

**Е.В. Севостьянова, А.В. Трофимов, В.Г. Куницын, И.А. Бахтина,
И.Н. Кожевникова**

ВЛИЯНИЕ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРОВИ У БОЛЬНЫХ С ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ПАТОЛОГИЕЙ

ГУ Научный центр клинической и экспериментальной медицины СО РАМН, Новосибирск;
ГУ НИИ биохимии СО РАМН, Новосибирск

Целью исследования явилось изучение влияния космо-гелиогеофизических факторов на реологические свойства крови у больных с хронической сердечно-сосудистой патологией. Проведено исследование вязкости цельной крови и скорости оседания эритроцитов у 140 пациентов с гипертонической болезнью и хронической ишемической болезнью сердца. Изучены корреляционные связи реологических параметров крови в фоновых и в гипогеомагнитных условиях с космо-гелиогеофизическими факторами на момент исследования и на различных этапах раннего онтогенеза. Выявлена зависимость реологических свойств крови от изменений космо-гелиогеофизической среды. Установлено, что с усилением космического излучения (протонной компоненты космических лучей) и повышением солнечной активности у больных с хронической сердечно-сосудистой патологией происходит повышение вязкости крови и ухудшение ее реологических свойств. Полученные данные показывают сопряженность гемореологических параметров с гелиогеофизической средой. Это определяется воздействием гелиогеофизической среды на организм в период эмбриогенеза.

Ключевые слова: космо-гелиогеофизические факторы, реология крови, вязкость крови

Введение

Известно, что в процессах срочной и долговременной адаптации к факторам внешней среды, в первую очередь к космо-гелиогеофизическим, одной из наиболее реактивных систем организма является сердечно-сосудистая система. Именно она включается первой в каскад адаптивно-приспособительных реакций организма. Нормальное функционирование этой системы обеспечивает оптимальный для данных условий уровень кровообращения и, как следствие, тканевого метаболизма. Имеются работы, рассматривающие влияние гелиогеофизических факторов: солнечной активности и возмущения магнитного поля Земли на состояние сердечно-сосудистой системы [1, 2, 3]. Однако большая часть их посвящена функции сердца и центральной гемодинамике. Работ, оценивающих особенности реологических свойств крови, обеспечивающих оптимальный уровень кровообращения при изменениях гелиогеофизической среды, опубликовано недостаточно. При этом именно текучесть крови определяет эффективность доставки кислорода и различных метаболитов в тканевые микрорайоны, способствуя оптимизации обменных процессов [4, 5]. Изменения текучести крови при ее гипервязкости являются одним из ведущих звеньев в патогенезе хронических сердечно-сосудистых заболеваний

(ишемической болезни сердца, гипертонической болезни), а также их тяжелых осложнений [6, 7, 8]. Повышение вязкости крови усиливает гемодинамические нарушения при сердечно-сосудистых заболеваниях и может способствовать ремоделированию миокарда и сосудов [9], замедлению не-оангиогенеза, нарушениям функции эндотелия. Существует мнение, что эти процессы сами по себе могут стать как следствием, так и причиной развития гипертонической болезни [10].

Цель исследования: изучение влияния космо-гелиогеофизических факторов на реологические свойства крови у больных с хронической сердечно-сосудистой патологией.

Материал и методы

Изучены реологические свойства крови (in vitro) у 140 пациентов в возрасте от 35 до 65 лет с гипертонической болезнью (ГБ) II и III стадий и хронической ишемической болезнью сердца (ИБС). Группу сравнения составили пациенты без признаков ГБ и ИБС, сопоставимые по возрасту и полу (n=35). Исследование проведено в соответствии с этическими нормами Хельсинкской декларации (2000 г.). У всех пациентов получено письменное информированное согласие на проведение обследования. Все больные находились в клинике ГУ НЦКЭМ СО РАМН и были обследованы до начала проведения лечения.

