

НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ФАЗОВОЙ СТРУКТУРЕ БОЛЬШОГО КРУГА КРОВООБРАЩЕНИЯ

Гаранин А. А., Рябов А. Е.

В статье предложена новая фазовая структура большого круга кровообращения для оценки реовазограмм верхней и нижней конечностей, в основе которой лежит не геометрическая характеристика и визуальная оценка реографических комплексов, а генез их основных элементов. Мы выделяем в сосудистом цикле большого круга кровообращения систолу и диастолу по аналогии с сердечным циклом. Диастола состоит из следующих фаз: метаболической фазы, совпадающей по времени с диастолой правого предсердия, распространения пульсовой волны, быстрого притока и медленного притока; систола включает фазы: эластического и мышечного компонентов оттока, капиллярно-венозного оттока, совпадающего по времени с процессом систолы правого предсердия. Предложенная фазовая структура может быть использована для количественной оценки биомеханики большого круга кровообращения посредством компьютерной реовазографии, расчета ряда параметров изменения электропроводности/сопротивления тканей и гемодинамики; позволяет связать биомеханику большого круга кровообращения с кинетикой магистральных артерий и биомеханикой сердца, выявлять между ними причинно-следственные механизмы, взаимосвязь центральной и периферической гемодинамики, оценивать биомеханику кровообращения в целом.

Российский кардиологический журнал 2014, 8 (112): 100–105

Ключевые слова: биомеханика, большой круг кровообращения, реовазография, фазовая структура.

ГБОУ ВПО Самарский государственный медицинский университет МЗ РФ, Самара, Россия.

Гаранин А. А.* — врач-кардиолог, Рябов А. Е. — к. м. н., доцент, зав. отделением кардиологии № 2.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): sameagle@yandex.ru

АГ — артериальная гипертензия, СД — сахарный диабет, МБ — метаболическая фаза, РПВ — фаза распространения пульсовой волны, БП — фаза быстрого притока, МП — фаза медленного притока, ЭКО — фаза эластического компонента оттока, МКО — фаза мышечного компонента оттока, КВО — фаза капиллярно-венозного оттока, СП — систола предсердий, ДП — диастола предсердий.

Рукопись получена 26.10.2013

Рецензия получена 09.11.2013

Принята к публикации 18.11.2013

NOVEL UNDERSTANDING OF THE PHASIC STRUCTURE OF SYSTEMIC CIRCULATION

Garanin A. A., Ryabov A. E.

The article provides novel approach to the phasic structure of systemic circulation for rheovasograms of upper and lower extremities, based upon neither geometrical description with visual evaluation of rheographic complexes, but upon genesis of their main elements. We reveal systole and diastole of the large circle of circulation analogue to the heart phases. Diastole includes the phases: metabolic (synchronous to the right atrium diastole), pulse wave spread, rapid influx and slow influx. Diastole includes the phases: elastic and muscular outflow, capillary-venous outflow (synchronous to the systolic phase of right atrium). The phasic structure provided can be used for quantitative measurement of biomechanics of the systemic circulation using computed rheovasography, for calculation of the electrical conductivity or

resistance parameters and hemodynamics; is able to link biomechanics of the systemic circulation with main arteries kinetics and biomechanics of the heart; to reveal causal interconnections among them, relation of central and peripheral hemodynamics, measure biomechanics of blood circulation in general.

Russ J Cardiol 2014, 8 (112): 100–105

Key words: biomechanics, systemic circulation, rheovasography, phasic structure.

SBEI HPE Samara State Medical University, Samara, Russia.

Принципиальная разработка и предложение реографической методики принадлежит Н. Манн (1937). В последующем методика получила развитие в работах А. А. Кедрова и Т. Ю. Либермана (1941–1949) и др. Детальная разработка и внедрение в клиническую практику метода реографии связано с именами австрийских исследователей W. Holzer, K. Polzer A. Marko [1].

