

КОМПЬЮТЕРНАЯ СФИГМОГРАФИЯ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КИНЕТИКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ АРТЕРИЙ

А.В. Германов

Кафедра пропедевтической терапии (зав. — проф. В.Н. Фатенков) Самарского государственного медицинского университета

В последнее десятилетие резко возрос объем оперативных вмешательств при заболеваниях магистральных артерий, реконструктивных операциях на артериях брахиоцефальной системы, при аортальных пороках, а также расширен список лекарственных средств, активно влияющих на артериальный сосудистый тонус при гипертензиях. В связи с этим представляет практический интерес неинвазивный оперативный контроль за состоянием кинетики магистральных артерий. Широко применяемые в настоящее время ультразвуковые методы исследования сосудов характеризуют морфологию стенок артерий эластического и мышечного типов и состояние кровотока в месте фиксации датчика. Однако эти методы не позволяют количественно оценить пропульсивную работу артериальной стенки (биомеханику) в процессе формирования этого кровотока. Такая информация может быть получена из данных сфигмографии — несправедливо забытого традиционного диагностического метода.

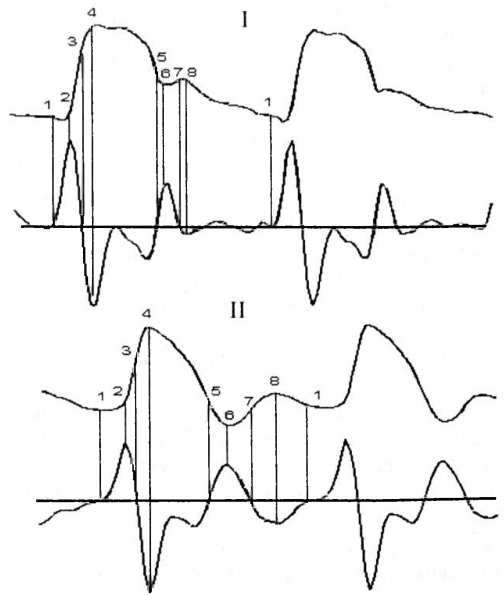
Цель работы — на основе контурного анализа сфигмограмм (СГ) предложить новый метод анализа — компьютерную сфигмографию (КС) и показать ее диагностические возможности для количественной оценки состояния кинетики магистральных артерий.

Обследованы 58 здоровых людей (средний возраст — $34,0 \pm 2,6$ года). У всех обследованных регистрировали СГ сонной, локтевой, лучевой артерий, артерии голени и свода стопы, ЭКГ, ФКГ.

Регистрацию СГ осуществляли на полиграфе "Biomedika", укомплектованном датчиком давления с постоянной времени 1,3. Аналоговый выход полиграфа был соединен с платой аналого-цифрового преобразователя PCL 712, находящегося в одном из слотов расширения персональной ЭВМ. Частота дискретизации при записи СГ составляла 50 Гц. Введенные амплитуды нормировали, то есть приводили их размах к единице. Колебания пронормированных амплитуд, вызванные случайными ошибками, сглаживались по методу наименьших квадратов при аппроксимации

амплитуд квадратичной параболой, проходящей через пять последовательных точек. По сглаженным значениям амплитуд вычисляли первую (PR1) и вторую (PR2) производные СГ.

При интерпретации полученных данных исходили из того, что регистрируемые СГ представляют интегральные кривые, отражающие перемещение участка сосудистой стенки, во-первых, при воздействии внутри- и внесосудистого факторов, а во-вторых, самой сосудистой стенки под датчиком, а также дистальнее и проксимальнее места его наложения. Физический смысл первой



Сфигмограммы и их вторые производные: I — сонной артерии, II — задней артерии голени.

производной от функции перемещения — это скорость изменения данной функции, второй производной — ускорение, с которым изменяется эта функция. Отсюда первую и вторую производные СГ можно применять для количественной характеристики скорости и ускорения перемещения участка сосудистой стенки, произведение производных — для определения мощности процесса перемещения и совершаемой при этом работы.

У всех обследованных сравнивали график СГ центрального и периферического пульса с их вторыми производными.

Ранее уже проводилось такое сопоставление для АКГ и ее второй производной [2], и было установлено, что пики и переходы через ноль графика второй производной соответствуют гра-

ницам фаз сердечного цикла и моментам изменения внутрисердечной гемодинамики. Теперь установлено, что график второй производной СГ как для артерий эластического, так и мышечно-го типов содержит два всегда идентифицируемых максимума, три минимума и три перехода через ноль. При многократном воспроизведении записи СГ у одного и того же обследуемого указанные характерные точки возникают в строго определенной временной последовательности.

