

На правах рукописи

КИРСАНОВ РОМАН ИВАНОВИЧ

**ДОПЛЕРОГРАФИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВИНТОВОГО ДВИЖЕНИЯ КРОВИ
В АРТЕРИЯХ У ЛЮДЕЙ В НОРМЕ И ПРИ АТЕРОСКЛЕРОЗЕ**

03.00.13 – физиология

14.00.16 – патологическая физиология

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук**

Новосибирск – 2009

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Алтайский государственный медицинский университет Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию».

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор *Куликов Владимир Павлович*

Официальные оппоненты:

доктор медицинских наук, профессор *Шошенко Констанция Антониновна*
доктор медицинских наук, профессор *Цырендоржиев Дондок Дамдинович*

Ведущая организация:

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет
Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию»,
г. Новосибирск

Защита диссертации состоится «___» _____ 2009 г. в ___ часов на заседании Диссертационного совета Д 001.014.01 при Научно-исследовательском институте физиологии СО РАМН по адресу: 630117, г. Новосибирск, ул. Академика Тимакова 4; тел. (383) 332-42-55.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Научно-исследовательского института физиологии СО РАМН по адресу: 630117, г. Новосибирск, ул. Академика Тимакова 4.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

И.И. Бузуева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Классическая гемодинамика [Гайтон, 1969; Савицкий, 1974; Фолков, Нил, 1976] рассматривает движение крови в системе кровообращения с позиций ламинарного и турбулентного течения. В то же время, существуют представления об иных закономерностях движения крови в сердечно-сосудистой системе, в частности, высказывались предположения о существовании винтового (спирального или вращательно-поступательного) движения крови в полостях сердца [Доброва, Кузьмина, Роева, 1974; Куприянов, 1983] и магистральных сосудах [Stonebridge, Brophy, 1991; Zakharov, 1994, 1995, 1998; Багаев, Захаров, Орлов, 1999, 2001, 2002]. Данный тип движения крови заключается в закручивании потока крови вдоль продольной оси сосуда, с движением частиц крови по винтовым траекториям.

Гипотеза винтового движения крови находит отражение в структурной организации сердца и магистральных сосудов, начиная со спиралевидного скручивания аорты, легочного ствола и разделяющей их перегородки в процессе эмбрионального развития [Абрикосов, 1947; Литтман, 1954; Grant, 1962; Patten, 1968; Bankl, 1980], заканчивая спиральной укладкой эндотелия [Finlay и др., 1991], гладкомышечных элементов [Strong, 1938; Fischer, 1951; Савич, 1951; Гуревич, Берштейн, 1972; Куприянов, Караганов, Козлов, 1975], стромальных элементов сосудистой стенки [Серов, Шехтер, 1981] и волокон миокарда [Mall, 1911; Oliveros, 1969; Torrent-Guasp, 1975, 2004]. Такая структурная организация приводит к соответствующим особенностям функционирования системы кровообращения: скручивающий характер сокращения сердца способствует закручиванию ударного объема крови [Доброва и др., 1974; Бураковский и др., 1976], а дальнейшее скручивание спирально расположенных гладкомышечных элементов в стенке артерий приводит к поддержанию винтового потока крови в артериальном русле благодаря активному взаимодействию стенки артерий с кровью [Stonebridge, Brophy, 1991; Багаев, Захаров, Орлов, 1999; Устинов, 2003].

Помимо косвенных, существуют прямые экспериментальные данные, полученные с помощью современных методик, таких как рентгеноконтрастная киноангиокардиография [Бураковский и др., 1976; Багаев, Захаров, Орлов, 1999], ультразвуковая цветовая доплерография [Frazin et al. 1990, 1996; Stonebridge et al. 1996; Foin et al. 2007], магнитно-резонансная фазово-контрастная ангиография [Kilner и др., 1993; Bogren, Buonocore, 1994, 1997, 1999; Houston и др., 2003, 2004], свидетельствующие о существовании винтового потока крови в различных отделах сердечно-сосудистой системы.

Однако закономерности винтового движения крови остаются слабо изученными. Большинство исследований было посвящено изучению винтового движения крови в аорте [Frazin и др., 1990; Kilner и др., 1993; Bogren, Buonocore, 1994, 1997, 1999; Markl и др., 2004, 2005]. Данные о распространённости, направлении вращения винтового движения крови в других сосудистых регионах, представлены лишь в единичных работах. Р. Stonebridge и соавторы [1996] приводят данные о регистрации винтового движения крови с помощью

цветового доплеровского картирования в бедренных артериях у 11 добровольцев, N. Foïn и соавторы [2007] – в сонных и бедренных артериях у 1 взрослого мужчины. Данные о количественных параметрах винтового движения крови также единичны, в частности величина вращательной скорости кровотока, измеренная методом магнитно-резонансной ангиографии, известна только для дуги аорты и составляет $0,29 \pm 0,05$ м/с [Kilner и др., 1993]. На основании этих сведений невозможно проследить закономерности винтового движения крови.

Биологическая роль винтового движения крови остается предметом дискуссий. Ряд исследователей [Stonebridge и др., 1996; Frazin и др., 1996; Багаев, Захаров, Орлов, 1999, 2002] предполагает, что винтовое движение крови играет положительную роль для кровообращения и перфузии органов, поскольку такой тип движения увеличивает стабильность потока и является менее энергозатратным. Кроме того, отмечается [Houston, Stonebridge, 2004; Shinke и др., 2008], что данный тип движения крови препятствует развитию атеросклероза. Однако часть авторов [Kilner и др., 1993; Pritchard и др., 1995; Техон и др., 2001], напротив, считает, что винтовой характер движения крови ведёт к ускорению развития атеросклероза. То есть клиническая значимость винтового движения крови пока окончательно не установлена. Очевидно, что без знания закономерностей винтового движения крови, его количественных параметров, невозможно судить о физиологической и клинической значимости данного феномена.

Исходя из литературных данных [Frazin и др., 1990; Stonebridge и др., 1996; Foïn и др., 2007] представляется, что наиболее доступными неинвазивными и информативными методами для изучения винтового движения крови в магистральных сосудах могут быть современные ультразвуковые доплеровские технологии.