У 104 человек опытной группы и у 16 человек группы сравнения определяли вязкость цельной крови в фоновых и в гипогеомагнитных условиях. Исследовали стабилизированную ЭДТА венозную кровь. Кровь для исследования забирали из локтевой вены натопак и помещалась в 2 пробирки в равных количествах. Одну пробирку оставляли на 30 минут в фоновых условиях, другую на то же время помещали в гипогеомагнитную среду, для создания которой использовали экранирующую установку конструкции Ю.А. Зайцева (патент РФ на изобретение №2012175 от 30.04.1994 г.) с ослаблением индукции геомагнитного поля более чем в 600 раз. Вязкость цельной крови определяли с помощью капиллярного вискозиметра Оствальда в модификации Куницына В.Г. (1984) при $T=20^{\circ}\text{C}$. У 36 больных основной и у 19 человек группы сравнения проводили оценку скорости оседания эритроцитов в фоновых и в гипогеомагнитных условиях. Скорость оседания эритроцитов определяли по унифицированному методу Панченкова (1972).

Космо-гелиогеофизические факторы оценивали по данным оперативного мониторинга космофизической среды со спутника GOES-10 (U.S. Dept. of Commerce, NOAA, Space Environment Center, 2005-2006). Анализировали показатели солнечной активности (число и площадь солнечных пятен), радиоизлучение Солнца, в биотропном диапазоне 220 МГц, характеристики электронной и протонной компонент космических лучей, величины индукции геомагнитного поля (суточный А индекс и 3х-часовые К индексы). Данные по гелиогеофизической обстановке в раннем онтогенезе были получены с использованием компьютерной программы «Гелиос» (свидетельство о регистрации № 970125 от 24.03.1997) и «Гелиос-Млечный путь» (свидетельство о регистрации №20010611270 от 24.09.2001 г.).

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ SPSS for Windows.

Результаты и обсуждение

Исследование реологических свойств крови в фоновых условиях выявило повышенный уровень ее вязкости у пациентов с ГБ и ИБС, варьирующий от 4,95 сП до 21,24 сП и составляющий, в среднем, $8,50 \pm 0,27$ сП: лишь у 1 (1%) пациентов показатель вязкости крови укладывался в пределы нормальных значений, а у 99% обследованных пациентов с сердечно-сосудистой патологией выявлено повышение вязкости цельной крови.

Известно, что факторами, определяющими вязкость крови на уровне сосудистого русла, является объемная концентрация и физико-хи-

мическое состояние эритроцитов. В частности вязкость есть функция: $\eta = f(c, v, \xi, k)$, где c — концентрация эритроцитов, v — средний корпускулярный объем эритроцитов, ξ — дзета потенциала, k — коэффициент упругости [5]. В связи с этим для оценки физико-химического состояния эритроцитов, в частности, степени их агрегации, нами был использован такой показатель, как скорость оседания эритроцитов, который может служить чувствительным и объективным индикатором многих специфических микро-изменений на поверхности и внутри эритроцита при тех или иных воздействиях [11]. Проведенный анализ выявил увеличение скорости оседания эритроцитов пациентов с хронической сердечно-сосудистой патологией, составлявшей, в среднем, $17,7 \pm 2,2$ мм рт. ст. (в группе сравнения этот показатель составил $10,4 \pm 2,3$ мм рт. ст.), что может свидетельствовать об увеличении степени агрегации эритроцитов. Повышение агрегации связано со снижением величины отрицательного электрического заряда (ξ -потенциала) на поверхности эритроцита уменьшением электрического отталкивания между отдельными клетками [11].

Для решения основной задачи исследования проведен корреляционный анализ реологических показателей с изменяющимися космо-гелиогеофизическими параметрами (Рис. 1). На рисунке представлены статистически значимые корреляционные связи вязкости крови с некоторыми космо-гелиогеофизическими факторами в фоновых условиях и в гипогеомагнитной среде. Из рисунка видно наличие прямой корреляционной зависимости вязкости крови от солнечной активности ($r=0,23$; $p<0,05$) и радиоизлучения Солнца в биотропном диапазоне как у пациентов с сердечно-сосудистой патологией ($r=0,23$; $p<0,05$), так и в группе сравнения ($r=0,67$, $p<0,05$; $r=0,51$, $p<0,05$).

