

Эхокардиографические критерии оценки закручивания потока крови в полости левого желудочка в период его диастолы у детей

Н.Ф. Прийма, Д.О. Иванов, Н.П. Бурэ, В.В. Попов

Санкт-Петербургская государственная педиатрическая медицинская академия, Санкт-Петербург, Россия

Прийма Н.Ф. — кардиолог, к.м.н., старший научный сотрудник Санкт-Петербургской государственной педиатрической медицинской академии (СПбГПМА); Иванов Д.О. — педиатр, д.м.н., директор института перинатальной медицины Федерального Центра сердца крови и эндокринологии им. акад. В.А.Алмазова Росмедтехнологий; Бурэ Н.П. — педиатр, к.м.н., научный сотрудник СПбГПМА; Попов В.В. — кардиолог, к.м.н., старший научный сотрудник СПбГПМА.

Контактная информация: лаборатория «Новых медицинских технологий» Научно-Исследовательского центра Санкт-Петербургской государственной педиатрической медицинской академии, Литовская ул., д. 2, 194100 Санкт-Петербург, Россия. Тел: +7 (812) 542-04-44. E-mail: Nikpriima@rambler.ru (Прийма Николай Федорович).

Резюме

Цель исследования — изучить гемодинамику в период диастолического наполнения полости левого желудочка у детей, используя ультразвуковые доплеровские методы. **Материалы и методы.** Исследовано 50 детей: 20 девочек и 30 мальчиков в возрасте от 5 дней до 18 лет, среди них 15 спортсменов. Ультразвуковое исследование проводилось с использованием ультразвукового сканера «SonoACE-9900». У всех пациентов в полости левого желудочка была зарегистрирована волна двухфазной амплитуды «Sh-волна», тяготеющая к пику «Е» трансмитрального потока. Были изучены скоростные характеристики положительной и отрицательной фаз волны и длительность последней. **Результаты.** Исследование показало, что в группе детей со средней частотой синусового ритма $95,4 \pm 5,2$ в мин. длительность «Sh-волны» составила $39,4 \pm 10,6$ мсек., а скоростные характеристики положительной и отрицательной фаз $75,4 \pm 9,4$ см/сек. и $41,3 \pm 6,5$ см/сек. соответственно. У детей-спортсменов с синусовой брадикардией (средняя ЧСС $58,7 \pm 2,3$ в мин.) длительность «Sh-волны» была более значительной и составила $66,1 \pm 15,2$ мсек., отмечены более высокие скоростные характеристики положительной фазы $78,8 \pm 11,3$ см/сек. и более низкие характеристики отрицательной фазы $32,6 \pm 5,3$ см/сек. **Заключение.** Во время диастолического наполнения левого желудочка в его полости может формироваться шарообразный поток крови. При ультразвуковом доплеровском исследовании последний регистрируется как сигнал двухфазной амплитуды на уровне средней трети полости левого желудочка.

Ключевые слова: эхокардиография, внутрисердечная гемодинамика, трансмитральный поток, синусовая брадикардия, шарообразное закручивание потока крови.

Echocardiography criteria of blood turbulence in the left ventricle during diastole in children

N.F. Priima, D.O. Ivanov, N.P. Bure, V.V. Popov

Research Center of St Petersburg State Pediatric Medical Academy, St Petersburg, Russia

Corresponding author: Research Center of St Petersburg State Pediatric Medical Academy, 2 Litovskaya st., 194100 St Petersburg, Russia. Phone: +7 (812) 542-04-44. E-mail: Nikpriima@rambler.ru (Priima Nikolay, MD, PhD, cardiologist, senior researcher of the Research Center of St Petersburg State Pediatric Medical Academy).

Abstract

Objective. To study the hemodynamics in left ventricle (LV) cavity of the left ventricle by Doppler method. Design and methods. 50 children (20 female, 30 male) including 15 athletes (aged from 5 days to 18 years old) were examined. Ultrasonic scanner «SonoACE-9900» was used. Results. The wave with biphasic amplitude on peak E of transmitral blood stream (named «Sh»-wave) was registered when the «control volume» was placed in LV cavity, and its velocity characteristics and duration of positive and negative phases were determined. Children with average heart rate $95,4 \pm 5,2$ b/min. «Sh»-wave duration was $39,4 \pm 10,6$ msec, and velocity characteristics of positive and negative phases were $75,4 \pm 9,4$ and $41,3 \pm 6,5$ cm/sec. respectively. Athletes with sinusal bradycardia (average heart rate $58,7 \pm 2,3$ b/min.) had longer «Sh»- waves ($66,1 \pm 15,2$ msec), higher velocity characteristics of positive phase ($78,8 \pm 11,3$ cm/sec.) and lower velocity of negative phase ($32,6 \pm 5,3$ cm/sec.). Conclusion. The spherical turbulent blood stream in the LV can be formed during diastolic filling. It presents as an echo-signal of biphasic amplitude in the middle third of LV.