Цель исследования: установить основные закономерности винтового движения крови в магистральных артериях человека с помощью современных ультразвуковых доплеровских технологий.

Задачи исследования:

1. Установить возможность использования цветового дуплексного сканирования для устойчивой регистрации винтового движения крови и определить частоту его встречаемости в магистральных артериях большого круга кровообращения (аорте, сонных, подключичных, позвоночных, бедренных артериях).

2. Разработать методику количественной оценки скоростных параметров винтового движения крови.

3. Установить направление вращения винтового потока крови в симметричных участках артерий и в местах бифуркаций, скоростные параметры, соотношение поступательного и вращательного компонентов кровотока, связь винтового движения крови с параметрами системной гемодинамики и упруго-эластическими свойствами сосудистой стенки.

4. Изучить гендерные и возрастные особенности параметров винтового движения крови.

5. Количественно оценить вращательный компонент сокращения левого желудочка сердца при помощи двухмерной эхокардиографии.

6. Выявить особенности винтового движения крови при начальных проявлениях атеросклеротического поражения артерий и при атеросклеротических стенозах.

Научная новизна исследования

1. Впервые с помощью цветового дуплексного сканирования определена частота встречаемости правого и левого направлений вращения винтового потока крови в магистральных артериях различных сосудистых регионов.

2. Впервые количественно измерена скорость винтового движения частиц крови, которая представлена продольным, вращательным и радиальным компонентами.

3. Впервые установлена взаимосвязь параметров винтового движения частиц крови с показателями системной гемодинамики и упруго-эластическими свойствами сосудистой стенки.

4. Впервые выявлены гендерные и возрастные особенности параметров винтового движения крови.

5. Впервые установлены особенности винтового движения крови при начальных проявлениях атеросклеротического поражения артерий и при атеросклеротических стенозах.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость проведенного исследования заключается в установлении основных закономерностей винтового движения крови в артериях. Результаты исследования расширяют представления о физиологических механизмах функционирования сердечно-сосудистой системы.

Практическая значимость работы заключается в том, что выявленные закономерности и разработанный метод количественной оценки винтового движения крови (заявка на патент № 2008131668 от 30.07.2008) помогут улучшить диагностику и лечение заболеваний системы кровообращения.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика цветового дуплексного сканирования позволяет устойчиво регистрировать и количественно оценивать винтовое движение крови.

2. Винтовое движение частиц крови в симметричных участках одноименных артерий чаще разнонаправленное. В местах бифуркаций магистральных артерий происходит разделение потока крови с формированием разнонаправленного вращения в дочерних ветвях.

3. Суммарная скорость движения частиц крови по винтовым траекториям состоит из продольного, вращательного и радиального компонентов; значение суммарной скорости винтового движения частиц крови составляет в общих сонных артериях у здоровых молодых людей: $M \pm \sigma - 45 \pm 8$ см/с, $DI - 42-47$ см/с, $Me - 45$ см/с, $P_{25} - 39$ см/с, $P_{75} - 51$ см/с.

4. Особенностью винтового движения крови у пациентов старшей возрастной группы с начальными проявлениями атеросклероза по сравнению с молодыми здоровыми людьми является более высокая скорость вращательного компонента кровотока.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на заседаниях кафедры патофизиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики

Алтайского государственного медицинского университета Росздрава (2006, 2007, 2008 гг.); на VII и IX конференциях «Молодежь Барнаулу» в Алтайском государственном медицинском университете 14-18 ноября 2005 г. и 12-16 ноября 2007 года; на VI Сибирском физиологическом съезде (г. Барнаул) 25-27 июня 2008 года; на конференции, посвященной дню науки в Алтайском государственном медицинском университете 4-6 февраля 2009 года.

Внедрение результатов исследования. Материалы диссертации используются в преподавании на кафедрах нормальной физиологии и патофизиологии Алтайского государственного медицинского университета.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 научных работ, 2 из них в центральных журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, главы с описанием материалов и методов исследования, глав с описанием результатов собственных исследований, обсуждения результатов, выводов, практических рекомендаций и списка литературы. Работа изложена на 142 страницах машинописного текста, иллюстрирована 18 таблицами и 61 рисунком. Список литературы содержит 165 цитируемых источника, из них 56 отечественных и 109 зарубежных.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Всего обследовано 214 человек, которые были разделены на 3 группы. Первую группу (основная группа) составили 142 молодых здоровых добровольца (95 мужчин и 47 женщин, средний возраст – $20,5 \pm 2,3$ лет), не предъявляющих жалоб и не состоящих на диспансерном учете по поводу заболеваний сердечно-сосудистой системы. Во вторую группу (группа сравнения) вошли 56 пациентов старше 40 лет (36 мужчин и 20 женщин, средний возраст – $59,7 \pm 11,6$ лет), у которых имелись закономерные для данного возраста начальные признаки атеросклеротического поражения БЦА в виде увеличения комплекса «интима-медиа» общих сонных артерий (ОСА) более 1 мм и / или наличия в ОСА мелких атеросклеротических бляшек от 1,5 до 2 мм. В третью группу вошли 16 пациентов (14 мужчин и 2 женщины, средний возраст – $73,3 \pm 10,1$ лет) с атеросклеротическими стенозами различных локализаций (общих и внутренних сонных артерий, общих бедренных артерий), степень стенозов составляла от 40 до 86% по площади. Из исследования исключались пациенты с аритмиями на момент исследования, сердечной недостаточностью IIб и III степени, с острыми нарушениями мозгового и коронарного кровообращения, а также пациенты, у которых были обнаружены аномалии хода общих или внутренних сонных артерий с нарушением кровотока области деформации в виде турбулентности и расширения доплеровского спектра сдвига частот.

Всем добровольцам проводилось ультразвуковое сканирование магистральных сосудов по стандартной схеме [Куликов, 1997] с детальной анатомической и гемодинамической характеристикой. В первой группе исследовались аорта в области дуги и брюшного отдела, общие, наружные и внутренние сонные артерии, подключичные, позвоночные, плечевые и общие бедренные артерии. У пациентов второй группы исследовались только общие сонные артерии.