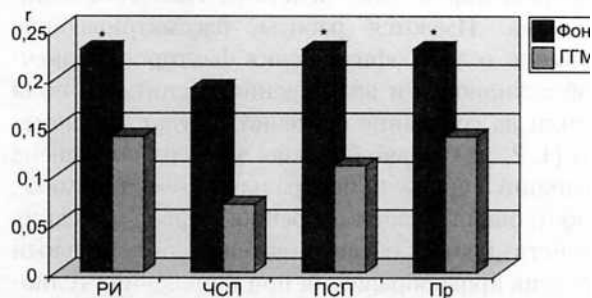


Рис. 1. Уменьшение корреляционных зависимостей вязкости крови у больных с хронической сердечно-сосудистой патологией с показателями солнечной активности при геомагнитной депривации
Примечание: РИ — радиоизлучение Солнца
 ЧСП — число солнечных пятен
 ПСП — площадь солнечных пятен
 Пр — протонная компонента космических лучей
 * — значимость коэффициентов корреляции $p<0,05$

что указывает на снижение текучести крови при росте солнечной активности. У пациентов с ГБ и ИБС обнаружена также прямая статистически значимая корреляционная зависимость вязкости крови от интенсивности протонной компоненты космических лучей ($r=0,23$; $p<0,05$), отражающая особую чувствительность системы крови, при наличии сердечно-сосудистой патологии, к космическим излучениям.

Изучение корреляционных связей скорости оседания эритроцитов от изменений гелиогеофизической среды также показало наличие зависимости этого показателя у пациентов с сердечно-сосудистой патологией от выраженности солнечной активности. В основной группе выявлена значимая обратная корреляционная связь между скоростью оседания эритроцитов и площадью солнечных пятен ($r=-0,33$, $p<0,05$) ($r=-0,33$, $p<0,05$), указывающая на изменение функционального состояния эритроцитов при повышении солнечной активности. В группе сравнения значимых корреляционных связей между скоростью оседания эритроцитов и гелиогеофизическими параметрами среды не выявлено.

Полученные данные о зависимости реологических параметров крови от изменений гелиогеофизической среды можно объяснить биогеофизическими механизмами. Движение крови по сосудам — это упорядоченное движение заряженных частиц (электрический ток), которые взаимодействуют друг с другом и со стенками сосудов, притягиваются и одновременно отталкиваются. Система заряженных элементов крови находится в постоянно изменяющемся электромагнитном поле. На движущиеся заряженные частицы действует сила Лоренца [$F=qvE+qvB$], где q — заряд частицы, v — скорость частицы, E — напряженность электрического поля, B — вектор магнитной индукции [12]. Возможно, именно этот электрический ток делает кровь особенно чувствительной к электромагнитным воздействиям. Можно предположить, что изменяющиеся солнечное излучение и индукция геомагнитного поля воздействуют на электрические и магнитные поля кровеносного русла и оказывают влияние на характер кровотока, замедляя или ускоряя его. При этом эритроциты как железонесущие

клетки, по-видимому, могут выполнять определенную рецепторную функцию по отношению к геомагнитным возмущениям. Обосновано также рассмотрение опосредованного влияния солнечно-космических излучений на вязкость крови через нарушение мембран эритроцитов. Известно, что усиление геомагнитной индукции может оказывать повреждающее воздействие на биомембраны, нарушая трансмембранный транспорт воды и ионов, активность Na^+ , K^+ — АТФ-азы, скорость транспорта глюкозы и т.д. Нарушение мембран эритроцитов, приводит к изменению их структуры, в том числе, деформируемости и агрегационной активности, что отражает наиболее распространенный механизм изменения реологических свойств крови [13].

