

ID: 2015-11-4109-A-5703

Краткое сообщение

Голядкина А.А.¹, Полиенко А.В.¹, Хайдарова Л.Р.¹, Челнокова Н.О.^{1,2}

Пациенто-ориентированное моделирование желудочков сердца человека: трудности и пути решения

¹ФГОУ ВПО СГУ им. Н.Г. Чернышевского

²ГБОУ ВПО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России

Резюме

Исследование, представленное в данной работе, направлено на развитие персонализированной медицины в Российской Федерации. С использованием трехмерного конечно-элементного моделирования построены биомеханические модели желудочков сердца, характеризующиеся геометрическим и физико-механическим подобием желудочков сердца человека. Модели выполнены в виде виртуальной параметрической среды, которая позволяет вносить дополнения для дальнейших исследований. С помощью построенных моделей получены биомеханические зависимости, влияющие на конечно-диастолический объем и фракцию выброса желудочков сердца.

Ключевые слова: биомеханика, сердце, пациенто-ориентированное моделирование, конечно-элементный анализ, механические свойства

Введение

В Российской Федерации по данным Росстата (2013) 58.1% в структуре смертности населения составляют заболевания сердечно-сосудистой системы, из них первое место (49.1%) принадлежит ишемической болезни сердца (ИБС). Частым следствием ИБС является инфаркт миокарда, который нередко (в 10–34% случаев) осложняется развитием постинфарктной аневризмы [1, 2].

Математическое моделирование, в частности биомеханическое конечно-элементное моделирование, в настоящее время является удобным и перспективным инструментом исследования биологических объектов. При помощи данного метода создается виртуальный образ исследуемого объекта. Работа с виртуальной моделью биологического объекта позволяет исследовать его свойства и поведение в различных модельных ситуациях [3, 4].

В данном исследовании с использованием 3D конечно-элементного моделирования разработаны биомеханические модели желудочков сердца, характеризующиеся геометрическим и физико-механическим подобием желудочков сердца человека. Модели выполнены в виде виртуальной параметрической среды, которая позволяет вносить дополнения для дальнейших исследований. Данные модели позволят хирургам, независимо от их опыта, планировать лечение с использованием специализированного биомеханического анализа.

Материал и методы

Построение моделей желудочков сердца и соответствующих им объемов крови осуществлялось по данным компьютерной томографии с использованием программного пакета 3D Slicer и системы автоматизированного проектирования SolidWorks. Данные компьютерной томографии были предоставлены Клиникой аортальной и сердечно-сосудистой хирургии ГБОУ ВПО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России».

Однако построенный трехмерный объект не является самостоятельной биомеханической моделью. Для полной ее реализации необходимо задать механические параметры материала стенки, показатели реологических свойств крови и граничные условия, которые позволят моделировать физиологические процессы исследуемого объекта.

Был проведен анализ моделей материала стенки с целью выбора наиболее соответствующей графику зависимости напряжение-деформация, полученного ранее в процессе натурных экспериментов [5, 6]. Было выявлено, что теоретическая кривая, соответствующая 3-х параметрической модели Mooney-Rivlin, достаточно хорошо приближает экспериментальную.

Кровь предполагалась однородной, несжимаемой и ньютоновской жидкостью с заданными плотностью $\rho=1050$ кг/м³ и динамической вязкостью $\eta=0.004$ Па·с, данные параметры были определены по результатам общего и биохимического анализа крови пациента.

На основе данных компьютерной томографии и ультразвукового исследования были определены начальные и граничные условия, соответствующие конкретному пациенту.

Численный эксперимент был проведен в расчетном комплексе Ansys Workbench методом конечных элементов.

Также была проведена оценка конечно-диастолического объема и фракции выброса желудочков сердца.

Результаты

В результате были получены картины гемодинамики (распределение значений давления, вектора скорости) с учетом напряженно-деформированного состояния (распределение значений эквивалентных напряжений и модуля вектора перемещения) стенок желудочков сердца по фазам сердечного цикла.

Заключение

Полученные результаты были верифицированы на основе сравнения с клиническими данными исследованного пациента. Выявлено, что погрешность составила менее 10%. Данные погрешности обусловлены физиологическими особенностями живого организма. Кроме того, при численной реализации используются параметры материала миокарда не конкретного пациента, а из базы данных, сформированной по результатам натурных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект №14-01-31383-мол_а).

Литература

1. Бокерия Л.А. Ишемическое ремоделирование левого желудочка (методологические аспекты, вопросы диагностики и лечения) // М.: Изд-во НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2002, 152 с.
2. Максимова С.В. Качество жизни больных с постинфарктной аневризмой левого желудочка до и после хирургического лечения: дис. ...канд. мед. наук: 14.00.06 / Максимова Светлана Владимировна.– Самара, 2006. – 137.
3. Corsinia C. An integrated approach to patient-specific predictive modeling for single ventricle heart palliation // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 2014. №17(14). P.1572-89.
4. Aguado-Sierra J. A computational framework for patient-specific multi-scale cardiac modeling // In: Roy Kerckhoffs (Ed) Patient-Specific Modeling of the Cardiovascular System Technology-Driven Personalized Medicine. New York: Springer. –2010. – P. 203–224.
5. Челнокова Н.О., Островский Н.В., Анисимова Е.А., Мурылев В.В. Соразмерность тотальных размеров тела, антропометрических параметров сердца и аорты взрослых мужчин // Саратовский научно-медицинский журнал. 2013. Т. 9. № 2. С. 220-224.
6. Островский Н.В., Челнокова Н.О., Голядкина А.А., Другакова Ю.С., Басенкова Е.В. Биомеханические параметры желудочков сердца человека // Фундаментальные исследования. 2015. № 1-10. С. 2070-2075.