У пациентов третьей группы проводилась оценка степени стенозирования артерии по площади при поперечном сканировании сосуда в В-режиме и изучался кровоток локально в зоне стеноза. Исследование проводили на ультразвуковых системах SonoAce 8000EX (Medison, Корея), Vivid 3 и Vivid 7 (GE Medical Systems, США) с использованием линейного, конвексного и фазированного датчиков в режимах цветового доплеровского картирования (ЦДК) и цветового дуплексного сканирования (ЦДС). Для определения амплитуды колебаний стенки общей сонной артерии использовался М-режим. Всем обследуемым лицам проводилось измерение системного АД по методу Короткова.

У 77 человек первой группы (59 мужчин и 18 женщин) проводили оценку упруго-эластических свойств артерий ультразвуковыми методами, путем расчета модуля Юнга и индекса жесткости. Кроме того, у 53 мужчин из этой группы исследование включало расчет скорости распространения пульсовой волны на участке «дуга аорты – общая бедренная артерия».

26 молодым мужчинам проводилось эхокардиографическое исследование по стандартной методике [Шиллер, Осипов, 1993] фазированным датчиком с частотой 1,5-3,5 МГц. Для оценки вращательного компонента сокращения левого желудочка осуществляли локацию сердца из парастернальной позиции по короткой оси на уровне фиброзного кольца митрального клапана в 2D-режиме.

Статистические расчеты производили с помощью пакета программ Statistica for Windows 6.0 и Microsoft Excel 2003. Для всех параметров оценивали характер распределения по критерию Колмогорова-Смирнова. При значении вероятности $p > 0,05$ считали, что выборка принадлежит генеральной совокупности с нормальным распределением. Для скоростных параметров кровотока вычисляли среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (σ), доверительный интервал (DI), значения медианы (Me), 25-го и 75-го перцентиля ($P_{25} - P_{75}$). Оценка значимости различий между группами при нормальном характере распределения производилась с использованием t-критерия Стьюдента для двух несвязанных выборок. Качественные различия между параметрами оценивали с помощью точного двухстороннего критерия Фишера. Статистически значимыми считались различия, уровень значимости которых соответствовал $p < 0,05$. Для выявления взаимосвязи между показателями с нормальным распределением использовали коэффициент линейной корреляции Пирсона. Связь между показателями, имеющими распределение отличное от нормального, определяли с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Коэффициенты корреляции считали значимыми при уровне $\alpha < 5\%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

В режиме ЦДК при лоцировании поперечного среза сосуда (общей сонной артерии) наблюдалось различное окрашивание кровотока в его латеральной и медиальной половинах (рис. 1 на цв. вклейке). Поскольку в режиме ЦДК разными цветами кодируется противоположное по отношению к источнику излучения ультразвука (трансдьюсеру) направление кровотока, можно сделать вывод о том, что кровоток в двух половинах артерии носит разнонаправленный характер: в одной половине он направлен к датчику, в другой от датчика. Дан-

ный феномен можно объяснить лишь наличием вращения потока крови при его поступательном продвижении по артерии (рис. 2 на цв. вклейке).

Регистрация импульсно-волновой доплерограммы кровотока из поперечного сечения просвета сосуда в режиме триплексного сканирования также свидетельствует о наличии вращательного компонента движения крови. Исследование проводилось при поочередном расположении контрольного объема в латеральной и медиальной половинах просвета артерии (рис. 3 а, б на цв. вклейке). Из рисунка 3 видно, что в латеральной половине артерии движение частиц крови направлено от датчика (рис. 3а, доплерограмма ниже базальной линии), в медиальной – к датчику (рис.3б доплерограмма выше базальной линии). Эти данные прямо свидетельствуют о разнонаправленном движении частиц крови в двух половинах поперечного сечения артерии.

Таким образом, современные доплеровские методики позволяют доказать существование в артериях винтового движения крови и могут быть использованы для изучения его закономерностей, поскольку позволяют оценить направление и скоростные параметры движения частиц крови.

Для выявления вращательного движения крови в основных магистральных артериях использовали режим ЦДК при поперечном сканировании артерии. О наличии вращательного движения крови судили по характерному двухцветному окрашиванию поперечного сечения сосуда. Исследовали общие, наружные и внутренние сонные, подключичные, позвоночные, плечевые, общие бедренные артерии, а также аорту в области дуги и брюшного отдела.

Данные о частоте регистрации вращательного движения крови в магистральных артериях в режиме ЦДК представлены в таблице 1.

Таблица 1. Частота регистрации вращательного движения крови в магистральных артериях у людей в режиме ЦДК, %.

Артерия	Справа	Слева	р
Общая сонная артерия, n=104	52	48	0,89
Внутренняя сонная артерия, n=77	69	56	0,08
Наружная сонная артерия, n=50	48	40	0,32
Позвоночная артерия, n=50	68	40	<0,01
Подключичная артерия, n=44	64	30	<0,01
Плечевая артерия, n=36	11	11	1,0
Общая бедренная артерия, n=34	62	56	0,47
Дуга аорты, n=31	52		<0,01
Брюшной отдел аорты, n=37	22		

Примечание: n – количество обследованных; р – значимость различий частоты регистрации вращательного движения крови в артериях правой и левой стороны.

Из таблицы 1 видно, что винтовое движение крови регистрировалось во всех крупных магистральных артериях у людей, причем частота выявления данного феномена в одноименных артериях правой и левой стороны была примерно одинакова для артерий каротидного бассейна (ОСА, ВСА, НСА), общих бедренных артерий и различалась для подключичных и позвоночных артерий, а также для дуги и брюшного отдела аорты.

Для оценки устойчивости регистрации винтового движения крови нами было проведено несколько повторных наблюдений у одних и тех же людей через различные промежутки времени. Всего в повторных исследованиях участвовало 10 молодых здоровых добровольцев (8 мужчин, 2 женщины), которым дважды проводилось дуплексное сканирование артерий через различные промежутки времени – от 2 месяцев до 2,5 лет. Данное исследование показало отсутствие расхождения результатов между первичным и повторным наблюдениями: винтовое движение крови повторно регистрировалось в соответствующей артерии и сохраняло свою направленность. Эти результаты позволяют предполагать, что винтовое движение крови – это физиологический феномен, который имеет достаточно устойчивые индивидуальные параметры.