В настоящее время визуально принято выделять в реографическом комплексе следующие элементы: катакроту — основную волну реограммы, анакроту (восходящую часть катакроты), вершину, дикроту (нисходящую часть катакроты), инцизуру, дикротическую волну. Общепринятой методики интерпретации и обозначения элементов реограммы не существует [2]. Ряд авторов проводит анализ их регулярности, крутизны анакроты, характер вершины, форму катакроты и дикроты, глубины инцизуры, что весьма субъективно и, несмотря на высокую информатив-

ность, малоспецифично и может зависеть от многих внешних и внутренних факторов [3].

Эти характеристики не дают всеобъемлющей картины о состоянии сосудистой системы, а лишь об отдельных ее функциях: пульсовом кровенаполнении исследуемой области, косвенно о величине ударного объема крови и состоянии тонуса крупных сосудов, соотношении артериального и венозного кровотока и др. Кроме того, существующие на сегодняшний день попытки интерпретации реограмм не учитывают генез их основных элементов. Более того, данные о границе артериального притока и венозного оттока на комплексе реограммы противоречивы. Одни авторы считают, что венозный отток начинается с нисходящей части анакроты, другие полагают, что границей между артериальной и венозной частями большого круга кровообращения служит инцизура [4].

Поэтому представлялось целесообразным разработать фазовую структуру большого круга кровообра-

шения, которая основана не на геометрической характеристике и визуальной оценке реографических комплексов, а на интерпретации генеза их основных элементов и позволяет получить минимум показателей для количественного анализа различных аспектов гемодинамики.

Изучение взаимодействия различных отделов большого круга кровообращения в течение сосудистого цикла, уточнение физиологической функции всех фаз и применение разработанной фазовой структуры для оценки биомеханики большого круга кровообращения является целью данной работы.

Материал и методы

Регистрация реограмм верхней и нижней конечностей — реовазограмм проводили на полиграфе “Элон” по стандартной, традиционной методике с использованием продольной реографии. Запись кривых верхней и нижней реовазограмм осуществлялась параллельно со сфигмограммами локтевой и бедренной артерий соответственно. Для регистрации реовазограмм использовали биполярные циркулярные электроды. Активный электрод (проксимальный) накладывали на верхней конечности на плечо между проксимальной и средней его третями, индифферентный (дистальный) — в области запястья, на нижней — активный электрод между проксимальной и средней третями бедра, индифферентный — непосредственно над лодыжками. Калибровку реовазограмм проводили по амплитуде с помощью калибровочного импульса, который получали при разбалансировке моста на 0,1 Ом.

На этапе регистрации автоматизация процесса проводилась с помощью пакета прикладных программ “Reos”, позволяющего адаптировать полиграф “Элон” к ЭВМ, проводить двухканальную регистрацию реовазограмм и кривых сопровождения, подбирать оптимальную частоту дискретизации и формировать базу данных на компьютере. Сотрудниками кафедры пропедевтической терапии СамГМУ (Рябов А. Е., Гаранин А. А.) разработан пакет прикладных программ “Rheograph”, который дает возможность идентифицировать файл данных, содержащий числовые значения амплитуд кривых, провести его предобработку (сглаживание, инвентирование), учесть частоту дискретизации и уровень калибровочного сигнала при обработке, выполнить ручную постановку реперных точек — границ фаз сосудистого цикла по представленной на экране первой и второй производной реограмм и получить копию результата в виде текстового файла.

В процессе анализа реограмм и их производных нами установлено, что график второй производной реограмм, зарегистрированных как на верхней, так и на нижней конечностях, содержит три всегда идентифицируемых минимума, три максимума и два пере-

хода через ноль. При многократном воспроизведении записи реограмм у одного и того же обследуемого указанные характерные точки возникают в строго определенной временной последовательности. Причем эта последовательность чередования точек на второй производной прослеживается на реограммах различных сосудистых бассейнов большого круга кровообращения у разных лиц вне зависимости от пола и возраста: при регистрации верхней и нижней реовазограмм, реоэнцефалограмм, реогепатограмм.