Key words: echocardiography, intracardiac hemodynamics, transmitral blood stream, sinus bradycardia, blood turbulence.

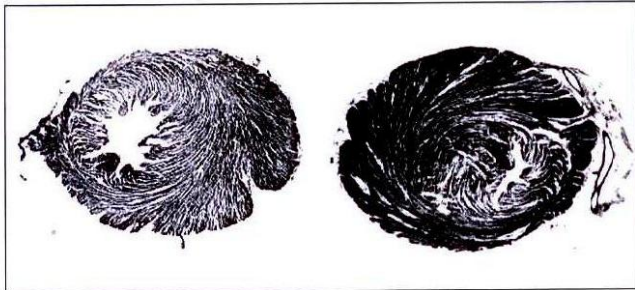
Статья поступила в редакцию: 30.06.09. и принята к печати: 29.07.09.

Введение

Профилактика и лечение артериальной гипертензии, ишемической болезни сердца и сердечной недостаточности, остается приоритетным направлением современной кардиологии. Наиболее перспективным представляется поиск и профилактика ранних доклинических признаков заболевания. На современном этапе развития техники одним из самых информативных и доступных методов диагностики заболеваний сердца является эхокардиографическое исследование [1–2]. Благодаря эхокардиографическим данным стало понятно, что сокращение и расслабление миокарда — сложные многоступенчатые процессы, а движение крови в полостях сердца не объясняется в полной мере движением ламинарного и турбулентного потоков.

Известным является тот факт, что на 22-е сутки эмбрионального развития начинается пульсация сердечной трубки, а на 34-е сутки сердечная трубка закручивается на 180 градусов, что и становится основой для увеличения силы сокращений и формирования винтообразного строения миокарда. На уровне верхушки желудочков формируется «сердечный водоворот» (vortex cordis), известный анатомам с давних времен [3]. Его формируют волокна поверхностного мышечного слоя передней поверхности сердца, отходящие от передних дуг фиброзных колец, а также от конусного сухожилия легочного ствола и направляются косо вниз к боковым краям сердца (рис. 1).

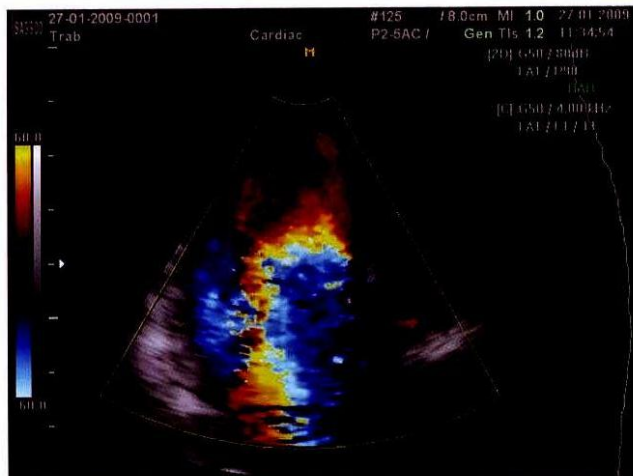
Рисунок 1. Поперечные срезы левого желудочка на уровне верхушки



Примечание: слева диастола, справа систола; строение фиброзных колец, миокарда и трабекулярного аппарата подтверждают «винтообразность» строения.

