

- подавление помех с помощью ПП фильтра для визуализации ЭКС и дальнейшей обработки;
- точное обнаружение QRS комплексов с применением QRS фильтра – основа дальнейшего анализа.

Информация с ПП и QRS фильтров используется для классификации (распознавания формы) QRS комплексов, обнаружения и распознавания других элементов ЭКС, измерения амплитудно-временных параметров (АВП) ЭКС, формирования диагностических заключений.

При недостаточной эффективности помехоподавления (ПП) и обнаружения объем анализа ЭКС ограничивается.

Блоки (процедуры), выделенные на рисунке цветом – с использованием нелинейных преобразований; блок, ограниченный пунктиром – необязательный.

Реализация разработанной концепции помехоустойчивой обработки ЭКС при свободной двигательной активности позволит создать несколько взаимосвязанных помехоустойчивых методов и, таким образом, повысить эффективность диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кривоногов Л.Ю.* Борьба с помехами при получении и обработке электрокардосигнала. // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации: труды Международной НТК. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2008. – С. 80-84.
2. *Кривоногов Л.Ю.* Методы и алгоритмы помехоустойчивой обработки электрокардиографической информации. Дис. ... канд. техн. наук. – Пенза, 2003.
3. *Кривоногов Л.Ю.* Перспективы применения нечеткой математики для анализа электрокардосигнала // Информационно-измерительная техника: Межвуз. сб. науч. тр. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. – Вып. 31. – С. 145-149.

Кривоногов Леонид Юрьевич

Пензенский государственный университет.

E-mail: leonidkrivonogov@yandex.ru.

440605, г. Пенза, ул. Клары Цеткин, 39-53, тел.: (906)3960585.

Доцент, к.т.н.

Krivonogov Leonid Yurievich

Penza State University.

E-mail: leonidkrivonogov@yandex.ru.

39-53, st. K. Tzetkin, Penza, 440605, Russia, Phone: (906)3960585.

Lecturer, Cand. Tech. Sci.

УДК 612.76 (075)

Е.А. Лебедева, С.М. Лазарев, А.Н. Андриевский

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ АОРТЫ В НОРМЕ И ПРИ КОАРКТАЦИИ У ДЕТЕЙ ПЕРВЫХ МЕСЯЦЕВ ЖИЗНИ

Известно два способа коррекции коарктации аорты: хирургический и эндоваскулярный. Серьезной проблемой эндоваскулярного метода является рекоарктация аорты, частота которой достигает 40-70 %, причем у детей младшего возраста наблюдается чаще, а также возможные другие серьезные осложнения вплоть до летальных. Поэтому для решения данной проблемы был разработан алгоритм расчёта обоснованного давления в баллоне для детей первых лет жизни. Внедрение этого метода позволяет учесть индивиду-

дуальные особенности геометрических размеров аорты и патологии конкретного пациента, и определять величину механического воздействия, необходимого для восстановления просвета аорты при сохранении ее функциональных свойств.

Биомеханическое моделирование; коарктация аорты.

E.A. Lebedeva, S.M. Lazarev, A.N. Andrievskiy

BIOMECHANICAL INVESTIGATION OF THE CONDITION OF AORTA IN NORM AND IN THE PRESENCE OF COARCTATION IN CHILDREN FIRST MONTHS LIFE

There are two ways to correct coarctation of the aorta: surgical and endovascular. A major problem the of endovascular method is recoarctation aorta, the frequency of which reaches 40-70 %, with young children occurs more frequently, as well as possible other serious complications until death. Therefore, to solve this problem was developed algorithm for calculating the valid pressure in the tank for the children during the first years of life. Introduction of this method allows you to considered the geometric dimensions of the aorta and the pathology of the individual patient, and determine the amount of mechanical action needed to restore the lumen of the aorta, while maintaining its functional properties.

Biomechanical modeling; coarctation of aorta.

Коарктация аорты представляет собой врождённое сужение просвета аорты различной степени выраженности, которое может находиться в любом месте, но чаще всего располагается в области перешейка аорты, то есть на коротком участке аортальной дуги между местом отхождения левой подключичной артерии и артериального протока.

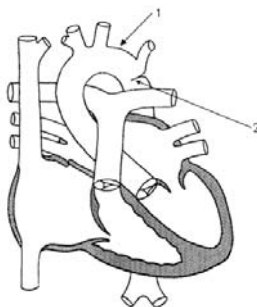


Рис. 1. Схема коарктации аорты: 1 – аорта, 2 – зона коарктации

Частота порока составляет от 6,3 % до 15 % всех врождённых пороков сердца. Осложнения, возникающие при коарктации аорты: у детей раннего возраста порок часто осложняется развитием недостаточности кровообращения; у детей старшего возраста может возникнуть разрыв аорты, который чаще наблюдается в области расширенной восходящей аорты выше коарктации (ввиду врождённой неполноценности ее стенки в сочетании с гипоплазией); развитие аневризмы аорты ниже места коарктации, также угрожающей разрывом; нарушения мозгового кровообращения, кровоизлияния в мозг. Без своевременного хирургического лечения погибают на первом году жизни от 50 % до 90 % детей.

