

Л. В. ПЕТРОВА

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ НАУЧНЫХ И КЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

В современных реанимационных центрах для научных и клинических исследований состояния вегетативных систем организма широко используются оценки, индексы и алгоритмические расчеты [2, 3, 8, 9—11]. При выполнении этих расчетов врач сталкивается с немалыми трудностями. Поэтому возникла необходимость разработать специализированное математическое обеспечение, систематизирующее набор оценок, используемых обычно врачами-реаниматорами при научном анализе состояния системы кровообращения пациента и позволяющее оперативно проводить их расчет.

Описание гемодинамических показателей. Глубокое исследование состояния сердечно-сосудистой системы возможно там, где ведется непрерывный интенсивный контроль за состоянием больного: в отделениях реанимации, операционных, кабинетах функциональной диагностики и палатах интенсивной терапии. Для получения вторичных вычисляемых оценок необходим соответствующий набор первичных контролируемых величин (табл. 1).

Обычно в кардиохирургических клиниках системное давление в полостях сердца и магистральных сосудах измеряется прямым кровавым методом с помощью катетеров. Минутный объем кровообращения определяется методом терморазведения, радиокардиографии, четырехполярной реоплетизмографии (для которой измеряется импеданс, расстояние между электродами, время изгнания крови из желудочка и величина импульса по дифференциальной кривой реоплетизмограммы). По электрокардиограмме рассчитывается частота сердечных сокращений. В зависимости от роста и веса пациента по номограмме определяется площадь поверхности тела. При меньшем объеме измерений невозможно проводить анализ состояния системы кровообращения в сложных ситуациях. Большой объем измерений при существующих методах требует нереальных затрат труда. Желательно, чтобы все измерения проводились одновременно или хотя бы за короткий промежуток времени, когда пациент не подвергается никаким манипуляциям, и чтобы каждому измеряемому показателю ставилась в соответствие погрешность.

Контролируемые величины использовались в дальнейшем для расчета гемодинамических показателей (табл. 1). Кровоснабжение тканей организма с учетом роста и веса пациента за минуту характеризовалось сердечным индексом (СИ), а учитывая частоту—ударным индексом

Таблица 1

Первичные оценки сердечно-сосудистой системы

Название контролируемых функций	Обозначение	Размерность
Среднее артериальное давление	$\bar{P}_a$	мм рт. ст.
Диастолическое артериальное давление	$P_{a \min}$	"
Систолическое артериальное давление	$P_{a \max}$	"
Среднее венозное давление	$\bar{P}_v$	"
Среднее давление в правом предсердии	$\bar{P}_{пп}$	"
Диастолическое давление в правом предсердии	$P_{пп \min}$	"
Систолическое давление в правом предсердии	$P_{пп \max}$	"
Среднее давление в левом предсердии	$\bar{P}_{лп}$	"
Диастолическое давление в левом предсердии	$P_{лп \min}$	"
Систолическое давление в левом предсердии	$P_{лп \max}$	"
Среднее давление в легочной артерии	$P_{ла}$	"
Диастолическое давление в легочной артерии	$P_{ла \min}$	"
Систолическое давление в легочной артерии	$P_{ла \max}$	"
Минутный объем кровообращения	МОК	мл/мин.
Частота пульса	f	мин ⁻¹
Время кровообращения в малом круге	ВЦМК	сек
Площадь поверхности тела	S	м ²
Сопротивление тела (импеданс)	Z	ом
Расстояние между внутренними электродами	l	см
Амплитуда импульса по дифференциальной кривой реоплетизмограммы	A_q	см
Время изгнания крови из желудочка	T_n	мм

