

УДК 004.4

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРОВотоКА АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА ЧЕЛОВЕКА

И.И. КУДРЕНОК, В.А. ШУТОВИЧ, М.В. ДАВЫДОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. В работе выполнено имитационное моделирование кровотока аортального клапана человека при патологиях. Были визуализированы такие результаты как: скорость, давление. Исходя из полученных результатов, установлено, что при прохождении кровотока на участке аортального клапана наблюдается изменение скорости и давления. Из чего сделаны выводы о необходимости замены клапана.

Ключевые слова: аорта, клапан, аортальная недостаточность.

SIMULATION MODELING OF HUMAN AORTIC VALVE BLOOD FLOW

ILYA.I. KUDRENOK, VICTOR.A. SHUTOVICH, MAXIM.V. DAVIDOV

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. In this work we performed simulation modeling of the blood flow of the human aortic valve under pathologies. Such results as: velocity, pressure were visualized. Based on the results, it was found that when the blood flow in the area of the aortic valve, there is a change in velocity and pressure. From what the conclusions about the necessity of the valve replacement were made.

Keywords: aorta, valve, aortic insufficiency.

Введение

Аортальный клапан находится на границе левого желудочка сердца и аорты – самой крупной артерии тела. Аортальный клапан состоит из трех плотно прилегающих, треугольных лоскутов ткани, которые называются створки (см. рис. 1). Эти створки крепятся к аорте через так называемое кольцо. Сердечные клапаны открываются только в одну сторону. Створки аортального клапана могут открываться только в левый желудочек и кровь выбрасывается в аорту. Когда кровь прошла через клапан и левый желудочек расслабился, створки закрываются, чтобы кровь, которая только что прошла в аорту не забрасывалась в левый желудочек.[1]

Недостаточность аортального клапана является одним из видов приобретенных пороков сердца. На данный период времени клапанные пороки составляют 25% от всех заболеваний сердца. При недостаточности происходит неполное открытие или закрытие клапана, что приводит к обратному току крови из аорты в левый желудочек.

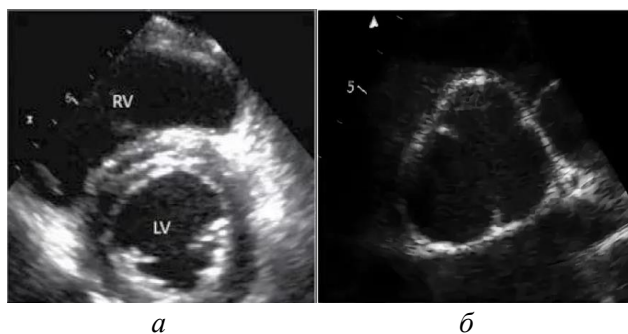


Рис. 1. Аортальный клапан: а – открытый; б - закрытый

Аортальная недостаточность характерна для пациентов любого возраста. Бывают случаи когда дети рождаются с 2-створчатый аортальным клапаном, что делает их больными с рождения, часто заболевание выявляется при присоединении грозного осложнения - инфекционного эндокардита или расслоения аорты. [2]

Степени порока по количеству регургитируемой крови:

- I степень — объем забрасываемой обратно крови не превышает 15 %;
- II степень — количество крови колеблется в диапазоне от 15 % до 30 %;
- III степень — объём крови составляет до 50 % от сердечного выброса;
- IV степень — в желудочек возвращается более половины от всей крови.

Методика проведения моделирования

Для более наглядного понимания было выполнено моделирование аорты с патологиями аортального клапана с использованием программного комплекса SolidWorks. Аорта подразделяется на 3 составные части: восходящая часть, дуга аорты и нисходящая часть. [3]

Построение клапана рассмотрим на модели закрытого клапана при стенозе. Так как аортальный клапан находится под корнем аорты, диаметр которого 30 см. То в первую очередь создаём эскиз окружности с радиусом 15 см и через операцию «Вытянутая бобышка/основание» вытягиваем эскиз (см. рис. 2). На одной из граней создадим эскиз патологии (см. рисунок 3). Далее с помощью операции «Вытянутый вырез» вырезаем наш эскиз (см. рис. 4).

