

**Ильяшенко Р.В., Киселев Е.Н.**

*Запорожская государственная инженерная академия, Украина*

## **Регуляционная модель сердечно-сосудистой системы**

Современные методы исследования сердечно-сосудистой системы (ССС) базируются на использовании традиционных моделей механизма кровообращения[1], недостатком которых является отсутствие учета, регуляции кровотока. Поэтому предложена модифицированная модель ССС, основанная на методике[2], учитывающая следующие процессы регуляции: саморегуляцию левого и правого желудочков сердца, саморегуляцию транспорта жидкости, кислорода и углекислоты через стенки, саморегуляцию потока крови через сосуды, перераспределение кровотока по сосудистому руслу в соответствии с функциональными нагрузками тканей и органов, и непосредственное воздействие центральной нервной системы.

Математическая модель ССС базируется на системе уравнений:

$$\begin{aligned}
 C_{ri} &= \{e_{ij}, U_{ij}, \rho_{ij}\}, \\
 C_{r0} &= \{C_{r1}, C_{r2}, \dots, C_{rm}\}, \\
 X_{r0} &= J_{r0}(X_{r0}, C_{r0}(X_{ri}), Z_{r0}), \\
 X_{r0} &\stackrel{\Delta}{=} W_{r0} = (W'_{i0}, W'_{v0}, W'_{z0}), \text{ где } W'_{i0} = \{q_{ij}, P_i, V_i, f(P, V, q)\}, \\
 C_{r,n-1} &= f_{r,n-1}(X_{rn}, X_{r,n-1}), W^{*}_{r,n-1} = P_{r,n-1}(X_{rn}, X_{r,n-1}), \\
 X^{*}_{rn}(t) &= S^{*}_{rn}(X_{r0}, X_{r,n+1}, X_{rn}, X_{r,n-1}, C_{rn}(X_{r,n+1}), W^{*}_{rn}(X_{r,n+1}), Z_{rn}),
 \end{aligned}$$

где  $e$  - жесткость,  $U$  - расправляющий объем,  $\rho$  - проводимость,  $q$  - кровоток,  $P$  - давление,  $V$  - объем,  $i, j$  - номера резервуаров сердечно-сосудистой системы,  $r$  - некоторая подсистема ССС включающая один ( $r=i$ ) или несколько ( $r=\{i, v, \dots, m\}$ ) элементарных участков,  $C_{r0}$  - вектора управляемых параметров  $r$ -й подсистемы нулевого уровня субординации,  $z$  - возмущение,  $X_{r0}$  - управляющее воздействие нулевого уровня субординации,  $X_{r1}$  определяется: значениями функций  $W_{r0}$ , где  $W'_i = \{q_{ij}, P_i, V_i, f_i(P_i, V_i, q_{ij})\}$  ( $f$  - обозначение функции), параметрами системы саморегуляции  $C_{ri}(X_{r2})$  и задающими воздействиями  $W^{*}_{ri}(X_{r2})$  от второго уровня субординации;  $n$ -й уровень - некоторый уровень управления (генерирующий  $X_{Rn}$ ,  $n=1, \dots, m$ ), выполняющий задающие воздействия  $n+1$ -го уровня [ $W^{*}_{rn}(X_{r, n+1}, C_{rn}(X_{r, n+1}))$ ] и контролировать функции  $n-1$ -го уровня ( $X_{r,n-1}$ ); ( $X_{r,n+1}$ ) - высшие вегетативные центры, ( $X_{rn}$ ) - функциональная активность управления, ( $X_{r,n-1}$ ) - функция управляемой подсистемы.

