

УДК 616.1:612.

Организация физиологических систем, обеспечивающая целостность

В. А. Лищук

Научный Центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева РАМН, Москва
Проблемная комиссия «Медицинская и биологическая кибернетика
и информатика» РАМН, Москва

Резюме

Центральная нервная система (ЦНС) управляет функциями сердечно-сосудистой системы (ССС) посредством изменения свойств, изменяя сосудистое сопротивление, возбудимость сердца, эластичность и т.п. Цель исследования — в определении алгоритма управления. Отношения между оценками функций и свойств исследованы в экспериментах на животных (101 опыт на собаках) и при лечении больных (14000 наблюдений). Анализ данных проводился непосредственно в ходе экспериментов в реальном времени. При поверхностной анестезии корреляция была выраженной ($\approx -0,5$). При глубокой анестезии, коэфф. корреляции был незначительным. Абсолютная величина коэфф. корреляции меньше $\pm 0,2$. Эти отношения имели место в эксперименте и клинике. Имитация полученных отношений на модели позволяет объяснить их. ЦНС увеличивает возможности авторегуляции системы с большей ошибкой регулирования и уменьшает — с меньшей ошибкой. Отсюда следует, что нервная система (кроме «центральной команды»), не управляет функциями автономных локальных функциональных систем (ФС). ЦНС организует целесообразные взаимодействия ФС организма. Организация этих взаимодействий уравнивает ошибки авторегуляции ФС. В результате допустимые помехи могут быть большими. Эта организация порождает новое качество — целостность. Целостность состоит в том, что каждая автономная ФС необходима для жизнеспособности всех и все вместе — для каждой.

Ключевые слова: функциональные системы, объединение систем, ошибки авторегуляции, целостность, единство, уравнивание, организация.

Клин. информат. и Телемед.
2010. Т.6. Вып.7. с.89–97

Введение

Исследования последних десятилетий значительно углубили знания по регуляции функции и активности ССС [1–7]. Но принципиальные представления не меняются. Не меняются, хотя как ЦНС управляет функциональными системами, так и не удалось выяснить. Несмотря на это, общепринято, что нейрогуморальная система управляет вегетативными, соматическими, сенсорными и др. подсистемами организма. На основе многолетних исследований наш коллектив пришёл к выводу, что такая парадигма недостаточна для отображения роли ЦНС. Что объединение органов и систем в организм наряду с целесообразным управлением нуждается в согласованной организации, которая по своему существу не является системой управления [3–7]. Для конкретности рассмотрим сердечно-сосудистую систему.

В соответствии с известными моделями, ЦНС управляет функцией ССС (артериальным и венозным давлениями, сердечным выбросом, объёмами крови в органах и др. проявлениями функции) изменяя свойства (общее периферическое сопротивление, насосные коэффициенты левого и правого желудочков сердца, эластичность артериального резервуара и т.п.) [7–12]. При этом меняются отношения между показателями функции и свойств и между свойствами.

Чтобы определить, как меняются эти отношения в зависимости от влияния ЦНС, они в наших исследованиях вычислялись при поверхностном наркозе и при существенно подавленной с помощью глубокого наркоза активности ЦНС [8–12]. Эта общая постановка. Конкретно все исследования как в экс-

периментах на собаках, так и в клинике проводились с целью отработки алгоритмов индивидуальной, наилучшей для каждого больного терапии [8–10].

Актуальность исследования центральной регуляции физиологических систем и использование этого знания для лечения сложных, комплексных заболеваний, таких, как аневризма грудной аорты, дилатационная кардиомиопатия, полиорганная недостаточность и т.п., привели к насущной необходимости одновременного рассмотрения многих функциональных систем в их взаимосвязи и при тщательной оценке состояния организма в целом [9].

Объект исследования

Наш опыт. Для количественного анализа взаимоотношений функций сердца, артериального сосудистого резервуара, венозной системы и периферического ложа использованы данные экспериментов (сто одно исследование животных) и результаты мониторно-компьютерного контроля в кардиохирургической клинике [8–10]. Ретроспективно привлекались численные данные, тренды, графики, диаграммы, результаты обработки, рекомендации, оценки качества более чем по 20000 больным, накопленные в компьютерных базах данных Айболит, Миррор и DocVue с 1974 г. по 2009 г. Среднее количество измерений для одного больного: 13000 ± 4000 ; время контроля: 14 ± 6 часов (от 4 часов до 7 суток). On-line в операционных в НЦССХ им. А. Н. Бакулева контролировались и анализировались более 14000

больных за 2000–2009 гг. В табл. 1 и 2 даны в качестве примеров фрагменты контроля и анализа.

Видно, что контроль и анализ выполнялись каждую минуту. До-

бавлю, что для значительной части больных выполнялся контроль и анализ каждого сердечного сокращения. Показатели функции ССС и её свойств составляли систему и

использовались для выявления патологических процессов, коррекции терапии и оценки качества лечения оперативно в реальном времени и апостериори по потребности [9].

Табл. 1. Показатели кровообращения больного К. (ИБ №1079.03 166/73) перед кожным разрезом при хирургической коррекции ГОКМП.