Известно два способа коррекции коарктации аорты: хирургический и эндоваскулярный (катетерная баллонная ангиопластика, дополняемая в ряде случаев стентированием дилатированного участка аорты). Показанием для хирургического вмешательства при коарктации аорты служит наличие градиента систолического

давления между верхними и нижними конечностями более 20 мм рт. ст. Проявления коарктации в первые дни и месяцы жизни свидетельствуют о значительной тяжести заболевания, и хирургическое вмешательство часто выполняют в неотложном порядке. При этом плохая насосная функция левого желудочка не является противопоказанием к операции, так как это в большинстве случаев связано с механическим препятствием в аорте, и после коррекции порока нормальный объем выброса быстро восстанавливается.

В настоящее время у детей предпочтение отдают двум основным методикам проведения хирургического вмешательства – резекции коарктации с анастомозом конец-в-конец и истмопластике аорты левой подключичной артерией. Однако при последней операции возможно развитие ряда специфических осложнений (нарушение магистрального кровотока в левой руке, синдром обкрадывания головного мозга). Таким образом, возникающие осложнения заставляют пересмотреть показания к истмопластике аорты левой подключичной артерией, которая может быть рекомендована только в редких, анатомически и технически сложных случаях. При анастомозе конец-в-конец риск развития рекоарктации аорты быстро снижается с совершенствованием техники операции. В настоящее время частота ее колеблется от 0,5 до 10 % при наблюдениях до 10 лет. В связи с этим данная операция становится доминирующей.

Метод ангиопластики заключается в том, что в суженный кровеносный сосуд вводится катетер с надувающимся баллоном, контролируя ход процедуры на мониторе с помощью рентгена. Этот баллон, надуваясь, расширяет просвет артерии и таким образом восстанавливается кровоток. Иногда ангиопластика дополняется стентированием. Стент – это проволочная цилиндрической формы конструкция, служащая каркасом для участка артерии. Но для пациентов первых лет жизни стенты не ставятся, потому что диаметр аорты очень мал. Серьезной проблемой катетерной баллонной ангиопластики коарктации является рекоарктация аорты, частота которой достигает 40-70 %, причем у детей младшего возраста наблюдается чаще. Также катетерная баллонная ангиопластика может давать другие серьезные осложнения вплоть до летальных. Наиболее тяжелым из них является кровотечение в результате разрыва аорты, причиной которого является слишком большое давление, поданное в дилатационный баллон. Если же давление недостаточное, то операция является неэффективной, так как остается систолический градиент давления. Сейчас не существует каких-либо специальных методик, позволяющих рассчитать обоснованное давление, и хирург должен полагаться на свой опыт и чутьё. Так же высок (6-55 %) риск развития аневризм в зоне коарктации как непосредственно после катетерной баллонной ангиопластики, так и в отдаленные сроки после неё.

Поэтому целью работы являлась разработка алгоритма расчёта обоснованного давления в баллоне. Данную задачу необходимо было решить для детей первых лет жизни. При этом было учтено, что просвет аорты в зоне коррекции коарктации должен быть создан с учётом потребностей взрослого организма.

Для этого были построены содержательная и компьютерная модели коррекции коарктации аорты для исследования напряженно-деформированного состояния и проведены исследования напряженно-деформированного состояния при коррекции коарктации аорты от геометрических параметров и механических свойств сегмента аорты.

Для составления содержательной модели были схематизированы: свойства материала, геометрия рассчитываемого тела, условия его закрепления и внешняя нагрузка. Схема содержательной модели дилатации коарктации аорты приведена на рис. 2.

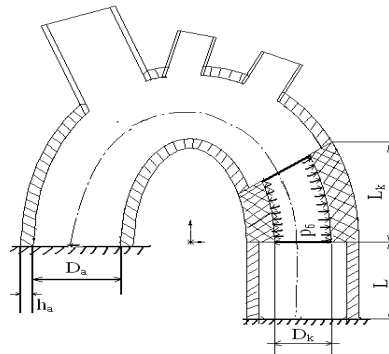


Рис. 2. Схема содержательной модели дилатации суженного участка аорты

Приняты следующие обозначения: h_a – толщина стенки аорты, D_a – внутренний диаметр аорты, D_k – внутренний диаметр суженного сегмента, L_k – длина коарктации аорты, L – участок аорты, находящейся за коарктацией, p_b – давление в гибком баллоне. При построении содержательной модели баллонной дилатации коарктации аорты введены допущения: 1) материалы аорты и суженного участка однородные и изотропные; 2) нагрузка гибким баллоном распределена равномерно по суженному участку сегмента аорты. Схематизация закрепления структур сегментов аорты – жесткое защемление по торцам аорты.