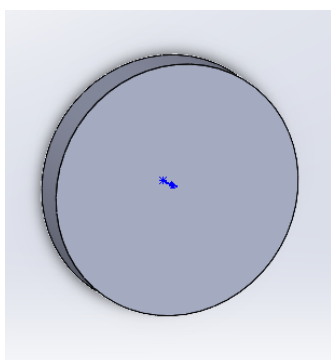


Рис. 2. Вытянутый эскиз

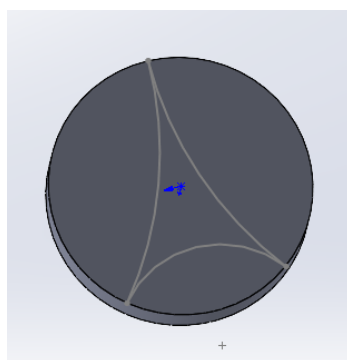


Рис. 3. Эскиз патологии

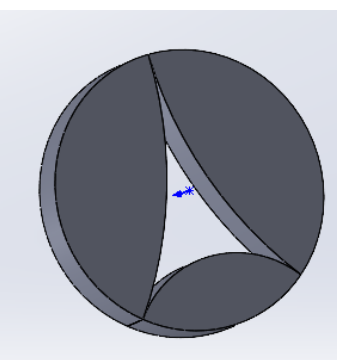


Рис. 4. Модель закрытого аортального клапана при стенозе

По таким же шагам создаём модель открытого клапана, закрытого клапана и открытого клапана при стенозе (см. рис. 5).

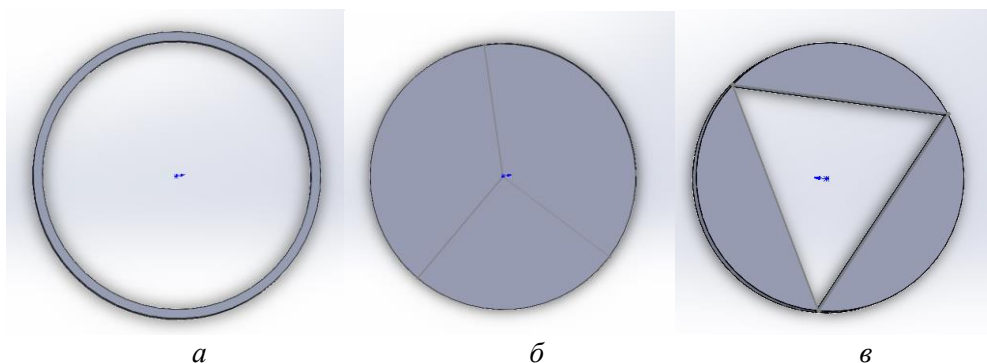


Рис. 5. Модель клапана: а - открытого; б - закрытого; в - открытого клапана при стенозе

Для моделирования кровотока необходимо построить модель аорты с левым желудочком (см. рис. 6).

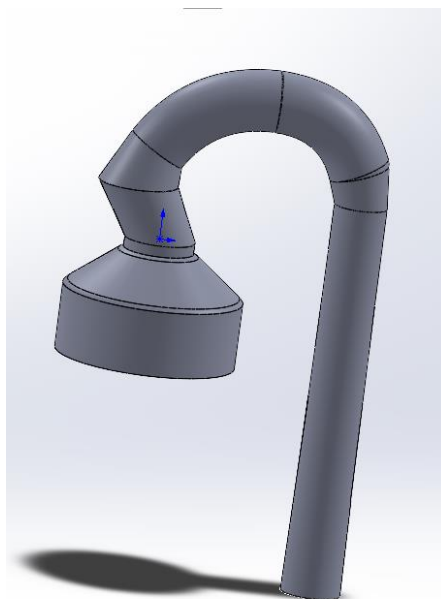


Рис. 6. Модель аорты с левым желудочком

Начальные условия при настройке FlowSimulation: массовый расход на входе 10kg/s, статическое давление при запуске 101325 Pa. Для запуска визуализации моделирования потока крови необходимо выбрать тип жидкости и задать её параметры (см. рис. 7).

Свойство	Значение
Имя	Кровь
Комментарии	
Плотность	1050 kg/m ³
Динамическая вязкость	0.003 Pa*s
Удельная теплоемкость (Cp)	3900 J/(kg*K)
Коэффициент теплопроводности	0.58 W/(m*K)
Эффект кавитации	<input type="checkbox"/>
Радиационные свойства	<input type="checkbox"/>

Рис. 7. Основные параметры крови

Результаты и их обсуждение

Исходя из полученных результатов, установлено, что при прохождении кровотока на участке аортального клапана наблюдается изменение скорости и давления. При клапане с закрытым стенозом скорость и давление кровотока после прохождения через клапан будут уменьшаться. При открытом стенозе – давление уменьшается, а скорость – увеличивается.

В программе построены графики, отражающие зависимости давления крови от поперечного диаметра аортального клапана (см. рис. 8 - 9).

