

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ЭДЕМОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ

А.В. Шотт¹, Г.Г. Кондратенко², В.Л. Казущик³, А.Д. Карман⁴^{1,2} доктор медицинских наук, профессор, ^{3,4} кандидат медицинских наук, доцент
Белорусский государственный медицинский университет (Минск), Беларусь

Аннотация. В статье на основании многолетних исследований микроциркуляции с помощью оригинальной методики эдемометрии проведен анализ соответствующих эдемометрических показателей. Эти данные микроциркуляции сравнены с суммой цифровых значений давления в артериолах, капиллярах и венах аналогичной микроциркуляторной среды. Сравнимые показатели затем сопоставили с физиологическими изменениями возраста. Выявлено: 1) интегральные эдемометрические показатели микроциркуляторной среды отражают ее состояние и происходящие в ней процессы; 2) возрастные изменения микроциркуляции соответствуют физиологическим изменениям возраста; 3) эдемометрическая оценка микроциркуляторной среды достойна внедрения в клиническую практику.

Ключевые слова: эдемометр, эдемометрия, интегральные показатели, микроциркуляторная среда, цифровой метод определения интегрального микроциркуляторного давления, гидратация, возрастные изменения микроциркуляции.

Цель исследования. Определение особенностей интегральных эдемометрических показателей микроциркуляторной среды.

Сокращенные названия

ДАД – диастолическое артериальное давление

ИМЦД – интегральное микроциркуляторное давление (мм рт.ст.)

КИМЦД – коэффициент интегрального микроциркуляторного давления (единицы)

ПСД – продолжительность снижения давления (мин.)

ССД – скорость снижения давления (мм рт.ст./мин.)

СДпИМЦД – снижение давления после ИМЦД (мм рт.ст.)

ПСДпИМЦД – продолжительность снижения давления после ИМЦД (мин.)

ТД – тканевое давление (мм рт.ст.)

ИГ – индекс гидратации – отношение МСД исследуемого к МСД здоровых людей соответствующей возрастной группы (единицы)

ИПО индекс притока-оттока – отношение притока к оттоку(единицы)

КТД – коэффициент тканевого давления (единицы)

h – высота столбика тканей, сдавленных браншами эдемометра, мм

КВЖ – количество выдавленной жидкости браншами эдемометра, мм³

ЭММ – эдемометрия

ЭММГр – эдемометрограмма (в мм рт.ст.)

Введение

При изучении проблемы микроциркуляции нами сконструирован, изготовлен и испытан в клинике и эксперименте аппарат, названный эдемометром [2]. Принцип его работы основан на выдавливании жидкости из определенного объема тканей с микроциркуляторной средой под давлением в 100 мм рт.ст. В аппарате соединены две системы. Одна из них выдавливает воду из изучаемых тканей, а вторая – регистрирует изменения давления в них по мере выдавливания жидкости. Изменение давления в этих тканях при выдавливании жидкости оценивается эдемометром на различных этапах исследования. Это дает определенную информацию о состоянии изучаемой микроциркуляторной среды по уровню давления, которое обеспечивает движение жидкости в этой среде, – т.е. обеспечивает микроциркуляцию. Таким путем изучается сущность и функционирование микроциркуляции и определяется ее состояние в норме, при отдельных заболеваниях и воздействиях на организм.

На основе принципов работы аппарата разработан метод **эдемометрии**, позволяющий определить состояние микроциркуляторной среды по уровню давления в ней [4]. Применение эдемометрии в клинике и эксперименте позволило положительно оценить ее достоинства и возможности. Основными особенностями метода эдемометрии является:

- возможность определения состояния микроциркуляции по давлению в этой среде и движению жидкости в ней;
- интегральная оценка показателей микроциркуляции;
- определение степени гидратации тканей вместе с определением давления;
- возможность клинического применения эдемометрии для диагностических, лечебных и научных целей;

— простота, доступность, дешевизна, безвредность, неинвазивность, безопасность, информативность, возможность многократного использования и определения некоторых процессов микроциркуляции.

