

УДК 681.3

# Имитационная модель сердечно-сосудистой системы организма человека

А.В.Пикуль

## 1. Особенности сердечно-сосудистой системы организма человека

Сердечно-сосудистая система (СЕСО) организма человека (ОЧ) представляет в ОЧ автономную физиологическую систему, обеспечивающую транспорт кислорода, углекислого газа, питательных веществ и продуктов обмена. Можно выделить существенные функции кровообращения: транспорт, распределение крови, поддержание необходимого уровня давления. На рис. 1 приведена общая схема кровеносной системы. Сложность функциональных связей компонентов СЕСО ОЧ, а также индивидуальный характер их реагирования на одни и те же воздействия внешней среды ОЧ определяют необходимость многоплановых исследований СЕСО ОЧ. Существующие методики многофакторного анализа и математические модели позволяют изучать влияние ряда факторов на поведение СЕСО ОЧ. Наиболее эффективным и часто используемыми являются регрессионные модели (РЕМ). Но практика исследования СЕСО ОЧ показывает, что точность моделирования и предсказательные способности РЕМ существенно ограничены в силу многофункционального характера поведения подсистем ОЧ и сложности динамических связей между компонентами СЕСО ОЧ. Это обстоятельство требует увеличения уровня детализации (УД) процессов, протекающих в ОЧ, и использование имитационных методов исследований.

## 2. Актуальность имитационного моделирования сердечно-сосудистой системы организма человека

Исследованием поведения СЕСО ОЧ занимаются многие специалисты, имеются литературные источники [1], в которых рассматриваются различные аспекты функционирования органов подсистем ОЧ, но не прослеживаются связи и взаимодействия между органами. При этом эти взаимосвязи рассматриваются разрозненно и специализированно по органам. Это привело к появлению различных школ с противоположным толкованием основных функций СЕСО ОЧ и их удельного веса в патологических процессах ОЧ. Подобное состояние исследований ставит в сложное положение врачей, которым зачастую приходится принимать решения в условиях неопределенности и риска. Поэтому для повышения эффективности их работы актуально использование имитационной модели (ИМ) СЕСО ОЧ при изучении влияния на уровень здоровья (УЗ) ОЧ различных факторов окружающей среды, его поведения и характера дыхания.

Больше всего различных толкований посвящено анализу поведения СЕСО ОЧ. Обилие литературы в научных и популярных изданиях [2], основные положения восточной медицины и традиционные методики диагностики дыхательной и сердечно-сосудистой систем ОЧ позволяет формализовать многие стороны функционирования и взаимодействия органов СЕСО ОЧ. Поскольку подсистема дыхания ОЧ является наиболее управляемой волей человека, то актуальное изучение ее функционирования с помощью ИМ на высоком уровне детализации процессов, происходящих в СЕСО ОЧ.

## 3. Реализация имитационной модели сердечно-сосудистой системы организма человека

Универсальная ИМ СЕСО ОЧ состоит из трех типов имитационных подмоделей. Первый тип подмоделей представляют собой ИМ органов системы дыхания: носоглотки

(НосГл), легких (Легк). Они моделируют: процесс дыхания (поглощение кислорода и выделение углекислого газа легкими ОЧ). В качестве моделей порций воздуха используются