Направление вращения оценивали в режиме ЦДК как правое, если движение частиц крови происходило по часовой стрелке по ходу поступательного продвижения крови по сосуду и левое, если направление было обратным (например, на рис.1 представлено правое вращение, на рис. 3 – левое)

Данные о направлении вращения потока крови в магистральных сосудах представлены в таблице 2.

Таблица 2. Частота регистрации правого и левого направлений вращения потока крови в артериях правой и левой стороны.

Артерия		Направление вращения, %		p
		правое	левое	
Общая сонная артерия	D, n=53	68	32	<0,01
	S, n=51	35	65	
Внутренняя сонная артерия	D, n=53	8	92	<0,01
	S, n=43	81	19	
Наружная сонная артерия	D, n=24	92	8	<0,01
	S, n=20	25	75	
Позвоночная артерия	D, n=34	0	100	<0,01
	S, n=20	60	40	
Подключичная артерия	D, n=28	4	96	<0,01
	S, n=13	69	31	
Плечевая артерия	D, n=4	25	75	0,49
	S, n=4	75	25	
Общая бедренная артерия	D, n=21	57	43	0,02
	S, n=19	21	79	
Дуга аорты, n=16		88	12	<0,01
Брюшной отдел аорты, n=8		0	100	

Примечание: D – правые артерии, S – левые артерии, n – количество обследованных сосудов, p – достоверность различий направления вращательного движения крови в артериях правой и левой стороны по точному критерию Фишера.

Из данных, приведенных в таблице 2, видно, что артерии правой и левой стороны различались по направлению вращения винтового потока крови. В правых ОСА, НСА и ОБА чаще встречалось правое направление вращения, в левых – левое. Для ВСА было характерно обратное соотношение направлений движения частиц крови. В правой подключичной артерии преобладало левое

направление вращения потока крови, а в позвоночной артерии справа в 100% случаев вращение было левым. Слева в подключичной и позвоночной артериях наблюдалось как правое, так и левое направление вращения, но преобладало правое. В области дуги аорты чаще наблюдалось правое вращение, в брюшном отделе аорты вращение во всех зарегистрированных случаях было левым.

Для выявления закономерностей винтового движения крови в ветвях артерии после ее бифуркации, сравнивали направление вращения кровотока в ВСА и НСА. Данные сосуды исследовали в проксимальной трети вблизи бифуркации ОСА. Регистрация вращательного движения крови в обеих ветвях ОСА наблюдалась справа в 46% случаев, слева – в 32% случаев. Направление вращения в ВСА и НСА справа во всех случаях носило разнонаправленный характер. Слева вращение было разнонаправленным в 93,8% случаев, и только в 6,2% – однонаправленным. Таким образом, в области бифуркации сосудов происходит разделение винтового потока крови с формированием разнонаправленного вращения в дочерних ветвях.

Скоростные параметры винтового кровотока оценивали с использованием режима цветового дуплексного сканирования и М-режима. При этом проводили измерение трех составляющих вектора скорости частиц крови: продольной, вращательной и радиальной соответственно осям цилиндрической системы координат z , θ , r (рис. 5), с последующим математическим расчетом суммарного вектора скорости, соответствующего истинной скорости движения частиц крови по винтовым траекториям.

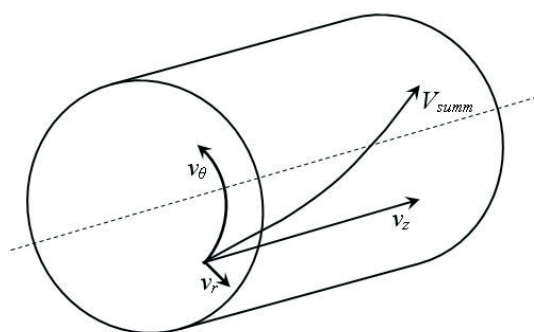


Рис 5. Компоненты вектора скорости в цилиндрических координатах:
 v_z – продольный компонент,
 v_θ – вращательный компонент,
 v_r – радиальный компонент;
 V_{summ} – суммарный вектор скорости.

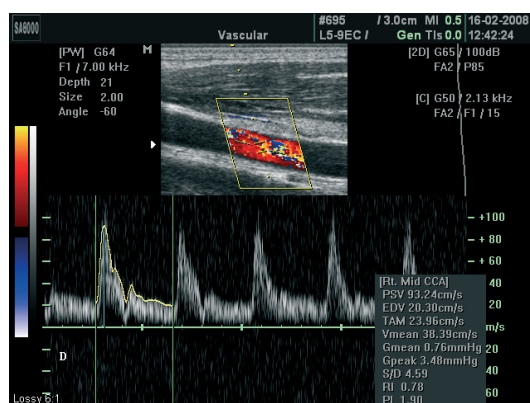


Рис. 6. Регистрация импульсно-волновой доплерограммы из продольного сечения артерии (продольный компонент кровотока). Вверху – 2D-режим в сочетании с ЦДК, внизу – доплерограмма кровотока.

Измерение продольной скорости кровотока осуществляли путем регистрации доплерограммы кровотока из продольного сечения артерии в режиме цветового дуплексного сканирования по традиционной методике (рис. 6). Измерение скорости вращательного компонента кровотока осуществляли в режиме цветового дуплексного сканирования путём регистрации доплерограммы кровотока из поперечного сечения просвета артерии с расположением контрольного объема в латеральной и медиальной половинах просвета артерии (рис. 3 а, б

на цв. вклейке). Измерение радиальной компоненты скорости кровотока производили в М-режиме путем регистрации колебаний стенок артерии в систолу и диастолу, с дальнейшим измерением систолического и диастолического диаметров и времени прироста диаметра сосуда. Радиальную скорость рассчитывали как отношение прироста радиуса артерии ко времени его прироста в момент прохождения пульсовой волны (рис. 7):

$$v_r = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

где v_r – радиальный компонент скорости кровотока, Δr – прирост радиуса сосуда, Δt – время прироста радиуса сосуда.