Время	АД	ВД	АДС	АДД	ЛАДС	ЛАДД	ЛАД	МОК	ЧСС
8.38.11	98,0	4,0	143,0	76,0	20,0	11,0	14,0	3,57	67,0
8.39.11	102,0	6,0	149,0	78,0	21,0	12,0	15,0	3,50	67,0
8.40.11	101,0	4,0	149,0	77,0	21,0	11,0	14,0	3,60	68,0
8.41.11	103,0	6,0	150,0	80,0	21,0	11,0	14,0	3,49	71,0
8.42.11	100,0	5,0	145,0	77,0	23,0	14,0	17,0	3,66	63,0
8.43.11	98,0	6,0	143,0	76,0	22,0	12,0	15,0	3,59	64,0
8.44.11	98,0	5,0	142,0	76,0	21,0	11,0	14,0	3,55	64,0
8.45.11	97,0	5,0	140,0	75,0	22,0	12,0	15,0	3,62	64,0
8.46.11	98,0	4,0	144,0	75,0	23,0	13,0	16,0	3,47	62,0
8.47.11	101,0	4,0	150,0	77,0	22,0	12,0	15,0	3,62	62,0

Измерения с 8 часов 38 минут 11 секунд до 8 47 11. Фрагмент. Здесь АД, АДС, АДД – артериальное давление среднее, систолическое и диастолическое, соответственно; ВД – центральное венозное давление, ЛАДС, ЛАДД, ЛАД – лёгочное артериальное давление систолическое, диастолическое и среднее, соответственно; МОК – минутный объём крови; ЧСС – частота сердечных сокращений.

Табл. 1. Продолжение.

Время	КЛ	КП	ОПС	ОЛС	ЭА	ЭВ	ЭЛА	ЭЛВ	КК
8.38.11	3,00	8,40	3753,00	119,00	0,45	119,00	3,30	17,80	0,71
8.39.11	2,70	5,50	3883,00	122,00	0,41	86,00	3,30	12,90	0,72
8.40.11	3,10	8,40	3827,00	132,00	0,41	120,00	3,00	18,00	0,68
8.41.11	3,00	5,50	3962,00	136,00	0,40	89,00	2,80	13,40	0,70
8.42.11	2,50	6,90	3674,00	116,00	0,48	92,00	3,60	13,80	0,69
8.43.11	2,80	5,60	3653,00	132,00	0,47	86,00	3,20	12,80	0,68
8.44.11	3,00	6,70	3721,00	133,00	0,47	101,00	3,10	15,10	0,70
8.45.11	2,80	6,80	3597,00	131,00	0,49	98,00	3,20	14,70	0,73
8.46.11	2,50	8,10	3848,00	136,00	0,46	112,00	3,10	16,80	0,69
8.47.11	2,80	8,50	3819,00	131,00	0,45	115,00	3,30	17,20	0,72

Здесь КП и КЛ – насосные коэффициенты правого и левого желудочков сердца; ОПС и ОЛС – общее сосудистое сопротивление большого и малого кругов кровообращения; ЭА, ЭВ, ЭЛА, ЭЛВ, эластичности, соответственно, артерий, вен, лёгочных артерий и лёгочных вен; коэффициент качества; КК – коэффициент тяжести состояния больного.

Методы

Методической основой всего направления исследований является разработанный под руководством Владимира Ивановича Бураковского клинико-математический подход [8, 10]. В части случаев использовано специальное математическое обеспе-

чение, например, системы DocVue и CareVue (см. например, [9]).

Математическое и программное обеспечение

Конструктивной основой исследований является общее мате-

матическое описание сердечно-сосудистой системы ([8, 10]; см. также Т. Heldt и др., и др. [13, 14]). Индивидуализация моделей как в экспериментах, так и в клинике выполнялась в реальном времени с запаздыванием на несколько минут. Имитация проводилась в языковой среде LabVIEW [15] интеллектуальными средствами в общепринятом смысле (например, [16]).

Табл. 2. Средние значения показателей гемодинамики по этапам операции для всех обследованных больных.

Показатели	Перед кожным разрезом	После кожного разреза	До ИК	ИК	Сразу после ИК
АД	76,6±3,2	92,8±3,0	76,9±3,2	62,6±2,6	75,1±2,2
ВД	5,7±0,4	6,3±0,6	4,9±0,5		7,9±0,7
АДС	113,1±3,9	134,9±4,2	107,9±4,4	72,7±3,3	107,2±3,4
АДД	58,6±2,9	71,7±2,7	61,4±2,9	56,7±2,6	59,0±2,1
ЛАДС	20,6±1,5	21,5±1,6	21,1±1,9		25,1±1,6
ЛАДД	12,2±0,8	12,8±1,0	12,5±1,1		15,4±1,3
ЛАД	15,0±1,04	15,7±1,1	15,3±1,3		18,6±1,3
МОК	3,2±0,2	3,6±0,2	3,7±0,2	4,2±0,1	4,7±0,3
СИ	1,9±0,1	2,1±0,1	2,2±0,1	2,5±0,1	2,8±0,2
ЧСС	67,0±2,7	74,5±3,2	88,7±3,6		103,2±3,5
ИЛЖ	2,8±0,3	3,1±0,3	3,7±0,7		3,7±0,6
ИПЖ	6,7±1,7	6,6±0,7	9,2±0,9		6,9±0,8
ИСС	3219,3±301	3350,5±199	2675,9±159		2058,5±134
ИЛС	121,4±10,4	110,9±10,5	108,6±16,2		98,6±10,9
ИЭА	0,5±0,04	0,5±0,03	0,6±0,03		0,6±0,05
ИЭВ	96,3±7,7	89,9±7,2	113,4±9,5		74,1±7,0
ИЭЛА	4,0±0,6	4,0±0,5	3,5±0,4		3,4±0,4
ИЭЛВ	14,4±1,2	13,5±1,1	17,0±1,4		11,1±1,0

Обозначения см. в табл. 1. Буква И перед обозначением означает индекс.

