

УДК 612.13+519.95

К. Н. ЕМЕШИН, М. Л. СВЕЩИНСКИЙ, П. А. ТИТУНИН,
В. Ф. ЧУДИМОВ, И. В. ЛЕЙТЕС

ВОЗМОЖНОСТИ НЕИНВАЗИВНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В клинике сердечно-сосудистой хирургии получил практическое применение метод математического моделирования системы кровообращения, позволяющий на основе анализа внутренних связей выделить из всех показателей физиологически значимые параметры (свойства) и количественно оценить их вклад в общее состояние гемодинамики [2]. Однако внедрение его в повседневную практику ограничено необходимостью использования инвазивных методов обследования для идентификации параметров.

В настоящем сообщении рассмотрен подход к диагностике состояния центральной гемодинамики на основе количественной оценки вклада параметров в формирование величин функций при использовании неинвазивных методов исследования.

Материалы и методы. В качестве базового был выбран неинвазивный комплекс, включающий измерение минутного объема кровообращения методом тетраполярной трансторакальной реографии и тахоосциллографическое измерение артериального давления.

Анализ гемодинамики проводился на базе 2-элементной модели (рис. 1) В. А. Лищука и сотр. [1], представляющей сердечно-сосудистую систему в виде 2 сосудистых резервуаров—венозного и артериального,—характеризующихся следующими свойствами: эластичностью артерий (C_a) и вен (C_v), периферическим сопротивлением кровотоку ($O_{ПС}$), насосным коэффициентом сердца (β). Насосный коэффициент сердца в соответствии с законом Франка-Старлинга связывает сердечный выброс с величиной венозного притока ($P_v: \beta = МОК$). Система кровообращения через изменение своих свойств осуществляет поддержание величин функций—минутного объема кровообращения ($МОК$), уровней артериального и венозного давления (P_a, P_v), перераспределение объемов крови (V_a, V_v).

Следовательно, показатели центральной гемодинамики—артериальное давление, сердечный выброс, центральное венозное давление—обеспечиваются несколькими сочетаниями параметров и неоднозначно характеризуют физиологическое состояние.

Полная идентификация параметров модели позволяет получить оценку емкостных свойств артериального и венозного резервуаров, резистивных свойств сосудистого русла и насосной функции сердца.

Однако ввиду отсутствия достаточно простого и точного неинвазивного метода измерения венозного давления будет рассмотрен вариант частичной идентификации параметров.

Идентификацию параметров кровообращения в условиях статки предлагаем провести следующим образом: $C_a = UO/P_p$, где P_p — пульсовое давление, UO — ударный объем. Так как величина P_a значительно больше P_v , в расчете ОПС величиной P_v можно пренебречь:

$$ОПС = P_a / МОК,$$

$$C_v \beta = (V_n - P_a \cdot C_a) / МОК,$$

где V_n — суммарный напряженный объем крови.

Вариант частичной идентификации параметров позволяет получить оценку произведения $C_v \beta$, не рассматривая их самостоятельно. С другой стороны, с помощью этого трудно интерпретируемого интегрального показателя будем иметь законченное замкнутое описание кровообращения в рамках 2-элементной модели.

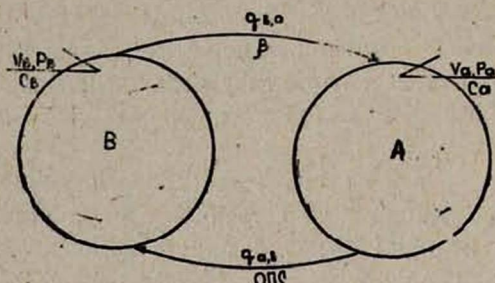


Рис. 1. Схема 2-элементной модели. А, В — артериальный и венозный резервуары; q_{av} и q_{va} — соответственно потоки крови из артерий в вены и из вен в артерии.

Сочетание свойств системы кровообращения формирует величины функций и при подстановке их значений в модель вычисляются значения функций:

$$МОК = V_n \cdot (C_v \beta + ОПС \cdot C_a)^{-1}$$

$$P_a = V_n \cdot ОПС \cdot (C_v \beta + C_a \cdot ОПС)^{-1}$$

$$N_{лж} = V_n^2 \cdot ОПС \cdot (C_v \beta + C_a \cdot ОПС)^{-2},$$

где $N_{лж}$ — мощность левого желудочка (нагрузка на сердце).

Обсуждение. В качестве иллюстрации исследований проведем сравнительный анализ гемодинамики больного гипертонической болезнью и здорового человека того же возраста (табл. 1). Показатели (функции) кровообращения соответствуют среднестатистическим значениям обследованной группы больных гипертонией I ст. (18 чел) и контрольной группы (20 чел). Можно отметить существенные различия как величин функций, так и свойств кровообращения у больного гипертонической болезнью и здорового человека.

У больного значительно выше удельное периферическое сопротивление (УПС), снижена эластичность артерий, увеличен показатель Св-β.