В результате по одному и тому же алгоритму в автоматизированном режиме были выделены следующие периоды (см.рис.).

Сфигмограмма центральных артерий. Фаза 2—4: поступление в сосуд основной части УО крови. Фаза 4—8: ответная реакция артериального отдела сосудистой системы на поступление крови при сердечном сокращении. Фаза 2—3: аорта и левый желудочек составляют единую полость. Активное сокращение мышц миокарда желудочков приводит к резкому повышению давления в начальных отделах аорты и сосудов эластического типа. В силу градиента давления между этими отделами артериальной системы и более дистальными возникает движение крови. Размещение ударного объема крови за короткий срок становится возможным благодаря расширению аорты и в меньшей степени за счет линейного перемещения крови. Волна повышенного давления (пульсовая волна) распространяется в артериях со скоростью, обратно пропорциональной степени эластичности их стенок. Энергия, кумулированная в сосудистой стенке аорты, в последующем превращается в кинетическую энергию кровотока, которая поддерживает непрерывность движения крови в артериях.

Фаза 3—4: период дальнейшего расширения диаметра сосуда для приема большего объема крови и накопления энергии сосудистой стенки для последующей активной работы по перемещению крови в более дистальные отделы. Скорость перемещения участка сосудистой стенки под датчиком достигает максимального значения.

Фаза 4—5: активное участие сосудистой стенки в процессе перемещения УО крови. За счет возврата ею части запасенной энергии происходит поддержание давления внутри сосуда на высоком уровне при уменьшении диаметра сосуда. К концу фазы 4—5 наблюдается снижение давления внутри сосуда за счет перехода основной части ударного объема в более дистальные отделы. Наступает момент, когда давление внутри левого желудочка приближается к давлению в проксимальных отделах аорты и аортальный клапан закрывается (т.5).

Фаза 5—6: дальнейшее уменьшение диаметра сосуда позволяет поддерживать снижающееся внутри сосуда давление на достаточно высоком уровне в условиях завершения изгнания крови из левого желудочка.

Фаза 6—7: волна, отраженная от дистальных отделов артериальной системы, возвращается к

сердцу и, отражаясь от створок закрытого аортального клапана и сосудистых стенок, распространяется на периферию, то есть возникает циркуляция ударной волны крови между дистальными и проксимальными отделами артериальной системы, которая носит затухающий характер. Наибольшим по амплитуде является первое колебательное движение. Оно и определяет так называемую диокроту. Характер колебательных движений и амплитуда этих отраженных волн ограничивается в основном плотно-эластическими свойствами сосудистой стенки.

Фаза 7—8: постепенное уменьшение диаметра сосуда. При этом сосудистая стенка "демпфирует" колебания внутрисосудистого давления, возникающие за счет отраженных волн. Сосуд возвращает энергию, запасенную в периоде 2—4, что способствует поддержанию внутрисосудистого давления на уровне, препятствующем обратному току крови.

Сфигмограмма периферических артерий. Фаза 2—4: закономерности формирования этого участка сфигмограммы периферического пульса аналогичны закономерностям, описанным ранее для центральных артерий. Происходит растяжение мышечных элементов сосудистой стенки, в частности кольцевых или спиралевидных волокон, и подготовка к последующему их сокращению. Кроме того, наблюдается накопление энергии эластическими элементами сосудистой стенки.

Фаза 3—5: сокращение гладких мышц обуславливает пропульсивную энергию стенок сосудов, дополняющую энергию систолы сердца [1], и приводит к уменьшению диаметра сосуда и поддержанию внутрисосудистого давления на уровне, достаточном для продолжения процесса перемещения крови в более дистальные отделы. Стенка сосуда работает как эластомоторная спираль, сокращение которой влечет за собой не столько окклюзию сосуда, сколько его укорочение и удлинение. В результате такого сокращения насыщение крови сочетается с ее проталкиванием. Чем дальше к периферии, тем большую роль в пропульсивной деятельности сосудов играют кольцевые (спиральные) мышцы, сокращение которых способствует сохранению кинетической энергии крови, изгнанной из сердца, то есть сохранению первичного импульса сердца. Таким образом, период 2—4 в большей степени отражает характер повышения внутрисосудистого давления за счет сердечного выброса, а период 4—6 — активную работу сосудистой стенки по поддержанию этого давления.

