

УДК {612.1:611.1:612.13}.00157:519.7

МАКРО-МИКРОАНГИОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Степанов В.Г. - доктор медицинских наук, профессор (ЮФ «КАТУ» НАУ)

Диффузное или локальное поражение приводящих артериальных и отводящих венозных кровеносных сосудов, находящихся в тесной связи с морфолого-функциональным состоянием зоны микроциркуляторного кровеносного сосудистого русла кровоснабжаемых тканей и органов, требуют комплексной количественной и качественной оценки регионарного и системного кровоснабжения.

С этой целью нами сформулирована методологическая концепция исследований в ангиологии, основанная на использовании данных натуральных макро-микроангиографических исследований и световой микроскопии, а также математического и статистического моделирования многомерных систем, принципа неопределенности, принципа суперпозиции и теории универсальности, принципа оптимальной конструкции и минимизации, теории динамических систем, теории хаоса и фракталов, теории размерности и подобия.

Созданы математическая модель, алгоритм и машинная программа гидравлических расчетов с использованием эмпирических и полуэмпирических уравнений и частных расчетных данных, наиболее близко отражающих гидродинамику кровообращения, позволивших по ангиографической информации о сосудистой архитектонике, полученной любым способом визуализации, проводить количественную и качественную оценку структурно-функциональной организации тканевого, органного и системного кровоснабжения в норме и при патологических состояниях.

Сбор ангиографической информации (рис. 1 и 2) начинается с идентификации кровеносного сосуда с указанием его анатомо-топографической принадлежности: анатомический тип, анатомическая номенклатура, уровень генерации (порядок ветвления) и порядковый номер ответвления от основного ствола, кровоснабжаемые зоны интереса и прилежащие.

Анатомо-топографическая принадлежность кровеносного сосуда устанавливается на основе разработанной нами с использованием принципов фрактальности классификации-характеристики кровеносного сосудистого русла.

Архитектоника кровеносных сосудов любой генерации, от самых крупных и до капилляров включительно, описывается посегментно в виде переменных комплексами сосредоточенных содержательных параметров,

которые отобраны с помощью π -теоремы и теории гидродинамического подобия: вход (для артерий) и выход (для вен), стенки, диаметр на протяжении, длина, ход, ответвляющаяся часть (со слиянием потоков - вены и разделением потоков - артерии).

