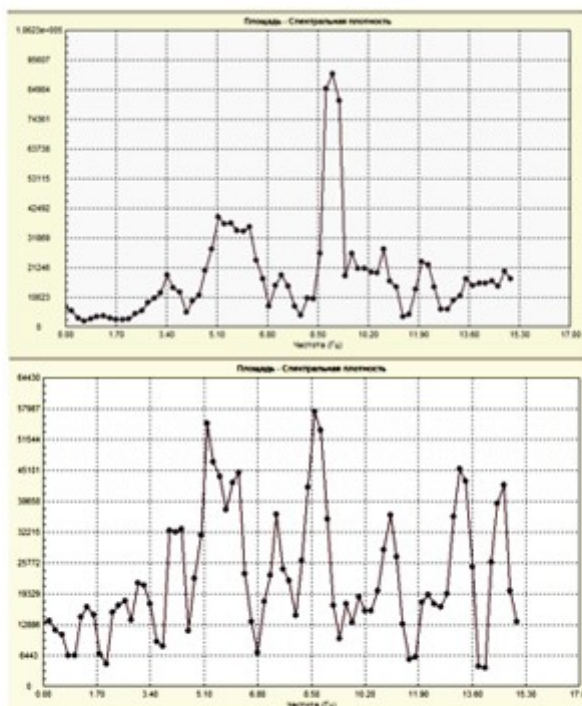


Рис. 4. Характеристика спектральных значений ГРВ-эмиссии, полученной методом Фурье-преобразования до и после лазерного воздействия на микрорегион регистрации

Такими образом, в переменной составляющей  $\delta$ ГРВ (t) содержится ценная информация о механизмах модуляции кровотока (табл. 1) и состоянии систем регуляции редокс-потенциала тканей (т. е. окислительно-восстановительных процессов, являющихся донорами свободных электронно-возбуждённых состояний, регистрируемых с помощью ГРВ).

Ее расшифровка, анализ и интерпретация позволяет диагностировать состояние сосудистого тонуса и механизмов регуляции кровотока в микроциркуляторном русле.

Если постоянная составляющая ГРВ-сигнала  $M$  характеризует величину перфузии, то  $\delta\Pi_{ГРВ}(t)$  – механизмы контроля за перфузией.

Таблица 1

**Частотные диапазоны регуляторных контуров микроциркуляции**

Диапазоны частот колебаний кровотока, Гц	Диагностическое значение частотных диапазонов
0,0095–0,02	Эндотелиальная активность
0,02–0,052	Нейрогенная активность
0,052–0,069	Сенсорная пептидергическая
0,07–0,12	Миогенная активность
0,12–0,18	Холинергическая активность
0,2–0,4	Дыхательные ритмы
0,8–1,6	Сердечные ритмы

В рамках проведения окклюзионной пробы по моделированию тканевой ишемии и вариантам реперфузии мы выясняли соответствие динамики фотоэлектронной эмиссии микроциркуляторным флуктуациям кровотока пальцев рук.

При проведении окклюзионной пробы выделяются три чётких периода изменения кровотока: нормальный кровоток, период окклюзии-ишемии, период реперфузии.

Во время окклюзии резко снижается кровоток по сосудам, что продемонстрировано на графике рис. 5, полученном с помощью лазерной доплеровской флуометрии [7].

Мы наблюдаем последовательное достоверное снижение площади (рис. 6) и интенсивности (рис. 7) ГРВ-эмиссии во время исходного состояния – первый столбец, в период окклюзии (тканевой ишемии) – второй столбец и в период ранней реперфузии (восстановления кровообращения) – третий столбец. В то же время коэффициент формы (рис. 8) в период окклюзии и гиперемии достоверно возрастал, свидетельствуя о включении в процесс регуляции одновременно нескольких регуляторных пейсмейкерных механизмов, что проявляется в усложнении контура ГРВ-граммы.