Применение эдемометрии в условиях клиники и эксперимента позволило обобщить результаты этих исследований и дать оценку методу исследования. Из многих вопросов проблемы мы планируем обсудить интегральные показатели микроциркуляции, выявляемые при эдемометрии. Важно было выяснить, являются ли они интегральными, насколько они достоверны, как и в какой степени они отражают состояние микроциркуляторной среды?

Материал и методы

Решение поставленной задачи можно было осуществить при условии сравнения интегральных показателей эдемометрии с показателями этой среды, определенными другими методами. Показателями эдемометрии избрали интегральное микроциркуляторное давление и гидратацию тканей. Для сравнения взяли цифровое общее (интегральное) давление в артериолах, капиллярах и венах. Сравнивали интегральное давление (эдемометрическое) тканей первого межпальцевого промежутка кисти с суммарным цифровым давлением артериол, капилляров и венул микроциркуляторной среды. Отсутствие других методов определения общего давления микроциркуляторной среды послужило основанием для использования цифровых показателей давления микроциркуляторных сосудов, оно было общим.

Сравнительная оценка одних и тех же показателей (интегрального давления) у одних и тех же здоровых людей при помощи эдемометрии и суммирования цифровых показателей давления в сосудах среды позволила оценить достоинства и особенности каждого из них.

Цифровые данные о давлении в артериолах, капиллярах и венах нами взяты из литературы. Они были изучены достоверными методами. С определенной долей критики мы сравнили показатели общего давления у двух групп здоровых людей в микроциркуляторной среде. При этом оценили состояние микроциркуляторной среды по ее давлению. В таком же плане оценили степень гидратации среды, определенной только эдемометрическим методом. Полученные сравнительные данные двух методов сопоставили с возрастными изменениями физиологических процессов, развивающихся в процессе старения организма.

Обследовано 48 здоровых людей обоего пола в возрасте 20–65 лет. Выделено три подгруппы в зависимости от возраста: 20–30; 31–50 и старше 50 лет. Все полученные при эдемометрии показатели оценивали отдельно для каждой возрастной группы.

У каждого обследованного выполняли эдемометрию тканей первого межпальцевого промежутка кисти с турникетной пробой и определением показателей (Рис. 1): максимального снижения давления – МСД (интервал АБ эдемометрограммы); интегрального микроциркуляторного давления – ИМЦД (интервал ВВ); коэффициента ИМЦД (КИМЦД – отношение ИМЦД к диастолическому давлению крови обследуемого – ИМЦД/ДАД); продолжительности снижения давления – ПСД; скорость снижения давления – ССД.

После снятия турникета с плеча исследуемой руки активность микроциркуляторной среды заметно увеличивалась, что позволило зарегистрировать еще снижение давления после ИМЦД – СДпИМЦД (отрезок эдемометрограммы ВД); продолжительность снижения давления после ИМЦД – ПСДпИМЦД (ЗД) и тканевое давление (ТД), обозначенное на эдемометрограмме точкой Д.

