

Г. А. ШИФРИН, Н. А. НЕСТЕРЕНКО

ФАЗОВОЕ ПРОСТРАНСТВО СОСТОЯНИЙ ГЕМОДИНАМИКИ
ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫХ БОЛЬНЫХ

Несмотря на множество работ, посвященных моделированию гемодинамики [2—6], практическое применение этих моделей в повседневной клинической практике ограничено, за исключением некоторых работ [3, 4]. Одной из главных причин такого явления, на наш взгляд, является недостаточно четкое выделение классов состояний гемодинамики с точки зрения практики современной реаниматологии при учете средств воздействия на гемодинамику, которые имеются в ее арсенале. Эффективность послеоперационной интенсивной терапии, проводимой с использованием результатов моделирования, непосредственно зависит от возможности индивидуальной настройки модели на конкретного больного, которая включает в себя также индивидуализацию фазового пространства. Под фазовым пространством согласно [6] будем понимать множество точек, описываемых совокупностью значений параметров системы.

В данной работе рассматривается фазовое пространство состояний гемодинамики, реализованное в автоматизированной системе оценки состояния гомеостаза послеоперационных больных—АСОП-ГПБ, которая разработана ХНИИОНХ совместно с УГПИ ТПА. Первая очередь системы реализована на ЭВМ ЕС-1022 в операционной среде ДОС ЕС.

Формальное построение фазового пространства. Пусть состояние гемодинамики описывается p —элементным вектором переменных $X = \langle X_1, X_2, \dots, X_p \rangle$, причем i -й элемент вектора может принимать m_i значений: $X_i \in [X_i \min, X_i \max]$, где $X_i \min$, $X_i \max$ соответственно минимальное и максимальное значения i -й переменной ($i=1, 2, \dots, p$), т. е. рассматривается детерминированный случай. Тогда, в общем случае, конкретное состояние гемодинамики представляет собой точку в p -мерном пространстве S с координатными осями $X_1, X_2, \dots, X_p$. Если учесть что, p может достигать значений 150—200 и каждое m_i достаточно велико, то полученное пространство является необозримым и практически непригодным к использованию. Эргономические факторы требуют уменьшения одновременно рассматриваемых переменных до 5—7 с одновременным уменьшением величин m_i по каждой переменной. Уменьшение размерности пространства достигается заданием на множество X отношения экви-

валентности φ , которое разбивает множество X на Q непересекающихся классов. Два элемента X_1 и X_2 множества X находятся в отношении φ тогда и только тогда, когда они принадлежат одной и той же компоненте структурно-функциональной схемы. В дальнейшем вместо n -мерного пространства S будем рассматривать Q -мерное фактор-пространство $\bar{S}$, построенное на представителях классов эквивалентности. Следующим этапом в сжатии фазового пространства $\bar{S}$ является преобразование его координат. Для этой цели используется аппарат должных фазовых пространств $\bar{S}_d$. D —в общем случае представляет собой вектор и определяет условия, к которым относятся величины должных переменных (норма, патология 1, патология 2 и т. д.). Выбор должного фазового пространства, соответствующего фактическому, производится по критерию максимальной близости признанных координат, определяющих среду, для которой производится построение фазовых пространств (тип операции, патологические особенности и т. д.). Функция преобразования координат φ определяется на диагонали декартова произведения пространств $\bar{S}_x \times \bar{S}_{dl}$, где l —выбрано соответствующим образом, как $(\bar{X}_i, \bar{X}_{idl}) \xrightarrow{\varphi} K/K=1,2,\dots,M_i$, т. е. функция φ отображает пару: фактическое значение, должное значение, в элемент отрезка $[1+m_i]$. Как правило, значение M_i колеблется от 3 до 8. Таким образом, вместо n -мерного пространства S с мощностью $\prod_{i=1}^n m_i$ построено достаточно полное, но уже доступное для обработки на ЭВМ и для восприятия лечащим персоналом Q -мерное пространство $\bar{S}$ с мощностью $\prod_{i=1}^n m_i$.

Фазовое пространство состояний гемодинамики в АСОМ-ГПБ. В системе используется около 200 показателей, описывающих алгоритмическую модель гемодинамики, включающую в себя сердце, малый и большой круги кровообращения, микроциркуляцию. В большом и малом круге выделяются артериальная и венозная части. Для каждого из показателей помимо его фактического значения (измеренного, рассчитанного или оцененного) вычисляются также должные значения и относительные отклонения фактических значений от должных.

Полный список показателей приведен в табл. 1.

Показатели разбиты на классы (факторизованы) следующим образом: общая функциональная способность системы кровообращения (МОК, СИ, АД и т. п.); сердце—показатели инотропной способности миокарда (рабочий ударный индекс, коэффициент инотропности и т. п.); система сбора крови—показатели волемии (ОЦК, ОЦП и т. п.); система распределения крови—показатели сосудистого тонуса (сосудистый тонус, удельное рабочее сопротивление и т. п.); система микроциркуляции) интегральный показатель микроциркуляторного гомеостаза, внеклеточное пространство, шунтирование кислорода и т. п.). Таким образом получаем 5-координатное пространство состояний.