Принцип спирального закручивания повторяется на всех уровнях макро- и микроструктуры сердца. Исследование спиралевидной структуры внутренней поверхности левого желудочка проводилось в экспериментах путем измерения и сопоставления параметров трабекулярного аппарата слепков левых камер сердца людей, умерших не от заболеваний сердца. Слепки изготавливались с помощью заполнения камер сердец, остановившихся в разные фазы цикла сокращения, быстротвердеющей массой — протакрил [2]. Для количественного описания движения внутренней стенки левого желудочка измерялись углы между характерными линиями трабекулярности и секущими плоскостями параллельными фиброму кольцу митрального клапана [2–4]. Полученные данные привели к выводу, что спиралевидная форма линий трабекулярности, а также эффект разворота трабекул, су-

Эхокардиограмма 1



Примечание: эхокардиограмма выполнена из апикальной позиции в режиме цветного доплеровского картирования. Отчетливо видно, как диастолический поток через митральный клапан попадает в полость левого желудочка преимущественно вдоль задней стенки. На уровне средней трети полости происходит шарообразное закручивание потока.

хожилых хорд и папиллярных мышц должны способствовать формированию закрученного потока крови в фазу диастолы по часовой стрелке, если смотреть со стороны митрального клапана [3–4] (эхокардиограмма 1).

На всех этапах человеческой жизни полость левого желудочка существенно больше полости правого, хотя объем прокачиваемой крови один и тот же. Полость левого желудочка, как и правого, никогда не остается полностью опорожненной. Например, у ребенка массой 10 килограммов объем полости левого желудочка в диастолу составляет в среднем 25 кубических сантиметров, а в систолу — 14 кубических сантиметров. Каким образом оставшаяся после опорожнения кровь распределяется в полости левого желудочка, до конца не выяснено. Очевидно, что в фазу изоволюмического расслабления миокарда в приточном отделе левого желудочка создаются благоприятные условия для поступления крови из предсердия. В последние годы активно разрабатываются концепции сепарации форменных элементов крови и плазмы в полости желудочков сердца, то есть в зависимости от условий и обстоятельств сердце может менять плотность образуемого шарообразного внутрисердечного потока. Вполне естественно, что представляемый механизм не вполне соответствует закону Франка-Старлинга. Ряд авторов указывает, что имеется взаимосвязь между геометрическими формами левого желудочка и реологическими свойствами крови. Индекс относительной толщины миокарда коррелирует с уровнем В-глобулинов. Сделан вывод, что эти взаимосвязи могут указывать на возможное влияние реологических свойств крови на процесс ремоделирования миокарда [4]. Исследователи отмечают, что изменения пространственной геометрии миокарда могут способствовать ухудшению реологии крови. Например, наличие аневризмы левого желудочка у больных ИБС на 37 % определяет изменение вязкости крови [4]. Многие хирурги учитывают изменение геометрии полости левого желудочка при иссечении

ПОКАЗАТЕЛИ И СООТНОШЕНИЕ ОСНОВНЫХ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСМИТРАЛЬНОГО ПОТОКА И ПОТОКА В СРЕДНЕЙ ТРЕТИ ПОЛОСТИ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА У ОБСЛЕДОВАННЫХ ПАЦИЕНТОВ

Уровень доплерографического исследования	Скоростные характеристики Пика Е (см/сек.)	Скоростные характеристики Пика А (см/сек.)	Соотношение Е/А
Митральный клапан	98,6 ± 0,5	43,4 ± 0,7	2,2 ± 0,7
Полость левого желудочка	90,6 ± 0,8	28,1 ± 0,5	3,2 ± 1,6

постинфарктных аневризм и искусственном уменьшении полости левого желудочка при лечении сердечной недостаточности [5–6]. Принцип закручивания потоков крови в полостях сердца был учтен при разработке ряда отечественных и зарубежных конструкций клапанных протезов [5–6].

Однако в изученной нами литературе мы не обнаружили работ, посвященных ультразвуковой доплерографической оценке характеристик внутрижелудочкового диастолического движения потоков крови.

Обобщая изученный литературный материал и опыт собственных наблюдений, мы предположили, что во время диастолического наполнения полости левого желудочка в последней создаются анатомические и физиологические предпосылки к шарообразному закручиванию потока поступающей крови, чему было решено найти подтверждение при помощи ультразвуковых методов исследования.

Цель исследования

Целью нашего исследования явилось изучение механизма диастолического наполнения полости левого желудочка сердца на уровне смыкания створок митрального клапана и в средней трети полости левого желудочка у детей при использовании доплерографических ультразвуковых методов.

Материалы и методы

В работе использован ультразвуковой сканер экспертного класса «SonoACE-9900». Исследования производились в режимах импульсного и цветного доплер-эхокардиографических картирования.