Необходимо отметить обратный характер связи между ГРВ-параметрами и состоянием кровотока. Мы предполагаем, что данная закономерность может быть связана с истощением работы системы транспорта кислорода, изменением кинетики биохимических процессов в тканях и, как следствие, снижением транспорта (миграции) электронно-возбуждённых состояний (рис. 9).

Если связь существует, то механизмы регуляции кровотока в микроциркуляторном русле могут являться теми физиологическими пейсмейкерами ГРВ-свечения, которые определяют вариабельность переменной составляющей ГРВ-сигнала.



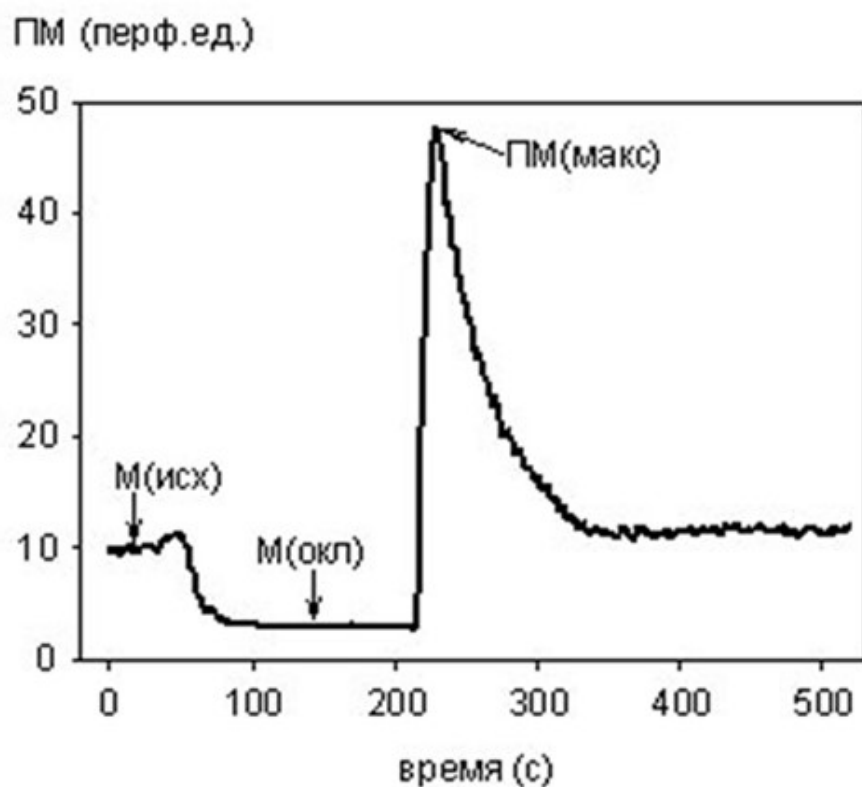


Рис. 5. Изменение характера перфузии при приведении окклюзионной пробы

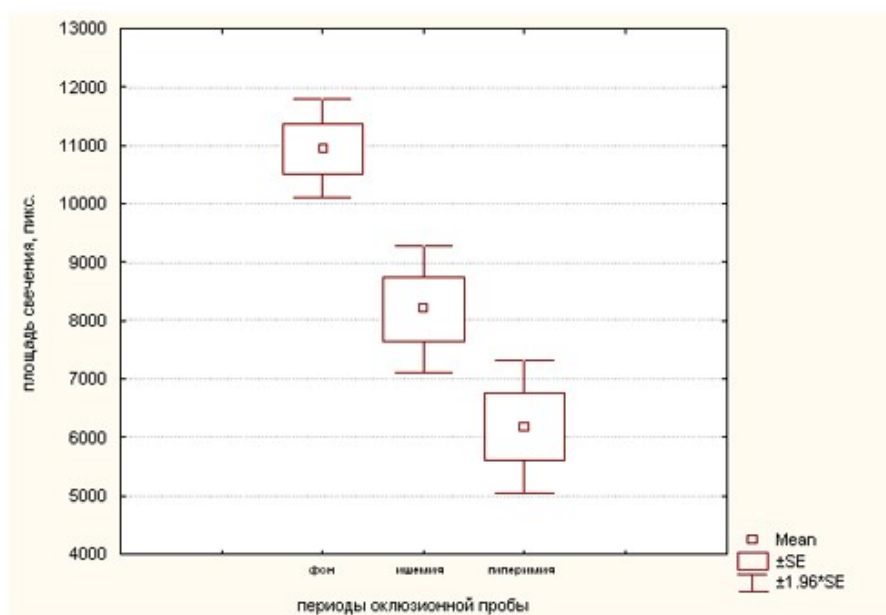


Рис. 6. Изменения площади свечения в разные периоды проведения окклюзионной пробы

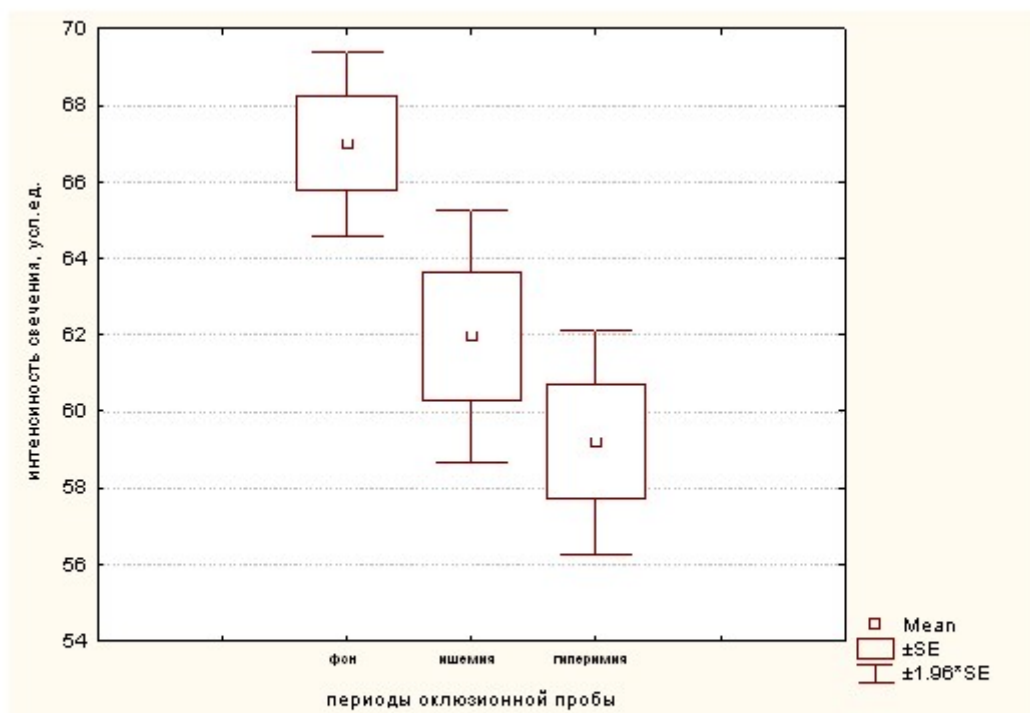


Рис. 7. Изменение интенсивности свечения в разные периоды проведения окклюзионной пробы