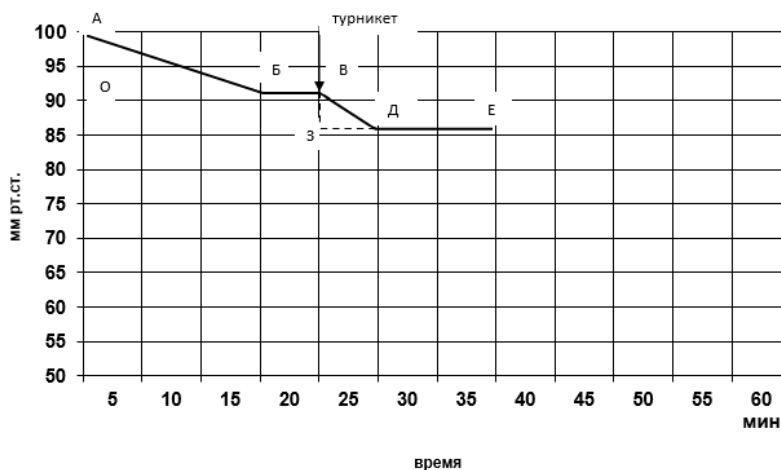


Рис. 1. Эдемометрограмма тканей кисти здорового мужчины 36 лет

Из уже полученных данных эдемометрограммы рассчитывали индекс гидратации (ИГ), индекс притока – оттока (ИПО) и коэффициент тканевого давления (КТД). ИГ представляет собой отношение МСД обследуемого к МСД здоровых людей соответствующего возраста. ИПО представляет собой отношение СДпИМЦД (ВЗ) к ПСДпИМЦД (ЗД). Этот индекс отражает реакцию микроциркуляторной среды на блокаду притока и оттока, в которой содержится «борьба» этих двух процессов до установления физиологического равновесия (очень важ-

ный показатель изучаемой среды).

Расчётным показателем микроциркуляции был коэффициент тканевого давления, представляющий отношение тканевого давления к интегральному (КТД). Он отражает ту часть интегрального давления, которая формируется за счет тканей, – оно является основным в структуре ИМЦД.

И, наконец, во время эдемометрии, перед началом исследования, определяли высоту столбика тканей (h_1) между браншами эдемометра при давлении 100 мм рт.ст. После окончания эдемометрии, перед отключением аппарата, винтом подвижной бранши приближали ее к неподвижной и создавали давление 100 мм рт.ст. При таком давлении (100) отмечали высоту столбика тканей между браншами эдемометра (h_2) после изгнания из тканей жидкости. Умножая величину 176,7 на разность высоты столбика тканей ($h_1 - h_2$) рассчитывали количество выдавленной из них воды по формуле:

$$КВЖ = 176,7 \times (h_1 - h_2),$$

где КВЖ – объем выдавленной жидкости из тканей, сдавленных аппаратом, 176,7 – постоянная величина площади бранш эдемометра, ($h_1 - h_2$) – разница высоты столбика тканей сдавленных эдемометром.

При помощи эдемометрии мы получили много показателей микроциркуляторной среды тканей кисти. Из этих многих показателей мы избрали интегральное микроциркуляторное давление и сравнили его с общим цифровым давлением в сосудах микроциркуляторной среды. Такое сравнение одного показателя микроциркуляторной среды, определенного различными методами проведено у здоровых лиц с учетом возрастных и физиологических сдвигов.

Все условия для сравнения способов были соблюдены, кроме того, что при цифровой оценке общего давления в микроциркуляторной среде взяты средние данные из литературных источников. Мы воспользовались цифровыми показателями давления в артериолах, капиллярах и венах, приведенными в монографии В.В. Куприянова (1975). Цифровые показатели давления оказались: в артериолах – 55, в капиллярах – 25, в венах – 12 мм рт.ст. Общее давление в этих сосудах оказалось равным 92 мм рт.ст.

Результаты и обсуждение

Выполнение основной задачи исследования возможно было только в том случае, если интегральная оценка микроциркуляции осуществлялась с учетом понятия о микроциркуляции, включающего сосудистый, межклеточный и тканевой компоненты. Интегральные показатели микроциркуляции мы оценили при таком понятии о микроциркуляции:

– это функционирующее на артериолах, капиллярах, венах, артериоло-венулярных анастомозах и лимфатических терминалах образование из генетически детерминированных клеток, нервных и соединительно-тканых элементов, формирующих структуру и функции органов и тканей и обеспечивающих в них целенаправленное движение жидкости.

