

**На правах рукописи**

**Сидоренко Анастасия Александровна**

**ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВНУТРЕННИХ  
СОННЫХ АРТЕРИЙ ЧЕЛОВЕКА С УЧЕТОМ ВОЗРАСТА,  
ПОЛА И ЛОКАЛИЗАЦИИ АРТЕРИИ**

**03.03.01 – физиология**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата биологических наук**

**Томск – 2013**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Алтайский государственный университет» (г. Барнаул).

**Научный руководитель:**

доктор биологических наук, доцент **Филатова Ольга Викторовна**

**Официальные оппоненты:**

доктор биологических наук, профессор **Ласукова Татьяна Викторовна**  
кафедры медико-биологических  
дисциплин ФГБОУ ВПО «Томский  
государственный педагогический  
университет»

кандидат биологических наук, доцент, **Вымятина Зоя Кузьминична**  
доцент кафедры физиологии человека и  
животных ФГБОУ ВПО  
«Национальный исследовательский  
Томский государственный  
университет»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное  
учреждение «Научно-исследовательский институт физиологии и  
фундаментальной медицины» СО РАМН

Защита состоится: «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г. на заседании диссертационного  
совета Д 208.096.01 при ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России (634050  
г. Томск, Московский тракт, 2)

С диссертацией можно ознакомиться в научно-медицинской библиотеке  
Сибирского государственного медицинского университета

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

И.В.Петрова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Функционирование организма и продолжительность его жизни часто предопределяется состоянием мозгового кровообращения, поэтому исследование кровотока головного мозга является актуальной задачей физиологии. Особую важность изучение мозгового кровообращения приобретает в связи со значительным омоложением смертности от причин связанных с его дисфункцией [Белопасов В.В. с соавт., 2000; Федин А.И. с соавт., 2005; Бадалян О.Л. с соавт., 2008; Статинова Е.А. с соавт., 2010].

В настоящее время благодаря широкому внедрению в клиническую практику современных малоинвазивных методов диагностики стало возможным исследование артерий, кровоснабжающих мозг, *in situ* и в связи с этим диаметр и параметры их кровотока требуют уточнения [Николаева И.И. с соавт., 2006; Васильченко В.В. с соавт., 2006; Абрамова М.Ф. с соавт., 2009; Богданова Е.С. с соавт., 2009; Новикова Л.Б. с соавт., 2010; Зубарева Е.А. с соавт., 2010; Тюлякова С.Ш. с соавт., 2011; Шарафеев А.З. с соавт., 2011; Чечеткин А.О. с соавт., 2011; Тимина И.Е. с соавт., 2011; Кузьменко Е.А. с соавт., 2012; Морочкин В.С. с соавт., 2012; Засорин С.В. с соавт., 2012]. При этом необходимо знать особенности индивидуальной изменчивости этих артерий у людей различного возраста и пола, потому что разграничить нормальные и патологически измененные артерии можно только на основании знания диапазона анатомической и физиологической нормы [Кандель Э.И. и соавт., 1989, цит. по: Фомкина О.А., 2006].

Несмотря на значительные достижения в изучении гемодинамики в бассейнах наружных и внутренних сонных артерий, в современной физиологии еще не решен целый ряд вопросов, часть из которых даже не ставилась для обсуждения. Анализ литературы по теме исследования показал, что до сих пор нет работ, комплексно освещающих морфометрические и гемодинамические показатели во внутренних сонных артериях. Имеющиеся в литературе сведения, касающиеся морфометрических параметров шейной части внутренней сонной артерии от юношеского периода до старческого возраста получены на аутопсийном материале [Гладилин Ю.А., 2006]. Отсутствуют данные о морфометрических параметрах экстракраниальной части внутренних сонных артерий в возрастные периоды от грудного до юношеского возраста. При изучении гемодинамических параметров внутренних сонных артерий либо исследовался широкий возрастной диапазон без учета пола и стороны артерии [Смирнов К.В. с соавт., 2001], либо рассматривалась асимметрия кровотока, но при этом не учитывался пол и принадлежность человека к определенному возрастному периоду [Schoning M. et al., 1994; Лелюк В.Г. с соавт., 2004; Логачева И.В. с соавт., 2005; Королева М.В. с соавт., 2008; Прыгова Ю.А. с соавт., 2012]. Использование различных схем возрастной периодизации в исследованиях многих авторов привели к сложности сопоставления результатов друг с другом [Смирнов К.В. с соавт., 2001; Yazıcı

V. et al., 2005; Albayrak R. et al., 2006; Schebesch K.M. et al., 2004; Румянцева И.В., 2005; Шишелова О.В. с соавт., 2006]. Не изучались такие количественные характеристики кровотока во внутренних сонных артериях, как величина напряжения сдвига и число Рейнольдса. Актуальность и недостаточность изученности проблемы определило цель настоящей работы.

**Цель работы.** Выявить закономерности изменчивости размерных характеристик и гемодинамических показателей шейной части внутренних сонных артерий у лиц различного возраста с учетом пола и локализации артерии.

**Задачи исследования:**

1. Выявить закономерности изменчивости диаметра экстракраниальной части внутренних сонных артерий в постнатальном онтогенезе человека.
2. Проанализировать величину сосудистого сопротивления внутренних сонных артерий в различные возрастные периоды.
3. Исследовать возрастные особенности вязкости крови от периода раннего детства до пожилого возраста.
4. Оценить показатели скорости кровотока в экстракраниальной части внутренних сонных артерий в различные возрастные периоды.
5. Изучить половые различия морфометрических и гемодинамических показателей внутренних сонных артерий.
6. Оценить асимметрию морфометрических и гемодинамических показателей внутренних сонных артерий.
7. Проанализировать половые различия и асимметрию средней линейной скорости и напряжения сдвига во внутренних сонных артериях.

**Научная новизна.** Впервые проведено комплексное исследование изменчивости размерных характеристик и гемодинамических показателей внутренних сонных артерий у лиц различного возраста с учетом пола и локализации артерии от периода раннего детства до пожилого возраста.

В ходе исследования впервые:

- выявлены периоды увеличения изменений диаметра внутренних сонных артерий от раннего детства до подросткового возраста и от первого зрелого до пожилого возраста;
- установлено, что величина диаметра, в большинстве возрастных периодов у лиц мужского пола выше, чем у лиц женского пола;
- установлено, что вязкость крови имеет более низкие значения от периода раннего детства до второго детства, увеличивается к подростковому возрасту, начиная с этого возраста вязкость крови у лиц мужского пола становится выше, чем у лиц женского пола, половые различия в вязкости крови нивелируются к пожилому периоду;
- выявлено, что объемная скорость кровотока имеет относительно стабильные параметры до юношеского периода, затем снижается к пожилому возрасту, линейная скорость кровотока, напряжение сдвига и число Рейнольдса с возрастом прогрессивно снижаются.

- показано, что для внутренних сонных артерий характерен ламинарный поток крови с локальными завихрениями на начальных этапах постнатального онтогенеза,

- установлено, что средняя линейная скорость и напряжение сдвига в обеих внутренних сонных артериях симметричны и не имеют половых различий.

Систематизированы и дополнены данные об индексах, отражающих сопротивление в бассейне внутренних сонных артерий (индекс сосудистого сопротивления, пульсационный индекс, систоло-диастолическое отношение), параметрах линейной скорости (систолической, диастолической, средней линейной) кровотока в постнатальном онтогенезе человека.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Скорость роста диаметра внутренних сонных артерий в процессе постнатального онтогенеза меняется неравномерно. Наиболее интенсивное увеличение диаметров внутренних сонных артерий происходит в периоде от раннего детства до подросткового возраста и от первого зрелого до пожилого возраста. Величина диаметра, в большинстве возрастных периодов у лиц мужского пола выше, чем у лиц женского пола. Среди лиц обоего пола в равной мере встречаются испытуемые с левосторонней и правосторонней асимметрией диаметра внутренних сонных артерий.