Мы предлагаем новую трактовку фазовой структуры большого круга кровообращения и кривой реовазограммы, в основе которой лежит анализ ее основных элементов, а не их геометрическая характеристика. При этом в сосудистом цикле большого круга кровообращения мы выделяем систолу и диастолу по аналогии с сердечным циклом. Систола большого круга кровообращения состоит (рис. 1) из фаз эластического (точки 3—4) и мышечного (точки 4—5) компонента оттока (ЭКО и МКО) и капиллярно-венозного оттока (точки 5—6) (КВО). Диастола большого круга кровообращения включает метаболическую фазу (МБ) (точки 6—0), фазу распространения пульсовой волны (РПВ) (точки 0—1), быстрого (точки 1—2) и медленного (точки 2—3) притока (БП и МП). Кроме того, на реовазограмме выделяются диастола (ДП) правого предсердия, которая совпадает по времени с фазой КВО (точки 5—6) и систола (СП), совпадающая по времени с частью МБ фазы (точки 7—0). Их деятельность не вносит существенного вклада в биомеханику большого круга кровообращения, поэтому расчет параметров биомеханики в эти фазы отдельно не проводится [5].

Систола начинается фазой ЭКО из артериальной части большого круга кровообращения. Обусловлена она сокращением эластических структур стенок аорты и ее ветвей и поступлением крови в микроциркуляторное русло.

Следующая фаза — МКО из большого круга кровообращения характеризуется сокращением мышечных волокон стенок аорты и ее разветвлений и увеличением кровенаполнения артериол и капилляров в результате превалирования притока крови над оттоком и увеличением скорости кровотока в большом круге кровообращения.

Заключительная систолическая фаза — КВО обусловлена активным присасывающим действием правого желудочка в фазу быстрого наполнения и усилением оттока из большого круга кровообращения с преобладанием его над притоком.

СП и ДП начинают цикл правых отделов сердца. Совпадают по времени с КВО и МБ фазой соответственно, определяются преимущественно работой миокарда правых отделов сердца, а также магистральных вен и микроциркуляторного русла. СП —

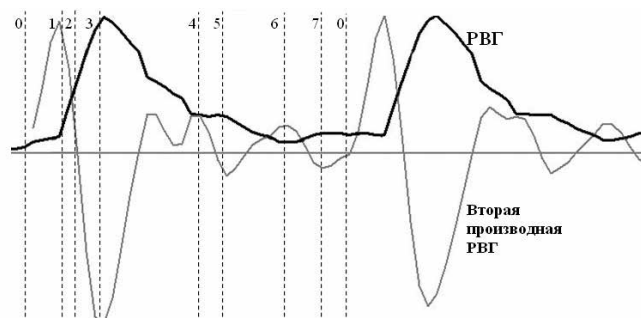


Рис. 1. Фазовая структура большого круга кровообращения (реограмма верхней конечности и ее вторая производная).

непостоянная волна на реовазограммах, обусловленная частичным возвратом крови в полые вены в систолу правого предсердия, приводящая к замедлению или прекращению венозного оттока и, соответственно, к падению электрического сопротивления в микроциркуляторном русле. Это обусловлено анатомией миокарда предсердий — круговые мышечные пучки глубокого петлеобразного слоя охватывают устья полых вен и во время систолы предсердий препятствуют регургитации крови в полые вены [6]. Однако, этот блок не герметичен, и часть крови все-таки попадает в полые вены, обуславливая изменение сопротивления. ДП характеризуется усилением оттока из венозного отдела большого круга кровообращения преимущественно за счет присасывающего действия правого желудочка.

Биомеханика диастолы большого круга кровообращения зависит от ряда факторов: систолы левого желудочка, состояния аорты и ее ветвей и периферического сопротивления мелких артерий, артериол, прекапилляров.

Диастола большого круга кровообращения начинается МБ фазой, которая имеет большой физиологический смысл. В эту фазу изгнание крови из левого желудочка и посылаемые импульсы из синусового узла способствует продвижению крови по *vasa vasorum* из проксимальных отделов к дистальным [7], что позволяет артериям подготовиться к принятию ударного объема крови. Кроме того, это обеспечивает трофику тканей стенки магистральных артерий — к ним поступает кровь, насыщенная кислородом и энергетическими продуктами, что позволяет синтезировать АТФ для последующего активного сокращения. Мы обратили внимание, что в этот отрезок времени на реовазограммах происходит краткое увеличение электропроводности, а, значит, ток крови по сосуду, не связанный с приходом основного ударного объема. Подобное явление не наблюдается ни на реограмме легочной артерии, ни на параллельно записанной сфигмограмме магистральных артерий.

