

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В.Г. Кориунов, Н.В. Карасенко, К.С. Караханян, Н.Г. Короткиева, И.О. Михальчик

Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования выдвигает требование формирования у обучающихся компетенции способности использования информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности. Компьютерное моделирование является эффективным инструментом в решении этой задачи.

На кафедре медицинской и биологической физики РостГМУ написана программа, позволяющая моделировать гемодинамические параметры системы кровообращения. Студенты изучают характеристики сердечно-сосудистой системы, получают профессиональные знания, приобретают навыки оптимизационного мышления и использования информационных технологий в медицине. Приведены примеры использования математической модели гемодинамики в образовательном процессе.

Информационные технологии в образовательном процессе приводят к стремительной трансформации всей системы высшей школы, появлению современных форм дистанционного и комбинированного обучения. Новые условия пандемии covid-19, вынужденный переход ВУЗов на удаленную форму обучения резко увеличили потребность высшей школы в компьютерных технологиях [1]. Математическое моделирование традиционно является мощным инструментом в образовательном процессе и органично интегрируется в дистанционный и комбинированный форматы обучения.

Компьютерное моделирование позволяет решать многофункциональные образовательные задачи работы с информацией: ее структурирование, визуализацию и графическую интерпретацию.

Обучение студентов-медиков использованию моделей в практике врача является актуальной задачей. Математические модели в современной клинической практике используют для оценки степени тяжести ишемических поражений в сердце, головном мозге, центральной гемодинамической системе, конечностях. Компьютерное моделирование на сегодняшний день используется для подбора эффективных лечебно-профилактических мероприятий, позволяет снизить риск операционного вмешательства при различных ишемических поражениях [2].

Изучение гемодинамических параметров для студентов-медиков носит этапный характер: начинается на первом курсе в рамках дисциплины «Физика, математика» и продолжается в дисциплине «Медицинская информатика» с применением математической гемодинамической модели Отто Франка [3]. В рамках модели артериальная часть большого круга кровообращения заменяется резервуаром с высокой эластичностью стенок, объём резервуара пропорционален давлению и его гидравлическим сопротивлением можно пренебречь; система мелких периферических сосудов моделируется жесткой неэластичной трубкой с большим гидравлическим сопротивлением; гидравлическое сопротивление и эластичность каждой группы сосудов не меняются во времени и в пространстве.

Модель О. Франка может быть описана следующей системой дифференциальных уравнений. Скорость изменения объема эластичного резервуара $\frac{dV}{dt}$ равна разности скорости притока крови из сердца Q_c и скорости оттока в периферические сосуды Q : $\frac{dV}{dt} = Q_c - Q$.

Изменение объема эластичного резервуара прямо пропорционально изменению давления крови dP : $dV = CdP$, где C – эластичность стенок крупных сосудов. Используем закон Пуазейля для стационарного потока жидкости по жесткой трубе: $Q = \frac{P - P_{\text{кон}}}{X}$, где P – давление на входе, $P_{\text{кон}}$ – давление на выходе из жесткой трубки, X – гидравлическое сопротивление периферических сосудов. С учетом 1, 2, 3 получаем уравнение: $\frac{dP}{dt} + \frac{P}{XC} = \frac{Q_c}{C} + \frac{P_{\text{кон}}}{XC}$.

Решение неоднородного дифференциального уравнения (4), связывающего объемную скорость кровотока, давление в крупных сосудах, эластичность и периферическое сопротивление позволяет анализировать гемодинамические параметры в различные фазы сердечного цикла [4].

В модели отдельно выделены три стадии последовательности процесса кровообращения: фаза систолы, диастолы и полного сердечного цикла (Рис. 1). В каждой из стадий вычисляется значение артериального давления в зависимости от времени сердечного цикла (Рис. 2). Все учитываемые в модели параметры могут меняться исследователем. Выбор стадии процесса и задача моделирования выбираются независимо. В каждом случае исследования изучается влияние факторов гидравлического сопротивления периферических сосудов, объемной скорости поступления крови в аорту и эластичности стенок крупных сосудов на давление в аорте.

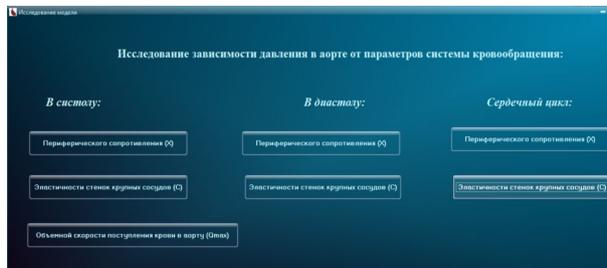


Рис. 1 Интерфейс структуры исследования

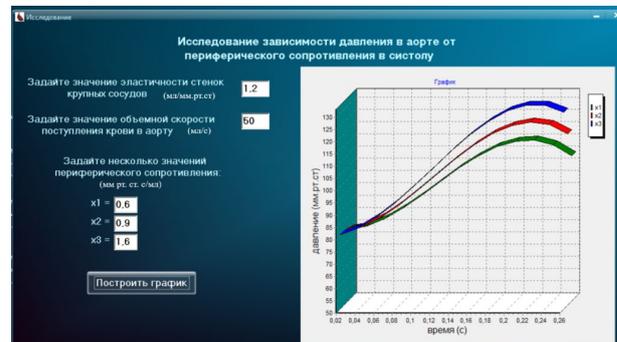


Рис. 2 Исследование зависимости артериального давления от периферического сопротивления в систолу

При изучении влияния конкретного фактора, например, значения гидравлического сопротивления периферических сосудов на давление в фазу систолы, фиксируются значение эластичности стенок крупных сосудов и значение объемной скорости поступления крови в аорту, меняется только изучаемый влияющий фактор (Рис. 2). Кривые изменения давления, соответствующие различным значениям периферического сопротивления представлены разными цветами. Для удобства анализа панель ввода данных и графический результат моделирования располагаются в одном окне. Студенты подбирают значение периферического сопротивления, которое обеспечивает нормальное систолическое давление 120 мм рт. ст.

Аналогично, моделируются и изучаются зависимости от эластичности стенок крупных сосудов и объемной скорости поступления крови в аорту (Рис. 1). Вариации исходно задаваемых параметров системы кровообращения позволяют обучающимся наглядно представлять их влияние на максимальное значение, скорость изменения артериального давления в различные фазы сердечного цикла.

Таким образом, использование компьютерной гемодинамической модели в обучении студентов позволяет решать целый комплекс образовательных задач: приобретение фундаментальных профессиональных знаний, получение навыков оптимизационного мышления, интерпретации графической информации и использования информационных технологий в профессиональной деятельности. Компьютерные математические модели органично вписываются в современные форматы обучения с применением информационных технологий.

Литература

Карасенко Н.В., Короткиева Н.Г., Караханян К.С., Кижеватова Е.А. Дистанционное преподавание физики и математики в РостГМУ в условиях пандемии // Информатизация образования 2021 [Липецк, 23 – 25 июня 2021]: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Липецк: ЛГТУ. 2021. С. 153–158.

Быков А.В., Корневский Н.А., Родионова С.Н., Артеменко М.В. Интеллектуальная поддержка выбора схем лечебной стабилизации при смешанном ишемическом поражении // Медицинская техника. 2020. № 4. С. 49–52.

Омельченко В.П., Демидова А.А. Особенности преподавания медицинской информатики при подготовке медицинских профессиональных кадров // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 5. С. 14–15.

Омельченко В.П., Демидова А.А. Медицинская информатика. Учебник. М. Изд. группа «ГЕОТАР-МЕДИА», 2016. -528 с.