2. Объемная скорость кровотока имеет относительно стабильные параметры до юношеского периода, затем снижается к пожилому возрасту. Средняя линейная скорость, напряжение сдвига и число Рейнольдса с возрастом прогрессивно снижаются в два раза. Для внутренних сонных артерий характерен ламинарный поток крови с локальными завихрениями на начальных этапах постнатального онтогенеза.

3. На всем протяжении постнатального онтогенеза показаны оптимальные условия для артериального звена кровоснабжения головного мозга – средняя линейная скорость и напряжение сдвига в обеих внутренних сонных артериях симметричны и не имеют половых различий.

**Теоретическая значимость.** Полученные в ходе исследования данные о возрастных особенностях гемодинамики во внутренних сонных артериях в зависимости от возраста, пола и локализации артерии дополняют и углубляют понимание онтогенетических закономерностей развития артериальной системы в организме человека. Полученные данные о возрастной динамике напряжения сдвига и числа Рейнольдса существенно уточняют современные представления об особенностях гемодинамики в бассейне внутренних сонных артерий.

**Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть основой для разработки нормативов, отражающих особенности диаметра и гемодинамических параметров экстракраниальной части внутренних сонных артерий в отдельные возрастные периоды и использоваться в клинике для диагностики отклонений в развитии экстракраниальной части внутренних сонных артерий.

Результаты исследования учитываются при интерпретации результатов дуплексного сканирования при исследовании экстракраниальной части внутренних сонных артерий в ООО ПКД «Здоровье» г. Барнаул.

Результаты исследования используются в учебном процессе при чтении курса «Физиология человека и животных» для студентов специальности биология, спецкурса «Физиология кровообращения» для студентов специализации «физиология» кафедры зоологии и физиологии биологического факультета ФГБОУ ВПО «АлтГУ».

**Апробация работы.** Основные результаты исследования докладывались и обсуждались на Международной конференции «Физиология развития человека» (Москва, 2009), XI научно–практической конференции молодых ученых (Барнаул, 2009), VI Международной научно–практической конференции «Современные проблемы гуманитарных и естественных наук» (Москва, 2011), Международной заочной научно–практической конференции (Тамбов, 2011), III международной научно–практической конференции «Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования в физиологии и медицине» (Санкт–Петербург, 2012), VII Сибирском физиологическом съезде (Красноярск, 2012).

**Публикации.** Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных журналах и изданиях. По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ, из них в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ – 3, и 5 работ опубликовано в материалах международных конференций.

**Личное участие автора.** Автором самостоятельно проводилась обследование 30% испытуемых и дальнейшая обработка всего объема протоколов ультразвукового дуплексного сканирования внутренних сонных артерий, осуществлялась группировка представленных в них данных согласно возрастной периодизации, с учетом пола человека и асимметрии артерии. Автором самостоятельно проведено исследование вязкости крови в возрасте от раннего детства до пожилого возраста с учетом пола испытуемых. На основании данных протоколов обследования и по полученным данным о вязкости крови была сформирована база данных по показателям экстракраниальной части внутренних сонных артерий и вязкости крови. Автором самостоятельно дополнительно были рассчитаны показатели сосудистого сопротивления, объемная скорость кровотока, средняя линейная скорость, напряжение сдвига и число Рейнольдса с учетом данных о вязкости крови в разные возрастные периоды. Автором самостоятельно проведена статистическая обработка результатов, их научный анализ и обсуждение, сформулированы выводы и положения, выносимые на защиту.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация изложена на 141 странице машинописного текста, содержит 8 таблиц и 30 рисунков. Состоит из введения, 3 глав и выводов. Список цитируемой литературы содержит 198 отечественных и 36 иностранных источников.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методом ультразвукового дуплексного сканирования выполнены исследования внутренних сонных артерий совместно с врачом высшей категории Ю.Ю. Скоробогатовым на базе ООО ПКД «Здоровье» г. Барнаул. Нами проведен анализ 647 протоколов ультразвукового обследования пациентов женского и мужского пола, не имевших сосудистой патологии. Данные были сгруппированы по возрастным периодам с учетом пола в соответствии со «Схемой возрастной периодизации онтогенеза человека», принятой на VII Всесоюзной конференции по проблемам возрастной морфологии, физиологии и биохимии АПН СССР (Москва, 1965). В нашем исследовании охвачен возрастной диапазон от периода раннего детства до пожилого возраста включительно.

В соответствии с целями и задачами исследования проведено измерение вязкости крови на базе Алтайской краевой детской клинической больницы г. Барнаул и Диагностического центра Алтайского края г. Барнаул, у лиц женского и мужского пола, проходивших диспансерный осмотр, относящихся к группе здоровых лиц и имевших лабораторные показатели общего клинического анализа крови в пределах нормы. Критериями включения в группу испытуемых являлись: возраст от 1 года до 75 лет, информированное согласие совершеннолетних участников и представителей несовершеннолетних участников на участие в исследовании. Общее количество лиц вошедших в исследование вязкости крови составило 499 человек.

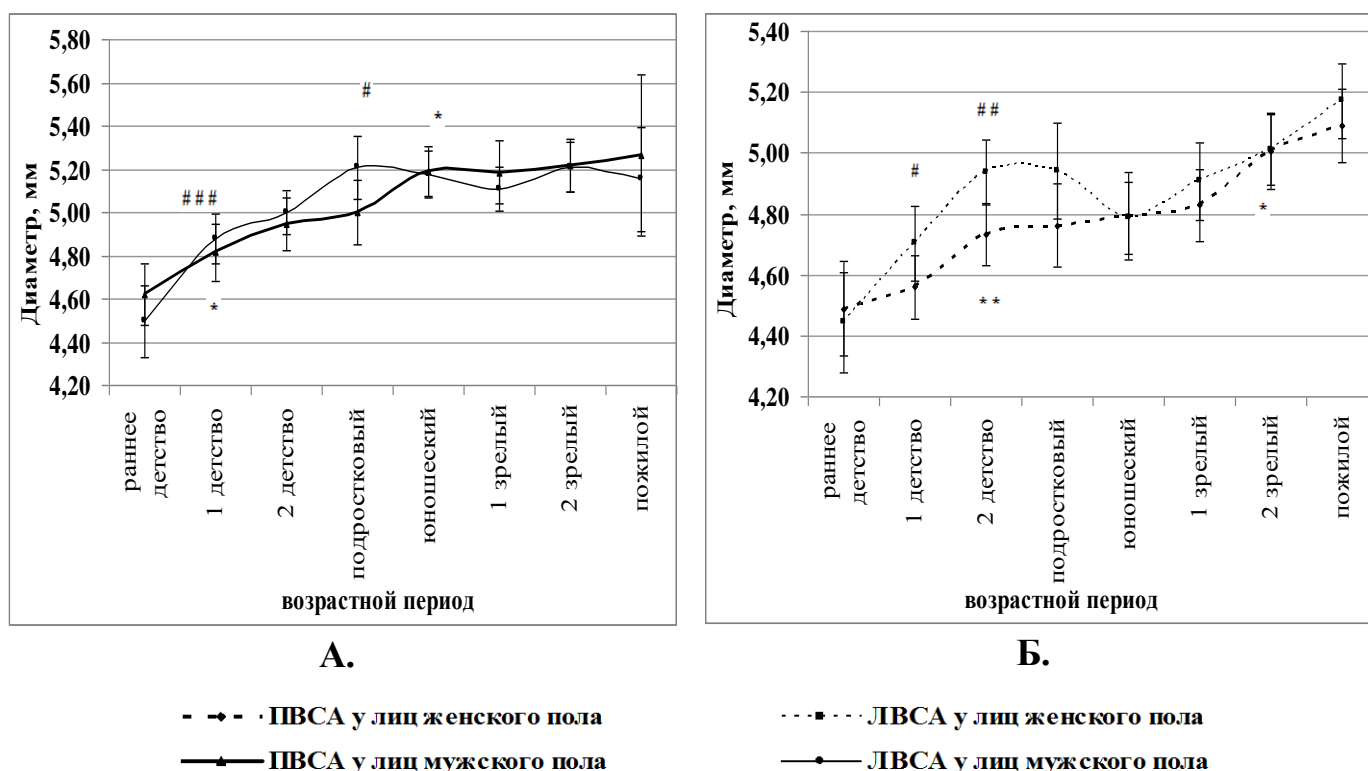
Ультразвуковое исследование внутренних сонных артерий осуществлялось по стандартной методике на сканере Medison SonoAce-8000. С обеих сторон измерялся диаметр внутренней сонной артерии в В-режиме, в D-режиме измерялись количественные показатели доплерограммы – линейная систолическая ( $V_{ps}$ ) и диастолическая скорость кровотока ( $V_{ed}$ ), индекс сосудистого сопротивления (RI). Дополнительно к полученным количественным показателям кровотока при ультразвуковом обследовании были рассчитаны показатели: пульсационный индекс (PI), систоло-диастолическое отношение (СДК), средняя линейная скорость кровотока ( $V_m$ ), объемная скорость кровотока (Q), напряжение сдвига ( $\tau$ ) и число Рейнольдса (Re). Вязкость крови определялась методом Гесса при помощи медицинского капиллярного вискозиметра ВК-4 в стандартных условиях.