Табл. 2. Продолжение.

Показатели	На фоне введения адреналина и добутамина	Конец операции	Сразу после переезда в ОРИТ	Спустя 1 час в ОРИТ	Перед экстубацией в ОРИТ
АД	89,6±3,0	73,5±2,0	81,9±4,0	76,8±2,1	81,1±2,5
ВД	9,2±1,0	9,4±0,8	8,5±0,9	8,5±0,7	9,3±1,0
АДС	134,3±4,7	111,1±2,8	125,5±5,3	118,6±3,2	121,9±3,4
АДД	67,3±2,7	54,6±2,1	60,4±3,7	56,2±2,5	60,8±2,8
ЛАДС	28,9±1,5	25,8±1,7	26,8±1,7	26,2±1,9	25,5±2,0
ЛАДД	18,0±1,3	15,2±0,9	15,8±0,9	15,7±0,8	13,5±1,2
ЛАД	21,7±1,3	18,6±1,1	19,5±1,1	19,2±1,0	17,5±1,2
МОК	4,5±0,3	4,3±0,2	4,4±0,2	4,3±0,2	4,9±0,2
СИ	2,7±0,1	2,6±0,2	2,6±0,1	2,6±0,1	2,9±0,1
ЧСС	105,8±3,4	110,4±3,2	104,1±2,6	105,0±2,3	100,2±3,0
ИЛЖ	2,6±0,2	3,1±0,4	3,0±0,2	2,9±0,2	4,3±0,6
ИПЖ	6,1±1,0	5,3±0,6	6,6±0,9	5,7±0,6	6,6±1,0
ИСС	2496,5±186	2092,0±122	2251,9±116	2213,9±125	2042,1±128
ИЛС	111,8±12,7	114,9±13,3	114,9±13,6	116,5±17,1	116,8±19,3
ИЭА	0,4±0,04	0,4±0,03	0,4±0,02	0,4±0,03	0,5±0,04
ИЭВ	67,7±11,0	65,0±5,0	73,5±7,7	69,1±6,2	73,7±11,3
ИЭЛА	2,6±0,3	2,7±0,3	2,9±0,3	3,2±0,5	3,4±0,5
ИЭЛВ	10,1±1,6	9,8±0,7	11,0±1,2	10,4±0,9	11,1±1,7

Техника и технологии

Использовалось сертифицированное медицинское оборудование, программно объединённое технологиями DocVue, CareVue, Айболит или Миррор [9, 15].

Отношения оценок функций и свойств при анестезии и без неё

Вычислялись относительные оценки функций и свойств (см. показатели табл. 1 и 2):

$$\xi_j = \text{sign}(\ln \frac{f_j}{\bar{f}_j}) e^{\left| \frac{f_j}{\bar{f}_j} \right|}$$

здесь ξ_j – относительная оценка изменения j -той величины; f_j – текущее значение j -того показателя; \bar{f}_j – нормальное или опорное (среднестатистическое, экспертное, исходное и т.п.) значение j -того показателя.

Затем определялась наиболее изменившаяся по сравнению с нормой (или с опорной величиной) оценка функции F_j : $\zeta_j = \max \zeta(f_k)$, где $\zeta(f_k) = |\ln f_k / f_{k \text{ норм.}}|$. По отношению к этой функции ζ_j находилось свойство D_i , которое характеризовало наиболее слабое звено. За такое свойство D_i принималось то из всех свойств, которое в наибольшей степени повлияло на изменение функции F_j в сторону патологии: $D_i(F_j) = \min \zeta(F_{ji})$, где $\zeta(F_{ji}) = |\ln [F_j(D_{k \text{ норм.}}) / F_{j \text{ норм.}}]|$. Повторю, что здесь D_i – свойство, наиболее повлиявшее на наиболее изменившийся показатель функции F_j , а \bar{D}_i – его нормальное или опорное значение.

Апостериори были вычислены коэффициенты корреляции для отношений между изменениями функций и свойств, определяющих патологические сдвиги (нарушавшие функцию, как показано выше) во время операции и в реанимации после того, как больной пришёл в сознание [10]. Кроме тесноты связи между свойствами, определяющими наиболее выраженные изменения показателей функции в сторону патологии (патология рассматривалась как возмущение) вычислялись коэффициенты корреляции между функциями и свойствами, определяющими изменения функций меньшей (второй по величине) значимости. Эти отношения также учитывались при анализе.

При состоянии без наркоза коэффициенты корреляции были выраженными (около $-0,5$). При наркозе теснота связи была низкой (коэффициент корреляции по абсолютной величине меньше $\pm 0,2$). Различие в тесноте

связей значимо и достоверно. Эти отношения имели место в эксперименте и при клиническом контроле. Оно имело место для наиболее выраженных отношений, определявших слабое звено и для отношений второго порядка значимости.