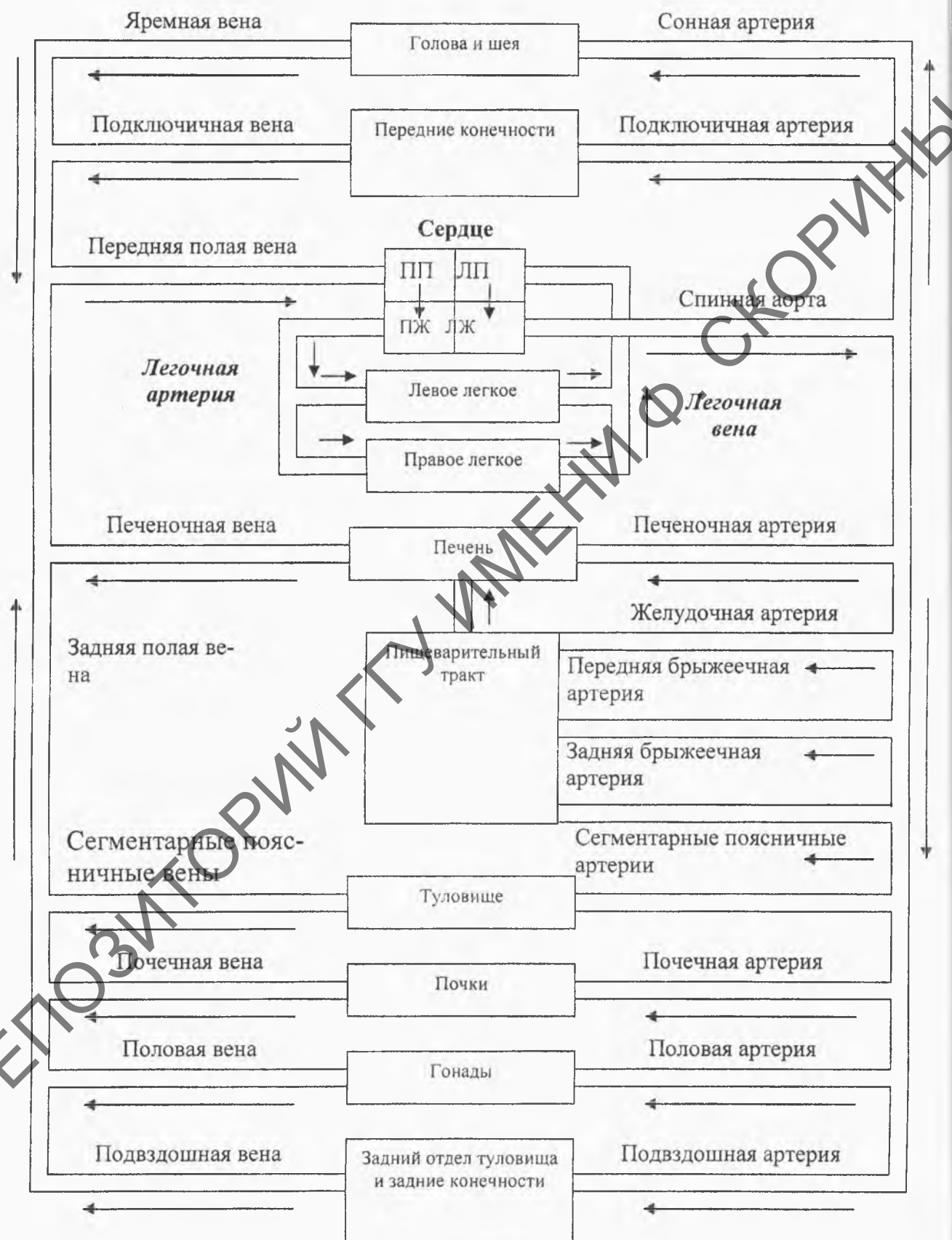


Рис.1. Общая схема кровеносной системы организма человека.

транзакты воздуха (ТРВО), которые формируются устройством-имитатором (GEN ТРВ) и направляют от НосГл до Легк и обратно. Синхронизация этапов обработки ТРВО обеспечивается системой управляющих сигналов, вырабатываемых моделями этих органов. Второй тип подмоделей включает подмодели органов СЕСО ОЧ. На рис.2 приведена блок-схема ИМ