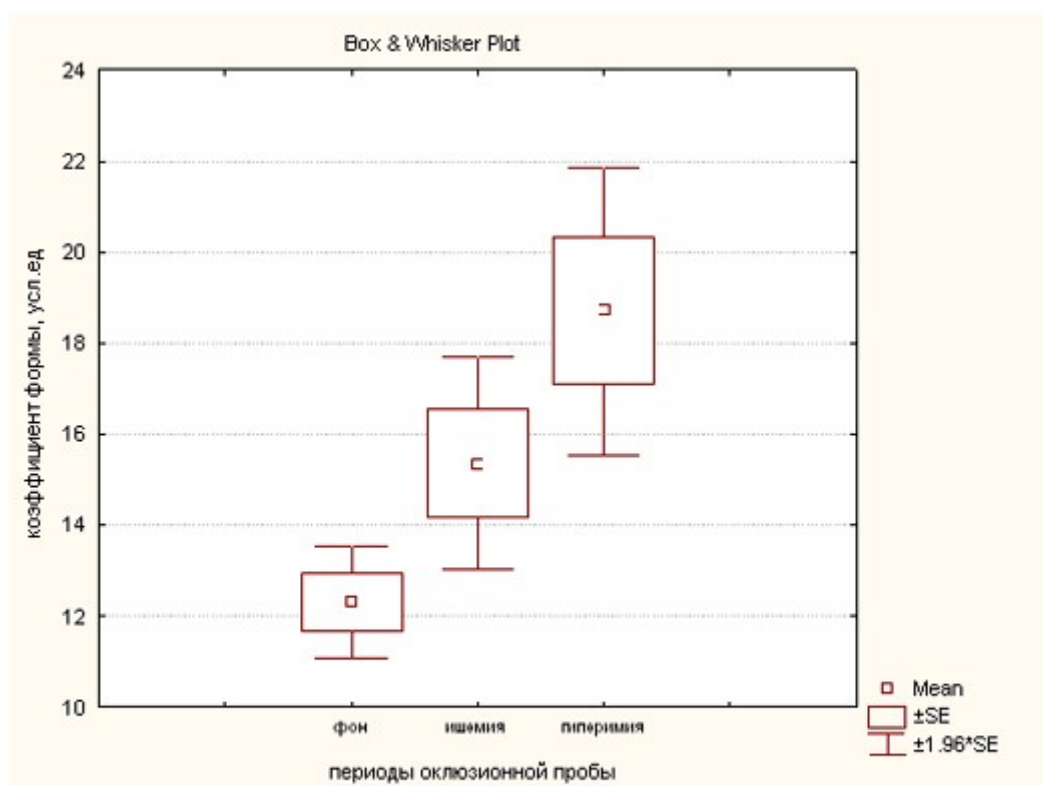


Рис. 8. Изменение коэффициента формы в разные периоды проведения окклюзионной пробы

Таким образом, мы выяснили, что в условиях физиологического покоя у здоровых людей площадь свечения (по оси ординат) находится в обратной связи с величиной перфузии ткани (ось абсцисс), т. е. чем выше перфузия ткани (объемная скорость кровотока), тем меньше площадь свечения. Затем мы разделили выборку по площади и интенсивности свечения и обнаружили некоторые закономерности связи ГРВ-сигнала с пульсовыми флуктуациями: в группе с более высокой площадью свечения (рис. 10) регистрируется более низкая амплитуда колебаний сосудистой стенки, связанная с пульсовой волной (систолой сердца).

Амплитуда пульсовой волны, приходящей в микроциркуляторное русло со стороны артерий, зависит от состояния тонуса резистивных сосудов. Очевидно, что при повышении сосудистого тонуса уменьшается объем притока артериальной крови (перфузия) в микроциркуляторное русло, что проявляется в снижении амплитуды пульсовой волны. Данный результат находится в разумном согласии с тем фактом, что симпатотоники имеют более высокую площадь свечения и у них более высокий тонус сосудов. Связь площади свечения с амплитудой систолической волны позволяет в перспективе разработать ГРВ-критерии течения артериальной гипертензии и других нарушений микрогемодинамики. Известно, что у гипертоников регистрируется очень мощное свечение, теперь мы знаем некоторые физиологические механизмы, объясняющие этот феномен.