Это различие показывало, что **центральная регуляция обуславливает взаимозависимость автономных функциональных систем, тогда как функциональные взаимоотношения при подавленной центральной регуляции не имеют такой взаимозависимости.**

Принцип уравнивания

Замечание о гомеостазе и изменчивости

Ещё В. Кеннон в работе «Мудрость организма» (стр. 24, Cannon W. B.

The wisdom of the body. – N.Y. : Kegan Paul French, 1932. – 201 p. [17]) писал «Постоянные условия, которые поддерживаются в теле, могут быть названы равновесием. ... Согласованные физиологические процессы, которые сохраняют большинство устойчивых состояний в организме, так сложны и своеобразны у живых существ ... что я предложил особое определение этих состояний, гомеостазис. ... Оно означает условие, которое может изменяться, но которое относительно постоянно». Что это за условие? В каких пределах и относительно чего оно обуславливает постоянство? Эти вопросы вызвали острые дискуссии и стали предметом исследований П. К. Анохина, К. В. Судакова, П. Д. Горизонтова, А. В. Вальдмана, Д. С. Саркисова и др. исследователей регуляции ССС. Вводимый здесь принцип определяет не постоянство, а изменчивость, своего рода эквилибристику определяющих жизнь процессов, их непрерывную адаптацию к меняющимся условиям среды и состоянию организма.

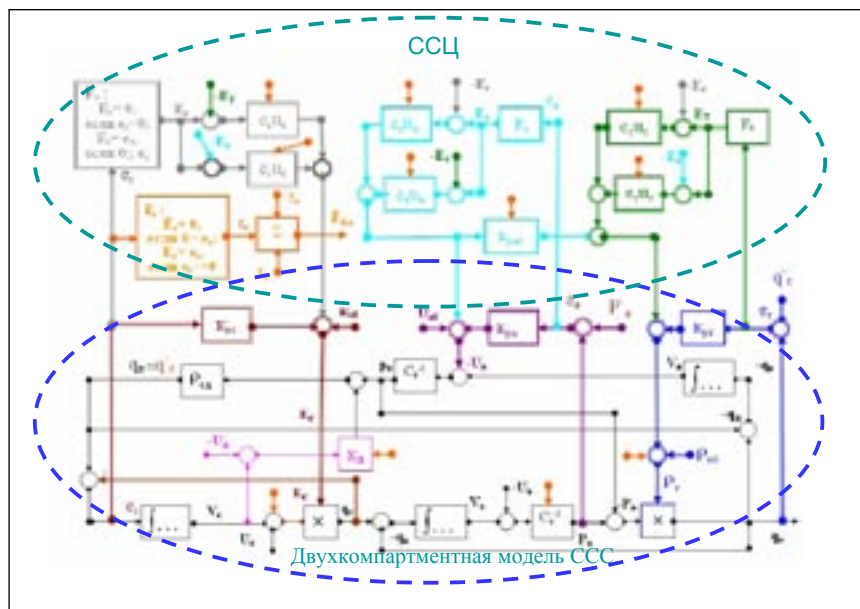


Рис. 1. Схема модели ССЦ (толстые двойные линии), объединённой с простейшей моделью ССС (тонкие линии).

V – объём, U – ненапряжённый объём, P – давление, q – объёмный кровоток, C^1 – жесткость, R – проводимость, t – ткани, k – капилляры, e – ошибка регулирования, u – коэффициент связи, k_c – насосный коэффициент сердца, k_d – диастолический коэффициент сердца, b – базовая величина, P'_a , q'_c , q'_m – задающие величины (уставки), F – основная часть алгоритма преобразования ошибок регулирования бульбарным центром, E – положительная составляющая ошибки регулирования, E – отрицательная составляющая ошибки регулирования, F – алгоритм преобразования ошибок регулирования структурами блуждающего нерва, B_n – блуждающий нерв, s – сердце.

Сердечно-сосудистый центр

Из результатов анализа наших данных экспериментальных и клинических исследований можно сделать предположение, что сердечно-сосудистый центр (ССЦ) использует информацию не о самих функциях, а об ошибках их регулирования (рис. 1, подобное описание модели ССС, отображённой на рис. 1 дано, например, в публикациях [6, 9]). В зависимости от величины и направленности ошибок регулирования «центр» активирует или разгружает нагрузку на регуляцию той системы, ошибка которой больше, ничего «не зная» о величине и специфике её функции.

Общее описание ССЦ (организации ССС, включая ССЦ)

Обозначим оценку функции x ; $x=q$. Функциональным системам присвоим индексы j и v . Тогда x_j и x_v , соответственно, их функции; x_j^* и x_v^* задающие величины; $x_j^*(id)$, $x_v^*(id)$ — задающие функции. Коэффициенты усиления обозначим p_j и p_v ; k_j и k_v — коэффициенты (операторы, в общем случае, как можно усмотреть из рис. 1.) исполнительных органов (управляемых объектов); z — разные виды возмущения; e_j и e_v — ошибки регулирования; E_j и E_v — положительные составляющие ошибок регулирования; u_j и u_v — параметры самонастройки ССЦ; e_{jv} , e_{vj} воздействия системы j на систему v и системы v на j .