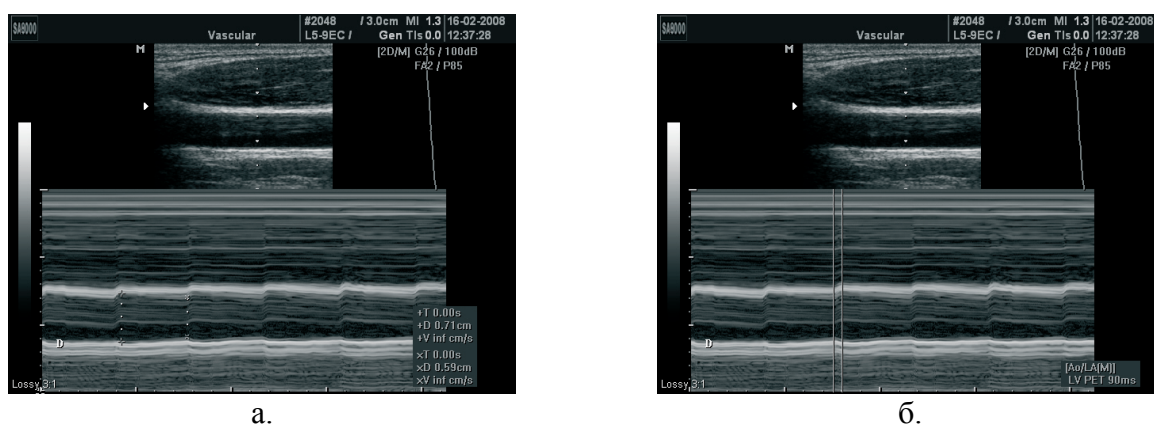


Рис. 7. Правая ОСА, продольное сканирование: сверху – 2D-режим, внизу – М-режим. а – измерение систолического (D_s) и диастолического (D_d) диаметров, прирост радиуса артерии составляет $\Delta r = (D_s - D_d) / 2$; б – измерение времени прироста диаметра (Δt).

Расчет суммарного вектора скорости винтового движения частиц крови осуществляли по формуле:

$$V_{summ} = \sqrt{v_z^2 + v_\theta^2 + v_r^2},$$

где V_{summ} – суммарная скорость винтового движения частиц крови, v_z – продольный компонент скорости кровотока, v_θ – вращательный компонент скорости кровотока, v_r – радиальный компонент скорости кровотока.

Измерение компонент вектора скорости и расчет суммарной скорости винтового движения крови проводили в ОСА. В ВСА измеряли только величину продольной и вращательной компонент; радиальный компонент не оценивали ввиду технических особенностей исследования ВСА. Скоростные параметры винтового движения крови в ОСА и ВСА приведены в таблице 3.

Как следует из таблицы 3, в проксимальном отделе ВСА по сравнению с ОСА наблюдалось уменьшение скоростных показателей продольного компонента винтового движения крови и увеличение скорости вращательного компонента, что говорит о большей интенсивности вращения в проксимальном отделе ВСА и может быть следствием закона сохранения количества движения, поскольку происходит переход потока крови из сосуда большего диаметра (материнского) в сосуды меньшего диаметра (дочерние).

Таблица 3. Скоростные параметры винтового движения крови в ОСА и ВСА у молодых здоровых людей, см/с.

Скоростные параметры		ОСА (M±σ)	ВСА (M±σ)
Продольная скорость (v_z)	max	114,0±25,0	69,2±16,5
	mean	44,3±7,7	35,2±8,6
Вращательная скорость (v_θ)	max	18,0±5,0	32,5±8,8
	mean	5,9±1,7	10,3±2,9
Радиальная скорость (v_r)		1,0±0,3	–
Суммарная скорость (V_{summ})	max	115,5±25,0	–
	mean	44,7±7,6	–
Соотношение продольной и вращательной скоростей	$v_{z \text{ max}} / v_{\theta \text{ max}}$	6,5±1,3	2,1±0,5
	$v_{z \text{ mean}} / v_{\theta \text{ mean}}$	7,7±2,4	3,5±1,1

Примечание: ОСА – общая сонная артерия, ВСА – внутренняя сонная артерия, v_z – продольная скорость кровотока, v_θ – вращательная скорость кровотока, v_r – радиальная скорость кровотока, V_{summ} – суммарная скорость; max – максимальные значения скоростей, mean – средние значения скоростей, min – минимальные значения скоростей. M – среднее значение, σ – стандартное отклонение.

Таблица 4. Сравнение скоростных параметров винтового движения крови в ОСА, показателей системной гемодинамики и упруго-эластических свойств сосудистой стенки между группами мужчин и женщин.

Параметры	Средние значения параметров		t	p
	Мужчины, n=46	Женщины, n=18		
$v_{z \text{ max}}, \text{ см/с}$	125	105	-3,09	<0,01 *
$v_{z \text{ mean}}, \text{ см/с}$	47	45	-0,69	0,49
$v_{z \text{ min}}, \text{ см/с}$	30	31	0,56	0,58
$v_{\theta \text{ max}}, \text{ см/с}$	18,3	15,6	-2,39	0,02 *
$v_{\theta \text{ mean}}, \text{ см/с}$	5,9	6,1	0,40	0,69
$v_{\theta \text{ min}}, \text{ см/с}$	2,6	3,6	1,44	0,16
$v_r, \text{ см/с}$	1,00	0,88	-1,42	0,16
$V_{\text{summ max}}, \text{ см/с}$	126	106	-3,14	<0,01 *
$V_{\text{summ mean}}, \text{ см/с}$	47	46	-0,66	0,51
$D_d, \text{ мм}$	5,4	5,2	-1,52	0,13
ЧСС, мин^{-1}	74	74	0,02	0,98
САД, мм рт. ст.	127	112	-3,79	<0,01*
ДАД, мм рт. ст.	75	70	-1,52	0,14
ПАД, мм рт. ст.	52	42	-2,70	0,01 *
RI	0,76	0,70	-4,59	<0,01*
E, мм рт. ст./см	639	717	0,63	0,53
β	3,1	3,7	1,13	0,27