Структура модели сердечно-сосудистой системы, учитывающая регуляторные процессы имеет вид [3,4,5]:

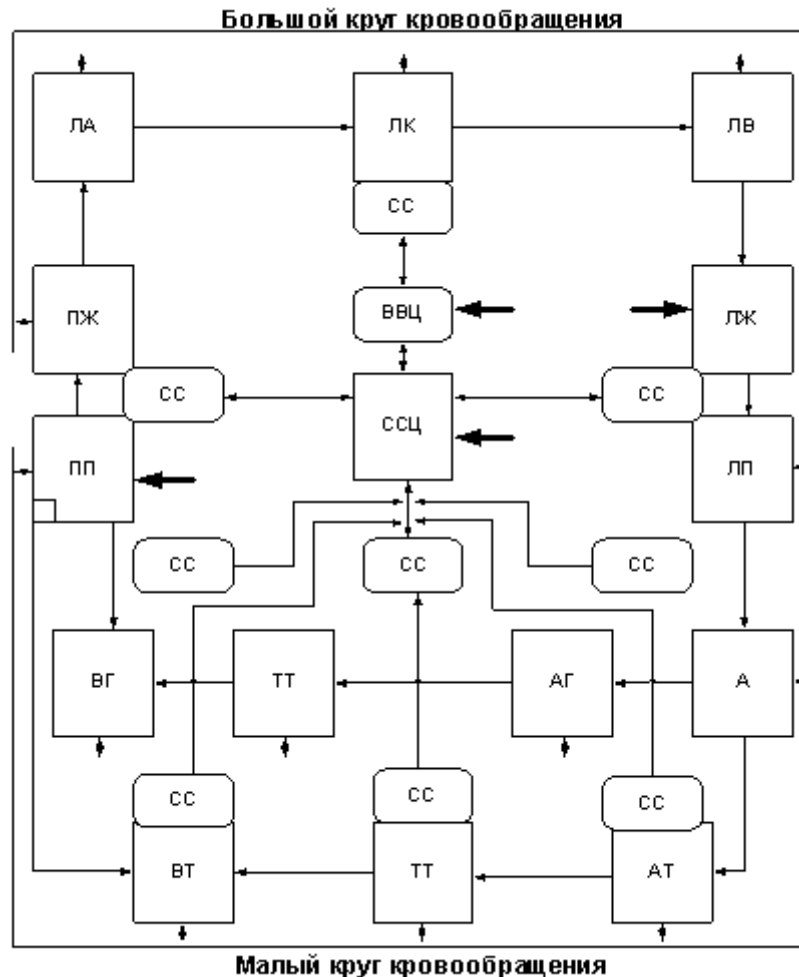


Рисунок 1 - Блок-схема модели регуляции сердечнососудистой систем

МКК - малый и БКК большой круг кровообращения; ССЦ - сердечно-сосудистый центр; ВВЦ - высшие вегетативные центры, СР спинальная регуляция, СС системы саморегуляции, АТ - артерии туловища, ТТ - капилляры и ВТ - вены нижней части тела и ног, АГ - артерии, ТГ - капилляры и ВТ - вены головы и рук; ПЖ - правый желудочек; ПП - правое предсердие; ЛА - легочная артерия; ЛК - легочные капилляры; ЛВ - легочная вена; ЛП - левое предсердие, ЛЖ - левый желудочек; кроме того, модель отображает дугу аорты (А).

Использование модели позволяет учитывать основной патологический процесс, сопутствующие ему, в том числе осложнения, компенсаторные, защитные и гомеостатические реакции организма, в такими составляющие, вносимые лечением, что необходимо для выбора адекватной терапии.

1. Шумаков В.И., Новосельцев В.И., Сахаров М.П., Штенгольд Е.Ш. Моделирование физиологических систем организма. - М.: Медицина, 1971г. – 352с.
2. Лищук В.А., Газизова Д.Ш., Сазыкина Л.В., Бокерия Л.А. Аппаратная реализация математической модели регуляции для кардиологии.- М.: Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники», ч.2, 2008г.
3. Газизова Д.Ш. Оперативный анализ расстройств сердечно-сосудистой системы с помощью монитрно-компьютерных средств: Дис. ... докт. мед. наук: 14.00.06. М., 1998.-250 с.
4. Лищук В.А, Сазыкина Л.В. Математические модели сердечно-сосудистой системы // Итоги науки и техн. ВИНТИ. Сер. Бионика. Биокбернетика. Биоинженерия. 1990. -Т. 7.-140 с.

5. Wagner R. Feedback principle in regulation of the circulation//Circulat. Res.- 1957. - Vol. 5, N 5. - P. 469-471.