Полученные данные обработаны вариационно-статистическими методами. Рассчитывали общепринятые показатели описательной статистики и статистики вывода: среднее арифметическое (M), среднеквадратическое отклонение (SD), стандартная ошибка (m), 95 % доверительный интервал (95 % ДИ). 95 % ДИ изменчивости признаков определяли как  $M \pm 2m$  [Ланг Т.А. с соавт., 2011]. Выборки данных проверяли на нормальность распределения, для чего был использован критерий Колмогорова-Смирнова при уровне значимости  $p < 0,05$ . Для определения статистической значимости различий

характеристик исследуемых независимых выборок с нормальным распределением использовались параметрический критерий t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Статистическая обработка материала осуществлялась с использованием программных продуктов SPSS 20.0 фирмы IBM for Windows.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Скорость роста диаметра внутренних сонных артерий в процессе постнатального онтогенеза меняется неравномерно. Наиболее интенсивное увеличение диаметров внутренних сонных артерий происходит в периоде от раннего детства до подросткового возраста и от первого зрелого до пожилого возраста (рис.1).

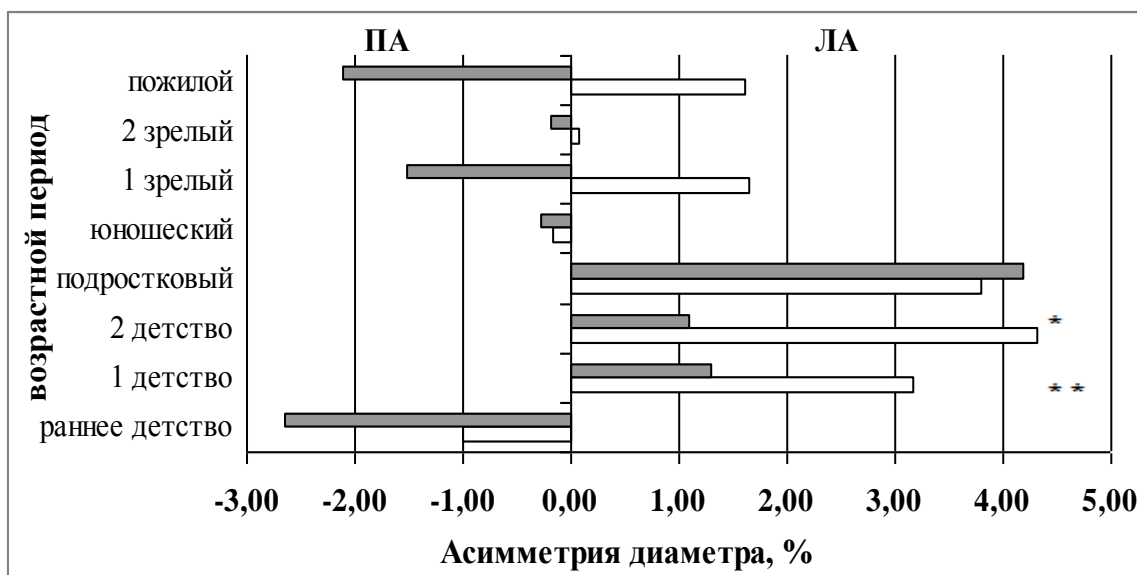


Статистически значимые отличия между показателями возрастных периодов:  
 для ПВСА\* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ;  
 для ЛВСА # –  $p < 0,05$ ; ## –  $p < 0,01$ ; ### –  $p < 0,001$

Рис. 1. Возрастные особенности диаметра шейной части внутренних сонных артерий у лиц мужского (А) и женского пола (Б) ( $M \pm 2m$ ).

Значения диаметра внутренних сонных артерий у лиц мужского пола выше, чем у лиц женского пола от раннего детства до пожилого возраста (рис. 1). В нашем исследовании выявлена левосторонняя асимметрия диаметров внутренних сонных артерий у лиц женского пола во втором детстве ( $p=0,007$ ), у лиц мужского пола – в подростковом периоде ( $p=0,047$ ) (рис. 2).



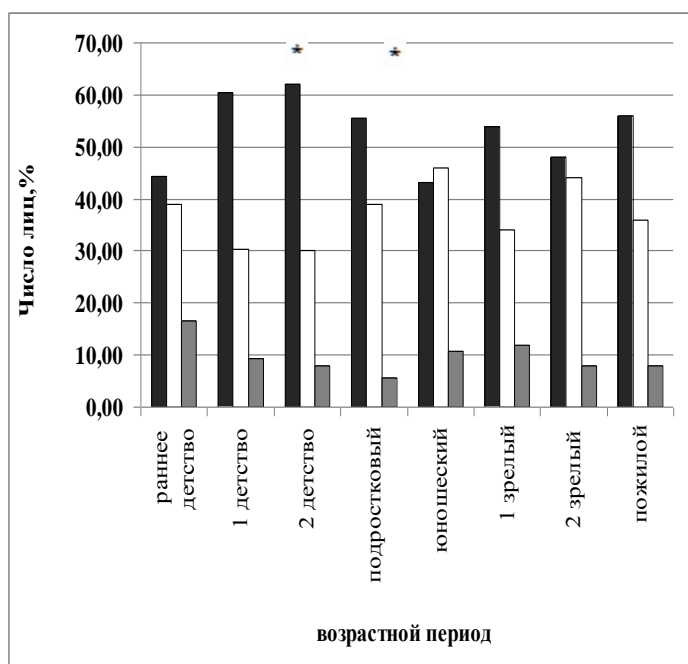


□ лица женского пола    ■ лица мужского пола

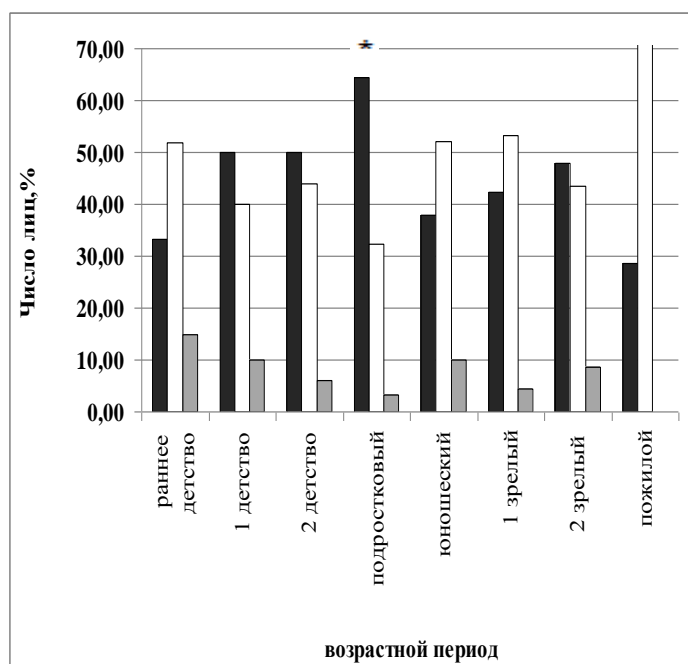
\* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

ПА – правосторонняя асимметрия; ЛА – левосторонняя асимметрия

Рис. 2. Асимметрия диаметра внутренних сонных артерий у лиц мужского и женского пола.



