

УДК 681.3

О методе имитационного моделирования процессов дыхания человеческого организма

А. В. Пикуль

1 Введение

Объектом моделирования являются процессы дыхания человеческого организма. Поступление воздуха в легкие (вдох) и удаление воздуха из легких (выдох) – это лишь внешние процессы дыхания. Полностью дыхание можно представить в виде следующих основных процессов: поступление воздуха, богатого кислородом, из атмосферы в легкие (вдох); проникновение кислорода из воздуха легких в кровь; перенос кислорода кровью к клеткам организма; переход кислорода от эритроцитов крови в клетки; использование кислорода в клетках для реакций окисления. Рассмотренные механизмы относятся к процессам поступления кислорода в организм. Одновременно с ними происходят процессы удаления углекислого газа из организма. К основным из них можно отнести: образование углекислого газа в клетках в результате реакций окисления веществ; переход углекислого газа из клеток в кровь; перенос кровью углекислого газа к легким; переход углекислого газа из крови в воздух легких; удаление воздуха, насыщенного углекислым газом из легких в атмосферу (выдох).

Стоит подчеркнуть, что процессы поступления кислорода и удаления углекислого газа происходят не последовательно, а одновременно. Например, в легких происходит проникновение кислорода из воздуха в кровь и одновременно проникновение углекислого газа из крови в воздух.

Целью моделирования является определение реакции организма человека на физическую нагрузку (функциональное состояние организма) и условия окружающей среды (количество кислорода и углекислого газа во вдыхаемом воздухе). Основной трудностью достижения поставленной цели являются следующие *особенности процессов дыхания* человеческого организма. Во-первых, все процессы человеческого организма (ЧО), в том числе и процессы дыхания происходят по программам, заданным на генном уровне. Считается, что алгоритмы функционирования всех физиологических систем, а также структура связей и механизмов регуляции не могут самостоятельно исчезать или возникать в течение времени существования таких систем. Таким образом, существует принципиальная консервативность процессов, которые происходят при помощи тех или иных физиологических систем. Во-вторых, процессы дыхания ЧО обладают возможностью адаптации своего поведения и перехода в различные состояния при изменении внешней среды за счет наличия собственных алгоритмов реакций на изменяющуюся внешнюю среду. В-третьих, каждый процесс дыхания ЧО обладает своим «интеллектом» поведения в виде сложно организованного алгоритма принятия решений и передачи информации по иерархии управляющих воздействий на процессы нижнего уровня функционирования. В-четвертых, алгоритм поведения процессов дыхания ЧО известен исследователю не полностью. Поэтому любое исследование поведения процессов дыхания ЧО осуществляется с высокой долей неопределенности. При этом высока вероятность многозначности поведения одного и того же процесса дыхания при одних и тех же условиях и внешних воздействиях на человека. В-пятых, существует трудность реализации в математических моделях процессов дыхания ЧО многоуровневой декомпозиции процессов из-за различного масштаба протекания их во времени (от долготекущих до быстропротекающих) на разных уровнях иерархии связей компонент дыхания ЧО. В-шестых, также существует трудность измерения характеристик процессов дыхания ЧО в реальных условиях для анализа ситуации и построения математической модели дыхания ЧО из-за сложных и трудно разделяемых связей между процессами дыхания, а также отсутствия у человека необходимых регистрирующих устройств при многообразии ситуаций и состояний дыхания ЧО.

Все перечисленные особенности не позволяют использовать известные аналитические модели. Выходом из создавшегося положения является использование имитационных моделей (ИМ) процессов дыхания человеческого организма (ПД ЧО). Однако имитация обычно требует больших затрат ресурсов ЭВМ и исследователи вынуждены прибегать к специальным средствам автоматизации имитационного эксперимента. При этом весьма существенно использовать средства имитационного эксперимента, обеспечивающие высокий уровень технологии разработки имитационных моделей (ИМ) функционирования как систем организма человека, так и процессов в них протекающих, и предметно-ориентированные на потребности практикующих врачей и работников здравоохранения. Это обстоятельство является причиной актуальности разработки метода и средств имитационного моделирования ПД ЧО. Поэтому в качестве *основной задачи исследований* определена разработка метода и средств имитационного моделирования ПД ЧО.

2 Особенности объекта исследования и применение имитации для решения задач физиологического моделирования

По своей сущности дыхание – совокупность иерархических сопряженных взаимодействующих циклических физических и химических процессов.

Дыхание можно разделить на три этапа: внешнее дыхание; транспорт газов (кислорода (O₂), двуокиси углерода (CO₂)) кровью; клеточное дыхание.

Дыхание – функция многих систем организма. К системам организма, которые обеспечивают процессы дыхания, относятся: *дыхательная система* (легкие и дыхательные пути) обеспечивает поступление атмосферного кислорода в легкие и удаление углекислого газа из легких в атмосферу; *система крови* обеспечивает связь кислорода с гемоглобином или с углекислым газом для их транспортировки внутри организма; *система сосудов*, по которой кровь течет от легких к клеткам органов и от клеток органов обратно к легким; *система сердца* – без деятельности сердца невозможно было бы движение крови по сосудам; *нервная система*, которая управляет всеми функциями в организме, в том числе работой дыхательных мышц.