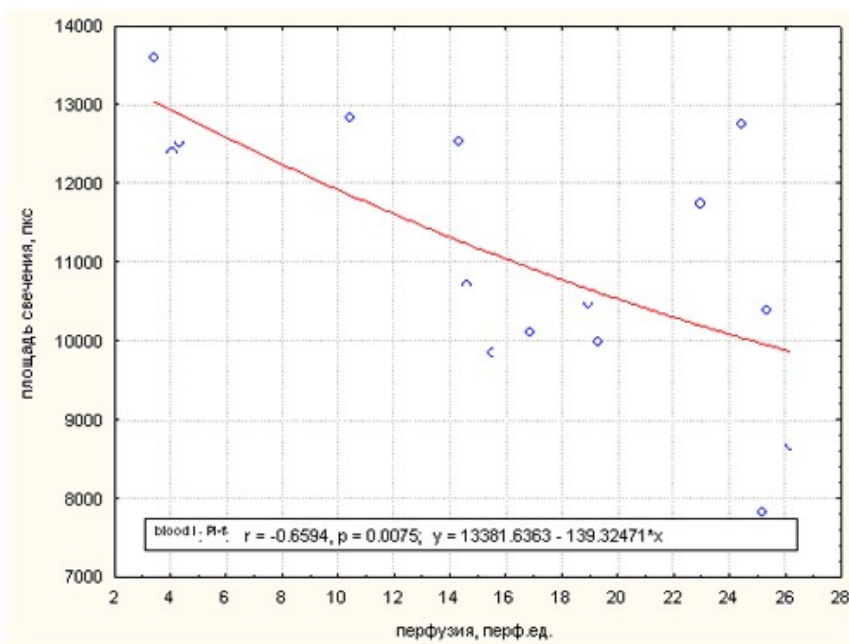


Рис. 9. Связь площади свечения с уровнем перфузии в микроциркуляторном регионе



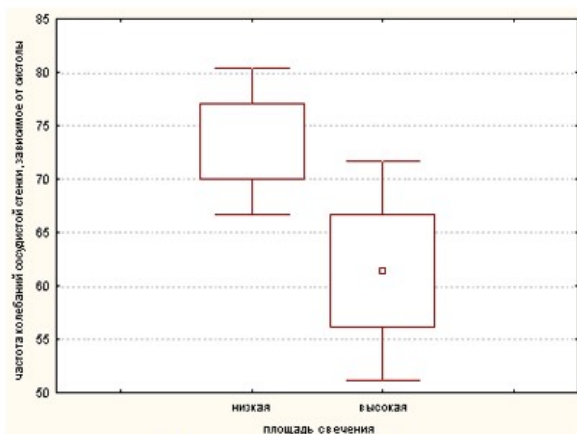


Рис. 10. Различия в частоте флуктуаций сосудистой стенки в диапазоне пульсовых колебаний в группах с относительно низкой и высокой площадью свечения

Диагностическое значение связи ГРВ-сигнала с пульсовой волной (диапазон 0,8–1,6 Гц) заключается в том, что увеличение амплитуды пульсовой волны, которое проявляется снижением площади ГРВ-свечения, означает увеличение притока в микроциркуляторное русло артериальной крови (повышении перфузии).

Затем мы выяснили связь колебаний сосудистой стенки, зависящих от дыхания с ГРВ-параметрами, и обнаружили, что в группе с более высокой площадью и интенсивностью свечения регистрируется более низкая амплитуда дыхательной волны (рис. 11).

Дыхательная волна в микроциркуляторном русле обусловлена динамикой венозного давления, возникающей при механической активности лёгких, т. е. присасывающим действием «дыхательного насоса». Местом локализации дыхательных ритмов в системе микроциркуляции являются вены. Возрастание амплитуды дыхательной волны указывает на проявление застойных явлений в микроциркуляторном русле. Наличие этой связи позволяет разработать ГРВ-критерии изменения венозного давления, оценить состояние морфофункциональных свойств венул и эффективность систем регуляции венозного возврата крови.