Следующая диастолическая фаза — фаза РПВ, которая характеризует в большей степени механические свойства артериального русла и в меньшей — биомеханику левого желудочка.

Фаза БП большого круга кровообращения отражает преимущественно биомеханику левого желудочка и расширение аорты и ее ветвей под воздействием ударного объема крови.

Фаза МП соответствует фазе редуцированного изгнания сердца и отражает сопротивление мелких сосудов большого круга кровообращения.

В каждую выделенную фазу мы вычисляли значения первой и второй производной реовазограмм и с их помощью определяли следующие параметры биомеханики большого круга кровообращения: t , с — продолжительность фазы; v_{cp} , Ом/с — средняя скорость изменения сопротивления; $v_{э}$, Ом/с — экстремальная скорость изменения сопротивления; a_{cp} , Ом/с² — среднее ускорение (сила); $a_{э}$, Ом/с² — экстремальное ускорение (сила); N_{cp} , Ом²/с³ — средняя мощность; $N_{э}$, Ом²/с³ — экстремальная мощность; W , Ом²/с² — работа.

Результаты и обсуждение

В последние годы значительно возрос интерес к изучению морфофункциональных нарушений артериального русла. Существовавшая длительное время концепция, согласно которой система кровообращения преподносится как замкнутая система трубок, в которой мотор, генерирующий пульсовый поток, представляет собой насос (сердце), связанный с пассивными трубками (артериями) не соответствует действительности. Исследования последних лет показали несостоятельность данной теории, и в настоящее время известно, что биомеханика крупных артерий более сложна, а существовавшая ранее модель разделяла проводящие и амортизирующие свойства артерий — функции, присутствующие лишь в аорте. Большой вклад в изучение биомеханики сосудистого русла внесли фундаментальные работы русских ученых. Профессору М. В. Яновскому принадлежит теория “периферического сердца”, которая представлялась ему как активная систола-диастола артерий в четком и закономерном сочетании с фазами сердечной деятельности [8].

Мы убедились в абсолютной справедливости этой теории. Считаем целесообразным выделить в сосудистом цикле большого круга кровообращения двух периодов — систолы и диастолы.

Анализ реографической кривой посредством предложенной фазовой структуры позволил нам выявить особенности движения крови по большому кругу кровообращения у здоровых волонтеров и лиц с основными факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний (табл. 1). Далее представлены результаты анализа биомеханики большого круга кровообращения 130 человек, которые распределены по 4 группам:

Таблица 1

**Показатели биомеханики большого круга кровообращения
по данным реовазографии верхней конечности в исследованных группах**

Группы \ Фазы	МИ	РПВ	БП	МП	ЭКО	МКО	КВО
Длительность фаз, t (с)							
Группа 1	0,09	0,09	0,06	0,06	0,21	0,16	0,31 ^{p 1-2}
Группа 2	0,10	0,10	0,06	0,06	0,24	0,17	0,23 ^{p 2-3}
Группа 3	0,11	0,11	0,05	0,05	0,19	0,15	0,30
Группа 4	0,10	0,10	0,06	0,06	0,23 ^{p 1-4}	0,15	0,26 ^{p 3-4}
Средняя скорость, v (10 ⁻⁵ Па/с)							
Группа 1	0,59	0,80	8,08	10,67	4,95	2,06	2,13
Группа 2	0,73	0,68	7,40	10,85	4,63	1,50	2,04
Группа 3	0,45	0,64	8,34	10,54	4,00	1,50	1,97
Группа 4	0,44	0,91	7,74	10,55	4,13 ^{p 1-4}	2,13	2,31
Среднее ускорение, a (10 ⁻⁵ Па/с ²)							
Группа 1	6,51	65,20	138,22	107,75	110,99	51,85	31,82 ^{p 1-3}
Группа 2	9,61	62,52	139,45	106,89	95,91	45,56 ^{p 2-3}	30,49 ^{p 2-4}
Группа 3	4,86	58,50	143,20	106,17	93,60	30,75 ^{p 1-3}	16,81 ^{p 2-3}
Группа 4	6,04	62,16	139,28	96,97 ^{p 1-4}	87,93 ^{p 1-4}	42,50	17,01 ^{p 1-4}
Средняя мощность, N (10 ⁻¹⁰ Па/с ³)							
Группа 1	2,87	62,52	1082,19	1156,10	378,61	93,89	70,48
Группа 2	5,68	59,55	979,23	1085,07	332,55	72,35	47,33
Группа 3	2,17	46,52	1011,31	1084,01	304,52	45,39 ^{p 1-3}	31,29 ^{p 1-3}
Группа 4	3,18 ^{p 2-4}	68,15	1066,31	1073,23	238,86 ^{p 1-4}	82,56	36,81
Работа, W (10 ⁻¹⁰ Па/с ²)							
Группа 1	0,15	4,41	41,88	46,25	54,27	12,48	7,21
Группа 2	0,37	4,22	39,17	43,41	48,80	6,88	4,73
Группа 3	0,16	3,85	38,66	43,56	39,82 ^{p 1-3}	4,67 ^{p 1-3}	2,91 ^{p 1-3}
Группа 4	0,14	4,79	42,65	44,13	40,44 ^{p 1-4}	7,04	3,64