Приведенные в таблице 1 данные о микроциркуляции у здоровых лиц настолько увязаны между собой, что представляют большие трудности для выбора места разрыва логической цепи. Мы разорвали эту логическую цепь на показателе ИМЦД. Интегральное микроциркуляторное давление включает в себя несколько составляющих: давление в артериолах, в капиллярах и венах, в артериоло-венулярных анастомозах, в лимфатических терминалах и в межклеточной жидкости, включая осмотическое и онкотическое давление. Все составляющие давления в сосудах выразили в цифровых данных (в мм рт.ст.), суммировали и сравнили с ИМЦД, определенным эдемометрически.

Таблица 1

Средние показатели эдемометрограммы здоровых лиц трех возрастных групп

Наименование показателя эдемометрограммы	Возрастные группы (лет)		
	20-30 n=12	31-50 n=18	51-65 n=18
Возраст, лет	23,6	38,2 ± 4,4	57,4
мужчин	7		9
женщин	5		9
ДАД, мм рт.ст.	78	77,8	84,2
МСД, мм рт.ст.	14,8 ± 4,2	8,9 ± 3,5	7,3 ± 2,1
ПСД, мин.	11,7 ± 2,2	13,8 ± 3,3	15 ± 3,3
ССД, единицы, МСД/ПСД	1,3 ± 0,4	0,6 ± 0,2	0,74 ± 0,3
ИГ, единицы	МСД/14,8	МСД/8,9	МСД/7,3
ИПО, единицы	0,7 ± 0,2	0,5 ± 0,13	0,4 ± 0,2
ИМЦД, мм рт.ст.	86,5 ± 4,5	92 ± 3,1	89 ± 3,1
КИМЦД, единицы, ИМЦД/ДАД	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,2	1,1 ± 0,1
СДпИМЦД, мм рт.ст.	4,4 ± 1,3	2,6 ± 0,9	3,7 ± 2,3
ПСДпИМЦД, мин.	6,3 ± 2,1	5,1 ± 0,6	8,2 ± 2,3
ТД, мм рт.ст.	67,7 ± 4,6	86 ± 4,6	84 ± 3,4
КТД, единицы	0,8 ± 0,03	0,9 ± 0,03	0,94 ± 0,03
h, мм	9,7 ± 1,3	5,4 ± 1,5	7 ± 2,4

Цифровой итог микроциркуляторного давления в тканях оказался равным 92 мм рт.ст. ИМЦД у здоровых лиц при эдемометрии было $92 \pm 3,1$ мм рт.ст. Обнаружено соответствие ИМЦД, выявленного при эдемометрии, цифровым итоговым показателям в сосудах среды. Если к цифровому значению ИМЦД добавить межклеточное осмотическое и онкотическое давление, то расхождение показателей составит 11-12 мм рт.ст. Расхождение показателей ИМЦД в этом случае обусловлено давлением межклеточной жидкости, осмотическим и онкотическим давлением. В цифровых показателях они составляют 11-12 мм рт.ст.

При высокой активности сосудистого компонента среды такое расхождение показателей методов не имеет существенного значения. Интегральное давление микроциркуляторной среды, определенное эдемометрией и суммой цифр показателей, реально отражают давление в этой среде. Расхождение показателей сравниваемых методов связано с высокой реактивностью сосудистого компонента, особенностями методов и с микроциркуляторным обобщением всех составляющих.

В этом равенстве показателей обоих методов сохраняются преимущества эдемометрии:

- она сразу дает интегральную оценку изучаемой среде;
- не требует сложной аппаратуры;
- неинвазивность при выполнении;
- простота в выполнении;
- возможность повторения множества раз;
- удобна в условиях клинического применения.

В таблице 1 видно, что эдемометрия позволяет оценить еще один показатель – гидратацию тканей. В эдемометрограмме отрезок кривой от точки А до точки Б отражает максимальное снижение давления (МСД) в мм рт.ст. и в процентах к исходному давлению в системе измерения. МСД документирует количество изгнанной жидкости из исследуемых тканей под исходным давлением в 100 мм рт.ст. МСД (показатель эдемометрии) дополняется еще расчетом индекса гидратации тканей – отношением МСД исследуемого к МСД здоровых лиц соответствующего возраста (по таблице 1). Значение этого индекса в пределах единицы документирует нормальное содержание воды в тканях. Его отклонение от единицы в одну или другую сторону документирует состояние гипо- или гипергидратации тканей.

