

Список литературы:

1. Бичурина М.А. Вспышка кори в детской больнице Санкт-Петербурга в 2012 году / М.А. Бичурина, Е.В.Тимофеева, Н.В. Железнова и др. // Журнал инфектологии, 2013. – Т. 5 – № 2. – С. 96–102.
2. Герасимов А.Н. Математическое моделирование системы «паразит-хозяин»: автореф. дис. ... док. физ.-мат. наук / А.Н. Герасимов. – М., 2009. – 46с.
3. Голубкова А.А. Эпидемический процесс коревой инфекции в период ее элиминации и стратегические направления контроля в условиях реального времени / А.А. Голубкова, Т.А. Платонова, А.Н. Харитонов и др. // Пермский медицинский журнал. – 2017. – Т. 34. – № 4. – С. 67-73.
4. Скрыбина С.В. Вспышка кори в Свердловской области / С.В. Скрыбина, С.А. Ковязина, С.В. Кузьмин и др. // Эпидемиология и вакцинопрофилактика, 2017. – № 2 (99). – С.50–56.
5. Цвиркун О.В. Эпидемический процесс кори в различные периоды вакцинопрофилактики: дис. ... д-ра мед. наук / О.В. Цвиркун. – М., 2014. – 40с.

УДК 617-089

**Полухинских А.Э., Породилов А.А., Кучумов А.Г.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ «АОРТА-ЛЕГОЧНАЯ АРТЕРИЯ-ШУНТ»**

Кафедра сердечно-сосудистой хирургии и инвазивной кардиологии Пермского государственного медицинского университета имени академика Е.А. Вагнера
Минздрава России
Пермь, Российская Федерация

**Poluhinskih A.E., Porodikov A.A.
MATHEMATICAL MODELING OF THE BIOMECHANICAL SYSTEM
«AORTA-PULMONARY ARTERIA-BYPASS»**

Department of Cardiovascular Surgery and Invasive Cardiology
Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner
Perm, Russian Federation

E-mail:POLUHINSKIH.DOC@MAIL.RU

Аннотация: В статье рассмотрены возможности применения математического моделирования и создания биомеханической системы «аорта - легочная артерия-шунт» для визуализации и планирования оперативного вмешательства при коррекции врожденных пороков развития сердца.

Annotation: The article deals the possibility of using mathematical modeling and creating a biomechanical system “aorta-pulmonary artery-shunt” for visualization and planning of surgical intervention for the correction of congenital heart defects.

Ключевые слова: кардиохирургия, моделирование, биомеханические модели.

Key words: cardiosurgery, mathematical modeling, biomechanical system.

Введение: Врожденные пороки сердца (ВПС) составляют 30% среди всех пороков развития у детей и выявляются у 0,7-1,7% новорожденных детей [1]. В настоящее время кардиохирургии известно более 90 вариантов ВПС и множество их сочетаний. Классификация ВПС, разработанная в институте сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева основана на анатомических особенностях и гемодинамических нарушениях при различных вариантах пороков сердца. Согласно данной классификации выделяют: ВПС бледного типа с артериовенозным шунтом – дефект межжелудочковой перегородки, дефект межпредсердной перегородки, открытый артериальный проток; вторая группа включает ВПС синего типа с веноартериальным шунтом – транспозиция магистральных сосудов, тетрада Фалло, триада Фалло, атрезия трикуспидального клапана и т.д. К третьей группе относятся ВПС без сброса, но с препятствием на пути кровотока из желудочков – стенозы легочной артерии и аорты, коарктация аорты[2]. Среди множества описанных вариантов ВПС, особого внимания заслуживают обструктивные поражения разных сегментов выводного тракта правого желудочка, относящиеся к «синим» ВПС. Особый интерес кардиохирургов к данной группе обусловлен высокой частотой встречаемости - 25–30% от общего числа пороков развития сердца, а также сложностью гемодинамической коррекции у данной группы пациентов. Лечение пациентов при ВПС синего типа, во многих случаях носят паллиативный характер и направлены на увеличение легочного кровотока путем создания системно-легочного анастомоза между большим и малым кругами кровообращения. Стоит отметить, что техника хирургического лечения данных пациентов может быть представлена как одномоментной коррекцией, так и проведением многоэтапного создания системно-легочных анастомозов. Радикальная операция приоритетней ввиду того, что возможно одномоментное восстановление нормальной гемодинамики, однако большинству пациентов, по причине серьезных анатомических и гемодинамических изменений, не удастся восстановить кровообращение единственным оперативным вмешательством, поэтому выбор хирургической тактики склоняется в сторону многоэтапной коррекции[5]. Эра этапного лечения сложных ВПС началась в 1945 году, когда хирург А. Blalock и кардиолог Н. В. Taussig впервые выполнили анастомоз между подключичной и легочной артерией у ребенка с тетрадой Фалло. В настоящее время наиболее часто используется модифицированный Блелок-Тауссиг-шунт (МБТШ), который впервые был выполнен д'Левалем (1975г.) и является технически более простым вариантом классического шунта. Анастомоз накладывается между левой или правой подключичной и легочной артериями с помощью политетрафторэтиленового протеза (4-6 мм в диаметре) и является стандартной промежуточной паллиативной операцией при цианотических пороках для обеспечения дозированного легочного кровотока.