Примем, что системы j и v имеют одинаковую структуру, что позволяет описать только одну из них, опустив (для простоты) индексы:

$$x[(i+1)d]=x(id)+d\{[kx(id)+za \times z(id)] \times [z+z(id)+u(id)]\}.$$

Управление $u(id)$ формируется по пропорциональному и интегральному законам (см. рис. 1 и 2):

$$u(id)=\{p_0+z_{pa} \times f_1(id); z_a; z_u\}+e(id) \times u \times (E(id)-E_v(id)) \times [e(id)+s(id)].$$

На систему оказывают влияние помехи, а также опосредованно (через центр) состояние другой системы, например, v на j . Коэффициент p_0 усиливает ошибку $e(id)=x^*+f_2[id]; z_a; z_u]-x(id)$ и сумму ошибок регулирования $s[(i+1)d]=[s(id)+e(id)]/b$, реализуя принцип обратной связи.

На диаграмме системы j (рис. 2) блоки, формирующие задающую функцию (f_2) обозначены x^* и kzj . Параметр b позволяет корректировать устойчивость и быстродействие. Помеху $z(id)=f[id]; z_a; z_u]$ можно задавать различной формы, частоты и амплитуды. Если управляемая функция (например, масса объекта) стала равна нулю — система перестаёт работать (умирает).

Объединение систем выполнено по принципу уравнивания ошибок регулирования:

$$e_{jv}=e(id) \times u \times (E_j(id)-E_v(id)).$$

$E_j(id)=e_j(id)$, если $e_j(id)$ больше нуля, или равна нулю ($E_j(id)=0$), если $e_j(id)$ меньше или равно 0.

Таким образом, сигнал $e(id) \times [E_j(id)-E_v(id)]$ отражает разность положительных составляющих ошибок регулирования систем j и v . Он может быть изменён центром в соответствии с общеорганизменной ситуацией в U раз и, изменённый ($u \neq 1$), он прибавляется к управлению $u(id)$. Подсуммируем: **коэффициенты усиления функциональных систем увеличиваются центральной регуляцией на разность положительных составляющих их ошибок регулирования.**

Математическое описание и программа построены таким образом, что позволяют объединять многие автономные системы и применять полученный результат к высшим вегетативным центрам (спинальной регуляции) различных функций.

Результаты исследования

Диаграмма

На рис. 2 дана диаграмма двух систем регулирования, объединённых ССЦ по принципу уравнивания в терминах LabVIEW (Бокерия Л. А., Лищук В. А., 2008). Диаграмма (вместе с панелью) является программой для численных исследований. Блоки в центре диаграммы описывают ССЦ.

Диаграмма отражает общий объём и вид модели, весте с тем на ней даны вся структура и параметры, позволяющие воспроизвести модель и исследования

Панель

Панель на рис. 3, соответствует диаграмме рис. 2. Она отображает режим и результаты счёта. Здесь задаются t , d , n и др. (вверху в центре) параметры имитации и модели (x , k , p и др.), а также начальные условия ($x(0)$), возмущения ($z(id)$) и др. величины. Вверху в центре помещены параметры, общие для обеих систем: $t(0)$, $t(n)$ и d . Под ними даны параметры системы j ; справа — v . Ниже даны графики, отражающие воздействие системы j на систему v (e_{jv}) и наоборот (e_{vj}). Слева вверху даны параметры и графики возмущений. На панели отображены все величины, достаточные для воспроизведения модели.

Отметим ещё, что жирным шрифтом даны параметры (u), определяющие связи между системами. Если $u(id)=0$, то связи нет. Если $u(id)=1$, то имеет место непосредственное взаимодействие автономных систем без корректирующего участия центра. Центр, задавая u_j и u_v , может усиливать или ослаблять связь между ними, уравнивая ошибки регулирования в большей или меньшей степени.

Имитация

В табл. 3 и на рис. 3 и 4 даны изменяемые и вычисляемые переменные имитации, соответствующие введённому ранее описанию. Рассмотрим пример имитации (строка 14 табл. 3 даёт статику; рис. 3 представлена динамика). Возмущение $zv=-7$ снижает, если центральная регуляция отключена, артериальное давление почти до нуля (0,04). При этой безнадёжной ситуации, включение центральной регуляции ($u=1000$; рис. 4; строка 15) позволяет достигнуть жизнеспособного состояния ($x_v=0,44$) при приемлемой нагрузке на сердце (0,202). Ошибки уравнились ($e_j=e_v=0,5$), хотя они больше, чем без центральной регуляции, но, повторю, функция сохранилась.