Оценка содержания жидкости в тканях дополняется еще определением индекса притока-оттока и количеством выдавленной жидкости во время эдемометрии. Индекс притока-оттока определяется по показателям ЭММГр. Он представляет отношение СДпИМЦД (ВЗ) к ПСДпИМЦД (ЗД). Этот индекс отражает состояние микроциркуляторной среды – интенсивность притока крови в эту среду и – интенсивность оттока. Поскольку индекс притока-оттока отражает соотношение двух важных процессов среды, постольку он позволяет ответить на вопрос о том, что влияет на гидратацию тканей: преобладание притока или оттока.

И, наконец, при помощи эдемометрии можно определить количество жидкости, выдавленной из исследуемых тканей. Это достигается умножением площади сдавленных эдемометром тканей (она постоянная для эдемометра= $176,7 \text{ мм}^2$) на разность высоты столбика сдавленных тканей, по формуле

$$\text{КВЖ} = 176,7 \times (h_1 - h_2).$$

Таким образом, при помощи эдемометрии можно определить не только содержание жидкости в тканях, но и ответить на вопрос, за счет чего изменена гидратация тканей (притока или оттока) и какой объем жидкости удален из исследуемых тканей. Указанные возможности интегральной оценки степени гидратации тканей методом эдемометрии могут иметь большое значение для клинических целей. При современном состоянии учения о микроциркуляции эдемометрия занимает достойное место среди других методов исследования.

В обобщенном виде данные таблицы 1 позволяют оценить динамику возрастных изменений микроциркуляции. Эти изменения тесно и взаимно связаны между собой. Возрастные изменения в сосудах сопровождаются снижением притока крови с 0,7 до 0,4 в возрасте после 50 лет. Снижение притока сопровождается снижением гидратации тканей – МСД уменьшается с 14,8 до 7,3 в возрасте после 50 лет. И, наконец, (по закону **обратной зависимости МСД от ИМЦД**) по мере возрастного снижения МСД нарастает ИМЦД с 86,5 до 89 в возрасте после 50 лет.

Такое увеличение ИМЦД обусловлено увеличением тканевого давления и его коэффициента (с 67,7 до 84- ТД и с 0,8 до 0,94 – КТД). Оценка динамики возрастных изменений выявляет соответствие эдемометрических показателей физиологическим сдвигам старения.

Таким образом, изучение возрастных изменений здоровых людей интегральным методом эдемометрии позволило выявить несколько основных положений. К ним относятся:

- закономерные возрастные изменения микроциркуляции;
- оценка среды интегральным методом;
- преимущества интегральной оценки показателей среды.

Возрастные изменения микроциркуляторной среды проявляются изменением сосудов, сопровождающимся снижением притока крови, снижением ИМЦД, ТД и их коэффициентов и уменьшением гидратации тканей. Определенное значение в этих изменениях принадлежит гидратации тканей (МСД), которая снижается с возрастом и, по закону обратной зависимости от ИМЦД, сопровождается значительным его повышением. Таковы возрастные изменения микроциркуляторной среды. Они полностью подтверждаются теми физиологически-

ми изменениями, которые имеют место у людей по мере увеличения возраста. Трудно пока определить примат этих изменений, но возрастные изменения в организме здоровых людей, выявленные при помощи эдемометрии лежат в основе возрастных физиологических сдвигов организма.

Сравнение интегральных эдемометрических показателей с суммарной оценкой их цифровых выражений показало расхождение между ними в пределах 11-12 мм рт.ст. Эти расхождения обусловлены высокой реактивностью сосудистого компонента, особенностями методов и микроциркуляторным обобщением всех составляющих среды, в которой они находятся. По этой причине цифровая оценка отдельных показателей не полностью отражает истинное состояние среды. Интегральная оценка показателей микроциркуляторной среды эдемометрией отражает истинное состояние изучаемой среды.