Актуальность проблемы формирования межсистемного анастомоза определяется тем, что не смотря на многолетний опыт использования данной техники в кардиохирургической практике, операция наложения МБШТ продолжает оставаться операцией относительно высокого риска с общей смертностью 7,2% (в исследованиях показана смертность от 3,7% до 14%). Несмотря на то, что операция выполняется чаще всего как процедура без искусственного кровообращения [3]. Процент послеоперационной летальности при МБШТ конкурирует с риском смертности в диапазоне многих неонатальных процедур на открытом сердце с искусственным кровообращением. Например, данные из отчета европейской ассоциации сердечно-сосудистых хирургов (2010г.) показывают, что МБШТ существенно рискованнее, чем операция с артериальным переключением и закрытием дефекта межжелудочковой перегородки (6,9% смертности) и немного более безопасна, чем восстановление перерыва дуги аорты (8,1% смертности). Больничная смертность при боковых МБШТ и центральных позициях шунтов составляет 10,2% и 14,2% соответственно, что значительно выше, чем при операциях коррекции других, более сложных патологии. К потенциальным причинам высокой послеоперационной смертности при создании шунтов относят чрезмерную объемную нагрузку, острый тромбоз и низкое диастолическое артериальное давление, что неизбежно приводит к развитию сердечной недостаточности. Низкий вес тела (менее 3 кг) и большой размер шунта на килограмм массы тела также считают факторами, связанными с высокой послеоперационной смертностью. В свою очередь крупный размер шунта также может приводить к чрезмерной легочной циркуляции и объемной перегрузке сердца[4]. На функционирующий шунт действуют множественные факторы, и как правило все они направлены на ухудшение его функции. Приблизительно у четверти пациентов наблюдаются стенозы более 50% диаметра. У 40% наблюдается сужение от 25 до 50%, и лишь у одной трети пациентов встречается нарушение проходимости лишь на 25%. Таким образом данная хирургическая операция по созданию анастомоза между системным и легочным кровообращением, несмотря на кажущуюся техническую простоту выполнения анастомозов, не так проста, и требует колоссального хирургического опыта, что подчас и делает её одной из сложнейших кардиохирургических операций. Кроме того, в большинстве случаев выбор шунта, диаметра и методики создания анастомоза является эмпирическим, что приводит к большому риску послеоперационных осложнений и еще большему риску послеоперационной смертности, что невозможно в эру доказательной медицины. В решении задачи планирования и выбора оптимальных показателей МБШТ стоит использование новейших технологий, таких как математическое моделирование. В работах, посвященных компьютерному моделированию данной операции заложен огромный посыл на перспективу, когда с помощью физики и математики, а не только эмпирически методом возможно с минимальным риском и максимальным эффектом определить

локализацию, диаметр, и возможно ряд дополнительных параметров, которые позволят добиться значительного снижения летальности в данной группе пациентов.