Если абсолютную величину внешней помехи для системы v увеличить ещё больше, сделав её, например, больше 30, то для системы v без объединения с j это будет критическим воздействием. Функция её прекратится. Это — состояние «отказа» или смерти. Из многих исследований таких ситуаций (часть приведена в табл. 3) следует надёжное заключение — взаимодействие автономных систем регулирования через посредство бульбарного центра уравнивает ошибки регулирования,

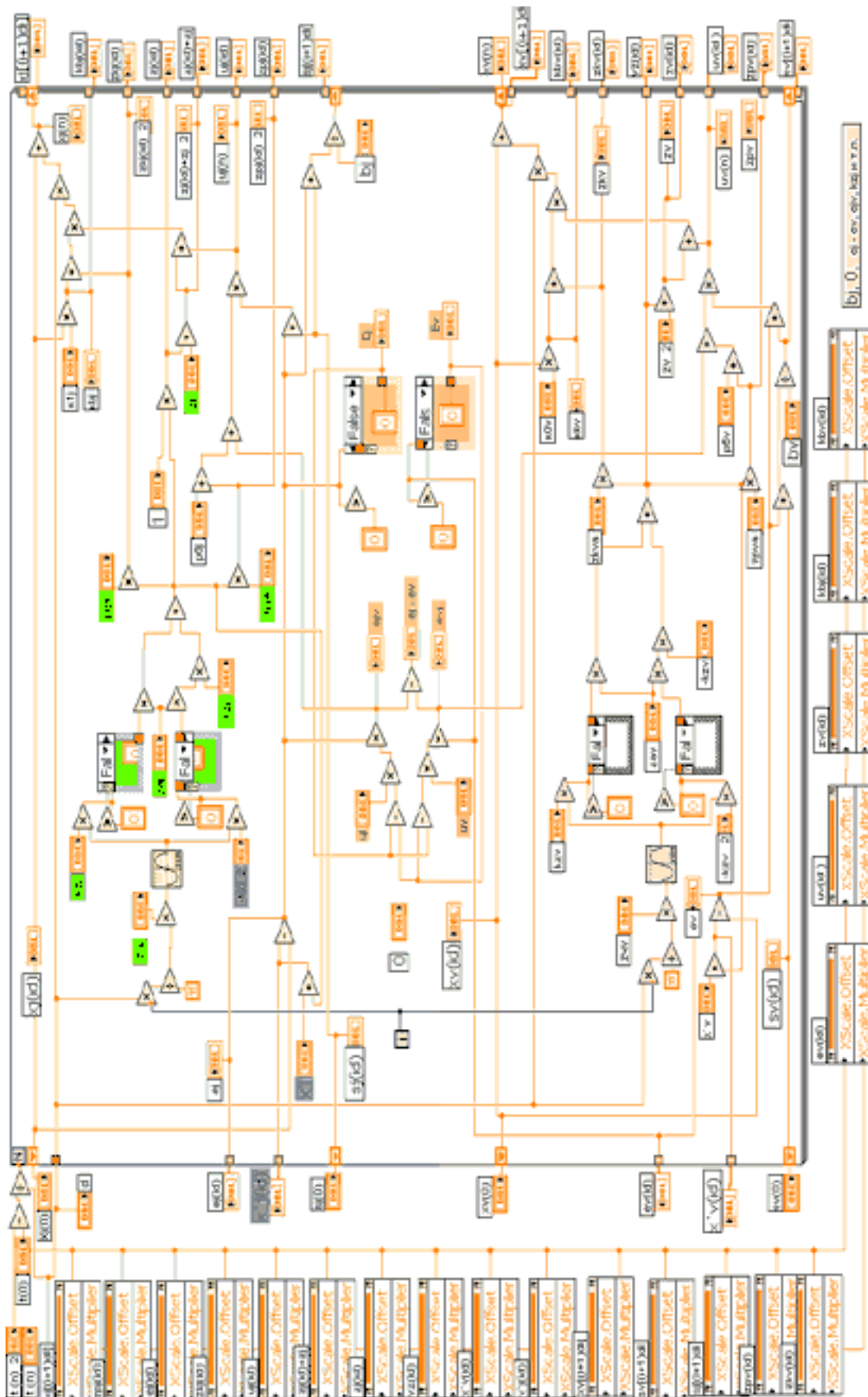


Рис. 2. Блок-диаграмма взаимодействия двух систем с уравновешиванием через центр в терминах LabVIEW.

Табл. 3. Изменяемые параметры (u, x, z) и конечные значения функций бульбарного центра ($e_{jv}(n), e_{vj}(n)$) функциональных подсистем j и v , задающих величин ($x'(n)$) и их ошибок регулирования ($e(n)$), а также мощности ($N(n)$) при их физическом взаимодействии.

1	u_j	x'_j	$x_j(n)$	$e_j(n)$	z_j	$e_{jv}(n)$	u_v	x'_v	$x_v(n)$	$e_v(n)$	z_v	$e_{vj}(n)$	$N_{jv}(n)$	Примечание
2	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	Норма.
3	0	1	0,84	0,167	-1	0	0	1	0,42	0,57	-4	0	0,35	
4	10^4	1	0,63	0,37	-1	-2,0	10^4	1	0,61	0,37	-4	2,0	0,38	
5	10^3	1	0,44	0,57	-1	-2,01	0	1	0,42	0,57	-4	0	0,19	
6	0	1	0,84	0,17	-1	0,166	10^3	1	0,81	0,17	-4	9,79	0,68	
7	300	1	0,55	0,46	-1	-2,01	100	1	0,51	0,47	-4	0,69	0,28	
8	0	0,5	0,34	0,16	-1	0	0	0,5	0,037	0,45	-4	0	0,0125	
9	10^3	0,5	0,187	0,315	-1	1,04	10^3	0,5	0,165	0,311	-4	-1,39	0,031	$t(n)=3$ с.
10	0	0,7	0,54	0,17	-1	0	0	1	0,414	0,56	-4	0	0,22	
11	10^3	0,7	0,32	0,39	-1	-1,56	10^3	1	0,59	0,39	-4	1,58	0,19	
12	10^3	0,7	0,13	0,56	-1	1,55	0	1	0,41	0,56	-4	0	0,053	
13	0	0,7	0,54	0,17	-1	0	10^3	1	0,77	0,23	-4	7,43	0,42	
14	0	1	0,99	0,015	-0,05	0	0	1	0,0407	0,93	-7	0	0,042	Рис. 3. $d=4E-6$.
15	10^3	1	0,49	0,52	-0,05	-4,1	10^3	1	0,43	0,53	-7	4,1	0,202	Рис. 4. $d=E-6$. $t=6$ с.