(УИ) [1]. Вязкое трение крови в резистивных сосудах учитывалось общим периферическим (ОПС) и общим легочным (ОЛС) сопротивлениями [7]. Свойства сердца описывались коэффициентами функциональной слабости соответственно правого (β) и левого (l) сердец, показывающими, насколько надо изменить венозное давление, чтобы величина расхода на выходе из сердца увеличилась на одну единицу [4]. Свойства сосудистых резервуаров (нами учитывалось 4 резервуара: артериальный и венозный—для большого круга, легочный артериальный и легочный венозный—для малого круга) определялись двумя показателями—линейной эластичностью и напряженным объемом. Напряженный объем—это объем, вызывающий растяжение стенок сосуда; эластичность—способность стенок сосуда растягиваться при увеличении этого объема. Величины были оценены для большого круга кровообращения венозной (S_v) и артериальной (S_a) эластичностями, напряженным объемом артериального резервуара (V_a) [4]. Для малого круга—эластичностью венозного (S_{lv}) и легочного артериального резервуаров ($S_{ла}$), напряженным объемом артерий легких ($V_{ла}$). Для всей сис-

Таблица 2

Вторичные оценки сердечно-сосудистой системы

Название вычисляемых показателей	Обозначение	Формулы	Размерность
Сердечный индекс	СИ	$СИ = МОК \cdot (S \cdot 1000)^{-1}$	мл м-2 мин-1
Ударный индекс	УИ	$УИ = МОК \cdot (S \cdot t)^{-1}$	мл м-2
Общее периферическое сопротивление	ОПС	$ОПС = (\bar{P}_a - \bar{P}_v) \cdot МОК^{-1} \cdot 60$	мм рт. ст. сек мл-1
Общее легочное сопротивление	ОЛС	$ОЛС = (\bar{P}_{ла} - \bar{P}_{лп}) \cdot МОК^{-1} \cdot 60$	" "
Слабость левого сердца	1	$1 = \bar{P}_{лп} \cdot 60 \cdot МОК^{-1}$	"
Слабость правого сердца	β	$β = \bar{P}_v \cdot 60 \cdot МОК^{-1}$	"
Оценка эластичности артериального резервуара	Ca	$C_a = МОК \cdot [(P_{a \max} - P_{a \min}) \cdot f]^{-1}$	мм рт. ст. мл-1
Оценка эластичности венозного резервуара	Cv	$C_v = (\Delta V - \Delta P_a C_a) \cdot \Delta P_v^{-1}$	"
Оценка эластичности легочного артериального резервуара	Cла	$C_{ла} = МОК \cdot [(P_{ла \max} - P_{ла \min}) \cdot f]^{-1}$	"
Оценка эластичности легочного венозного резервуара	Cлв	$C_{лв} = (ОЦК_{лк} - \bar{P}_{ла} C_{па}) \cdot \bar{P}_{лп}^{-1}$	"
Оценка напряженного объема артериального резервуара	Va	$V_a = \bar{P}_a \cdot C_a$	мл
Оценка объема крови, циркулирующей в малом круге	ОЦК _{лк}	$ОЦК_{лк} = МОК \cdot ВЦМК \cdot 60^{-1}$	"
Оценка общего напряженного объема крови	Vн	$V_n = \bar{P}_a \cdot \Delta V \cdot \Delta \bar{P}_a^{-1}$	"
Мощность левого желудочка	Nлж	$N_{лж} = 0,22 \cdot 10^{-5} \cdot МОК \cdot \bar{P}_a$	вт
Мощность правого желудочка	Nпж	$N_{пж} = 0,22 \cdot 10^{-5} \cdot МОК \cdot \bar{P}_{ла}$	"
Мощность левого предсердия	Nлп	$N_{лп} = 0,22 \cdot 10^{-5} \cdot МОК \cdot \bar{P}_{лп}$	"
Мощность правого предсердия	Nпп	$N_{пп} = 0,22 \cdot 10^{-5} \cdot МОК \cdot \bar{P}_{пп}$	"
Полезная мощность левого желудочка	Nл пол	$N_{л \text{ пол}} = N_{лж} - N_{лп}$	"
Полезная мощность правого желудочка	Nп пол	$N_{п \text{ пол}} = N_{пж} - N_{пп}$	"
Мощность большого круга кровообращения	Nбкк	$N_{бкк} = N_{лж} - N_{пп}$	"
Мощность малого круга кровообращения	Nмкк	$N_{мкк} = N_{пж} - N_{лп}$	"
Индекс ударной работы левого желудочка	LVSJ	$LVSJ = 0,22 \cdot 10^{-5} \cdot УИ \cdot (\bar{P}_{ла} - \bar{P}_{лп})$	дж/м ²
Индекс ударной работы правого желудочка	RVSJ	$RVSJ = 0,22 \cdot 10^{-5} \cdot УИ \cdot (\bar{P}_{ла} - \bar{P}_{лп})$	"
Минутный объем кровообращения по реоплетизмограмме	МОК	$МОК = Ag \cdot T_n \cdot I^2 \cdot Z^{-2} \cdot 6$	мл/мин