Одной из возможных причин, определяющих влияние гелиогеофизических факторов на реологические характеристики крови, являются жидкокристаллические структуры эритроцитов. В мембранах жидкие кристаллы часто имеют небольшую энтропию структурных превращений (переходов) [14], поэтому, возможно, кровь обладает большой чувствительностью к гелиогеофизическим воздействиям. В мембранах эритроцитов, в области близкой к физиологической, в фосфолипидах могут происходить переходы типа смектик А смектик С, а также изменения вторичной структуры в сократительных белках, которые существенно изменяют модуль упругости мембран [15, 16, 17].

Ранее установлено, что формирование чувствительности к комплексу внешних факторов начинается в период раннего онтогенеза, в критические периоды закладывающихся функциональных систем организма [18]. Существует концепция, что определенные воздействия в раннем онтогенезе могут приводить к долговременным структурным, функциональным и метаболическим изменениям (концепция «программирования») [19]. Нами изучены возможные влияния гелиогеофизической среды в различные периоды раннего онтогенеза на реологические параметры. Результаты исследования показали обусловленность гемореологических нарушений у обследованных лиц гелиогеофизической обстановкой в их раннем онтогенезе. Получены данные о нали-

Таблица

Корреляционные зависимости вязкости крови у больных с хронической сердечно-сосудистой патологией от геомагнитной обстановки на ранних этапах онтогенеза

I группа	Гео-1	Гео зач.	Гео 1	Гео 2	Гео 3	Гео 4	Гео 5	Гео 6	Гео 7	Гео 8	Гео 9	Гео 10	Гео рожд.
Фон	-0,04	-0,10	-0,04	-0,11	-0,21*	-0,09	+ 0,05	+ 0,03	+ 0,05	+ 0,02	+ 0,05	-0,03	+ 0,15
ГГМУ	-0,07	-0,10	+0,04	-0,07	-0,25*	-0,09	-0,02	-0,03	-0,01	+0,04	+0,02	+0,002	+0,07

Примечание: Гео — геомагнитная активность: Гео-1 — за 1 месяц до рождения, Гео зач. — в дату зачатия, Гео 1, Гео 2, Гео 3, Гео 4, Гео 5, Гео 6, Гео 7, Гео 8, Гео 9, Гео 10 — в соответствующие месяцы эмбрионального развития; Гео рожд. — на момент рождения. ГГМУ — гипогомагнитная установка. * — значимость коэффициентов корреляции $p<0,05$

ции значимой обратной корреляционной зависимости вязкости крови у больных с сердечно-сосудистой патологией от выраженности геомагнитной индукции на третьем месяце внутриутробного развития ($r=-0,21$, $p<0,05$) и прямой корреляционной зависимости этого параметра от выраженности геомагнитной индукции на первом месяце после рождения ($r=0,28$, $p<0,05$) (Таблица). У больных в группе сравнения обнаружена прямая корреляционная зависимость вязкости крови от геомагнитной индукции на 4 месяце внутриутробного развития ($r=0,52$, $p<0,05$).

Представляется обоснованным вывод о возможности пренатального формирования чувствительности кровеносной системы к факторам космо-гелиогеофизической природы. Известно, что именно с конца третьего месяца внутриутробного развития у плода появляется кроветворная функция костного мозга, дополняя, а в последующем заменяя кроветворение в печени. В связи с этим, третий и четвертый месяцы эмбрионального развития являются одним из «критических» периодов для формирования функциональных связей в данной системе, что делает ее в это время особо «уязвимой» к различного рода эндо- и экзогенным воздействиям.

В группе сравнения (т.е. у лиц, у которых не сформировалась сердечно-сосудистая патология) выявлена (Рис. 2) достоверная ($p<0,01$) обратная корреляционная связь между вязкостью крови и интенсивностью радиоизлучения Солнца на различных этапах раннего онтогенеза и обратная корреляционная связь между вязкостью крови и солнечной активностью за месяц до расчетной даты зачатия ($r=-0,60$, $p<0,05$). Эти данные позволяют обсуждать возможность оценки, а в дальнейшем и снижения риска развития сердечно-сосудистых заболеваний у лиц с определенным вариантом связи гемореологических характеристик с гелиогеофизическими параметрами (преимущественно, радиоизлучением Солнца) в период эмбриогенеза.