А.



Б.

■ лица с левосторонней асимметрией  
 ■ лица с отсутствием асимметрии  
 □ лица с правосторонней асимметрией

\* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Рис. 3. Возрастная динамика представленности лиц (в %) с левосторонней асимметрией, правосторонней асимметрией и отсутствием асимметрии по показателю диаметра шейного отдела экстракраниальной части внутренних сонных артерий у лиц женского (А) и мужского (Б) пола.

Полученные нами данные диаметра внутренних сонных артерий несколько выше результатов, полученных Ю.А. Гладилиным [2006] на аутопсийном материале внутренних сонных артерий для юношеского, зрелого, пожилого и старческого возраста. Это говорит о том, что данные, полученные на аутопсийном материале, не могут быть экстраполированы на живой организм. И.В. Румянцева [2005], используя метод ультразвукового сканирования, не выявила изменения диаметра внутренней сонной артерии в исследованном возрастном диапазоне от 4 до 17 лет. В нашей работе диаметр ВСА увеличивается в среднем на 5 % от возраста первого детства к юношескому возрасту у лиц женского пола и на 7% у лиц мужского пола.

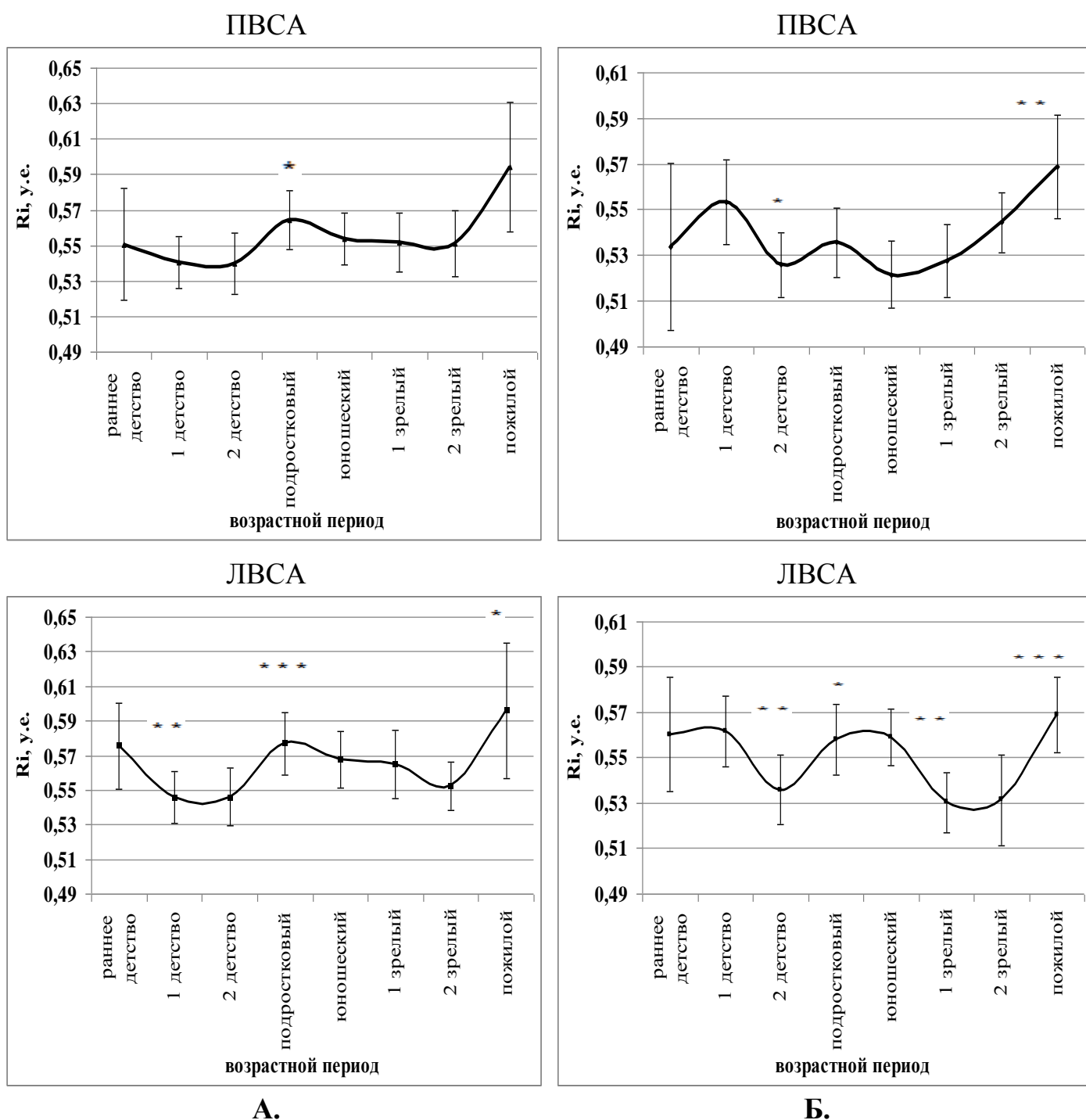
Процентное распределение лиц с различной асимметрией показало, что среди лиц обоего пола приблизительно в равной мере встречаются испытуемые как с левосторонней, так и с правосторонней асимметрией (рис. 3) за исключением периодов первого детства ( $p=0,037$ ), второго детства ( $p=0,026$ ) у лиц женского пола (рис. 3А). Количество испытуемых с отсутствием асимметрии у лиц женского пола относительно стабильно на протяжении всего исследуемого возрастного отрезка (рис. 3А). У лиц мужского пола (рис. 3Б) наибольшее количество лиц с левосторонней асимметрией отмечается в подростковом возрасте ( $p=0,041$ ).

Для изучения сосудистого сопротивления в бассейне внутренних сонных артерий мы исследовали такие показатели как RI, СДК и PI. Все эти три показателя имеют сходную динамику, которую мы рассмотрим на примере индекса сосудистого сопротивления (рис.4 А, Б). Значения показателя RI остаются на одном уровне с небольшими колебаниями от периода раннего детства до второго зрелого возраста и статистически значимо увеличиваются к пожилому возрасту в левой внутренней сонной артерии у представителей обоих полов (у лиц женского пола  $p=0,001$ ; у лиц мужского пола  $p=0,003$ ).

Линейная скорость кровотока во внутренних сонных артериях градуально уменьшается с возрастом, снижаясь к пожилому возрасту на 45–50 % по сравнению с периодом раннего детства (рис. 5). На основании данных о диаметре и средней линейной скорости мы рассчитали объемную скорость кровотока как произведение площади поперечного сечения сосуда на среднюю скорость кровотока и на величину пульсационного индекса.