Геометрическая модель сегмента сосуда с коарктацией аорты строится в программе Solid Works. В систему пространственного моделирования SolidWorks интегрирован пакет конечно-элементного анализа COSMOS Works. Пакет COSMOS Works с абсолютной точностью воспринимает геометрические объекты Solid Works. В программе COSMOS: 1) вводятся механические свойства материала сегмента сосуда и коарктационного сегмента, граничные условия, внешние нагрузки; 2) производится разбиение модели на конечные элементы; 3) проводятся вычисления напряжений, перемещений и деформаций в рассматриваемой модели.

Значения модулей нормальной упругости и допускаемых напряжений аорты и коарктационного сегмента получены при исследовании на растяжение на установке Instron образцов из тканей, иссеченных при хирургических операциях. Экспериментальные исследования проведены совместно с кафедрой хирургических болезней № 2 Медицинской академии им И.И Мечникова.

Было исследовано напряженно-деформированное состояние аорты с коарктацией при подборе обоснованного давления в дилатационном баллоне, обеспечивающего необходимое перемещение (u) стенок коарктационного сегмента:

$$u = (R_a - R_{kc}) * 1,05 .$$

Первая модель – баллонной дилатации аорты с коарктацией ребенка в возрасте 1 месяц. На рис. 3 приведены эпюры напряжений, перемещений для данной модели.

Геометрические параметры и механические характеристики аорты в зоне дилатации: внутренний диаметр 4,7 мм, толщина передней и задней стенок 0,6 мм, диаметр коарктационного сегмента 2,8 мм, длина коарктационного сегмента 4 мм, модуль нормальной упругости передней и задней стенок аорты 0,9 МПа и коарктационного сегмента 0,95 МПа, коэффициент Пуассона аорты и коарктационного сегмента 0,4. При давлении накачки баллона 727 кПа перемещение в зоне коарктации 1 мм, экстремальное значение напряжений по Мизесу 0,21 МПа.

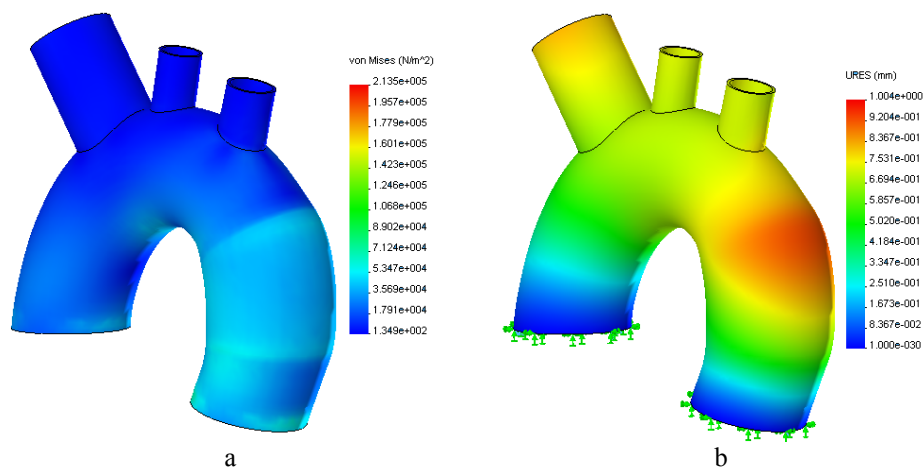


Рис. 3. Эпюры напряжений (a) и перемещений (b) при дилатации коарктации аорты ребенка в возрасте 1 месяц

Вторая модель – баллонной дилатации аорты с коарктацией ребенка в возрасте 3 месяцев. На рис. 4 приведены эпюры напряжений и перемещений для данной модели.