темы кровообращения вычислялся общий напряженный объем (V_n) [2]. Мощности, которые развивают отделы сердца, оценивались величинами мощностей правого ($N_{пп}$) и левого ($N_{лп}$) предсердий, правого ($N_{пж}$) и левого ($N_{лж}$) желудочков, которые будут тем больше, чем больше давление в этих отделах и чем больше поток крови через

них. Учитывались эффективные мощности, затрачиваемые на перенос крови по большому ($N_{бкк}$) и малому ($N_{мкк}$) кругам кровообращения. Разность между мощностями, развиваемыми желудочком и предсердием, представляет собой полезную мощность, фактически обеспечиваемую правым ($N_{п пол}$) и левым ($N_{л пол}$) сердцами [5]. Обычно клиники для оценки работы, производимой сердцем, пользуются индексами ударной работы правого (RVSWJ) и левого (LVSWJ) сердец [1]. Для определения абсолютных и относительных изменений показателей (P) при n -ном измерении в ответ на возмущающее воздействие, например изменение ОЦК (ΔV), использовались коэффициенты чувствительности [2]. Кроме того, проводилась обычная статистическая обработка [6].

Система оценок, приведенных выше, объединена с помощью математической модели [4], которая позволяет установить роль и значения основных свойств и подсистем сердечно-сосудистой системы в развитии недостаточности кровообращения артериального, венозного, легочного, артериального и легочного венозного резервуаров, их эластичности объема, функционального состояния правого и левого сердца, состояния периферии большого и малого кругов кровообращения, также оценки мощностей и энергий. Применение такой модели дает возможность проводить содержательный анализ поведения системы кровообращения при отключении искусственного дыхания, выхода из состояния наркоза, гипо- и гиперволемии, введении фармакологических веществ.

Описание матобеспечения. Расчет показателей составил основу специализированного математического обеспечения клиники сердечно-сосудистой хирургии (табл. 2). Были сформулированы основные свойства, которым должно отвечать такое матобеспечение: а) желательно, чтобы математическое обеспечение включало все существующие на данный момент алгоритмы и оценки и была бы предусмотрена возможность подключения новых; б) должна быть обеспечена сравнимость всех оценок, т. е. приведение их к единой системе размерностей; в) желательна настройка программ по количеству и виду измеряемых показателей для каждого конкретного больного; г) желательно, чтобы каждой первичной оценке и вычисляемым показателям ставилась в соответствие погрешность; д) вторичные оценки должны быть связаны вместе, образуя целостную непротиворечивую систему параметров математической модели с максимальными для данного случая детальностью и объемом; е) необходимо, чтобы автоматически, непосредственно в процессе вычисления образовывался файл, включающий первичные показатели, вторичные оценки, время, имя больного, метку измерения (вычисления) оценки и примечания; ж) нужно предусмотреть систему обработки файлов; з) пользователь должен иметь возможность общаться с файлами и программами их обработки в диалоговом режиме.

Математическое обеспечение, обладающее такими свойствами, может быть реализовано с помощью миникомпьютеров, обрабатывающих

первичную информацию, поступающую через устройство аналог—код с мониторной измерительной системы в режиме «on-Line» в реальном масштабе времени, либо первичные данные, которые вводятся вручную, и обработка идет в режиме «off-Line».