Цель - провести математическое моделирование различных позиций МБШТ в раннем послеоперационном периоде.

Материалы и методы: проведено клиническое обследование 4 пациентов в возрасте 3, 5, 6 и 13 суток соответственно, с атрезией легочной артерии и дефектом межжелудочковой перегородки (ДМЖП). Данным пациентам в возрасте до 2х недель была выполнена операция по созданию МБШТ. В трёх случаях был использован шунт разного диаметра (3,5 и 4,0мм) и выполнялся между брахиоцефальной артерией и правой легочной артерией. В одном случае выполнялось формирование центрального шунта 3,5 мм между восходящей аортой и бифуркации легочных артерий. На основе данных МСКТ ангиографии была построена индивидуализированная биомеханическая модель системы «аорта-легочная артерия-шунт» для анализа гемодинамики в данной области. Клиническая часть исследования была проведена на базе «Федерального центра сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова», на кафедре сердечно-сосудистой хирургии и инвазивной кардиологии ПГМУ. Математическое моделирование было проведено на базе Пермского национального исследовательского политехнического университета. Для создания биомеханической модели была использована программа Ansys.

Результаты исследования и их обсуждение: при составлении индивидуализированной биомеханической модели системы «аорта-легочная артерия-шунт» (рис.1), показано, что поток по легочным артериям был несимметричен при всех типах шунтов, а при центральной конфигурации более 40% в пользу левой легочной артерии. Также, было установлено, что центральная позиция шунта значительно снижает давление перфузии коронарных артерий. Для биомеханической оценки тромбирования и дальнейшего стенозирования нами был использован показатель касательного напряжения на стенке (Wall Shear Stress), с помощью которого мы выяснили, что при центральной конфигурации шунта наблюдается самое низкое среднее касательное напряжение на стенке, но тем не менее данное распределение однородно(рис.2).

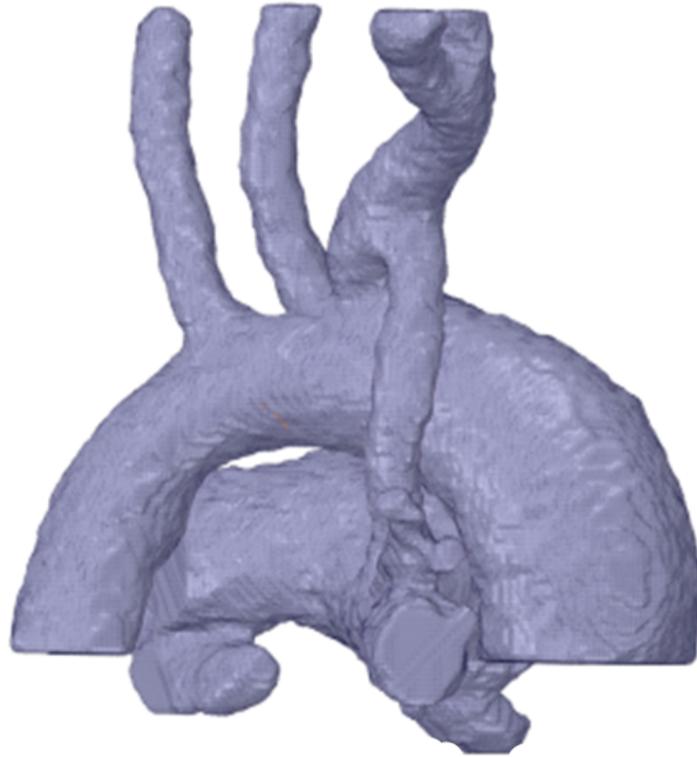


Рис.1 3D модель системы «аорта-легочная артерия-шунт» для гидродинамических расчётов