Для исследования отбирались дети без органических заболеваний сердца и без сопутствующих соматических заболеваний. В исследовании приняло участие 50 детей. Из них 20 девочек и 30 мальчиков в возрасте от 5 дней до 18 лет включительно. Средний возраст обследуемых детей составил 8,1 ± 0,6 года. Из 50 детей 15 ребят профессионально занимались спортом в различных спортивных школах (12 мальчиков и 3 девочки, средний возраст 11,2 ± 0,4 года). На момент исследования дети-спортсмены имели синусовую брадикардию с частотой сердечных сокращений (ЧСС) от 47 до 66 ударов в минуту (средняя ЧСС составила 58,7 ± 2,3 уд./мин.). Эта группа детей представляла особый интерес в связи с тем, что диастола при брадикардии удлинена, что позволяло более тщательно проводить доплерографическое исследование полости левого желудочка.

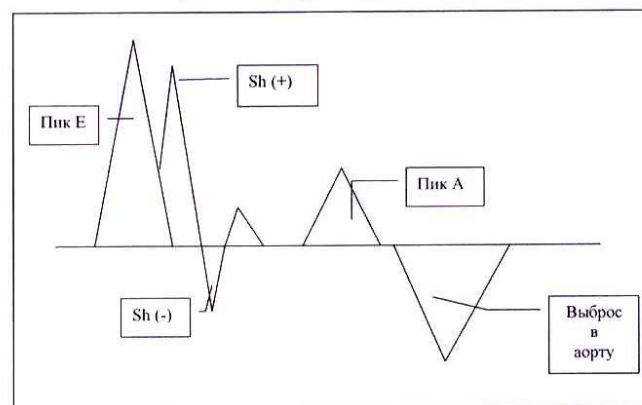
Результаты

Всем пациентам было проведено рутинное эхокардиографическое исследование, дополненное доплерографией полости левого желудочка (табл. 1).

При перемещении «контрольного объема» от створок митрального клапана в полость левого желудочка доплерографические характеристики диастолического потока сохраняли двухфазность.

Соотношения скоростных характеристик пика Е/А, полученные нами, соответствуют показателям, приводимым в ряде монографий [4]. При достижении «контрольным объемом» проекции средней трети полости левого желудочка начинала регистрироваться волна двухфазной амплитуды. Регистрируемая волна тяготела к пику Е трансмитрального потока. Так как волна, по нашему мнению, отражает круговое движение крови, мы предложили назвать ее «Sh-волной» (шарообразной волной). Амплитудно-скоростные характеристики Sh-волны зависели от фаз дыхания и ЧСС, обуславливающих разнообразие регистрируемых доплерограмм. Однако в ходе исследований нами было выделено два преобладавших типа Sh-волны (рис. 2–3, эхокардиограмма 2–3).

Рисунок 2. Первый тип Sh-волны

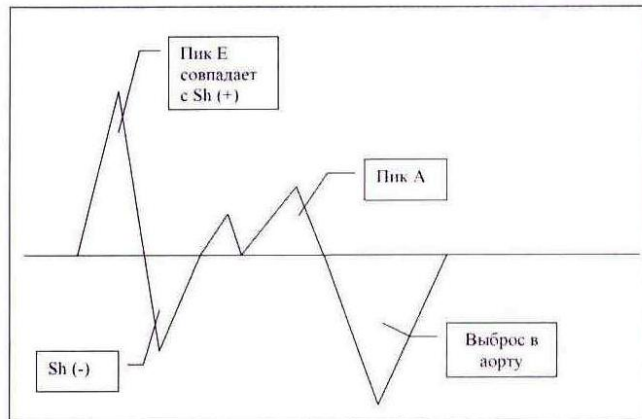


Примечание: пик Е и пик А соответствуют скоростным пикам диастолического трансмитрального потока, регистрируемым в полости левого желудочка.