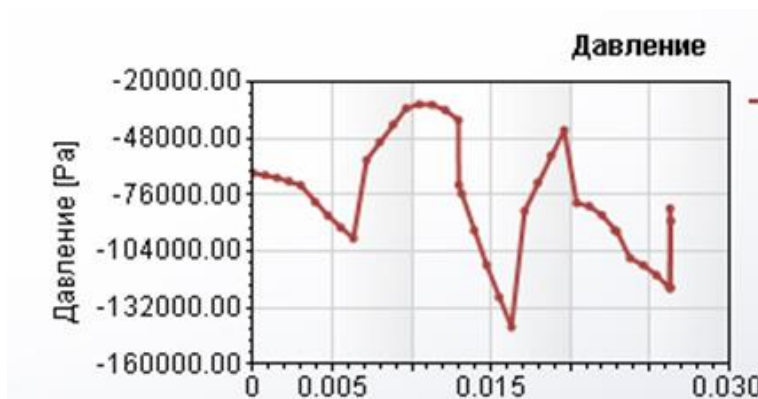


Рис. 8. График изменения давления кровотока в аорте при открытом стенозе клапана

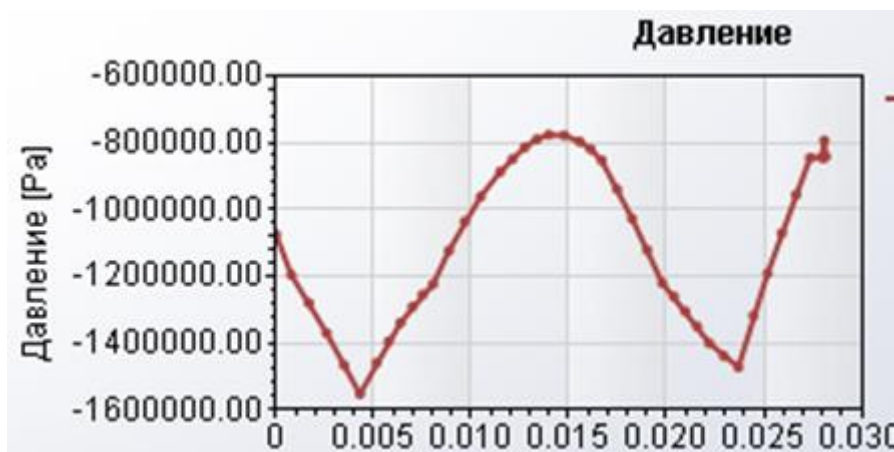


Рис. 9. График изменения давления кровотока в аорте при закрытом стенозе клапана

Исходя из полученных результатов, установлено, что на стенках аортального клапана наблюдается изменение давления по мере вхождения клапана в аорту. Мгновенное значение давления на границе клапана и аорты при патологиях приблизительно равны. Это может говорить о том, что наблюдается обратный ток крови.

Из-за неполного смыкания створок клапана происходит регургитация крови из аорты в желудочек во время систолы желудочков. Исходя из построенных моделей клапанов с патологиями можно определить по визуализированному кровотоку их степени порока исходя из регургитации. Наиболее отчетливая регургитация была показана при визуализации скорости кровотока. При построенной модели клапана с закрытым стенозом наблюдался объем регургитации крови почти 50 % от сердечного выброса, что соответствует III степени порока клапана. При построенной модели клапана с открытым стенозом наблюдался объем регургитации крови приблизительно 20 % от сердечного выброса, что соответствует II степени порока клапана.

При прохождении кровотока на участке аортального клапана наблюдается изменение скорости и давления. При клапане с закрытым стенозом скорость и давление кровотока после прохождения через клапан будут уменьшаться. При открытом стенозе – давление уменьшается, а скорость – увеличивается.

Наибольшее давление при прохождении кровотока в обоих случаях наблюдалось при прохождении дуги аорты.

Заключение

Предложенная имитационная модель позволяет произвести соответствующую оценку давления и скорости при прохождении кровотока в аорте в норме и при различных патологиях клапана. Полученная модель может быть персонализирована на основе данных УЗИ сердца. Полученные данные могут быть использованы при принятии решения о необходимости протезирования клапана сердца при аортальной недостаточности во избежание регургитации и обеспечению стабильной жизнедеятельности человека. В качестве протеза клапана рекомендуется использовать трехстворчатый механический протез.

Список литературы

1. Аортальный клапан [Электронный ресурс]. – Электронные данные – Режим доступа: cardiokurort.ru.
2. Аортальная недостаточность сердца [Электронный ресурс]. — Режим доступа: med-practic.com
3. Аорта, части аорты. Артерии и вены сердца [Электронный ресурс].