У лиц мужского пола объемная скорость кровотока в правой и левой внутренних сонных артериях (рис. 6) относительно стабильна от периода раннего детства до юношеского возраста. Далее объемная скорость прогрессивно снижается от юношеского периода к первому ( $p=0,000$  в левой внутренней сонной артерии) и второму периодам зрелого возраста ( $p=0,003$  и  $p=0,004$  соответственно в правой внутренней сонной артерии). После показатель увеличивается к пожилому периоду (рис. 6). В целом наблюдается снижение объемной скорости кровотока приблизительно на 30 %. Обнаруженные нами возрастные изменения линейной и объемной скоростей

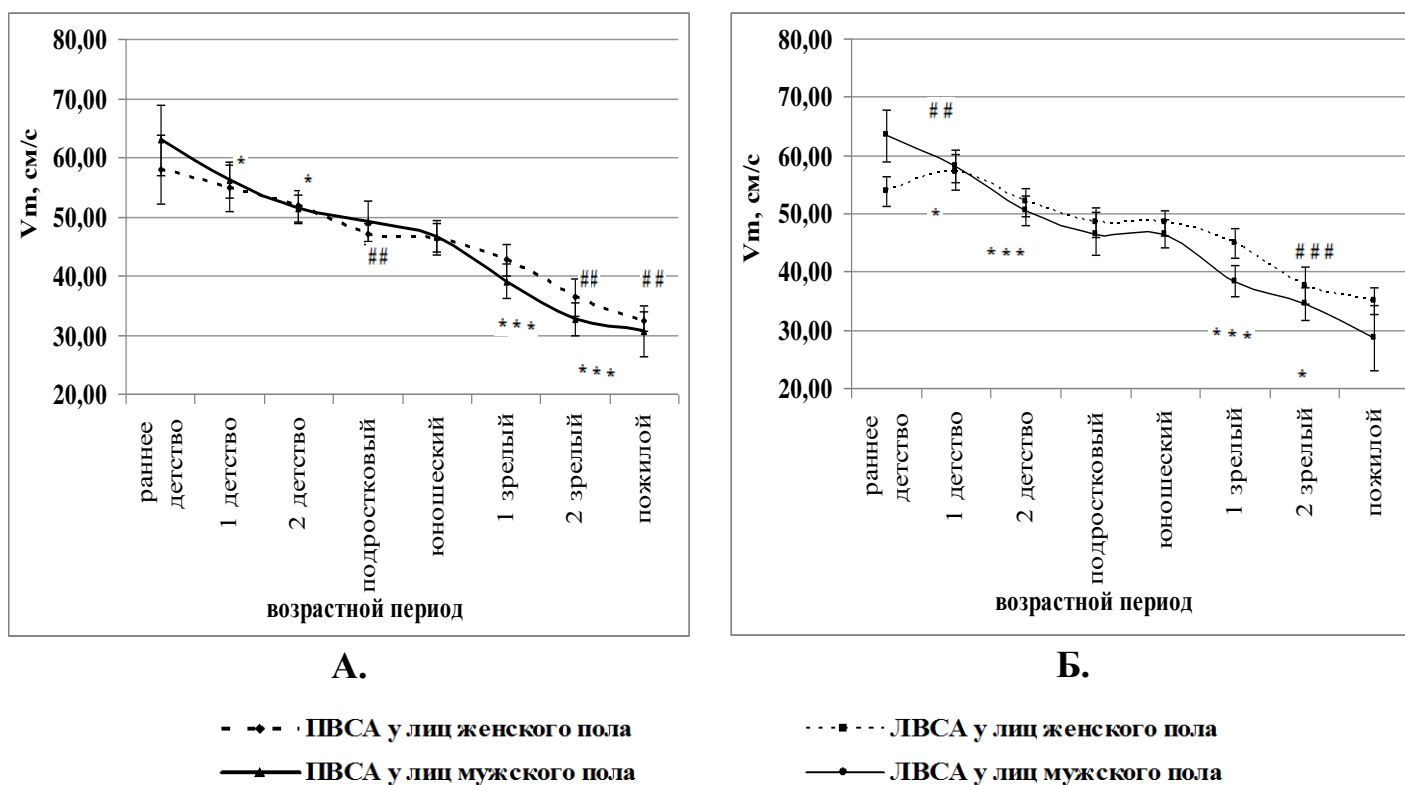
потока могут быть объяснены онтогенетической динамикой МОК. МОК, характерным свойством которого является его тесная связь с ростом



Статистически значимые отличия между показателями возрастных периодов:  
\* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Рис. 4. Изменения индекса сосудистого сопротивления шейной части правой (ПВСА) и левой (ЛВСА) внутренних сонных артерий у лиц мужского (А) и женского (Б) пола в разные возрастные периоды ( $M \pm 2m$ ).

организма, увеличивается параллельно росту организма и останавливается с его окончанием. Общеизвестно, что возрастное увеличение МОК связано с необходимостью удовлетворения возрастающего общего кислородного запаса, а снижение интенсивности кровотока – с уменьшением интенсивности потребления кислорода [Лауэр Н.В. с соавт., 1966; Колчинская А.З., 1973; Гуревич М.И., 1978; Шахлина Л.Г. с соавт., 2008]. Система кровообращения благодаря своей многоуровневой организации обеспечивает адекватное кровоснабжение органов и тканей. В каждый возрастной период растущего организма она претерпевает изменения, продиктованные физиологической целесообразностью [Грибанов А.В. с соавт., 2011].



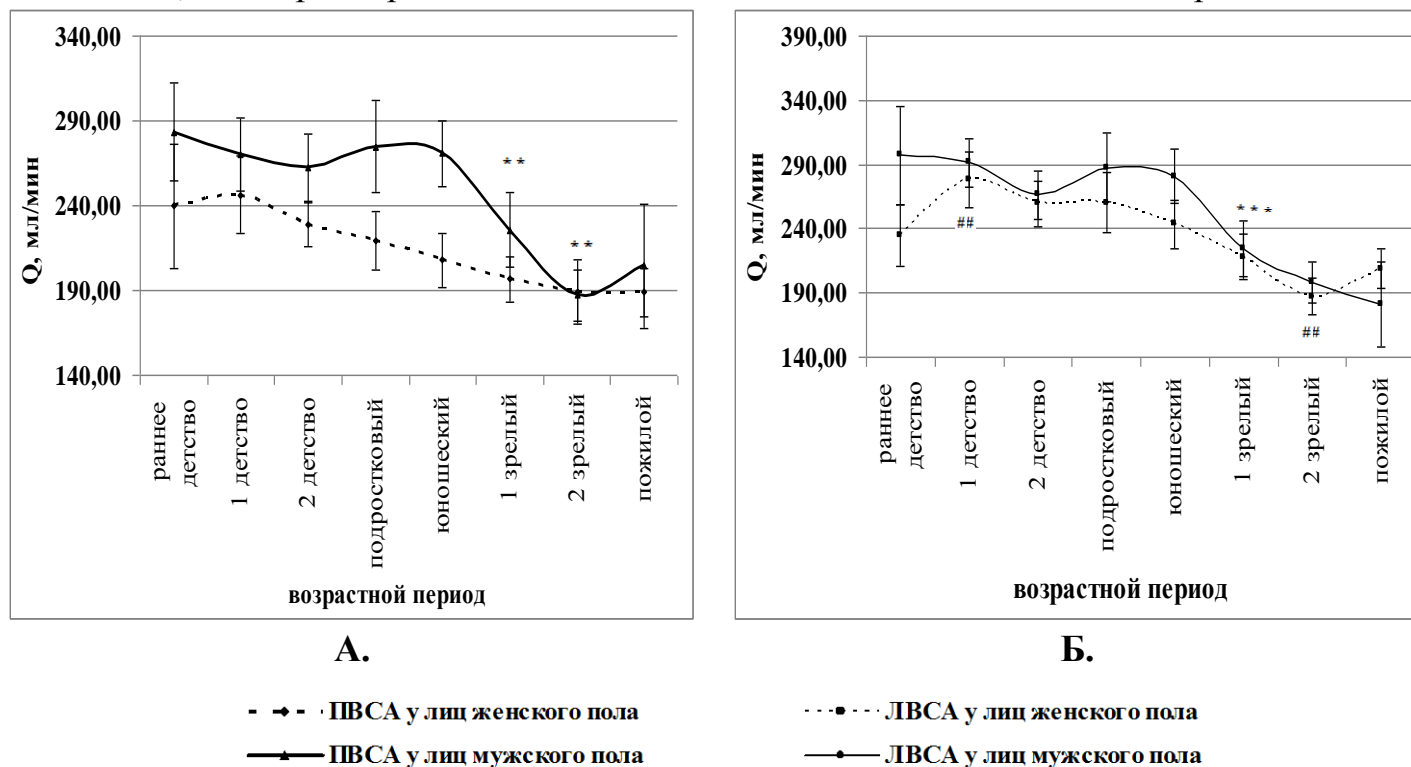
Статистически значимые отличия между показателями возрастных периодов:  
 для лиц мужского пола \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ;  
 для лиц женского пола # –  $p < 0,05$ ; ## –  $p < 0,01$ ; ### –  $p < 0,001$ .