Таблица 1

Результаты исследования на модели перестройки гемодинамики
больного гипертонической болезнью

Показатели	Контрольная группа	Больные	Результаты синтеза по модели					
			абс	%	абс	%	абс	%
Рас, тор	122	155						
Рад, тор	67	91						
УИ, мл/м ²	79	59						
Ра, тор	87	110		144	140	161	110	126
СИ, л/м ² , мин	4,68	3,72	4,20	90	4,74	101	3,72	79
Нж, вт/м ²	0,90	0,90	1,17	130	1,48	162	0,90	100
УПС, дин.м ² .см ⁻⁵ .с	1490	2370	2370*		2370*		2370*	
Св, мл/м ² .тор	1,58	0,94	1,58		0,94*		0,94*	
Св, β, с	8,03	10,67	8,03		8,03		10,67*	

Примечание. Рас, Рад, Ра—соответственно систолическое, диастолическое и среднее артериальное давление, УИ, СИ—соответственно ударный и сердечный индекс. *—введенный параметр при последовательной замене.

Анализ особенностей перестройки гемодинамики больного гипертонической болезнью выполняли в сравнении с показателями контрольной группы. В качестве примера представлена картина перестройки кровообращения в следующей последовательности: увеличение УПС, изменение жесткости артериальных сосудов, изменение эластичности вен и насосного коэффициента сердца.

Изменения свойств артериальных сосудов (УПС и Са) приводят к увеличению артериального давления и нагрузки на сердце при неизменном сердечном выбросе. Изменения Св-β значительно снижают нагрузку на сердце за счет снижения МОК и артериального давления.

Таким образом, анализируя количественный вклад каждого из параметров в формирование уровня функций, можно раскрыть в каждом конкретном случае внутренние механизмы перестройки гемодинамики.

Рассмотренный способ идентификации позволяет в условиях неинвазивного контроля использовать математическую модель для изучения механизмов патологических изменений и реакции кровообращения в ответ на физиологические воздействия.

Алтайский медицинский институт

Поступила 11/X 1984 г.

Կ. Ն. ԵՄԵՇԻՆ, Մ. Ի. ՍՎԵՇԵՆՍԿԻ, Գ. Ա. ՏԻՏՈՒՆԻՆ,
Վ. Յ. ԶՈՒԴԻՄՈՎ, Ի. Վ. ԼԵՅՏԵՆ

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ԿԵՆՏՐՈՆԱԿԱՆ ՀԵՄՈԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ
ՎԻՃԱԿԻ ԳԵՍՀԱՏՄԱՆ ՈՉ ԻՆՎԱԶԻՎ ՀԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա. մ. փ. ռ. փ. ռ. ի. մ.

Ցույց է արված կենտրոնական հեմոդինամիկայի վիճակի անտորոշման մեթոդ արյան շրջանառության մեջ շափանիչների քանակական գնահատականը հետազոտության ոչ ինվազիվ մեթոդով:

Possibilities of Non-Invasive Evaluation of the State of Central Hemodynamics With the Help of Mathematical Model

Summary

The new approach to the diagnosis of the state of hemodynamics is suggested, based on the quantitative evaluation of the circulation parameters. The additional analysis of the parameters of formation of the circulating function level can be carried out with the help of the coefficient of regulation.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бураковский В. И. Кардиология, 1981, 1, 10—16.
2. Лищук В. А., Столяр В. Л. Материалы III Всесоюзной конференции по биологической и медицинской кибернетике. 1, М., Изд-во научного совета по кибернетике АН СССР, 1978, 141—147.

УДК 612.13.612.17

А. С. АБРАМЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО КПД СЕРДЦА И ЕГО АНАЛИЗ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЗАДАЧ КАРДИОХИРУРГИЧЕСКОЙ КЛИНИКИ

1. *Определение механического КПД сердца.* Сердце является основным источником энергии, которая затрачивается на кровообращение по кровеносному руслу. Важнейшими энергетическими оценками сердца являются средняя (за минуту) мощность левого (Нлж) и правого (Нпж) желудочков:

$$N_{лж} = K \cdot P_a \cdot q \quad (1), \quad N_{пж} = K \cdot P_{ла} \cdot q \quad (2),$$

где q —кровоток или минутный объем кровообращения, P_a —среднее артериальное давление, $P_{ла}$ —среднее легочно-артериальное давление, K —коэффициент размерности (при общепринятых в клинике единицах измерений: q —мл·мин⁻¹, P —мм.рт.ст.—и N —Вт, $K=0,22 \cdot 10^{-5}$). За счет этой энергии левый и правый желудочки обеспечивают циркуляцию крови соответственно в большом и малом круге кровообращения. Часть этой энергии расходуется также на собственное наполнение (при диастоле). При этом в качестве «входной» энергии, затрачиваемой на наполнение полости, можно определить среднюю мощность левого (Нлп) и правого (Нпп) предсердий:

$$N_{лп} = K \cdot P_{лп} \cdot q \quad (3), \quad N_{пп} = K \cdot P_{пп} \cdot q \quad (4),$$