Концептуальная модель ПД ЧО имеет вид:

$$\{Y\} = \varphi(\{G\}, \{X\}, \{Z_R\}, \{Z_L\}), \quad (1)$$

где φ – неизвестная функция связи множества откликов моделирования $\{Y\}$, связанная с множеством параметров имитации $\{X\}$, множеством постоянных величин $\{G\}$ и множеством измеряемых данных в состоянии покоя $\{Z_R\}$ и в состоянии нагрузки $\{Z_L\}$. Множество $\{G\}$ в (1) представляет собой совокупность анкетных данных: фамилия, имя, отчество, пол, возраст, вес, рост, пульс, а также температура воздуха, влажность и атмосферное давление.

Множество параметров содержит в себе:

$$\{X\} = \{w_i, w_p, P_iO_2, P_iCO_2\}.$$

Здесь P_iO_2 – напряжение кислорода во вдыхаемом воздухе, P_iCO_2 – напряжение углекислого газа во вдыхаемом воздухе; w_p – общая интенсивность мышечной деятельности (нагрузка), w_i – интенсивность деятельности внутренних органов не связанная с утилизацией продуктов обмена.

К множеству данных, измеряемых в состоянии покоя, относятся:

$$\{Z_R\} = \{P_{syst}, P_{diast}, Hb, R_sO_2, AB_sO_2, cam, P_aO_2, P_aCO_2, P_pO_2, P_pCO_2, d, gammaN, gammaG, alfaV, ro\}$$

К множеству данных, измеряемых в состоянии нагрузки, относятся:

$$\{Z_L\} = \{P_{syst}, P_{diast}, Hb, R_sO_2, AB_sO_2, cam, P_aO_2, P_aCO_2, P_pO_2, P_pCO_2, d, gammaN, gammaG, alfaV\}$$

Данные, измеряемые в лаборатории в состоянии покоя и нагрузки, используются, чтобы адаптировать модель под конкретного человека.

В качестве откликов модели выступает множество:

$$\{Y\} = \left\{ \begin{array}{l} Q_s O_2, AB_p O_2, AB_i O_2, R_p O_2, Q_p O_2, BA_s CO_2, BA_p CO_2, BA_i CO_2, R_p CO_2, Q_p CO_2, w_p, wp_1, \\ wp_2, ro, Q_s, Q_p, Q_i, R_i O_2, Q_i O_2, Q_p M, R_p M, Q_a M, R_i O_2 M, R_p O_2 M, R_s O_2 M, w_i, R_i M, \\ C_p M, R, Y, Y_p, Y_i, P_a, P_v, Q_v, va, gamma, alfav, C_a O_2 \end{array} \right\} \quad (2)$$

Данное множество представляет собой характеристики всех систем ЧО, участвующих в процессах дыхания [2]. Необходимо учитывать, что характеристики различных систем ЧО уже к началу моделирования несут в себе некоторую информацию, которая будет меняться в зависимости от параметров. Все множество $\{Y\}$ из (2) даст физиологу необходимые сведения о реакциях организма *конкретного* человека на физическую нагрузку и условия окружающей среды.

3 Основная идея метода

В соответствии с [3] и принятыми допущениями для ПД ЧО данная методика реализуется следующей последовательностью этапов.

Этап 1. Осуществляется анкетирование человека и измерение определенных характеристик в состоянии покоя и физической нагрузки; обработка этих анкет, записей хранящихся в истории болезни и результатов лабораторных исследований. В результате в базе данных модели (БДМ) формируется таблица переменных модели ПД конкретного человека в состоянии покоя и при максимальной физической нагрузке.

Этап 2. Реализует итерационную процедуру верификации и калибровки универсальной ИМ под конкретного человека на основе множеств $\{Z_R\}$ и $\{Z_L\}$.

Этап 3. Осуществляется определение воздействий входных параметров на ПД ЧО в привычных для человека условиях жизнедеятельности, которые назовем состоянием покоя.

Этап 4. Имитируется изменение условий окружающей среды и (или) изменение функционального состояния организма для получения откликов модели (смотри п. 2)

Этап 5. Осуществляется сравнение данных имитации на этапах 3 и 4. Результатом этапа 5 является определение воздействия вследствие изменений условий окружающей среды и (или) изменение функционального состояния организма, на основе которого выдаются рекомендации поведения ЧО.

4 Заключение

Предложенный метод и средства его реализации ориентированы на специалиста-физиолога и не требуют от него дополнительных знаний по теории программирования, численным методам и имитационному моделированию. Взаимодействие осуществляется в режиме вопрос-ответ. Специалистам-физиологам будет достаточно знаний, которые заключены в инструкции пользователю, имеющейся в технологической среде программно-технологического комплекса имитации (ПТКИ) ПД ЧО [4]. Этим обстоятельством определяется перспектива использования предложенного метода и ПТКИ ПД ЧО как технологического средства его реализации.

Abstract. The basic conceptions and stages of simulation method of processes of breath of human organism are considered in the paper.

Литература

1. С. П. Жогаль, И. В. Максимей, Задачи и модели исследования операций, Ч. 3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений, Уч. пособие, Гомель, БелГУТ, 1999.
2. А. В. Пикуль, Имитационное моделирование дыхательной системы человеческого организма, Известия ГГУ им. Ф.Скорины №5(32) (2005), 60–62.
3. И. В. Максимей, Имитационное моделирование на ЭВМ, Москва, Радио и связь, 1988.
4. И. Н. Кравченя, А. В. Пикуль, Об одной методике моделирования процессов жизнеобеспечения в организме человека, Информационные системы и технологии (IST'2004): Материалы II Междунар. конф. (Минск, 8–10 ноября 2004 г.): В 2 ч. Ч.1./Редкол.: А.Н. Курбацкий, А.Н. Исаченко и др.-Мн.: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2004.