Рис.5. Возрастные особенности средней линейной скорости кровотока шейной части правой (А) и левой (Б) внутренней сонной артерии у лиц женского и мужского пола ( $M \pm 2m$ ).

Во время развития организма происходит онтогенетическое преобразование кровеносного русла, при этом устанавливается уровень органного кровотока [Беличенко В.М. с соавт., 2004]. Церебральное кровообращение обладает высоким уровнем автономии, но при этом его нельзя рассматривать изолированно от системной гемодинамики, так как система мозгового кровообращения является частью систем более высокого

порядка (например, сердечно–сосудистой системы) [Лелюк С.Э. с соавт., 2010].

Наше исследование подтвердило данные К.В. Смирнова с соавт. [2001] о том, что параметры линейной систолической и диастолической скорости



Статистически значимые отличия между показателями возрастных периодов:  
 для лиц мужского пола: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ;  
 для лиц женского пола # –  $p < 0,05$ ; ## –  $p < 0,01$ ; ### –  $p < 0,001$

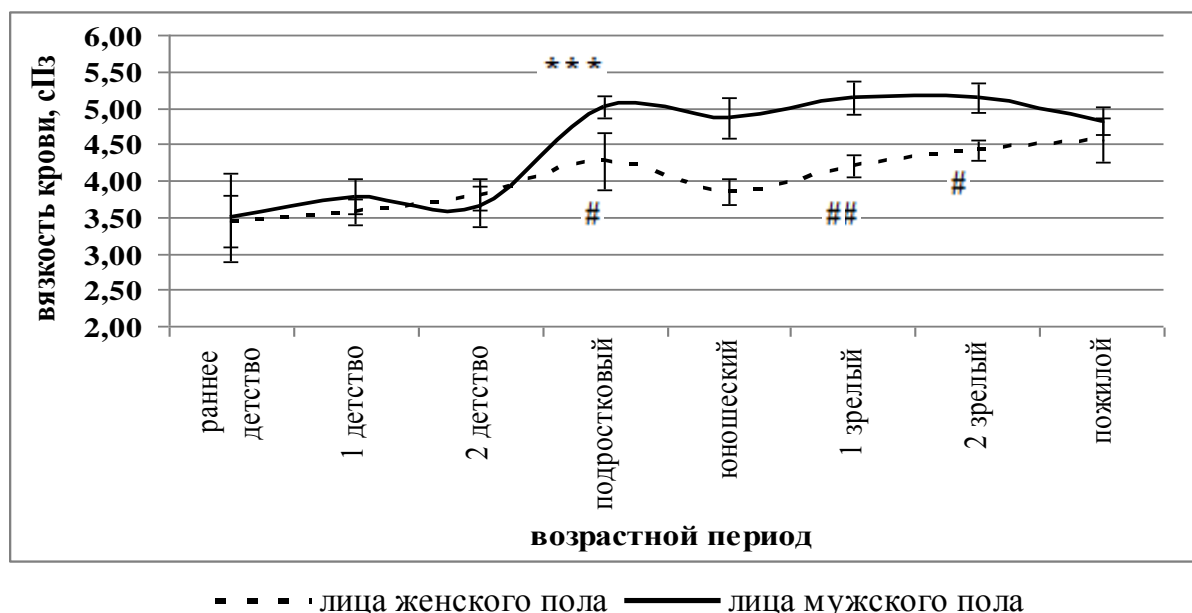
Рис. 6. Объемная скорость кровотока в шейной части правой (А) и левой (Б) внутренней сонной артерии у лиц женского и мужского пола в разные возрастные периоды ( $M \pm 2m$ ).

кровотока меняются в зависимости от возраста. В целом наши результаты согласуются с данными К.В. Смирнова с соавт. [2001] для широкого возрастного диапазона, О.В. Шишеловой с соавт. (2006) для периодов второго детства, подросткового и юношеского возраста, В.П. Носова с соавт. [2005] для лиц пожилого возраста.

Обнаруженные нами возрастные изменения линейной и объемной скоростей потока согласуются с данными Ю.Е. Москаленко с соавт [2010] о том, что мозговой кровоток с возрастом уменьшается, снижаясь к 80 годам на 35–45 % по сравнению с группой 25-30 лет.

Вязкость крови от периода раннего детства до второго детства имеет более низкие значения, достигает взрослых значений к подростковому возрасту (рис. 7). Половые различия в вязкости крови до периода второго детства отсутствуют и выявляются в подростковом, юношеском и зрелом возрасте, нивелируются к пожилому возрастному периоду. При этом

вязкость у лиц мужского пола во всех возрастных периодах, начиная с подросткового возраста, выше, чем у лиц женского пола (рис. 7).



Статистически значимые отличия между показателями возрастных периодов:  
 для лиц мужского пола: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ;  
 для лиц женского пола # –  $p < 0,05$ ; ## –  $p < 0,01$ ; ### –  $p < 0,001$

Рис. 7. Вязкость крови у лиц женского и мужского пола в разные возрастные периоды ( $M \pm 2m$ ).

Величину напряжения сдвига вычисляли, используя среднестатистические показатели вязкости крови в изученных возрастных группах. Полученные результаты представлены на рис. 8.

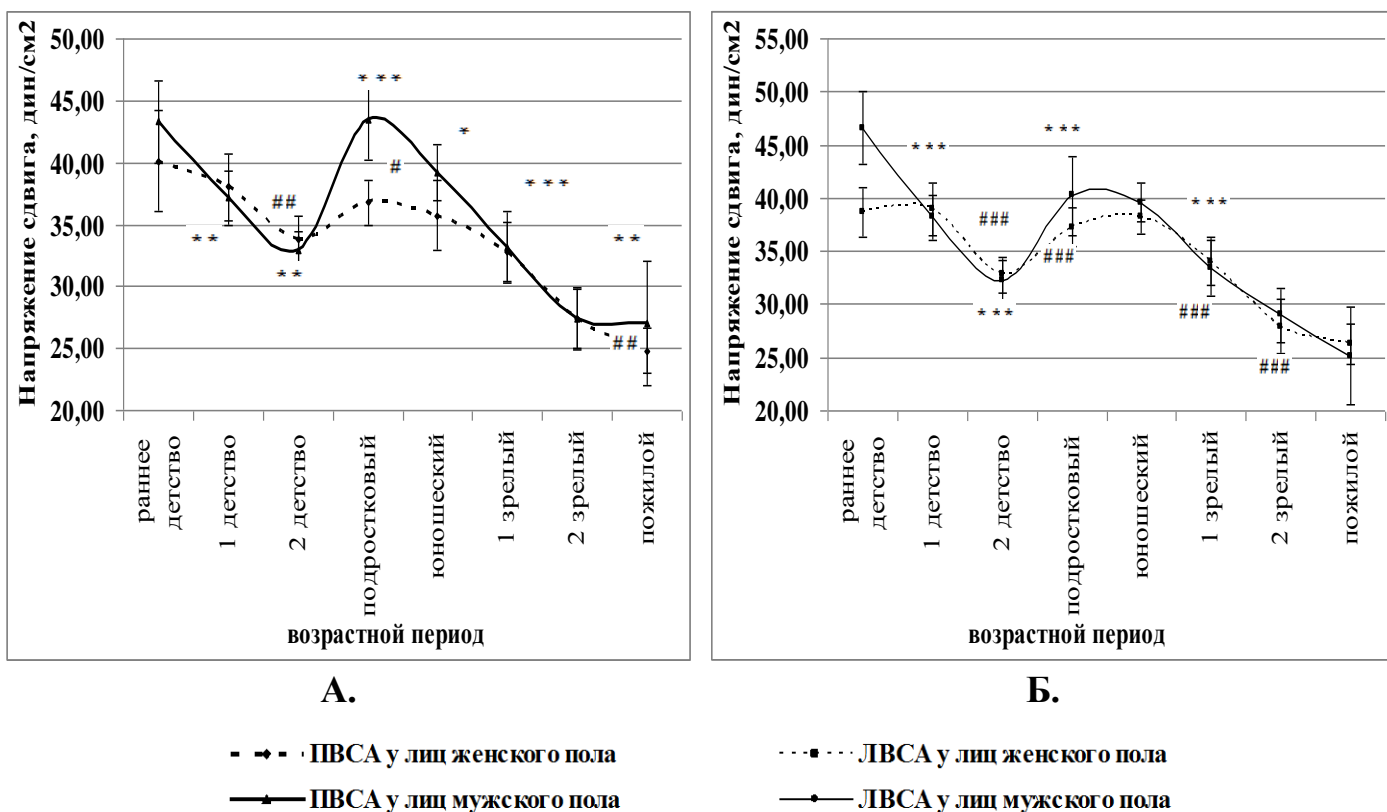
Напряжение сдвига уменьшается с возрастом, снижаясь к пожилому возрасту на 45–50 % по сравнению с периодом раннего детства, аналогично показателям линейной скорости кровотока (рис. 5; рис.8).