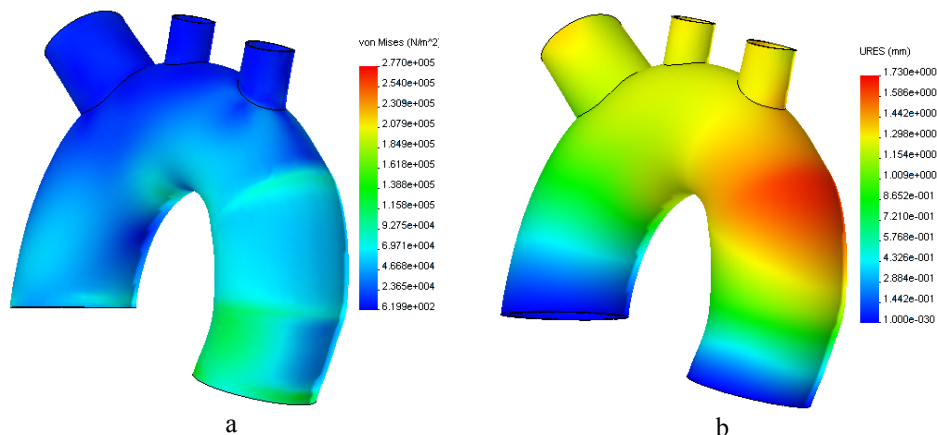


Рис. 4. Эпюры напряжений (a) и перемещений (b) при дилатации коарктации аорты ребенка в возрасте 3 месяцев

Геометрические параметры и механические характеристики аорты в зоне дилатации: внутренний диаметр 7,7 мм, толщина передней и задней стенок 0,7 мм, диаметр коарктационного сегмента 4,4 мм, длина коарктационного сегмента 6 мм, модуль нормальной упругости передней и задней стенок аорты 0,95 МПа и коарктационного сегмента 1,1 МПа, коэффициент Пуассона аорты и коарктационного сегмента 0,4. При давлении накачки баллона 810 кПа перемещение в зоне коарктации 1,7 мм, экстремальное значение напряжений по Мизесу 0,28 МПа.

В результате проведенной работы: 1) построены модели баллонной дилатации коарктации аорты; 2) проведены экспериментальные исследования модуля нормальной упругости в окрестности дуги аорты и коарктационного сегмента на образцах биологических структур, иссеченных при хирургических операциях.

Раздел I. Фундаментальные основы медицинского приборостроения

В результате проведенных экспериментальных исследований получены данные о модуле нормальной упругости аорты в норме и при наличии коарктационного сегмента, а также проанализирована зависимость изменения модуля упругости в зависимости от возраста. Проведен биомеханический анализ состояния аорты, позволяющий выбрать обоснованное давление при дилатации коарктации аорты у пациентов первых лет жизни в зависимости от геометрических параметров и механических свойств аорты и коарктационного сегмента.

Лебедева Елена Александровна

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ».
E-mail: lenlea@inbox.ru.
197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, тел.: (812)2349071.
Доцент, к.т.н.

Lebedeva Elena Alexandrovna

Saint-Petersburg Electrotechnical University «LETI».
E-mail: lenlea@inbox.ru.
5, Prof. Popov str., St. Petersburg, 197376, Russia, Phone: (812)2349071.
Associate professor, Cand. Eng. Sc.

Лазарев Сергей Михайлович

Санкт-Петербургская государственная медицинская академия им. И.И. Мечникова.
E-mail: 13andron1976@mail.ru.
195067, г. Санкт-Петербург, Пискаревский пр., 7, тел.: (812)5435071.
Кафедра хирургических болезней №2, заведующий, д.м.н., профессор.

Lazarev Sergey Mikhailovich

Saint-Petersburg state medical academy of I.I. Mechnikov.
E-mail: 13andron1976@mail.ru.
7, Piskarevskiy pr., Saint-Petersburg, 195067, Russia, Phone: (812)5435071.
Department of Surgical Illnesses №2, head, professor, Doctor Med. Sc.

Андриевский Андрей Николаевич

Санкт-Петербургская государственная медицинская академия им. И.И. Мечникова.
E-mail: 13andron1976@mail.ru.
195067, г. Санкт-Петербург, Пискаревский пр., 7, тел.: (812)5435071.
Кафедра хирургических болезней №2, аспирант.

Andrievskii Andrey Nikolaevich

Saint-Petersburg state medical academy of I.I. Mechnikov.
E-mail: 13andron1976@mail.ru.
7, Piskarevskiy pr., Saint-Petersburg, 195067, Russia, Phone: (812)5435071.
Department of Surgical Illnesses №2, post-graduate student.

УДК 531:612

В.А. Аль-Муалем, К.Д. Али Кассим, С.А. Филлист

МОДЕЛИ РИСКОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С УЧЕТОМ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ

В статье предлагается технология определения вязкоупругих свойств тканей посредством измерения скорости распространения пульсовой волны и анализа ее диссипативных свойств.

Скорость распространения пульсовой волны; гармоники пульсовой волны; модель сердечного риска.