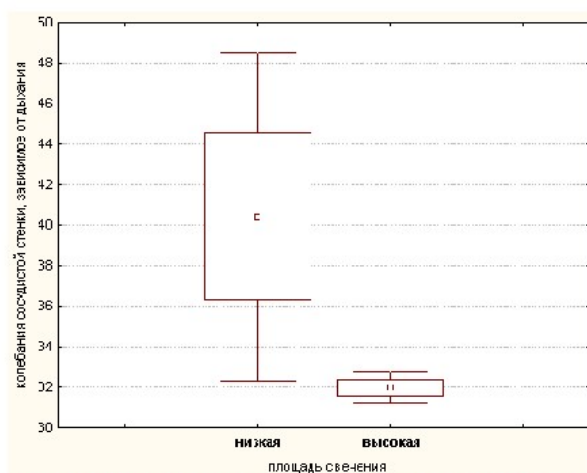


Рис. 11. Различия в частоте флуктуаций сосудистой стенки в диапазоне дыхательных колебаний в группах с относительно низкой и высокой площадью свечения

Сокращения миоцитов сосудистой стенки (так называемые вазомоции) в значительной степени изменяют структуру кровотока в микроциркуляторном русле. Мы показали, что в группе с более выраженной площадью свечения наблюдается более низкая

амплитуда миогенных колебаний сосудистого тонуса (рис. 12).

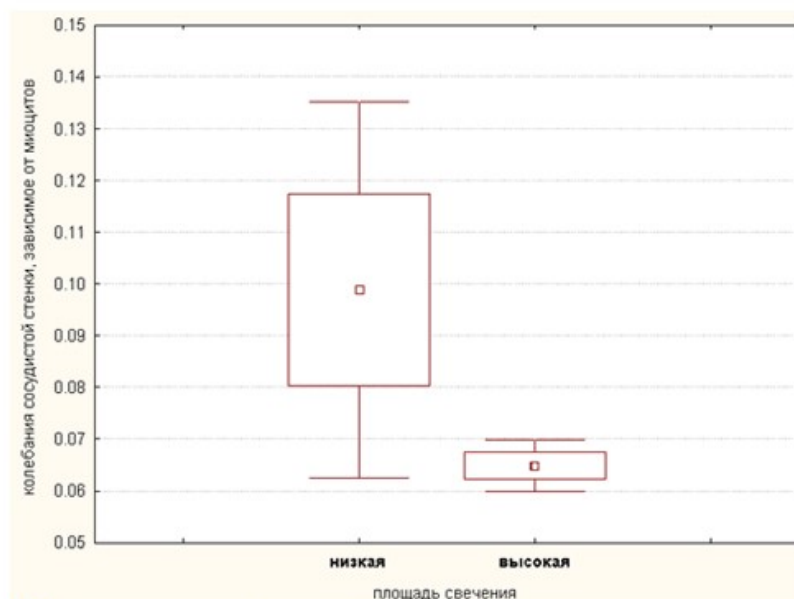


Рис. 12. Различия в частоте флуктуаций сосудистой стенки в диапазоне вазомоций в группах с относительно низкой и высокой площадью свечения

Миогенные колебания, как правило, синусоидальные, что объясняет спиральный ток крови по сосудам. Целесообразность вазомоторных колебаний обосновывается тем, что при синусоидальном изменении мышечного тонуса сопротивление сосуда току жидкости меньше, чем сопротивление сосуда, имеющего постоянный диаметр. Следовательно, возрастание миогенных колебаний в ГРВ-грамме свидетельствует о вазодилатации и проявляется уменьшением площади свечения, характерным для ваготонии.

Данное обстоятельство доказывается тем фактом, что в группе с более низкой площадью и интенсивностью свечения регистрируется в покое более низкое диастолическое давление, отражающее уровень сопротивления току крови в периферических сосудах (рис. 13).