Для оценки характера течения крови в шейной части внутренних сонных артерий рассчитали число Рейнольдса. Число Рейнольдса, как у лиц женского пола, так и лиц мужского пола в обеих внутренних сонных артериях имеет сходный уровень значений и характер изменений с возрастом. Абсолютные значения числа Рейнольдса превышают критическую величину 400 [Митьков В.В., 1996; Морман Д., Хеллер Л., 2000; Пеллерито Дж., 2010; Цвибель В., 2010] до подросткового возраста, что свидетельствует о возникновении локальных завихрений в потоке жидкости.

Показатели сосудистого сопротивления имеют более высокие значения у лиц мужского пола, чем у лиц женского пола в раннем детстве и от периода второго детства до пожилого возраста в обеих внутренних сонных артериях (рис. 4).

Линейная систолическая, линейная диастолическая и средняя линейная скорость кровотока имеют общие особенности половых отличий. Их можно

описать следующим образом: показатели линейной скорости кровотока у лиц мужского пола обладают более высокими значениями в периоде раннего детства, а от первого периода зрелого возраста до пожилого возраста более низкими значениями (рис. 5). Объемная скорость кровотока в обеих внутренних сонных артериях у лиц мужского пола выше, чем у лиц женского пола (рис. 6).



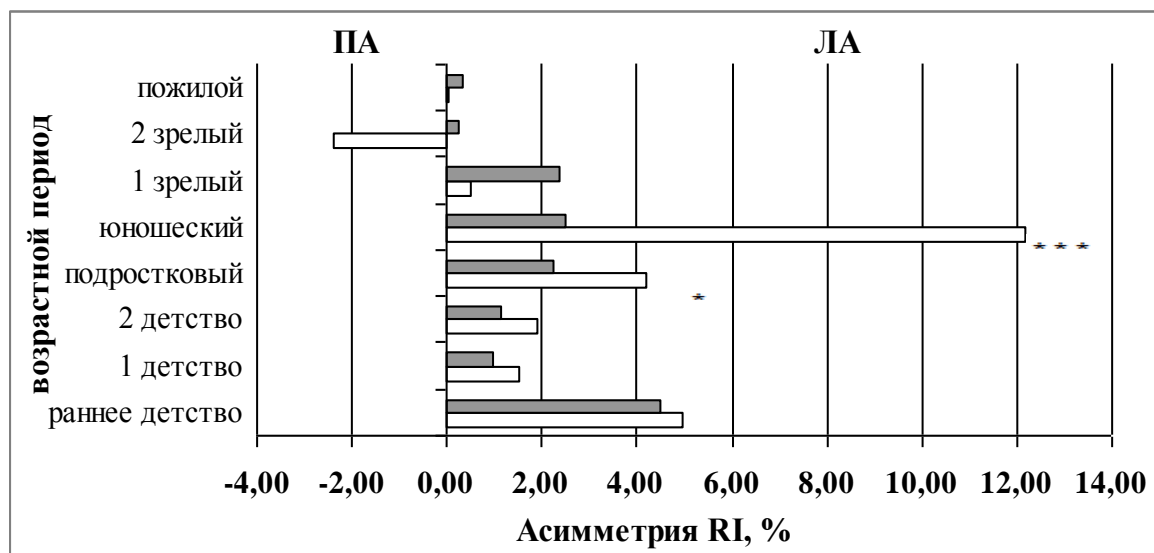
Статистически значимые отличия между показателями возрастных периодов:  
 для лиц мужского пола: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ;  
 для лиц женского пола # –  $p < 0,05$ ; ## –  $p < 0,01$ ; ### –  $p < 0,001$

Рис. 8. Напряжение сдвига в шейной части правой (А) и левой (Б) внутренней сонной артерии в разные возрастные периоды у лиц женского и мужского пола ( $M \pm 2m$ ).

Половые различия в напряжении сдвига выявлены только в периоде раннего детства ( $p=0,001$ ) в левой внутренней сонной артерии, в подростковом возрасте ( $p=0,005$ ) в правой внутренней сонной артерии. При этом напряжение сдвига в соответствующей артерии у лиц мужского пола выше, чем у лиц женского пола (рис. 8). Половые отличия в числе Рейнольдса выявлены в правой внутренней сонной артерии в зрелом ( $p=0,001$ ) и пожилом возрасте ( $p=0,012$ ). В левой внутренней сонной артерии половые отличия числа Рейнольдса наблюдаются во всех возрастных периодах за исключением первого и второго детства.

Асимметрия индекса сосудистого сопротивления у лиц мужского пола не выявлена на протяжении всех исследуемых периодов, а у лиц женского пола отмечается только в подростковом и юношеском возрасте (рис. 9).

Асимметрия объемной скорости кровотока выявлена у лиц женского пола в период от первого детства до юношеского возраста (рис. 10). У лиц

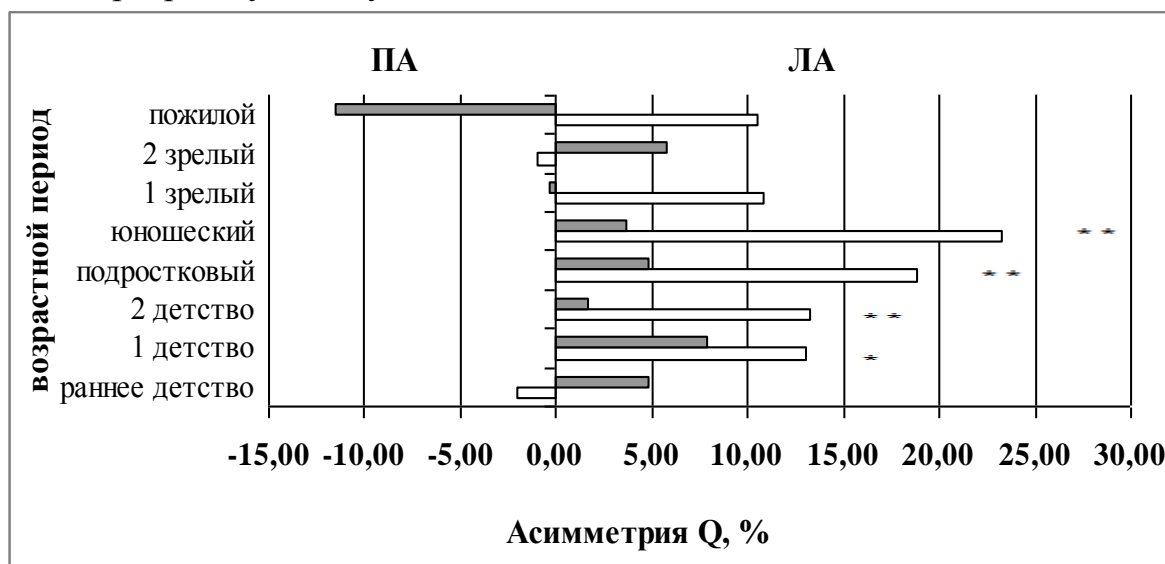


□ лица женского пола    ■ лица мужского пола

\* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ;

ЛА – левосторонняя асимметрия; ПА – правосторонняя асимметрия

Рис. 9. Асимметрия индекса сосудистого сопротивления во внутренних сонных артериях у лиц мужского и женского пола.