Примечание: v_z – продольная скорость кровотока, v_θ – вращательная скорость кровотока, v_r – радиальная скорость кровотока, V_{summ} – суммарная скорость; max – максимальные значения скоростей, mean – значения скоростей, усреднённых по времени за сердечный цикл, min – минимальные значения скоростей. D_d – диаметр артерии в диастолу, ЧСС – частота сердечных сокращений, САД – систолическое артериальное давление, ДАД – диастолическое артериальное давление, ПАД – систолическое артериальное давление, RI – индекс резистентности, E – модуль Юнга, β – индекс жесткости, t – значение критерия Стьюдента, p – значимость различий между параметрами (звездочкой отмечены значимые различия, $p < 0,05$).

Для выявления взаимосвязи между параметрами системной гемодинамики, упруго-эластическими свойствами сосудистой стенки и параметрами винтового движения крови проводили корреляционный анализ. Между скоростными параметрами винтового движения крови и диаметром артерии была обнаружена слабая обратная корреляционная связь. Прямая корреляционная связь слабой силы была выявлена между максимальной скоростью вращательной компоненты кровотока и индексом резистентности. Суммарная скорость винтового движения была связана с индексом резистентности прямой корреляционной связью средней силы, с систолическим и пульсовым артериальным давлением слабой прямой корреляционной связью. Модуль упругости и индекс жесткости были связаны с суммарной скоростью винтового движения крови слабой обратной корреляционной связью.

Для выявления гендерных различий, проводили сравнение скоростных параметров винтового движения крови, показателей системной гемодинамики и упруго-эластических свойств сосудистой стенки между группами мужчин и женщин. Результаты данного сравнения приведены в таблице 4.

Из таблицы 4 видно, что значения максимальных скоростей продольного, вращательного компонентов и суммарной скорости кровотока были выше у мужчин, чем у женщин. Очевидно, это обусловлено тем, что у мужчин были более высокие показатели индекса резистентности, систолического и пульсового артериального давления, а эти факторы, как сказано выше, связаны прямой корреляционной связью со скоростными параметрами винтового движения крови.

Для оценки вращательного компонента сокращения миокарда проводилось эхокардиографическое исследование у 26 здоровых взрослых мужчин. Лоцировали сердце из парастеральной позиции по короткой оси на уровне фиброзного кольца митрального клапана в режиме двойного вывода изображения (Dual). Оценивали вращательный компонент сокращения левого желудочка по углу поворота фиброзного кольца митрального клапана в фазы систолы и диастолы, используя в качестве ориентира комиссуры митрального клапана (рис. 8).

Было выявлено вращательное движение фиброзного кольца митрального клапана, направленное в фазу систолы – против часовой стрелки, в фазу диастолы – по часовой стрелке (при наблюдении с верхушки). Угол ротации составлял $7,6 \pm 2,03^\circ$. Таким образом, сокращение миокарда левого желудочка включает вращательный компонент, который, вероятно, принимает непосредственное участие в формировании винтового потока крови в восходящем отделе и дуге аорты.

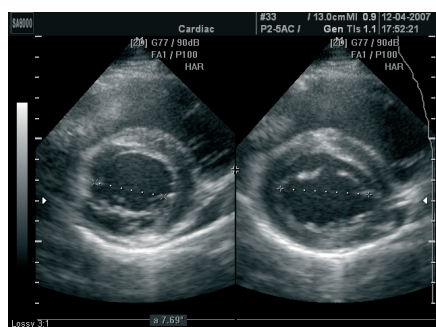


Рис. 8. Регистрация вращательного компонента сокращения миокарда левого желудочка. Парастеральная позиция по короткой оси. Слева – фаза систолы, створки митрального клапана закрыты. Справа – фаза диастолы, створки митрального клапана открыты. Показано измерение угла между отрезками, соединяющими комиссуры митрального клапана на правом и левом изображении

Следующей задачей проведенного исследования являлось установление особенностей винтового движения крови в ОСА у пациентов старшей возрастной группы с закономерными для данного возраста начальными признаками атеросклероза БЦА.

Частота регистрации винтового движения крови в ОСА у людей старшей возрастной группы в режиме ЦДК была выше по сравнению с группой молодых здоровых людей и составила в правой ОСА – 74,6%, в левой ОСА – 62,7%.

При оценке направления вращения винтового потока крови в ОСА у пациентов старшей возрастной группы было установлено, что в правой ОСА преобладало левое направление вращения (что отличало данную группу от основной, где в правой ОСА преобладало правое направление вращения), в левой ОСА различий между правым и левым направлением вращения крови не наблюдалось,

Скоростные параметры кровотока у пациентов старшей возрастной группы и их сравнение с аналогичными показателями у молодых здоровых лиц представлены в таблице 5.

Таблица 5. Сравнение скоростных параметров винтового движения крови в ОСА у здоровых лиц и пожилых пациентов с атеросклерозом БЦА.

Скорости	Средние значения скоростей, см/с		t	p
	основная группа	группа сравнения		
V _z max	114,0	77,1	6,78	<0,001
V _z mean	44,3	32,4	6,21	<0,001
V _z min	28,6	17,8	8,72	<0,001
V _θ max	18,0	19,6	-1,37	0,16
V _θ mean	5,9	8,8	-6,54	<0,001
V _θ min	2,5	4,7	-3,91	<0,001
V _r	1,0	0,5	5,85	<0,001
V _{summ} max	115,5	79,7	6,56	<0,001
V _{summ} mean	44,7	33,7	5,84	<0,001

Примечание: обозначения те же, что и в таблице 4.

Из данных, приведенных в таблице 5 видно, что у пациентов старшей возрастной группы с атеросклерозом БЦА скоростные параметры продольной и радиальной компонент кровотока были ниже, а скоростные параметры вращательной компоненты – выше по сравнению с молодыми людьми, за исключением значений максимальной вращательной скорости, различий между которыми выявлено не было. Суммарная скорость винтового движения была выше у молодых здоровых лиц.