Примечание: ^{p 1-2} — достоверное различие в группе 2 с контрольной группой, ^{p 1-3} — достоверное различие в группе 3 с контрольной группой, ^{p 1-4} — достоверное различие в группе 4 с контрольной группой, ^{p 2-3} — достоверное различие между 2 и 3 группами, ^{p 2-4} — достоверное различие между 2 и 4 группами, ^{p 3-4} — достоверное различие между 3 и 4 группами.

1 группа (40 человек) — практически здоровые лица, 2 группа (30 человек) — курящие, 3 группа (30 человек) — лица с артериальной гипертензией (АГ), 4 группа (30 человек) — больные сахарным диабетом 2 типа (СД).

Систола большого круга кровообращения состоит из фаз ЭКО, МКО и КВО. Фаза ЭКО обеспечивается сокращением эластических мембран аорты и ее ветвей, предварительно растянутых ударным объемом левого желудочка. Не отмечено достоверных изменений продолжительности указанной фазы в группах 2 и 3 по отношению к норме. В группе 4 обнаружено увеличение продолжительности данной фазы на 10% ($p=0,024$) по сравнению с контрольной группой. В группах 2 и 3 не наблюдалось достоверных изменений скоростных и силовых показателей биомеханики большого круга кровообращения по сравнению с нормой и друг с другом. В группе 4 обнаружено снижение средней скорости по отношению к норме на 17% ($p=0,024$). Аналогичная динамика зафиксирована при анализе изменений среднего ускорения —

произошло его снижение в группе 4, по сравнению с контролем, на 21% ($p=0,008$). В данной группе отмечено также снижение средней мощности и работы при сопоставлении результатов с нормой на 37% ($p=0,004$) и 26% ($p=0,022$), соответственно. Кроме того, в группе 3 произошло снижение работы, по сравнению с контрольной группой, на 27% ($p=0,018$).

Следовательно, у больных СД имеются нарушения биомеханики в фазу ЭКО, которые связаны, прежде всего, с функционированием эластических структур артериальной части большого круга кровообращения и носят характер декомпенсации, проявляющейся тотальным снижением всех скоростных и силовых показателей. У лиц с АГ обнаружено лишь снижение работы сосудистой стенки, причем остальные изучаемые параметры биомеханики достоверно не изменялись.

Фаза МКО из большого круга кровообращения обусловлена сокращением мышечных волокон стенок артерий, соответствует фазе изоволюмического

снижения давления и началу фазы быстрого наполнения левого желудочка, вследствие чего происходит увеличение кровенаполнения микроциркуляторного русла в результате превалирования притока крови над оттоком и возрастание скорости кровотока в большом круге кровообращения. В данную фазу не выявлено достоверных изменений ее продолжительности и средней скорости во всех исследуемых нами группах. В группе АГ обнаружено снижение среднего ускорения при сопоставлении результатов с группами 1 и 2 на 41% ($p=0,009$) и 33% ($p=0,0007$), соответственно. Кроме того, зафиксировано падение средней мощности и работы в указанной группе по отношению к норме на 52% ($p=0,01$) и 63% ($p=0,014$), соответственно.