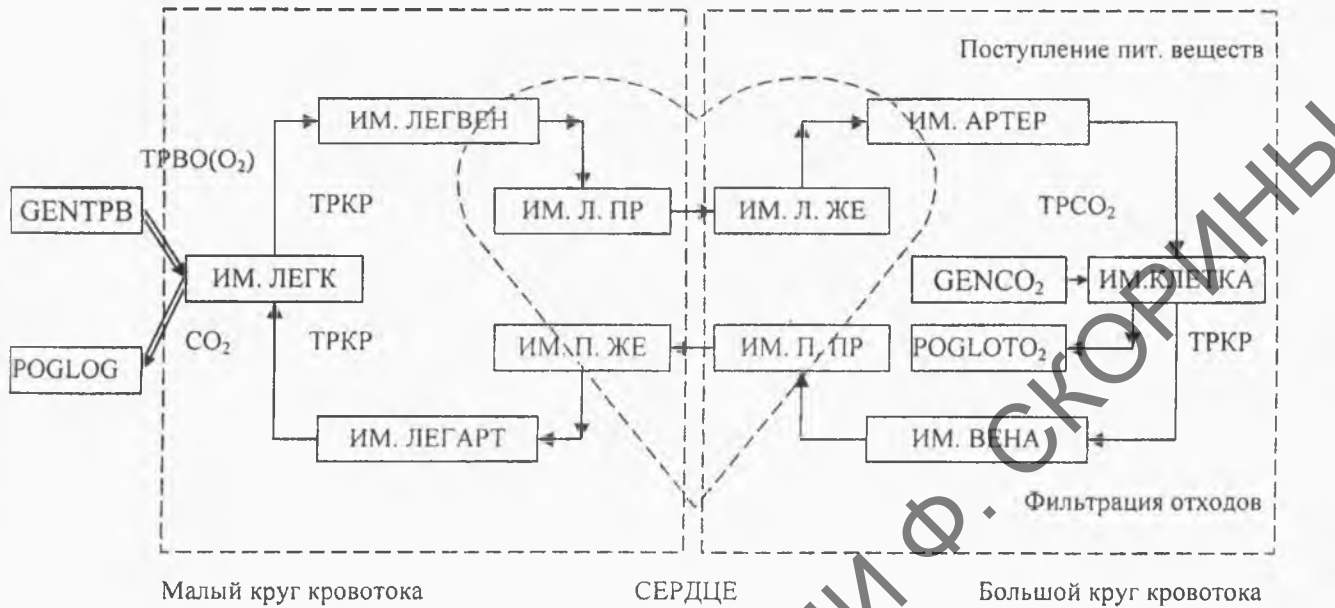


Рис. 2. Блок-схема ИМ Сердечно-сосудистой системы ОЧ.

СЕСО ОЧ. На рисунке показаны пути движения транзактов крови (ТРКР) через ИМ органов ЧО: легкие (ЛЕГК), легочная вена (ЛЕГВЕН), левое предсердие (ЛПР), левый желудочек (ЛЖЕ), модель артерии (АРТЕР), модель клетки, в которой реализуются обменные процессы (КЛЕТКА), модель вены (ВЕНА), правое предсердие (ППР), правый желудочек (ПЖЕ), легочная артерия (ЛЕГАРТ). Как видно из рис.2, сердце ЧО моделируется четырьмя взаимодействующими подмоделями. Данный состав подмоделей имитирует процесс переноса кислорода ко всем органам ОЧ, представленным подмоделью КЛЕТКА, и вывода из них углекислого газа. Эта группа подмоделей (так же, как и первая группа) функционирует непрерывно в течении суточного цикла жизни ОЧ. К третьему типу относятся модели подсистем ОЧ, регулирующих в нем физиологические процессы. Сюда входят ИМ подсистем: нервной (Нерв), энергетической (Энер), прочих подсистем (ПрСис). Они обеспечивают информационно-логическую связь всех компонентов ИМ ОЧ.

#### 4. Основные функции подмоделей сердечно-сосудистой системы организма человека

В соответствии с блок-схемой, представленной на рис.2, рассмотрим основные функции подмоделей органов. В ИМ КЛЕТКА имитируются основные процессы расхода кислорода и питательных веществ, поступающих из ИМ АРТЕРИИ и выделения в ИМ ВЕНЫ углекислого газа  $CO_2$ , продуктов метаболизма и шлаков. В данной модели не отражены процессы фильтрации крови печенью и почками от продуктов метаболизма и шлаков, образующихся в ходе имитации обменных процессов в подмодели КЛЕТКА. Поэтому в подмодели ВЕНА происходит имитация этих процессов фильтрации крови. Все подмодели, имитирующие работу сердца (ППР, ПЖЕ, ЛПР, ЛЖЕ), имитируют транспортные функции СЕСО ОЧ. ИМ ЛЕГ АРТ имитирует подачу транзактов крови (ТРКР) в ИМ ЛЕГК. ИМ ЛЕГК принимает ТРКР, имитирует первую часть газообмена, в ходе которого часть  $CO_2$  выводится во внешнюю среду. Второй функцией ИМ ЛЕГК является прием ТРВО и имитация второй части газообмена, в ходе которого принимается часть  $O_2$ , остальная часть вместе с ТРВЛ уничтожается.