При проведении корреляционного анализа с целью выявления связи между параметрами системной гемодинамики, упруго-эластическими свойствами сосудистой стенки и параметрами винтового движения крови у пациентов старшей возрастной группы была выявлена более сильная корреляционная связь скоростных параметров винтового движения крови с уровнем систолического и пульсового артериального давления по сравнению основной группой.

Большое значение для расстройств локальной и региональной гемодинамики имеют стенотические поражения артерий. Изменения параметров винтового движения крови в зоне атеросклеротических стенозов неизвестны. Нами было обследовано 19 стенозированных артерий у 16 пациентов. В исследование были включены магистральные артерии, наиболее часто поражаемые атеросклерозом: общие и внутренние сонные артерии, общие бедренные артерии. Степень стенозов в исследованных сосудах варьировала от 40% до 86%. Регистрация винтового движения крови проводилась в режиме ЦДК непосредственно в зоне стеноза.

Частота регистрации винтового движения крови в зоне атеросклеротических стенозов в целом составила 84,2%. Максимальная степень стенозирования артерии, при которой было зарегистрировано вращательный компонент кровотока, составляла 75%. Винтовое движение крови не регистрировалось в 15,8% случаев при стенозах, сопровождающихся выраженными локальными нарушениями гемодинамики в виде ускорения кровотока и расширения доплеровского спектра сдвига частот. Таким образом, в области атеросклеротических стенозов в большинстве случаев (при степени стенозирования от 40% до 75% по площади) возможна регистрация винтового движения крови.

ВЫВОДЫ

1. Методика цветового дуплексного сканирования позволяет устойчиво регистрировать и количественно оценивать вращательный компонент винтового движения крови.

2. Винтовое движение частиц крови в симметричных участках одноименных артерий правой и левой стороны чаще разнонаправленное, причем для правых общих сонных, наружных сонных и общих бедренных артерий характерно правое направление вращения, для левых – левое. Для внутренних сонных, подключичных и позвоночных артерий характерно обратное соотношение направлений вращения частиц крови. В области дуги аорты вращение потока крови имеет правое направление.

3. В местах бифуркаций магистральных артерий происходит разделение потока крови с формированием разнонаправленного вращения в дочерних ветвях.

4. Суммарная скорость движения частиц крови по винтовым траекториям состоит из продольного, вращательного и радиального компонентов; значение суммарной скорости винтового движения частиц крови составляет в общих сонных артериях у молодых здоровых людей: $M \pm \sigma - 45 \pm 8$ см/с, $DI - 42-47$ см/с, $Me - 45$ см/с, $P_{25} - 39$ см/с, $P_{75} - 51$ см/с. Соотношение поступательного и вращательного компонентов кровотока в общих сонных артериях составляет $7,7 \pm 2,4$, во внутренних сонных артериях – $3,5 \pm 1,1$. Суммарная скорость винтового движения крови у мужчин выше, чем у женщин на 18%.

5. Суммарная скорость винтового движения крови у молодых здоровых людей связана слабой прямой корреляционной связью с индексом резистентности, систолическим и пульсовым артериальным давлением и слабой обратной

корреляционной связью с диаметром сосуда, модулем Юнга и индексом жесткости.

6. Двухмерная эхокардиография позволяет зарегистрировать вращательный компонент сокращения левого желудочка сердца. Угол ротации фиброзного кольца митрального клапана составляет $7,6 \pm 2,03^\circ$.

7. У пациентов старшей возрастной группы с закономерными для этого возраста начальными проявлениями атеросклеротического поражения брахиоцефальных артерий по сравнению с молодыми здоровыми людьми величина продольного и радиального компонентов кровотока ниже на 27 и 49% соответственно, а вращательного компонента – выше на 49%.

8. При атеросклеротических стенозах магистральных артерий различной степени (от 40 до 75% по площади) в большинстве случаев (84,2%) регистрируется винтовое движение крови.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Для количественной оценки винтового движения крови следует рассчитывать суммарную скорость движения частиц крови по винтовым траекториям, с использованием режима цветового дуплексного сканирования и М-режима. Для расчета необходимо измерение трех компонентов суммарного вектора скорости: продольного, вращательного и радиального.

Измерение продольного компонента вектора скорости осуществляют путем регистрации доплерограммы кровотока из продольного сечения артерии по традиционной методике.

Измерение скорости вращательного компонента проводят в режиме цветового дуплексного сканирования при величине контрольного объема, соответствующей радиусу сосуда, и значению угла между ультразвуковым лучом и направлением кровотока 0° , путем регистрации доплерограмм кровотока из поперечного сечения артерии с поочередным помещением контрольного объема в латеральной и медиальной половинах просвета артерии.

Радиальный компонент скорости определяют с использованием М-режима путем расчёта отношения прироста радиуса артерии (Δr) ко времени его прироста (Δt) в момент прохождения пульсовой волны.

Расчет суммарной скорости движения частиц крови по винтовым траекториям осуществляют по формуле:

$$V_{sum} = \sqrt{v_z^2 + v_\theta^2 + v_r^2},$$

где V_{sum} – суммарная скорость винтового движения частиц крови, v_z – продольный компонент скорости кровотока, v_θ – вращательный компонент скорости кровотока, v_r – радиальный компонент скорости кровотока.

Суммарная скорость винтового движения частиц крови, рассчитанная по средним значениям продольного и вращательного компонентов в норме составляет: $M \pm \sigma - 45 \pm 8$ см/с, $DI - 42-47$ см/с, $Me - 45$ см/с, $P_{25} - 39$ см/с, $P_{75} - 51$ см/с.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.