К л а с с	П о к а з а т е л и
Общая функциональная способность системы кровообращения	Минутный объем кровообращения, сердечный индекс, минимальное, максимальное и среднее АД, максимальное, минимальное и среднее АД в легочной артерии, механическая работа левого и правого желудочков сердца, рабочие индексы левого и правого желудочков сердца, центральное венозное давление, время кровотока в малом круге, центральный объем крови, общее и удельное периферическое и легочное сопротивления, потребление кислорода, эффективный транспорт кислорода, кровопотеря, расчетный и сердечный индексы кровопотери и дефицита ОЦК, мощности большого и малого кругов кровообращения.
Инотропная способность миокарда	Рабочий ударный индекс левого и правого желудочков сердца, мощность правого и левого желудочков и предсердий, ударная энергия левого и правого желудочков сердца, полезная мощность левого и правого желудочков сердца, слабость левого и правого желудочков сердца, коэффициент инотропности.
Система сбора крови	Объем циркулирующей крови, плазмы и эритроцитов, гематокрит, циркулирующий белок и гемоглобин, напряженные объемы артериального и венозного резервуаров, общий напряженный объем.
Система распределения крови	Рабочее удельное периферическое и легочное сопротивления, коэффициент интегральной тоничности, периферический и легочный сосудистый тонус, эластичность артериального и венозного резервуаров большого и малого кругов кровообращения.
Система микроциркуляции	Внеклеточное пространство, шунтирование кислорода, интегральный показатель микроциркуляторного гомеостаза.

Координата «общее функциональное состояние» является ведущей координатой, в качестве представителя этой координаты согласно современным представлениям [1, 7, 8] выбран минутный объем (сердечный индекс). Именно минутный объем в наибольшей степени характеризует функциональную полноценность сердечно-сосудистой системы, ее способность обеспечить энергетические и метаболические потребности организма как в норме, так и в патологии. В соответствии с абсолютным значением и отклонением его от должного (ДСИ) этого показателя выделяются 7 состояний, приведенных в табл. 2.

Для остальных координат $M_i=3$ ($i=2, 3, 4, 5$), и они относятся к одному из классов по значению должных величин: 1—если фактическое $<0,9$ должного; 2—если фактическое $\in [0,9+1,1]$ должного; 3—если фактическое $>1,1$ должного. В качестве представителей классов эквивалентности выбраны: по координате «Сердце»—коэффициент инотропности, определяющий гипо-, нормо-, гиперинотропию миокарда; по координате «Волемя»—ОЦК, определяющий гипо-, нормо-, гиперволемию; по координате «Тонус»—рабочее удельное периферическое сопро-

тивление, определяющее вазоплеггию, нормовазотонию, вазоконстрикцию; по координате «Микроциркуляция» — интегральный показатель микроциркуляторного гомеостаза, определяющий гипо-, нормо-, гипермикроциркуляцию.

Таблица 2

Границы изменения СИ	Состояние
$< 2,5$	Гиподинамическое
$2,5 + 2,9$ и $< 0,9$ ДСИ	Относительное гиподинамическое
$2,5 + 2,9$ и $> 0,9$ ДСИ	Относительное нормодинамическое
$3,0 + 3,9$	Нормодинамическое
$3,9 + 4,1$ и $< 0,9$ ДСИ	Условное гипердинамическое
$3,9 + 4,1$ и $> 0,9$ ДСИ	Относительное гипердинамическое
$> 4,2$	Гипердинамическое

Таким образом, построенное фазовое пространство имеет 5 измерений и содержит 567 точек. Оценка состояния гемодинамики означает выбор одной из этих точек. Стратегия управляющих (лечебных) воздействий должна предусматривать перевод гемодинамики из плохих состояний в хорошие, что предполагает нормирование этого пространства.

Запорожский институт усовершенствования врачей

Поступила 14/XI 1978 г.

Գ. Ա. ՇԻՖՐԻՆ, Ն. Ա. ՆԵՍՏԵՐԵՆԿՈ

ՀԵՏՎԻՐԱՀԱՏԱԿԱՆ ՀԻՎԱՆԴՆԵՐԻ ՀԵՄՈԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ
ՎԻՃԱԿՆԵՐԻ ՖԱԶԱՅԻՆ ՏԱՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Դիտվում է հետվիրահատական հիվանդների հեմոդինամիկայի վիճակի ֆազային տարածության ձևական կառուցվածքի հղանակը, որը թույլ է տալիս անվտանգ գնահատման պրոցեսը և հեմոդինամիկայի վիճակի կանխագուշակումը:

G. A. Shifrin, N. A. Nesterenko

The Phase Space of the States of Hemodynamics in Post-Operative Patients

S u m m a r y

The authors observe the method of formal construction of the phase space of hemodynamics of postoperative patients, which will allow to find out the algorithm of the process of evaluation and prognostication of the state of hemodynamics.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амосов Н. М., Полец Б. Л. и др. Теоретические исследования физиологических систем. Киев, 1977. 2. Бураковский В. И., Лищук В. А., Соколов Н. В. Вестник АМН СССР, 10, 1976. 3. Быховский М. Л., Вишневецкий А. А. Кибернетические сис-

темы в медицине. М., 1971. 4. Гайтон А. Минутный объем сердца и его регуляция. М., 1969. 5. Петрова Л. В. Специализированное математическое обеспечение для научных и клинических исследований сердечно-сосудистой системы кровообращения, 7, 1977. 6. Соловьев Г. М., Радзивил Г. Г. Кровопотери и регуляция кровообращения в хирургии. М., 1973. 7. Шалимов А. А., Гуляев Г. О., Шифрин Г. А. Реакции кровообращения на операционную травму. Киев, 1977. 8. Шумаков В. И. и др. Моделирование физиологических систем организма. М., 1971.