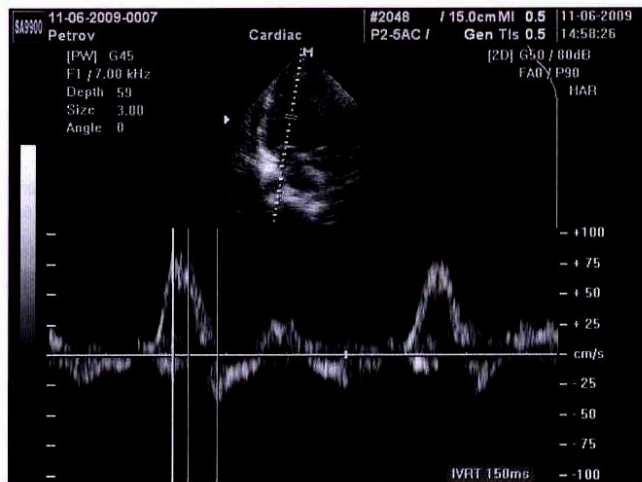
1 тип зарегистрирован преимущественно при ЧСС от 47 до 66 в мин. (в среднем 58,7 ± 2,3 в мин.). 2 тип зарегистрирован преимущественно при ЧСС 67–158 в мин. (в среднем 95,4 ± 5,2 в мин.).

В ходе работы произведены измерения длительности Sh-волны, измерение скоростных характеристик ее положительных и отрицательных фаз (табл. 2).

Рисунок 3. Второй тип Sh-волны



Эхокардиограмма 2

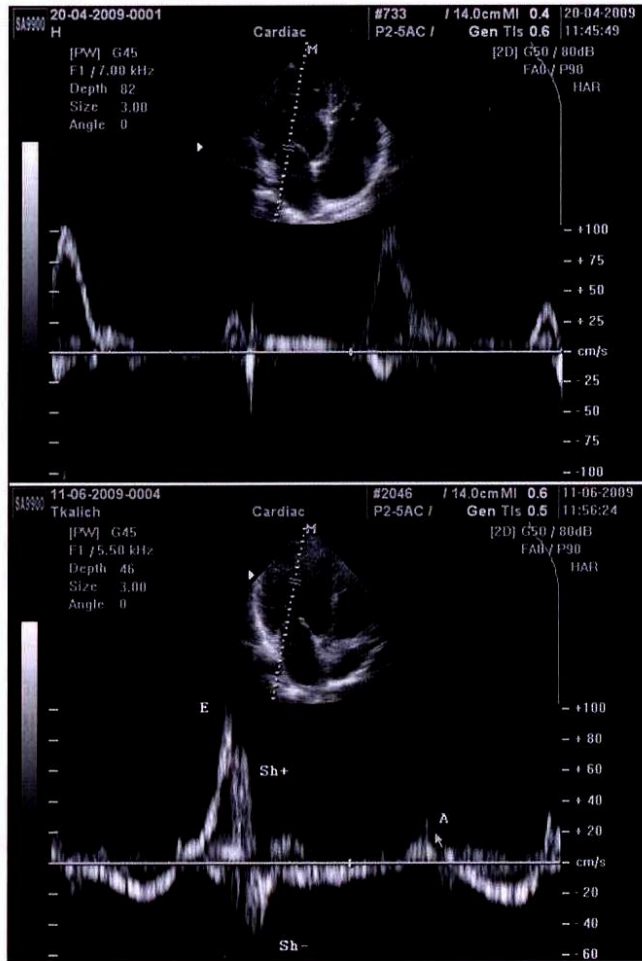


Примечание: эхокардиограмма иллюстрирует измерение длительности «Sh-волны» и ее временную связь с пиком E.

При суммарном исследовании в обеих возрастных группах длительность шарообразно-закрученной волны составила 48 ± 12 мсек., средняя максимальная скорость положительной фазы волны составила 76 ± 3 см/сек., отрицательной 37 ± 5 см/сек.

Таким образом, установлено, что при увеличении ЧСС наблюдалось отчетливое укорочение длительности «Sh-волны» во временном интервале с небольшим уменьшением скоростных характеристик ее положительной фазы и отчетливым увеличением скорости отрицательной фазы.

Эхокардиограмма 3



Примечание: на верхней эхокардиограмме представлена классическая доплерограмма трансмитрального потока, контрольный объем расположен над створками смыкания митрального клапана. На нижней эхокардиограмме контрольный объем перемещен в среднюю треть полости левого желудочка. Непосредственно за пиком E регистрируется Sh-волна.

Обсуждение

Опираясь на результаты исследования, можно сделать предварительные выводы о том, что шарообразное закручивание потока крови в полости левого желудочка возникает преимущественно при брадикардии. Формируется шарообразный «сверток» крови, по диаметру примерно соответствующий диаметру восходящей аорты. Шарообразный «сверток» напоминает в таком случае ядро, а аорта — ствол орудия (эхокардиограмма 4).

ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАРООБРАЗНОЙ «SH-ВОЛНЫ» ОТ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

Таблица 2

Тип Sh волны	Частота сердечных сокращений уд./мин.	Длительность Sh-волны в мсек.	Максимальная скорость положительной фазы Sh в см/сек.	Максимальная скорость отрицательной фазы Sh в см/сек.
1 тип	47–66 (средняя 58,7)	$66,1 \pm 15,2$	$78,8 \pm 11,3$	$32,6 \pm 5,3$
2 тип	67–158 (средняя 95,4)	$39,4 \pm 10,6$	$75,4 \pm 9,4$	$41,3 \pm 6,5$

Эхокардиограмма 4



Примечание: на данной эхокардиограмме, выполненной из апикальной позиции, запечатлен момент диастолического заполнения полости левого желудочка. Эффект «спонтанного контрастирования» позволил визуализировать поток крови внутри полости левого желудочка. В центре полости желудочка происходит шарообразное закручивание потока крови.

Выброс в аорту напоминает выстрел из нарезного оружия. Естественно, что в аорту выбрасывается не только шарообразный «сверток», он, по всей вероятности, окружен кровью с иными реологическими свойствами. Центр шарообразной закрутки потока крови может меняться в зависимости от ЧСС. Исследования в этом направлении будут продолжены и послужат разработкам новых подходов к патофизиологическим аспектам возникновения инсультов и эмболий, артериальной гипертензии и сердечной недостаточности.

При развитии тахикардии механизм внутрисердечной гемодинамики меняется. На образование шарообразной закрутки потока крови просто не хватает времени, и полость левого желудочка начинает работать, как часто сокращающийся мышечный мешок, а гемодинамика в нем подчиняется закону Франка-Старлинга.

Выводы

1. Во время диастолического наполнения в полости левого желудочка может происходить шарообразное закручивание потока поступающей крови.

2. Шарообразный поток крови при ультразвуковом доплерографическом исследовании лоцируется в средней трети полости левого желудочка как сигнал двухфазной амплитуды.

3. При синусовой брадикардии с ЧСС 47–66 в минуту (средняя ЧСС $58,7 \pm 2,3$ в мин.) длительность шарообразно-закрученной волны составила $66,1 \pm 15,2$ мсек., средняя максимальная скорость положительной фазы волны — $78,8 \pm 11,3$ см/сек., отрицательной — $32,6 \pm 5,3$ см/сек.

4. При синусовом ритме с ЧСС 67–158 в минуту (средняя ЧСС $95,4 \pm 5,2$ в мин.) длительность шарообразно-закрученной волны составила $39,4 \pm 10,6$ мсек., средняя максимальная скорость положительной фазы волны составила $75,4 \pm 9,4$ см/сек., отрицательной — $41,3 \pm 6,5$ см/сек.

Формирование в центре левого желудочка вращающегося вокруг своей оси потока крови шарообразной формы, сохраняющего кинетическую энергию, полученную при диастолическом закручивании, способствует его малозатратному и эффективному изгнанию в аорту во время систолы.

Литература

1. Шиллер Н., Осипов М.А. Клиническая эхокардиография. — М.: Мир, 1993. — С. 32–45, 68–80.
2. Troughton R.W., Asher C.R., Klein A.L. The role of echocardiography in atrial fibrillation and cardioversion // Heart. — 2003. — Vol. 89. — P. 1447–1452.
3. Кнышов Г.В. Концепция спиральной структуры сердца: новый этап в лечении сердечной недостаточности // «Здоровье Украины». — 2005. — № 123.
4. Шевченко Ю.Л., Бобров Л.Л., Борисов И.А. и др. Влияние гемореологии на ремоделирование миокарда у больных ишемической болезнью сердца // Прогресс и проблемы в диагностике и лечении заболеваний сердца и сосудов. Материалы юбилейной конф., посвященной 100-летию кафедр факультетской хирургии и факультетской терапии СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова. — СПб., 2000. — С. 78–79.
5. Beyersdorf F., Doenst T., Athanasuleas C.L. et al. The beating open heart for rebuilding ventricular geometry during surgical anterior restoration // Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg. — 2001. — № 13. — P. 42–51.
6. Бушмарин О.Н., Юхнев А.Д., Орловский П.И. и др. К истории исследования искусственных клапанов сердца на кафедре гидроаэродинамики // Научно-технические ведомости. — 2004. — Т. 2. — С. 9–18.