Заключительная систолическая фаза — КВО — обусловлена продолжающимся оттоком крови из большого круга кровообращения в правое предсердие, которое в этот момент является проводником между системой полых вен и правым желудочком, имеющим в своем просвете минимальное давление к концу фазы быстрого наполнения. Присасывающее действие правого желудочка в диастолу, распространяющееся на венозную систему большого круга кровообращения, обеспечивает перемещение крови в фазу КВО. Кровь из капилляров микроциркуляторного русла оттекает через посткапилляры, венулы и вены. Конец данной фазы совпадает с окончанием фазы медленного наполнения левого желудочка и началом систолы левого предсердия.

Отмечено укорочение данной фазы в группе 2, по сравнению с нормой, на 26% ($p=0,031$). Выявлено также увеличение продолжительности фазы КВО в группе 3 при сопоставлении результатов с группами 2 и 4 на 30% ($p=0,034$) и 15% ($p=0,022$) соответственно. Наблюдалось снижение среднего ускорения в группе 3 относительно групп 1 и 2 на 47% ($p=0,004$) и 45% ($p=0,007$), соответственно. В 4 группе среднее ускорение снизилось по отношению к указанным группам на 46% ($p=0,001$) и 44% ($p=0,047$), соответственно. В 3 группе, кроме того, зафиксировано падение средней мощности и работы, по сравнению с нормой, на 56% ($p=0,008$) и 60% ($p=0,012$) соответственно. Следовательно, у курящих лиц обнаружено лишь укорочение фазы КВО, что характеризует дистонию дистальных отделов артериальной части большого круга кровообращения под прямым воздействием никотина. У больных СД выявлено достоверное снижение силы, что обусловлено, прежде всего, нарушением функционирования микроциркуляторного русла на фоне данного заболевания. Наиболее выраженные изменения получены нами у лиц с АГ: наряду с увеличением продолжительности изучаемой фазы отмечено значительное снижение силовых характеристик кинетики большого круга

кровообращения, что свидетельствует как о нарушении биомеханики правых отделов сердца (его субэндо- и субэпикардальных слоев) в диастолу, так и о дисфункции микроциркуляторного русла.

Диастола большого круга кровообращения состоит из фаз МБ, РПВ, БП и МП. Диастола большого круга кровообращения начинается МБ фазой, которая по времени совпадает с фазой систолы предсердий, что подтверждает теорию о влиянии импульсов синусового узла и сокращения предсердий на периферический кровоток. В данную фазу обнаружено лишь достоверно значимое снижение средней мощности в группе 4 по отношению к группе 2 на 44% ($p=0,035$).

Фаза распространения пульсовой волны зависит, прежде всего, от состояния аорты и ее разветвлений, и состояния их нервно-мышечного аппарата и в меньшей степени — от функции левого желудочка. По времени данная фаза совпадает с фазой изоволюмического повышения внутрижелудочкового давления. В указанную фазу не выявлено достоверно значимых изменений изучаемых параметров биомеханики по отношению друг к другу во всех исследуемых группах.

Фаза быстрого притока отражает, прежде всего, функцию левого желудочка в фазу максимального изгнания-1. Соппротивлением эластических структур аорты и ее крупных разветвлений можно пренебречь, и гемодинамические сдвиги, обусловленные нарушениями диастолы большого круга кровообращения, в определенной степени компенсируются в фазу РПВ. В данную фазу не выявлено достоверно значимых нарушений биомеханических показателей во всех исследуемых группах.

Фаза медленного притока связана с дальнейшим поступлением крови в аортальный бассейн. По времени она совпадает с фазой максимального изгнания-2 левого желудочка и отражает продвижение крови в мелкие артерии и артериолы большого круга кровообращения, суммарное сопротивление которых значительно превосходит сопротивление магистральных сосудов эластического и мышечно-эластического типов. В группах 2 и 3 не выявлено достоверно значимых изменений изучаемых параметров биомеханики по отношению к норме. В 4 группе отмечено снижение силы, по сравнению с контрольной группой, на 10% ($p=0,024$).