□ лица женского пола    ■ лица мужского пола

\* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

ЛА – левосторонняя асимметрия; ПА – правосторонняя асимметрия

Рис. 10. Асимметрия объемной скорости кровотока во внутренних сонных артериях у лиц мужского и женского пола.



мужского пола асимметрия в объемной скорости кровотока не выявлена на протяжении всех исследуемых периодов (рис. 10).

У лиц обоего пола асимметрия пиковой систолической, конечной диастолической, средней линейной скорости кровотока, напряжения сдвига не выявлена на протяжении всех исследуемых периодов. В показателе число Рейнольдса также не выявлена асимметрия в исследуемый промежуток постнатального онтогенеза у лиц обоих полов, за исключением пожилого возраста у лиц женского пола ( $p=0,015$ ).

Несмотря на выявленные различия по показателю объемной скорости кровотока у лиц женского пола, асимметрия средней линейной скорости не выявлена на протяжении всех исследуемых периодов постнатального онтогенеза у лиц обоего пола (рис. 5), что согласуется с данными Ю.А. Прыговой с соавт. [2012], И.В. Румянцевой [2005]. Отсутствие половых отличий и асимметрии показателей средней линейной скорости кровотока и напряжения сдвига позволяет нам считать их полезным результатом в функциональной системе, которая формируется во внутренних сонных артериях, для поддержания оптимальных показателей скорости кровотока одинаково в правом и левом сосуде не зависимо от пола испытуемых.

Результаты нашего исследования еще раз подтвердили положение о том, что церебральная гемодинамика имеет функционирующие механизмы ее ауторегуляции, поддерживающие постоянство церебрального кровотока, которое, как показывают данные нашего исследования, обеспечивает оптимальные параметры средней скорости кровотока и напряжения сдвига независимо от пола и стороны сосуда.

## **ВЫВОДЫ**

1. Диаметр внутренних сонных артерий увеличивается с возрастом. Наиболее интенсивное увеличение диаметра внутренних сонных артерий происходит в периоде от раннего детства до подросткового возраста и от первого зрелого до пожилого возраста.
2. Изменение сосудистого сопротивления внутренних сонных артерий с возрастом имеет асинхронный характер с фазами повышения к подростковому и пожилому возрасту.
3. Величина вязкости крови от периода раннего детства до второго детства имеет более низкие значения, достигает взрослых значений к подростковому возрасту.
4. Объемная скорость кровотока имеет относительно стабильные параметры до юношеского периода, затем снижается к пожилому возрасту. Средняя линейная скорость, напряжение сдвига и число Рейнольдса с возрастом прогрессивно снижаются в два раза. Для внутренних сонных артерий характерен ламинарный поток крови с локальными завихрениями на начальных этапах постнатального онтогенеза.

5. Величина диаметра внутренних сонных артерий, индекса сосудистого сопротивления, объемной скорости кровотока, вязкости крови в большинстве возрастных периодов у лиц мужского пола выше, чем у лиц женского пола.
6. Индекс сосудистого сопротивления, объемная скорость кровотока во внутренних сонных артериях в большинстве наблюдений отличаются справа и слева.
7. Средняя линейная скорость и напряжение сдвига в обеих внутренних сонных артериях на всем протяжении постнатального онтогенеза симметричны и не имеют половых различий.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Железкова (Сидоренко) А.А., Скоробогатов Ю.Ю., Филатова О.В. Возрастное изменение диаметра внутренних сонных артерий // **Известия Алтайского государственного университета.**- № 3 - Т. 1(67)- 2010.- С.29-34.
2. Железкова (Сидоренко) А.А., Скоробогатов Ю.Ю., Филатова О.В. Возрастные особенности линейной и объемной скорости кровотока во внутренних сонных артериях // **Известия Алтайского государственного университета.** -№ 3-Т. 2(67)- 2010.- С.26-29.
3. Сидоренко А.А., Филатова О.В. Возрастные особенности асимметрии гемодинамических параметров внутренних сонных артерий // **Известия Алтайского государственного университета.** №3-1- 2012. – С.70-77.
4. Железкова (Сидоренко) А.А., Скоробогатов Ю.Ю., Филатова О.В. Половые и возрастные особенности гемодинамических показателей внутренних сонных артерий // **Материалы международной конференции «Физиология развития человека», секция 3, Москва, 22-24 июня 2009 г. — М.: Вердана, 2009. — С 51.**
5. Железкова (Сидоренко) А.А., Филатова О.В., Скоробогатов Ю.Ю. Половые особенности гемодинамических показателей внутренних сонных артерий у лиц первого зрелого возраста // **VI Международная научно-практическая конференция "Современные проблемы гуманитарных и естественных наук". 29-30 марта 2011 г.:- Москва – 2011.- С.267-269.**
6. Железкова (Сидоренко) А.А., Агаркова С.А., Филатова О.В. Исследование вязкости крови в зависимости от возраста и пола человека // **Современные тенденции в науке: новый взгляд: сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции 29 ноября 2011 г.: в 9 частях. Часть 6; Министерство образования и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2011.-163с.-С.57-58.**
7. Филатова О.В., Сидоренко А.А., Агаркова С.А. Исследование диаметра, скорости кровотока и напряжения сдвига внутренних сонных артерий // **Высокие технологии, исследования, образование в физиологии, медицине и фармакологии. Т. 2: сборник статей Третьей международной научно-практической конференции "Высокие технологии, фундаментальные**

- и прикладные исследования в физиологии и медицине", 26–28 апреля 2012, Санкт-Петербург, Россия / Под ред. А.П. Кудинова, Б.В. Крылова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 277 с. – С.55-57.
8. Сидоренко А.А., Филатова О.В., Скоробогатов Ю.Ю. Исследование параметров кровотока во внутренних сонных артериях // VII Сибирский съезд физиологов. Материалы съезда / Под ред. Л.И. Афтанаса, В.А. Труфакина, В.Т. Манчука, И.П. Артюхова. – Красноярск, 2012. – 688 с. – С.479-480.
  9. Железкова (Сидоренко) А.А. Исследование возрастных особенностей гемодинамических показателей внутренних сонных артерий у лиц разного пола / Молодежь – Барнаулу. Материалы XI научно-практической конференции молодых ученых (17–20 ноября 2009 г.): в 2 т./ отв. Ред. Б. А. Черниченко. – Барнаул, 2010. – Т. 1. – С. 172–173.
  10. Железкова (Сидоренко) А.А. Исследование возрастных особенностей линейной и объемной скоростей потока, вязкости крови, напряжения сдвига внутренних сонных артерий у лиц разного пола // Молодежь в XXI веке. Материалы XI краевой молодежной научно-практической конференции ноябрь 2009 г. Рубцовск – 2009 – С.57.

## **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

ЛВСА – левая внутренняя сонная артерия

ПВСА – правая внутренняя сонная артерия

RI – индекс сосудистого сопротивления

PI – пульсационный индекс

СДК – систоло–диастолическое отношение

Q – объемная скорость кровотока

V<sub>ps</sub> – линейная систолическая скорость кровотока

V<sub>ed</sub> – линейная диастолическая скорость кровотока

V<sub>m</sub> – средняя линейная скорость кровотока