сохраняет функцию и не допускает критической перегрузки сердца. Такое вмешательство ССЦ организует взаимодействие функциональных систем в соответствии с общеорганизменными задачами и учитывая также внешнюю ситуацию.

Если положить коэффициент связи системы с большей нагрузкой значительно превосходящим аналогичный коэффициент системы с меньшей нагрузкой, то получим прямое управление функцией (табл. 3, строки 12–14). Таким образом, может быть реализована «центральная команда» (feedforward, поведенческие реакции), т.е. обеспечен переход к классической теории бульбарного центра.

Обсуждение

Подчеркнём, первым долгом, что при объединении многих систем ошибки будут существенно меньшими даже при низких коэффициентах усиления, а сохраненный эффект много большим.

Основное преимущество рассмотренной концепции в том, что центру не нужна информация о функциях подсистем. Достаточно стандартного, много менее разнообразного сигнала о качестве регулирования – положи-

тельной составляющей ошибки. Почему имеет место эта ошибка и как её исправить – внутреннее дело самой автономной системы. В соответствии с этим вегетативную сферу организма целесообразно рассматривать не как систему, а как совокупность автономных систем, взаимодействующих по принципу уравнивания. Эта организация позволяет использовать ресурсы всех систем, объединённых задачей взаимопомощи, для разгрузки и активации тех из них, которые не справляются со своей функцией. Отправная посылка – ограниченность ресурсов. Если ресурсы не ограничены, то и перераспределять их не нужно. Второе условие – помощь нужна только в том случае, если функциональная система не обеспечивает потребности организма. При этом ошибка положительна. Отсюда следует, что нарушения центральной регуляции будут приводить к локальным органическим расстройствам, тем более распространённым и выраженным, чем сильнее нарушена организация (например, в результате шока, стресса, приёма наркотика и т.п.).

Выводы

Функциональные системы объединены в организме таким образом, что

разница между ошибками регулирования их автономных систем саморегуляции (биофизических, биохимических, гормональных, нейронных) увеличивает коэффициенты усиления систем с большими ошибками и снижает с меньшими, **уравновешивая** их значения. Организованные таким образом системы адекватно функционируют при существенно больших возмущениях, чем каждая в отдельности.

Наряду с принципами гомеостаза, программной регуляции, слежения и т. п. детерминирующими регуляцию функций систем, существенную роль имеет способ их объединения, превращающий произвольную совокупность в организм. Сколь велико разнообразие и количество этих систем в организме – следует из последних исследований (например, [3]). Принцип уравнивания относится не к системам, а к взаимодействиям и отношениям между функциональными системами [18] (см. также Гуляев Ю. В., Годик Э. Э., 1984).

В условиях, неприемлемых для одной функциональной системы, её объединение в соответствии с принципом уравнивания с другими обеспечивает адекватную функцию каждой, а само объединение приобретает новое качество – целостность, состоящее в том, что каждая система необходима для всех и все для каждой.