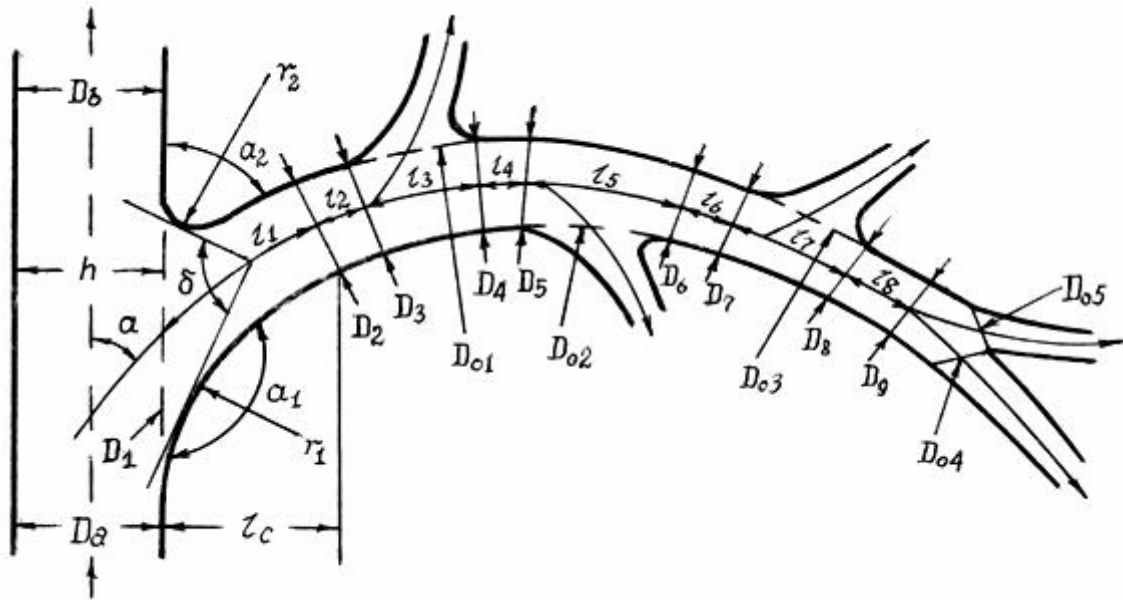


Рис. 1. Архитектоника и параметры сосудистой ветви

Гидравлический расчет автоматизирован в виде машинных программ по разработанным нами алгоритмам, а получаемая по его результатам информация выдается в виде чисел Рейнольдса, линейных и объемных скоростей, коэффициентов гидравлических сопротивлений и потерь напора для каждого сегмента и кровеносного сосуда в целом, системы сосудов, что может быть использовано для последующих инженерных расчетов при разработке методов реконструктивных операций и их планировании в каждом конкретном случае, при конструировании и производстве сосудистых протезов. Потери напора удобны для количественной диагностической интерпретации изменений архитектоники анализируемого кровеносного сосуда.

В последующем необходимо создать систему автоматизированного считывания трехмерных изображений ангиографической информации на базе выше изложенной разработки.

Как показали наши исследования, геометрия и параметры искусственных сосудистых протезов должны отличаться, чтобы волновые и гидродинамические характеристики потоков крови в них существенно не отличались от таковых в натуральных кровеносных сосудах.

Состояние кровеносного микроциркуляторного русла в зонах интереса и прилежащих к ним характеризуется в сопоставлении группой идентичных параметров, исходных и производных, и в итоге выражается в расчетных

коэффициентах васкуляризации, по которым оценивается степень васкуляризации в зонах интереса.



Рис. 2. Алгоритм сбора и оценки ангиографической информации

В основу оценки зоны микроциркуляторного кровеносного русла положен кроговский тканевой цилиндр, обслуживаемый одним капилляром. Соответственно, для различных тканей и органов по параметрам, определяющим интенсивность и характер кровоснабжения, между капиллярным руслом и приводящими артериями и отводящими венами должно быть определенное соответствие. Вот определение степени нарушения этого соответствия и является одним из существеннейших показателей в оценке степени достаточности кровоснабжения (рис. 3).

Табл. 3. Алгоритм идентификации структурно-функциональной организации кровеносного сосудистого русла и практического применения полученной информации



В качестве примера разрешающей способности метода приводим в сопоставлении два случая расчётов, полученных с помощью машинных программ, нарушения кровоснабжения миокарда и результатов оценки структурно-функционального состояния передней нисходящей артерии с локально сформировавшейся бляшкой в области устья (№ 1) и диффузным поражением (№ 2) в сопоставлении с кровоснабжаемыми ими зонами микроциркуляции (без исходных данных – см. рис. 1).

Патоморфологические исследования (в основном во 2-м случае, что характерно и для всей группы собранного материала) показали, что при окраске срезов железным гематоксилином по Гейденгайну очаги повреждения мышечных клеток выявились в виде полосок и пятен черного окрашивания саркоплазмы, неизменные кардиомиоциты окрашивались в серый цвет, в поляризованном свете в этих участках наблюдались сближение А-дисков и иногда их слияния, резкое усиление анизотропии. Выявленные этими методами повреждения типа фуксинофилий по Селье и фуксиноррагий по Ли обозначают в литературе как контрактурные повреждения. Патогенез этих изменений лежит в основном в повышении проницаемости клеточной мембраны и плазматическом пропитывании клеток. Помимо мелких повреждений, были обнаружены изменения типа микроинфаркта миокарда. Наблюдались гемодинамические расстройства в виде дистонии мелких сосудов. На

отдельных участках отмечались набухание эндотелия клеток, их перпендикулярное расположение к базальной мембране, гофрированность внутренней эластической мембраны. Эти участки чередовались с очагами резкого полнокровия венозного отдела микроциркуляторного русла, капилляростазов с агрегацией форменных элементов крови. Объемная плотность очаговых повреждений миокарда оказалась во много раз больше.