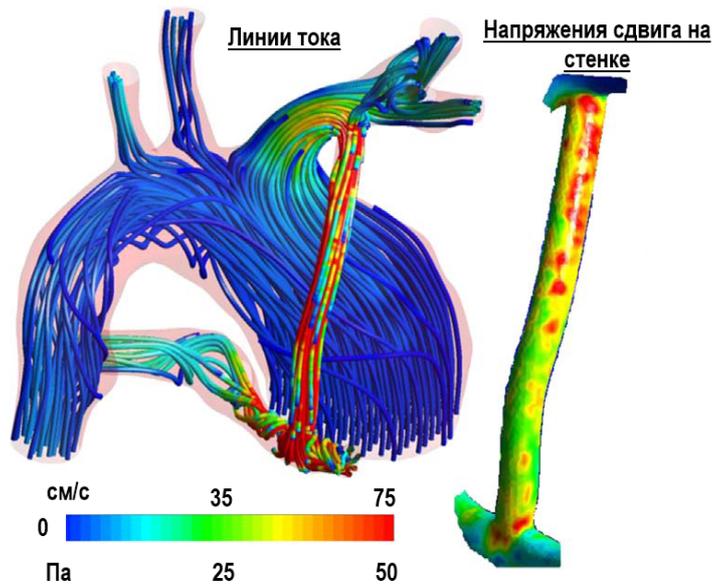


Рис.2 Касательное напряжение на стенке (Wall Shear Stress)

Выводы: таким образом, выполнение математического моделирования позволяет проанализировать эффективность функционирования шунта при различных его модификациях, спрогнозировать отдаленные результаты в зависимости от индивидуальных данных пациента и снизить послеоперационную смертность пациентов данной группы. В перспективе математическое моделирование может помочь хирургу в выборе локализации и размера шунта ещё на этапе планирования операции.

Список литературы:

1. Бокерия Л.А., Подзолков В.П. Проблема врожденных пороков сердца: современное состояние и перспективы решения // Российские медицинские вести. – 2001. – №3. – С. 70-72.
2. Чепурных Елена Евгеньевна, Григорьев Евгений Георгиевич Врожденные пороки сердца // Сиб. мед. журн. (Иркутск). 2014. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vrozhdennye-poroki-serdtsa> (дата обращения: 19.02.2019).
3. Curzon CL, Milford-Beland S, Li JS, et al. Cardiac surgery in infants with low birth weight is associated with increased mortality: analysis of the Society Of Thoracic Surgeons Congenital Heart Database. J Thorac Cardiovasc Surg 2008; 135:546
4. Dirks V, Prêtre R, Knirsch W, et al. Modified Blalock Taussig shunt: a not-so-simple palliative procedure. Eur J Cardiothorac Surg 2013; 44: 1096-102
5. McKenzie ED, Khan MS, Samayoa AX, et al. The Blalock-Taussig shunt revisited: a contemporary experience. J Am Coll Surg. 2013;216(4): 699-704.

УДК 612.176.4

**Тимохина В.Э.¹, Мехдиева К.Р.¹, Захарова А.В.¹, Бляхман Ф.А.^{1,2}
ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МИОКАРДА У
АТЛЕТОВ С ДИСПЛАЗИЕЙ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ**

¹Институт физической культуры, спорта и молодежной политики
Уральский федеральный университет имени первого президента России
Б.Н. Ельцина

²Отдел биомедицинской физики и инженерии, ЦНИЛ
Уральский государственный медицинский университет,
Екатеринбург, Российская Федерация

**Timokhina V.E.¹, Mekhdieva K.R.¹, Zakharova A.V.¹, Blyakhman F.A.^{1,2}
PECULIARITIES OF ELECTRICAL ACTIVITY OF MYOCARDIUM IN
ATHLETES WITH CONNECTIVE TISSUE DYSPLASIA**

¹Institute of Physical Education, Sport and Youth Policy
Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin

²Biomedical physics and engineering department
Ural State Medical University
Yekaterinburg, Russian Federation