Проведено также изучение динамики реологических параметров крови в гипогеомагнитной среде как модели, помогающей раскрыть некоторые механизмы биотропного действия изученных геофизических факторов. При исследовании *in vitro* обнаружено, что при экспозиции крови в гипогеомагнитной среде у 64 пациентов (61,5%) основной группы имело место снижение вязкости крови; у 36 (34,6%) — повышение и у 4 (3,9%) пациентов вязкость крови не изменилась, т.е. снижение вязкости крови при геомагнитной депривации встречалось почти в 2 раза чаще. Определены значимые ($p<0,05$) различия средних показателей вязкости цельной крови у больных с хронической сердечно-сосудистой патологией при содержании крови в условиях фоновой геомагнитной среды ($8,50\pm 0,27$ сП) и в условиях геомагнитного экранирования ($8,08\pm 0,21$ сП) (Рис. 3).

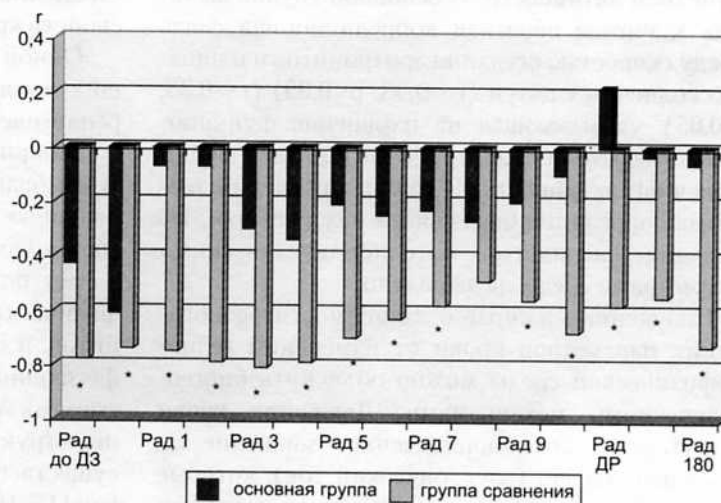


Рис. 2. Корреляционные зависимости вязкости крови от интенсивности радиоизлучения на ранних этапах онтогенеза
Примечание: Рад — радиоизлучение Солнца: Рад до ДЗ — до даты зачатия; Рад 1, Рад 3, Рад 5, Рад 7, Рад 9 — в соответствующие месяцы эмбрионального развития; Рад ДР — на момент рождения; Рад — средний показатель за весь период раннего онтогенеза; * — значимость коэффициентов корреляции $p<0,05$

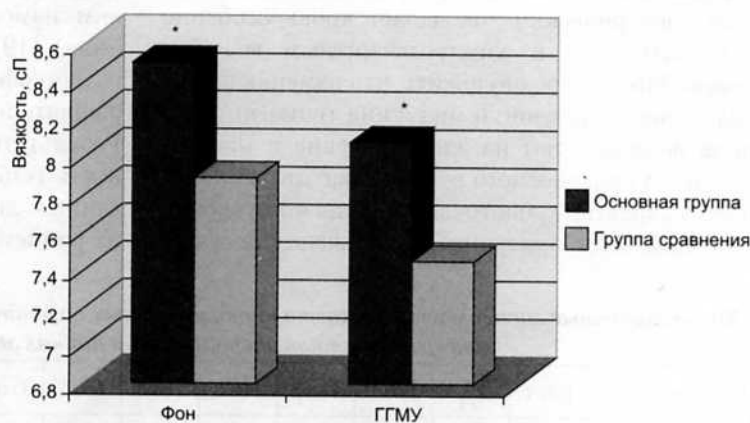


Рис. 3. Вязкость крови при содержании ее образцов в фоновых условиях и в гипогеомагнитной среде
Примечание: ГГМУ — гипогеомагнитная установка
* — значимость различий $p<0,05$ между фоном и ГГМУ

При геомагнитном экранировании происходило изменение характера выявленных ранее корреляционных связей реологических параметров крови с космо-геофизической средой: ослабление корреляционных зависимостей вязкости крови от солнечной активности и от интенсивности протонной компоненты космических лучей (Рис. 1).