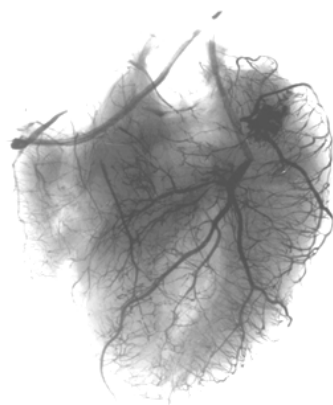


Рис. 6-5.

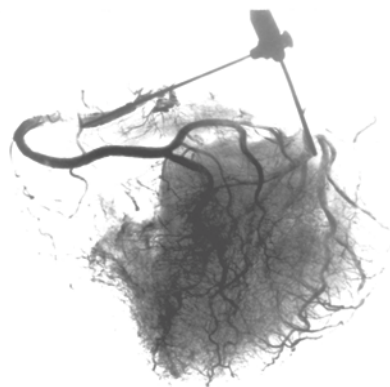


Рис. 6-2.

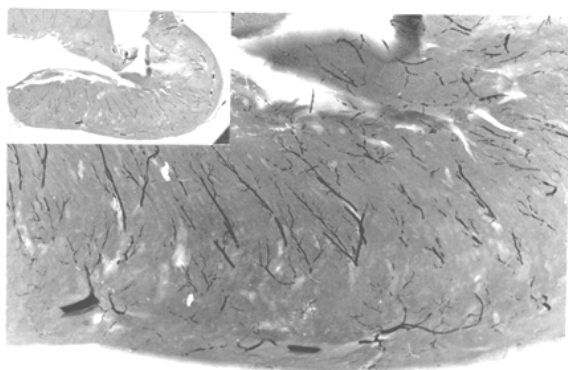


Рис. 6-6.

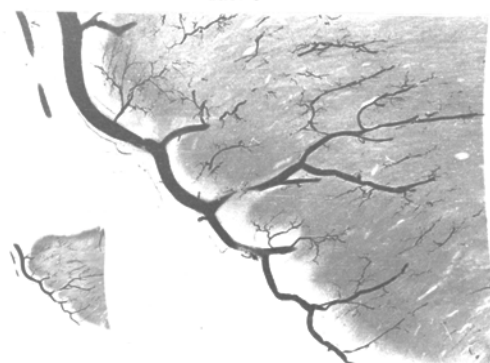


Рис. 6-3.

Случай № 1.

Случай № 2.

(Макроангиограммы сердец, их срезов без увеличения и при ув. в 5 раз.)

Случай № 1. Локальное поражение (склеротическая бляшка со стенозированием) в области устья передней нисходящей артерии.

Мощность ответвляющейся части по сечению на входе: 0.625000

Потери напора на входе в сосуд:

на экранирующей стенке: 38.653610

на кромках: 0.879596

входные: 0.560484

на тройнике: 11.320029

Потери напора в сегментах сосуда в зависимости от их длины, диаметра и конусности, шероховатости стенок:

сегм. № 1: 1.747155

сегм. № 2: 57.925953

сегм. № 3: 0.596878

сегм. № 4:	0.644181
сегм. № 5:	1.368567
сегм. № 6:	2.012246
сегм. № 7:	1.327734
сегм. № 8:	1.279005
сегм. № 9:	2.640712

Потери напора в сегментах сосуда по его ходу:

сегм. № 1:	0.000000
сегм. № 2:	17.611807
сегм. № 3:	2.480681
сегм. № 4:	2.163508
сегм. № 5:	0.000000
сегм. № 6:	11.252243
сегм. № 7:	1.834590

Суммарные потери напора: 156.298981

Коэффициенты васкуляризации микроциркуляторного русла в зоне интереса в отношении к зоне прилежащей:

коэфф. васкуляризации по площади среза	:	0.773857
коэфф. васкуляризации по количеству капилляров в 1 см ³	:	0.042593
коэфф. васкуляризации по суммарной длине капилляров	:	3.999962
коэфф. васкуляризации по суммарной площади внутренней поверхности капилляров	:	4.322413
коэфф. васкуляризации по суммарному объёму капилляров:		0.000200

Характер васкуляризации в зоне интереса: умеренная гиповаскуляризация.

Случай № 2. Диффузное поражение передней нисходящей артерии на всём её протяжении.