Фаза 6—8: появление этой волны на сфигмограммах периферического пульса в основном определяется изменением наружного диаметра сосуда в связи с пропульсивной деятельностью стенки в более дистальных по отношению к месту наложения датчика отдела исследуемого сосуда. Сократительные элементы в артериях мышечного типа располагаются спиралевидно [1]. Поэтому эффект от их сокращения проявляется

Показатели кинетики артериальных сосудистых стенок

Показатели	Периоды	a. carotis	a. ulnaris	a. radialis	a. tibialis
Длительность периода, с	t2-t3	0,043±0,001	0,042±0,001	0,042±0,001	0,045±0,001
	t3-t4	0,062±0,003	0,065±0,003	0,058±0,002	0,065±0,003
	t4-t5	0,254±0,006	0,269±0,006	0,272±0,004	0,28±0,008
Средние скорости, 10 ⁻⁵ Па/с	t2-t3	7,718±0,124	8,378±0,196	8,215±0,126	6,599±0,261
	t3-t4	6,992±0,229	7,181±0,217	7,674±0,156	5,996±0,289
	t4-t5	2,814±0,080	2,705±0,107	2,812±0,067	3,164±0,09
Средние ускорения, 10 ⁻⁵ Па/с ²	t2-t3	80,404±2,294	90,918±3,076	86,508±2,263	64,298±3,011
	t3-t4	89,400±3,219	100,126±4,329	100,424±3,602	75,872±3,248
	t4-t5	42,598±1,469	40,312±2,201	47,184±1,797	40,558±1,669
Средние мощности, 10 ⁻¹⁰ Па/с ³	t2-t3	502,355±20,241	614,185±34,992	559,18±26,504	339,335±25,262
	t3-t4	455,106±22,376	530,772±31,956	553,275±25,140	334,448±26,067
	t4-t5	96,258±5,801	83,382±7,314	113,065±7,483	94,136±6,703
Работа, 10 ⁻⁵ Па/с ⁻²	t2-t3	21,677±0,806	25,842±1,304	23,597±0,982	15,067±0,983
	t3-t4	27,761±1,412	33,167±1,329	31,409±0,983	20,985±1,436
	t4-t5	24,722±1,76	22,433±1,884	30,720±1,999	25,732±1,525

в поперечном и продольном направлениях относительно длинника сосуда. Поперечная составляющая вызывает сужение просвета сосуда и уменьшение его наружного диаметра, а продольная — приводит к утолщению сосудистой стенки, увеличению наружного диаметра сосуда в месте активного сокращения, уменьшению толщины сосудистой стенки до и после места сокращения. Амплитуда сфигмограммы периферического пульса в этот период также зависит от отражения возвратной пульсовой волны, идущей от закрытого артериального клапана к периферическим сосудам. Этот процесс носит характер затухающего колебания.

Таким образом, амплитуда волны на фазе 6—8 на сфигмограммах периферического пульса определяется прежде всего свойствами самой сосудистой стенки: интенсивностью сокращения мышечного слоя и плотно-эластическими свойствами сосуда.

Характер, форма и основные закономерности второй производной, отражающей силовые характеристики АКГ и СГ артерий эластического и мышечного типов, позволили выявить определенную преемственность функционирования различных отделов сердечно-сосудистой системы. Закономерности силовых характеристик сердца сохраняются по мере продвижения пульсовой волны от проксимальных отделов артериальной системы в более дистальные (см. табл.).

Учитывая интегральный характер кривой СГ и противоречивые данные литературы, мы не ставим сейчас перед собой задачи попытаться дать физиоло-

гическое толкование выявленной закономерности. Хотелось лишь подчеркнуть преемственность, физиологическую связь между сердцем как центром и артериальными сосудами, которая позволяет обеспечить кровообращение в органах и тканях.

Предлагаемая методика КС позволит повысить диагностическую ценность одного из традиционных методов исследования состояния сердечно-сосудистой системы и дать возможность не только качественно, но и количественно характеризовать функцию артерий эластического и мышечного типов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бисярина В.П., Яковлев В.М., Кука П.Я. Артериальные сосуды и возраст. — М., 1986.
2. Фатенков В.Н., Германов А.В., Бухвалова Л.П. Научно-практическая конференция, посвященная 91-й годовщине со дня рождения профессора С.В.Шестакова. — 1994.

Поступила 07.06.01.

COMPUTER SPHYGMOGRAPHY FOR THE QUANTITATIVE ESTIMATION OF KINETICS OF MAIN ARTERIES

A.V. Germanov

Summary

In 58 healthy persons the contour analysis is performed according to the second derivative of sphygmograms of central and peripheral arteries. It is established that the kinetics characteristics of the vascular arterial wall remain as the pulse wave moves from proximal parts of the arterial system to distal parts.