Статистически значимых различий показателей скорости оседания эритроцитов в фоновых и в гипогеомагнитных условиях как у пациентов основной группы, так и в группе сравнения не выявлено, но также отмечено изменение сопряжения этого показателя с космо-гелиогеофизической средой. При геомагнитном экранировании ослабевала отмечавшаяся в фоновых условиях корреляционная зависимость скорости оседания эритроцитов от солнечной активности.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать заключение о чувствительности системы крови, ее реологических характеристик к космо-гелиогеофизическим воздействиям и вывод о том, что выраженная сопряженность гемореологических параметров с гелиогеофизической средой в значительной степени определяется ее воздействием в период внутриутробного развития. Установлено, что предрасположенность к сердечно-сосудистой патологии зависит от особенностей взаимодействия взрослого организма с космо-гелиогеофизическими факторами в период его раннего онтогенеза. Приведены данные, указывающие на возможное формирование устойчивости к развитию сердечно-сосудистой патологии у лиц с определенным вариантом зависимости вязкости крови от гелиогеофизической обстановки на ранних этапах онтогенеза. Установлено, что кратковременное 30-минутное геомагнитное экранирование приводит к значимому снижению вязкости крови и уменьшению ее зависимости от интенсивности солнечного и космического излучения. Выявленные факты не только углубляют фундаментальные представления о солнечно-биосферных связях, но имеют и прикладное значение для разработки лечебно-профилактических мероприятий в периоды геомагнитных возмущений при ведении больных с хронической сердечно-сосудистой патологией.

Выводы

1. Выявлена зависимость реологических свойств крови у больных с хронической сердечно-сосудистой патологией от изменений космо-гелиогеофизической среды: увеличение солнечной активности, включая радиоизлучения Солнца, а также протонной компоненты космических лучей приводит к повышению вязкости цельной крови и ухудшению ее реологических свойств.

2. Установлено, что вязкость крови оказывается зависимой от выраженности гелиогеофизических факторов (геомагнитной индукции) на 3 месяце внутриутробного развития.

3. Инкубация образцов крови в течение 30-минут в гипогеомагнитной установке приводит в большинстве случаев к снижению вязкости крови и ослаблению ее зависимости от космо-гелиогеофизической среды.

4. Выявленные закономерности следует учитывать при разработке геоэкологически обоснованных лечебно-профилактических мероприятий у больных с хронической сердечно-сосудистой патологией.

INFLUENCE OF HELIOGEOPHYSICAL FACTORS ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF BLOOD IN PATIENTS WITH CHRONIC CARDIO-VASCULAR PATHOLOGY

E.V. Sevostyanova, A.V. Trofimov, V.G. Kunitsyn, I.A. Bahtina, I.N. Kozshevnikova

The purpose of the research was to study the influence of cosmo-heliogeophysical factors on rheological properties of blood in patients with chronic cardio-vascular pathology. Analysis of blood viscosity and the rate of erythrocytes' sedimentation in 140 patients with arterial hypertension and chronic coronary artery disease was carried out. Correlations between rheological parameters of blood under background and hypogeomagnetic conditions and cosmo-heliogeophysical factors at the moment of investigation and in different stages of early ontogenesis were studied. Dependence of blood rheological properties on changes in cosmo-heliogeophysical environment was revealed. It was found, that blood viscosity increased and its rheological properties worsened at strengthening cosmic radiation (proton component of cosmic rays) and increasing solar activity in patients with chronic cardio-vascular pathology. The obtained data indicate association of hemorheological parameters with helio-geophysical environment. It is determined by the influence of helio-geophysical environment on organism embryogenesis period.