Мощность ответвляющейся части по сечению на входе: 0.472344

Потери напора на входе в сосуд:

на экранирующей стенке:	32.073528
на кромках:	0.828991
входные:	0.104858
на тройнике:	7.303215

Потери напора в сегментах сосуда в зависимости от их длины, диаметра и конусности, шероховатости стенок:

сегм. № 1:	11.885130
сегм. № 2:	17.983145
сегм. № 3:	0.597694
сегм. № 4:	29.924559
сегм. № 5:	1.956249
сегм. № 6:	23.358734
сегм. № 7:	1.422188
сегм. № 8:	1.952712

Потери напора в сегментах сосуда по его ходу:

сегм. № 1: 1.850037

сегм. № 2: 1.734482

сегм. № 3: 1.760099

Суммарные потери напора: 134.735626

Коэффициенты васкуляризации микроциркуляторного русла в зоне интереса в отношении к зоне прилежащей:

коэфф. васкуляризации по площади среза: 0.431435

коэфф. васкуляризации по количеству капилляров в 1 см³: 0.666667

коэфф. васкуляризации по суммарной длине капилляров: 0.666661

коэфф. васкуляризации по суммарной площади внутренней поверхности капилляров: 0.720705

коэфф. васкуляризации по суммарному объёму капилляров: 0.000899

Характер васкуляризации в зоне интереса: выраженная гиповаскуляризация.

Таким образом, выявлено, что при диффузном на всём протяжении и локальном в области устья поражениях передних нисходящих артерий в них соответственно возникли значительные потери напора и резкое ухудшение кровоснабжения зон умеренной и выраженной гиповаскуляризации миокарда с фатальным исходом.

Итак, чтобы наработать оценочные тесты в переменных величинах по разработанным параметрам для различных тканей, органов и систем в норме в возрастном аспекте и при различных патологических состояниях, необходимо создать банк унифицированной информации.

Также необходимо создать виртуальные машинные технологии на основе уже разработанных и предлагаемых нами алгоритмов, последние в процессе работы потребуют усовершенствования, и с их помощью по группам сосредоточенных параметров в виде переменных величин наработать количественные характеристики архитектоники кровеносных сосудов и формирующихся в них потоков крови.

Следовательно, и будут наработаны количественные и качественные характеристики, имеющие расчетное гидродинамическое обоснование, проверенное в эксперименте и на практике. Вот их и можно будет использовать при разработке методов реконструктивных операций на сосудах, определении целесообразности их применения при конструировании и производстве сосудистых протезов, при создании автоматизированной системы ангиографической диагностики.

Список использованной литературы

1. Степанов В.Г. Морфолого-функциональная характеристика тканевого, органного и системного кровообращения. - Монография. – Симферополь, 1994. - Деп. в ГНТБ Украины 30. 04. 1994 г. № Д – 894 Ук. 94. - 390 с.
2. Степанов В.Г. Классификация-характеристика структурно-функциональной организации кровеносного сосудистого русла//Український морфоло-гічний альманах. - 2003. - № 1. - Т.1. – С. 62-66.

3. Степанов В.Г. Математическое моделирование в ангиографических исследованиях структурно-функциональной организации кровеносных сосудов и кровоснабжаемых ими зон микроциркуляции // Український морфологічний альманах. - 2004. - № 1. - Т. 2. – С. 72-75.
4. Чижевский А.Л. Структурный анализ движущейся крови. - М.: Изд. АН СССР. - 1959. – 474 с.
5. Кисляков Ю.Я. Математическое моделирование кровообращения и газообмена в мозгу. – Л.: Наука, 1975. – 130 с.
6. Левтов В.А., Регирер С.А., Щадрина Н.Х. Реология крови. М.: Медицина, 1982. – 272 с.
7. Регирер С.А. Лекции по биологической механике. - М.: Изд. МГУ, 1980. - Ч. 1. - 144 с.
8. Каро К., Педли Т., Шротер Р., Сид У. Механика кровообращения. - М.: Мир, 1981.
9. T.J. Pedley, Sc.D. The Fluid Mechanics of Large Blood Vessels. Cambridge. 1980. Педли Т.Дж. Гидродинамика крупных кровеносных сосудов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983.