Для объективной оценки состояния микроциркуляторной среды лучше пользоваться интегральной оценкой ее показателей, обобщенных самой средой. Иными словами, метод эдемометрии приобретает свои преимущества за счет объективного отражения состояния среды (по интегральным показателям).

Интегральные показатели эдемометрии точнее отражают состояние среды. В эдемометрии скрыта большая перспектива ее клинического применения с диагностической и лечебной целью. Поводом для этого является простота выполнения, неинвазивность, большая информативность и интегральная оценка показателей, обеспечивающая приближение результатов исследования к истине.

ВЫВОДЫ

- Возрастные изменения микроциркуляторной среды включают последовательное поражение сосудов, снижение притока крови к органам и тканям, снижение гидратации тканей, повышение интегрального микроциркуляторного и тканевого давления с прогрессирующим падением функциональной активности органов и тканей.
- Интегральная оценка микроциркуляторной среды методом эдемометрии позволяет определить ее состояние.
- Интегральные эдемометрические показатели микроциркуляторной среды позволяют получить не только данные о ее состоянии, но и оценить некоторые происходящие в ней процессы (приток-отток, степень гидратации) и ее причины.
- Выявленные эдемометрией возрастные изменения микроциркуляции полностью соответствуют физиологическим изменениям возраста, они протекают параллельно и одновременно.
- Эдемометрическая оценка микроциркуляторной среды по своей информативности, по простоте ее применения, неинвазивности и разрешающей способности достойна положительной оценки и внедрения в клиническую практику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куприянов, В. В. Микроциркуляторное русло / В. В. Куприянов, Я. Л. Караганов, В. И. Козлов. – М. : Медицина, 1975. – 216 с.
2. Шотт А. В., Василевич А. П., Казушич В. Л., Протасевич А. И. Устройство для определения степени гидратации периферических тканей организма человека и способ ее определения: патент 14099 Респ. Беларусь: МПК А 61В 5/00 (2009) / А. В. Шотт, А. П. Василевич, В. Л. Казушич, А. И. Протасевич; дата публ.: 28.02.2011 г.
3. Шотт, А. В. Микроциркуляция – жизненная среда и система организма (экспериментально-клиническое исследование) / А. В. Шотт, В. Л. Казушич, А. Д. Карман и др. – Мн.; ИООО «Красико-Принт», 2016. – 184 с.
4. Шотт, А. В. Эдемометрия / А. В. Шотт [и др.] // Здоровоохранение. – № 10. – 2008. – С. 20–23.

Материал поступил в редакцию 23.09.16.

INTEGRAL EDEMOMETRIC INDICES OF MICROCIRCULATION

A.V. Shott¹, G.G. Kondratenko², V.L. Kazushchik³, A.D. Karman⁴

^{1, 2} Doctor of Medical Sciences, Professor, ^{3, 4} Candidate of Medical Sciences, Associate Professor
Belarusian State Medical University (Minsk), Belarus

Abstract. *In this article the analysis of the corresponding edema metric indices is carried out based on long-term researches of microcirculation by means of an innovative technique of edemometry. These data of microcirculation are compared with the sum of digital values of pressure in the arterioles, capillaries and venules of the similar microcirculatory environment. Then authors compared the indicators with physiological changes connected with the age. The following was revealed: 1) integral edema metric indices of the microcirculatory environment reflect its state and the processes happening in it; 2) age-related changes of microcirculation correspond to physiological changes of age; 3) edema metric assessment of the microcirculatory environment is worthy introductions in clinical practice.*

Keywords: *edemometer, edemometry, integral indicators, microcirculatory environment, digital method of determination of integral microcirculatory pressure, hydration, age-related changes of microcirculation.*