Литература

1. Андропова, Т.И. Гелиометеотропные реакции здорового и больного человека / Т.И. Андропова, Н.Р. Деряпа, А.П. Соломатин. — Л., 1982. — 247 с.
2. Бреус, Т.К. Медицинские эффекты геомагнитных бурь / Т.К. Бреус, Ф.И. Комаров, С.И. Рапопорт // Клиническая медицина. — 2005. — № 3. — С. 4-12.
3. Hasnulin, V. I. Northern cardiometeopathies / V. I. Hasnulin, A. V. Hasnulina, E. V. Sevostyanova. — Novosibirsk, 2004. — 220 p.
4. Левтов, В.А. Реология крови / В.А. Левтов, С.А. Регирер, Н.Х. Шадрин. — М., 1982. — 272 с.
5. Dintenfass, L. Fluidity (internal viscosity) of the

- erythrocyte and pathology of circulation / L. Dintenfass // Haematologia. — 1968. — Vol. 2. — №1. — P. 19-35.
6. Микрореологические нарушения эритроцитов у больных гипертонической болезнью / Китаева Н.Д., Шабанов В.А., Левин Г.Я., Кострова В.А. // Кардиология. — 1991. — т.31. — №1. — С. 51-53.
7. *Becker, R.C.* The role of blood viscosity in the development and progression of coronary artery disease // *Cleve. Clin. J. Med.* — 1993. — Vol. 60. — №5. — P. 353-358.
8. *Struijser Boudier, H.A.J.* Microcirculation in hypertension / H.A.J. Struijser Boudier // *Eur. Heart J.* — 1999. — Vol. I. — Suppl L. — P. 32-37.
9. Реологические свойства крови и функция эндотелия у больных гипертонической болезнью / В. Шляхто, О.М. Моисеев, Е.А. Лясникова и др. // Кардиология. — № 4. — 2004. — С. 20-23.
10. Состояние микроциркуляции при гипертонической болезни / В.И. Маколкин, В.И. Подзолков, В.И. Павлов, В.В. Самойленко // Кардиология. — 2003. — № 5. — С. 60-67.
11. *Чижевский, А.Л.* Биофизические механизмы реакции оседания эритроцитов / А.Л. Чижевский. — Новосибирск, 1980. — 178 с.
12. *Савельев, И.В.* Основы теоретической физики / И.В. Савельев. — М., 1991. — 396 с.
13. *Иванов, К.П.* Успехи и спорные вопросы в изучении микроциркуляции / К.П. Иванов // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. — 1995. — Т. 81. — № 6. — С. 1-17.
14. *Капустин, В.П.* Экспериментальные исследования жидких кристаллов / В.П. Капустин. — М., 1978. — 368с.
15. *Куницын, В.Г.* Исследование структурных изменений эритроцитарных мембран при воздействии на них температуры, рН или биологически активных веществ: Автореф. дис... канд. биол. наук / В.Г. Куницын. — Новосибирск, 1984. — 191 с.
16. *Куницын, В.Г.* Аномальные изменения удельной электропроводности в липопротеинах в области физиологической температуры / В.Г. Куницын, Л.Е. Панин, Л.М. Поляков // Биофизика. — 1999. — Т. 44. — С. 861-869.
17. *Куницын, В.Г.* Структурные фазовые переходы в мембранах эритроцитов, липопротеинах и макромолекулах: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук / В.Г. Куницын. — Новосибирск, 2002. — 325 с.
18. О феномене гелиогеофизического импринтирования и его значении в формировании типов адаптивных реакций человека / В.П. Казначеев, Н.Р. Деряпа, В.И. Хаснулин, А.В. Трофимов // Бюллетень СО АМН СССР. — 1985. — №5. — С. 3-7.
19. *Lucas, A.* Programming not metabolic imprinting / A. Lucas // *Am. J. Clin. Nutr.* — 2000. — Vol. 71. — №2. — P. 602.