Третьей функцией ИМ ЛЕГК является имитация насыщения ТРКР новой порцией кислорода  $O_2$  и передача его в ИМ ЛЕГ ВЕН. Далее через ИМ ЛПР и ИМ ЛЖЕ транзакт крови поступает в ИМ АРТЕР. В ее функции входит имитация процессов пополнения крови питательными веществами и транспортировка ТРКР в ИМ КЛЕТКА.

Переменными в ИМ СЕСО являются многомерные векторы, компоненты которых определяют характеристики: дыхательного процесса, кровотока, давления, сопротивления движению ТРКР. Выделены две группы факторов, действующих на ИМ СЕСО: прямого воздействия органов ОЧ на дыхательную и кровеносно-сосудистую системы и косвенного влияния органов внешней среды и оздоровительных процедур. Модификации и управления этими факторами в алгоритмах ИМ функционирования  $j$ -го органа используется группа индикаторов  $\{I_{ij}\}$ . В зависимости от значений этих индикаторов алгоритм имитации функций  $j$ -го органа ОЧ на интервале изменения модельного времени может ( $\Delta t_0$ ) быть различным.

К статистикам имитации, формируемым в моменты времени  $t_0$ , меняющимися с шагом  $\Delta t_0$ , можно отнести: состояния  $j$ -го органа, определяющие уровни патологии ( $\Pi T_{jt}$ ), средний процент углекислого газа в крови ( $\% CO_2$ ), средний объем кровотока через орган ( $V_{kpi}$ ), давление ( $DAVL_{jt}$ ). По этим статистикам осуществляется калибровка ИМ. Различаем две группы откликов ИМ: локальные и интегральные. Перечисленные выше статистики имитации органов являются локальными откликами ИМ. Интегральными откликами будут последовательности значений: запаса жизненных сил  $\{z_{it_0} = \text{mod}\{RS_{jt_0}\}\}$  и уровня здоровья  $\{Q_{it_0} = \min\{RS_{jt_0}\}\}$ , где  $RS_{jt_0} = 1 - \pi T_{ijt_0}$  – значения остаточного ресурса  $j$ -го органа у  $i$ -го ОЧ.

Показатели  $\theta_{it_0}$  и  $Z_{it_0}$  позволяют однозначно решить поставленные задачи прогноза состояния ОЧ <sub>$i$</sub>  при существующем характере его дыхания и поведения [3]. С помощью ИМ исследователи и врачи могут решать следующий состав взаимосвязанных задач:

- исследование динамики воздействия на ОЧ <sub>$i$</sub>  способа дыхания ОЧ и оценки наличия и вреда гипервентиляции углекислого газа в легких ОЧ <sub>$i$</sub>  [4];
- определение существенности влияния экологических факторов, образа жизни и оздоровительных процедур на уровень здоровья и запас жизненных сил ОЧ <sub>$i$</sub> ;
- определение условий появления патологических положительных обратных связей ОЧ <sub>$i$</sub>  при разбалансировке функционирования подсистем сердечно-сосудистой и дыхания.

#### Abstract

Principles of simulation of cordial-vascular and respiratory subsystems of a human organism are considered.

#### Литература

1. Готовский Ю.В. Электродиагностика и терапия с применением вегетативного резонансного теста “Имедис-тел”. М.: Здоровье, 1997. – 170с.
2. Норбеков М., Хван Ю. Энергетическое здоровье. – Спб. Издат. “Питер”, 2000. – 160 с.
3. Пикуль А.В. Компьютерное моделирование системы дыхания человеческого организма // Известия ГГУ им.Ф.Скорины, 2002. – №6 (15). – С. 75–82.
4. Метод Бутейко. Опыт внедрения в медицинскую практику. Сборник. Сост. К.П. Бутейко, Одесса “Титул”, 1991. – 120 с.