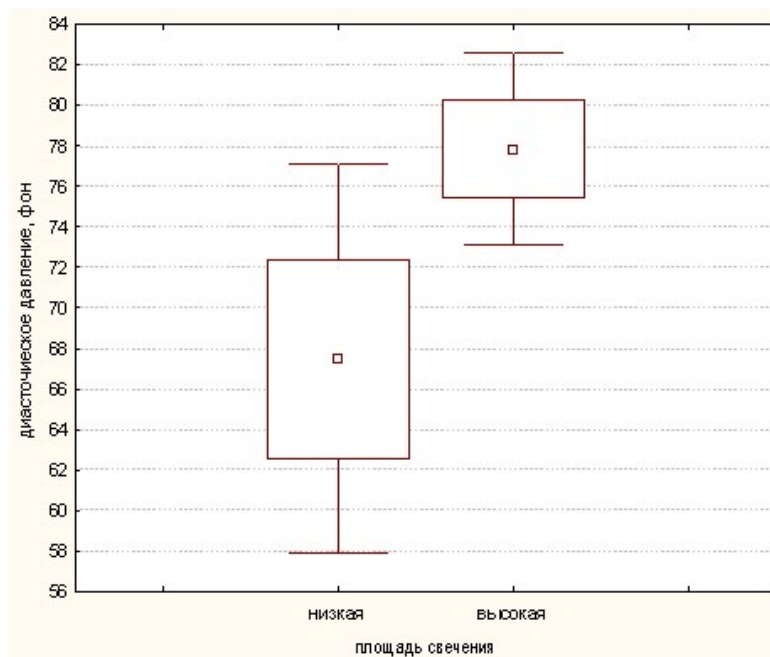


Рисунок 13. Различия в величине диастолического давления в группах с относительно низкой и высокой площадью свечения

Диагностическое значение связи миогенных колебаний с ГРВ-сигналом в данном частотном диапазоне (диапазон 0,07–0,15 Гц) заключается в оценке состояния мышечного тонуса прекапиллярных сфинктеров, регулирующих приток крови в нутритивное русло. Прекапиллярные сфинктеры Сеченов назвал кранами сердечно-сосудистой системы, поскольку их тонус изменяется в результате потребности тканей в кислороде.

Была выявлена связь ГРВ-параметров с эндотелиальной активностью, проявляющаяся в том, что в группе с более высокой площадью свечения регистрируется более высокая амплитуда колебаний сосудистой стенки в частотном диапазоне, связанном с осцилляциями клеток эндотелия (рис. 14, 15).

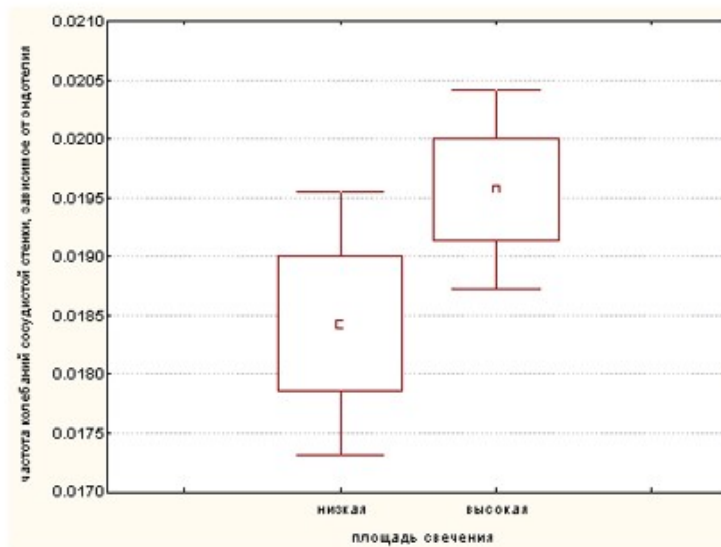


Рис. 14. Различия в частоте флуктуаций сосудистой стенки в диапазоне эндотелиальных колебаний в группах с относительно низкой и высокой площадью свечения