1. Кирсанов Р. И. Регистрация винтового движения крови в общих сонных артериях у людей. // Молодежь Барнаулу : материалы науч.-практ. конф. – Барнаул, 2005. – С. 189-190.
2. Куликов В. П., Кирсанов Р. И., Засорин С. В. Допплерографическая регистрация феномена винтового движения крови в общих сонных артериях у людей. // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2006. – №2 – С. 96-100.
3. Кирсанов Р. И. Регистрация феномена винтового движения крови в общих сонных артериях у людей с помощью современных доплеровских методик. // Педиатры Алтая – будущему России : материалы науч.-практ. всероссийской конф., посв. 40-летию пед. факультета АГМУ. – Барнаул, 2006. – С. 647-649.
4. Куликов В.П., Кирсанов Р.И. Допплерографическая регистрация винтового движения крови в сонных артериях. // В сб. 5-го съезда Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине. – Москва, 2007. – С.90.
5. Куликов В. П. Кирсанов Р. И. Основные закономерности винтового движения крови в общих сонных артериях у людей. // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2008. – Т. 94, №8. – С. 900-908.
6. Кирсанов Р. И., Куликов В. П. Допплерографическая регистрация винтового движения крови. // VI Сибирский физиологический съезд. Тезисы докладов. – Барнаул, 2008. – Т I. – С. 31-32.

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ:

ОСА	– общая сонная артерия
ВСА	– внутренняя сонная артерия
НСА	– наружная сонная артерия
ПкА	– подключичная артерия
ПА	– позвоночная артерия
ОБА	– общая бедренная артерия
D_d	– диаметр сосуда в диастолу
D_s	– диаметр сосуда в систолу
v_z	– продольная компонента скорости кровотока
v_θ	– вращательная компонента скорости кровотока
v_r	– радиальная компонента скорости кровотока
V_{summ}	– суммарная скорость винтового движения крови
RI	– индекс резистентности
ЧСС	– частота сердечных сокращений
АД	– артериальное давление
САД	– систолическое артериальное давление
ДАД	– диастолическое артериальное давление
ПАД	– пульсовое артериальное давление
ЦДК	– цветное доплеровское картирование
ЦДС	– цветное дуплексное сканирование

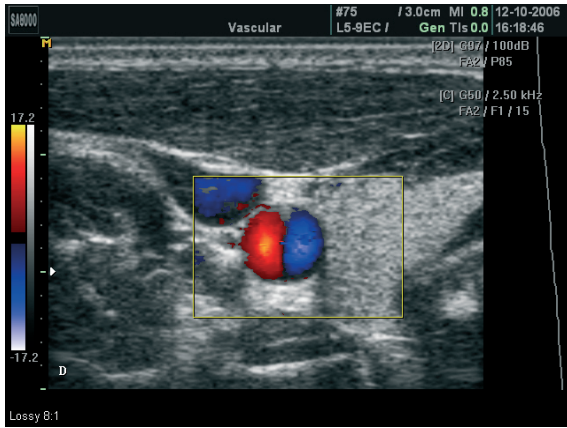


Рис. 1. Правая общая сонная артерия в поперечном скане. В режиме цветового доплеровского картирования определяется различное окрашивание кровотока в латеральной и медиальной половинах сосуда.

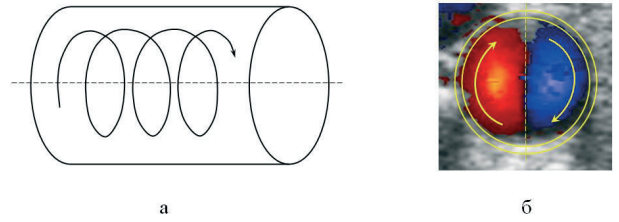
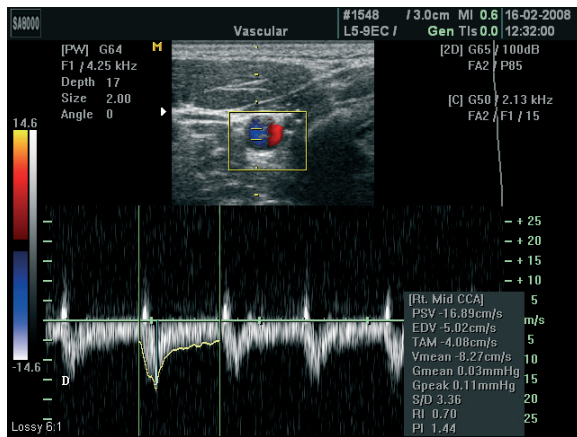
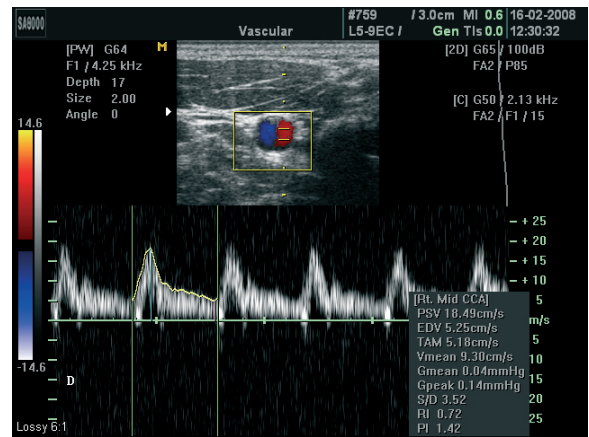


Рис. 2. Схема, поясняющая возникновение различного окрашивания кровотока в латеральной и медиальной половинах сосуда при винтовом движении крови. а – винтовая траектория движения частиц крови; б – различное цветовое картирование поперечного сечения сосуда обусловлено разнонаправленным движением частиц крови в разных половинах сосуда.



а.



б.

Рис. 3. Правая общая сонная артерия в поперечном скане в режиме триплексного сканирования; а – контрольный объем расположен в латеральной половине сосуда, доплерограмма расположена преимущественно ниже базальной линии; б – контрольный объем расположен в медиальной половине сосуда, доплерограмма расположена преимущественно выше базальной линии.

Подписано в печать 20.04.09. Формат 60x84/16
Бумага офсетная. Печать ризографическая. Объем 1 п.л.
Тираж 100 экз.

Отпечатано: РА «ПАРАГРАФ»
г. Барнаул, пр. Ленина 40, каб. 31, тел. (385-2) 366-143
Лицензия на полиграфическую деятельность ПД 12-061 от 04.01.2002 г.