Таким образом, у лиц с факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний обнаружены нарушения биомеханики большого круга кровообращения в бассейне плечевой артерии. У больных СД наблюдается увеличение артериальной жесткости, обусловленное нарушением функционального состояния соединительно-тканых элементов стенки артерий. У лиц с АГ обнаружено нарушение функционирования гладких миоцитов меди, что связано с увеличением общего периферического

сосудистого сопротивления при данном состоянии. Кроме того, у больных СД выявлено нарушение капиллярно-венозного оттока, что обусловлено, прежде всего, нарушением функционирования микроциркуляторного русла на фоне тех метаболических и структурных изменений, которые вызывает данное заболевание. Наиболее выраженные изменения получены нами у лиц с АГ — отмечено значительное изменение кинетики большого круга кровообращения, что свидетельствует как о нарушении биомеханики правых отделов сердца (его субэндо- и субэпикардальных слоев) в диастолу, так и о дис-

функции микроциркуляторного русла. В группе курящих лиц наблюдается лишь дистония дистальных отделов артериальной части большого круга кровообращения.

Заключение

Использование компьютерной реографии и новой фазовой структуры реограмм помогает количественно проанализировать биомеханику большого круга кровообращения и позволяет вести расчет такого количества показателей, которое позволяет детально оценить функцию каждого его отдела.

Литература

1. Instrumental methods of study of the cardiovascular system (Reference) / Ed. T.S. Vinogradova. Moscow, Medicine 1986, 416. Russian (Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы (Справочник) /Под ред. Т.С. Виноградовой. М.: Медицина 1986, 416 с).
2. Instrumental methods of research in cardiology (Manual) /Ed.: Sidorenko G.I. Minsk. 1994, 272. Russian (Инструментальные методы исследования в кардиологии (Руководство) /Ред.: Сидоренко Г.И. Минск. 1994, 272 с.).
3. Sawicki NN. Biophysical basis of blood circulation and clinical methods for the study of hemodynamics. Moscow, Medicine 1974, 312. Russian (Савицкий Н.Н. Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики. М.: Медицина 1974, 312 с).
4. Roytberg GE, Strutynsky AV. Laboratory and instrumental diagnosis of diseases of the internal organs. M. Binom, 1999, 602. Russian (Ройтберг Г.Е., Струтынский А.В. Лабораторная и инструментальная диагностика заболеваний внутренних органов. М.: Бином, 1999, 602 с).
5. Fatenkov VN. New in the biomechanics of the heart, arteries and the pulmonary circulation: monograph. Samara: Samara. State. tehn. Univ. 2009, 222. Russian (Фатенков В.Н. Новое в биомеханике сердца, артерий и малого круга кровообращения: монография. Самара: Самар. Гос. техн. ун-т. 2009, 222 с).
6. Obrezan AG, Yarovitsky VN. Effect of hemodynamic changes in the vena cava on intracardiac hemodynamics and visceral/ Stojko YuM, Lytkin MN, Shaidakov EV. Venous hypertension in the vena cava. St. Petersburg. 2002, 276. Russian (Обрезан А.Г., Яровицкая В.Н. Влияние гемодинамических изменений в системе полых вен на внутрисердечную и висцеральную гемодинамику/Стойко Ю. М., Лыткин М.Н., Шайдаков Е.В. Венозная гипертензия в системе полых вен. СПб. 2002, 276 с).
7. Ivanova VD, Koshev VI, Pirogov VL, et al. Hemodynamic function of the vascular bed in the norm and experiment. Samara 2002. 10. Russian (Иванова В.Д., Кошев В.И., Пирогов В.Л. и др. Гемодинамическая функция сосудистого русла в норме и эксперименте. Самара. 2002, 10 с.).
8. Obrezan AG, Shunkevich TN. The theory of "peripheral heart" of Professor M. Janowski: classic modern ideas. Bulletin of St. Petersburg University. 2008; 3 (11): 14–23. Russian (Обрезан А.Г., Шункевич Т.Н. Теория "периферического сердца" профессора М.В. Яновского: классические современные представления. Вестник Санкт-Петербургского университета. 2008; 3 (11): 14–23.).