Литература

1. П. К. Анохин Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. – М.: АН СССР, 1971. – 157 с.
2. Физиология: Курс лекций / Под ред. К. В. Судакова. – М.: Медицина, 2000. – С. 355.
3. Смирнов А. Н. Элементы эндокринной регуляции. Под. ред В. А. Ткачука. – М.: ГЭОТАР-Медиа. – 2008. – 352 с.
4. Майоров О. Ю. Фенченко В. Н. Про обчислення параметрів детермінованого хаосу при дослідженні біоелектричної активності мозку. – Ж. «Клиническая информатика и телемедицина, 2007. – с. 3–9.
5. Майоров О. Ю. Нейродинамическая структура системных механизмов устойчивости к эмоциональному стрессу. Диссерт. доктора мед. наук. – Москва, 1988. – 486 с.
6. Huxley V. Regulation of arterial blood pressure (лекции в ун-те Миссури, 2000).
<http://web.missouri.edu/~huxleyv/bloodpressure2000.html>.
7. Bogle P. Control of blood pressure (Лекция в Мичиганском университете, 2005)
http://www.emunix.emich.edu/~bogle/blood_pressure.html
8. Бураковский В. И и др. Применение математических моделей в клинике сердечно-сосудистой хирургии. – М.: Машиностроение, 1980.
9. Лищук В. А. Бокерия Л. А., Математические модели и методы в интенсивной терапии: сорокалетний опыт. К 50-летию НЦССХ им. А. Н. Бакулева. Части 1–4. // Клиническая физиология кровообращения. – 2006–2007.
10. Лищук В. А. Математическая теория кровообращения. – М.: Медицина, 1991. – 256 с.
11. Лищук В. А. Построение алгоритма функционирования сердца // Автоматика. – 1967. – №3. – С. 60–76.
12. Listschuk W. A., Die Selbstregulierung des Herzens. // Der Mensch als Regler. – Berlin. VEB Verlag Technik Berlin 1970, p.43–68.
13. Heldt T., Shim E. B., Kamm R. D., Mark R. G. Computational models of cardiovascular function for analysis of post-flight orthostatic intolerance / Lecture. – Massachusetts Institute of Technology. – 2006.
14. Простое и сложное в программировании / Авт. предисл. Е. П. Велихов. – М.: Наука, 1988. – 176 с.,
15. Бокерия Л. А., Лищук В. А. Концепция регуляции сердечно-сосудистой системы — от управления функциями к согласованию возможностей. Части 1–4. Физиологические предпосылки. // Клиническая физиология кровообращения. – №2, 3, 4. – 2008; №2 – 2009.
16. Велихов Е. П., Бетелин В. Б., Кушнеренко А. Г. Промышленная политика, инновации, массовые информационные технологии, отечественные системообразующие компании. – М.: Энергоиздат, 2007. – 100 с.
17. Cannon W. B. The wisdom of the body. – N.Y. :Kegan Paul French, 1932. – 201 p.)
18. Лищук В. А. Опыт применения математических моделей в лечении больных после операций на сердце // Вестн. АМН СССР. – 1978. – №11. – С. 33–49.

The organization of physiological systems providing integrity of the organism

V. A. Lischuk

Bakoulev Center for Cardiovascular Surgery
Russian Academy of Medical Sciences,
Moscow
The Problem commission « Medical and biological cybernetics and informatics»
Russian Academy of Medical Sciences,
Moscow

Abstract

According to the widespread conceptions the central nervous system (CNS) operates cardiovascular system (CVS) functions by changing the characteristics, for example, changing the vascular resistance, excitability of heart, elasticity etc. The research purpose is to define the management algorithm. Attitudes between functions and properties estimations have been found in animals experiments (101 experience on dogs) and patient care (14'000 supervisions). The data analysis was taken directly during experiments in real time. At superficial anaesthesia correlation was expressed (nearby -0,5). If anaesthesia is deep the correlation factor was no significant. The absolute value of correlation factor was less than $\pm 0,2$. The difference was significant and reliable. These attitudes took place in experiment and in clinic. The imitation of received attitudes on model has allowed to explain them as follows. The central nervous system increases the system autoregulation opportunities with a greater regulation mistake and reduces autoregulation with a smaller mistake. From here follows, that the nervous system (except for «the central command»), does not operate independent local functional systems functions. The central nervous system organizes expedient organism functional systems interactions. The organization of these interactions equalizes the errors of functional systems autoregulation. As a result permissible disturbances could be large. This organization creates new quality - unity. Unity lies in the fact that each system ensures the viability of all systems and all systems together ensure the function of each system.

Key words: functional systems, association of systems, errors of autoregulation, integrity, equalization, organization.

Організація фізіологічних систем, яка забезпечує цілісність

В. О. Ліщук

Науковий Центр серцево-судинної хірургії ім. А. Н. Бакулева РАМН
Проблемна комісія «Медицина та біологічна кибернетика та інформатика»
РАМН, Москва

Резюме

Центральна нервова система (ЦНС) управляє функціями серцево-судинної системи (ССС) за допомогою зміни властивостей, змінюючи судинний опір, збудливість серця, еластичність і т.п. Мета дослідження — у визначенні алгоритму управління. Відносини між оцінками функцій і властивостей досліджені в експериментах на тваринах (101 дослідження на собаках) і при лікуванні хворих (14000 спостережень). Аналіз даних проводився безпосередньо в ході експериментів в реальному часі. При поверхневій анестезії кореляція була вираженою ($\approx -0,5$). При глибокій анестезії, коеф. кореляції був незначним. Абсолютна величина коеф. кореляції менше $\pm 0,2$. Ці відносини мали місце в експерименті та клініці. Імітація отриманих відносин на моделі дозволяє пояснити їх. ЦНС збільшує можливості авторегуляції системи з більшою помилкою регулювання і зменшує — з меншою помилкою. Це свідчить про те, що нервова система (крім «центральної команди»), не управляє функціями автономних локальних функціональних систем (ФС). ЦНС організовує доцільні взаємодії ФС організму. Організація цих взаємодій зрівнює помилки авторегуляції ФС. У результаті допустимі перешкоди можуть бути більшими. Ця організація породжує нову якість — цілісність. Цілісність полягає в тому, що кожна автономна ФС необхідна для життєздатності всіх і всі разом — для кожної.

Ключові слова: функціональні системи, об'єднання систем, помилки авторегуляції, цілісність, єдність, зрівнювання, організація.

Переписка

д.биол.наук, професор В. А. Лищук
Рублевское шоссе, 135
НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН
Москва, 121552, РФ
тел. +7 495 414 77 52
эл. почта: lischouk@rambler.ru