Нами разработаны программы на Фортране, а также в кодах для ЦВМ «Электроника С-50» и «НР-65». Ввод исходных данных при пользовании клавишной ЦВМ «Электроника С-50» (с программой на магнитной ленте) или карманным миникомпьютером «НР-65» (с программой на магнитной карте) производится с клавиатуры, т. е. их обработка идет в режиме «off-Line». Результаты счета выводятся на световое табло, весь процесс расчета показателей вместе с вводом и выводом занимает не более 5 минут и может быть выполнен у койки больного непосредственно. Возможность оперативного анализа, наряду с резким уменьшением трудоемкости расчетов—основные достоинства разработанных программ. Они надежны, удобны и доступны для работы врачам, медсестрам, ординаторам после получасового обучения.

Программа на Фортране, реализованная с помощью системы НР-5600, обеспечивает подстройку под контроль каждого пациента и позволяет при достаточно простой регенерации включать новые расчетные формулы и алгоритмы. Работа с программой идет в диалоговом режиме. Параметры выводятся на дисплей или телетайп по желанию.

Опыт применения. Разработанные программы использовались для научного анализа состояния сердечно-сосудистой системы в экспериментальных исследованиях (40 опытов), а затем опыт использования был распространен на клинику. В палате интенсивной терапии с помощью этого матобеспечения в режиме «off-Line» было проведено 50 больных, у которых, кроме анализа состояния, в зависимости от получаемых результатов менялась тактика лечения. Программы, инструкции и алгоритмы, разработанные для ЦВМ «Электроника С-50» и «НР-65», были оформлены в виде пособия «Стандартное математическое обеспечение клиники сердечно-сосудистой хирургии. Часть 1», которое может быть выслано по запросу.

ИССХ им. А. Н. Бакулева,
г. Москва

Поступило 10/VI 1976 г.

1. Վ. ՊԵՏՐՈՎԱ

ՄԱՍՆԱԴԻՏԱՑՎԱԾ, ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ԱՊԱՀՈՎՈՒՄԸ ՍԻՐՏ-ԱՆՈՒՍՅՈՒՆ
ՍԻՍՏԵՄԻ ԳԻՏԱԿԱՆ ԵՎ ԿԼԻՆԻԿԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՀԱՄԱՐ

Ա. մ. փ. n. փ. n. i. մ

Աշխատության մեջ ընդհանրացվում է կատարելագործման փորձը և մասնագիտացված, մաթեմատիկական ապահովման օգտագործումը արյան շրջանառության սխեմի կլինիկական և գիտական ուսումնասիրությունների համար:

L. V. PETROVA

SPECIALIZED MATHEMATICAL GUARANTEE FOR THE
SCIENTIFIC AND CLINICAL INVESTIGATIONS OF
CARDIOVASCULAR SYSTEM

Summary

The experience of the working out and the use of specialized mathematical guarantee for clinical and scientific investigations of circulation system is summarized in this work.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алекс-Месхишвили В. В. Дисс. канд., М., 1971.
2. Бураковский В. И., Лищук В. А., Подгорный В. Ф., Соколов М. В. Вестник АМН СССР, 6, 1974.
3. Лищук В. А., Неклюдова И. В., Шидловский В. А. В сб.: «Физиология и биофизика миокарда». М., 1973, деп. в ВИНТИ, № 2, 199—75.
4. Лищук В. А. Общие свойства сердечно-сосудистой системы. Киев, 1971.
5. Неклюдова И. В. В сб. «Годичная научная конференция молодых ученых и специалистов ЦОЛИУВ», 1975.
6. Румицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. М., «Наука», 1971.
7. Савицкий И. Н. Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики. Л., «Медицина», 1974.
8. Трубина И. Е., Божьев А. А. Кардиология, 9, 1975.
9. Bonface K. J., Brodie O. T., Walton R. P. Proc. Exper. Biol., 1953, 84, 236—266.
10. Pownings S. E., Sounenblick E. H. Am. J. Physiol., 1964, 207, 705—715.
11. Lerbode F. The journal of Thoracic and cardiovascular surgery, 1973, 66, 2.