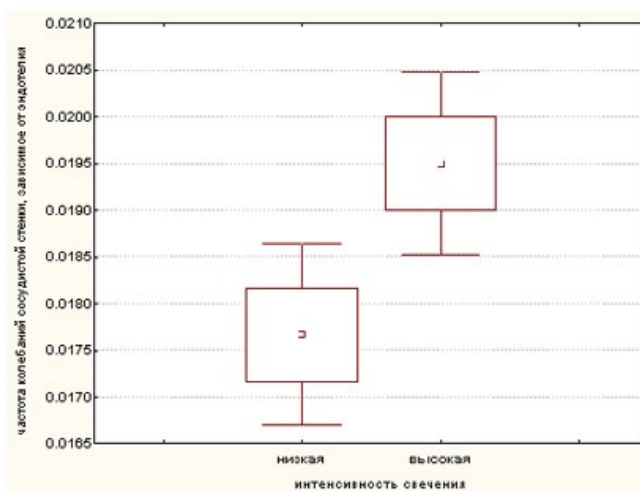


Рис. 15. Различия в частоте флуктуаций сосудистой стенки в диапазоне эндотелиальных колебаний в группах с относительно низкой и высокой интенсивностью свечения

Эндотелий осуществляет модуляцию мышечного тонуса сосудов путём секреции в кровь периодически изменяющихся концентраций вазоактивных субстанций (оксид азота, эндотелины и т. д.).

Диагностическое значение связи эндотелиальных колебаний с ГРВ-эмиссией (диапазон 0,0095–0,02 Гц) заключается в оценке эндотелиальной дисфункции по относительному изменению амплитуд колебаний вблизи 0,01 Гц.

Подводя итог вышесказанному, можно с определённой долей уверенности утверждать, что полноценное академическое признание метода ГРВ возможно в том числе благодаря дальнейшему изучению связи осцилляций первичной фотоэлектронной эмиссии

с флуктуациями процессов микроциркуляции. Несомненно, что данный вектор работ должен воплотиться в создание новой медицинской технологии, позволяющей с интегральных позиций оценивать варианты колебательных процессов редокс-систем крови с целью выявления резервных (адаптивных) возможностей микроциркуляторного русла в норме и при патологии.

#### **Список литературы**

1. Коротков К. Г. Основы ГРВ биоэлектрографии / К. Г. Коротков. – СПб. : ГИТМО, 2001. – С. 68–79.
2. Сорокин О. В. Физиологические и биофизические предикторы ГРВ-эмиссии / О. В. Сорокин, А. И. Ходанов, В. Ю. Куликов // Наука, информация, сознание : сб. трудов конгресса. – СПб., 2009. – С. 54–55.
3. Гайтон А. К. Медицинская физиология / А. К. Гайтон, Д. Э. Холл. – М. : Логосфера, 2008. – С. 124–129.
4. Voeikov V. L. // Cell. Mol. Biol. – 2005. – Vol. 51. – P. 663–675.
5. Куликов В. Ю. Перспектива применения метода ГРВ в оценке энерго-информационных процессов в организме / В. Ю. Куликов // Наука, информация, сознание : сб. трудов конгресса. – СПб., 2008. – С. 60.
6. Сорокин О. В. Характер изменения фотоэлектронной эмиссии при лазеропунктуре / О. В. Сорокин // Наука, информация, сознание : сб. трудов конгресса. – СПб., 2008. – С. 78–80.
7. Крупаткина А. И. Лазерная доплеровская флуометрия микроциркуляции крови : руководство для врачей / А. И. Крупаткина, В. В. Сидорова. – М., 2005.