

СКЕДИНА М. А., КОВАЛЕВА А. А.,
РЕПЕНКОВА Л. Г.

Исследование динамики кровотока в микроциркулярном русле при моделировании условий микрогравитации и проведении инфузионной терапии

Институт медико-биологических проблем РАН, Москва
e-mail: skedina@imbp.ru

Реферат

Для разработки методов медицинской неотложной помощи применительно к космическим полетам изучалось действие инфузионной терапии различными препаратами в условиях 21-часовой антиортостатической гипокинезии (АНОГ) –15° на динамику кровотока в различных отделах микроциркуляторного русла (МЦР).

С участием 6 мужчин-добровольцев (возраст — 21–28 лет) проведено 3 серии исследований. Усиление эффекта дегидратации организма достигали внутривенным введением 20 мг лазикса в конце 13-го часа АНОГ. Для компенсации обезвоживания организма через 17 часов АНОГ проводили инфузионную терапию коллоидным («Инфукол ГЭК» 10 %) или кристаллоидным (5 %-й раствор глюкозы) растворами. Исследование гемодинамики в МЦР проводили с использованием метода высокочастотной ультразвуковой доплерографии и капилляроскопии.

Результаты анализа данных показали, что сердечно-сосудистая система в той или иной степени реагирует на все виды воздействий, применяемых в исследовании; клинические эффекты коллоидных и кристаллоидных инфузионных сред в условиях АНОГ существенно не изменились.

Ключевые слова: космический полет, инфузионная терапия, микроциркуляторное русло, высокочастотная ультразвуковая доплерография, капилляроскопия.

Введение

Перспективы длительных космических полетов предполагают развитие и совершенствование системы оказания медицинской помощи космонавтам на орбите, в том числе и неотложной. Для разработки методов медицинской неотложной помощи применительно к космическим полетам актуальным является изучение применения инфузионной терапии различными препаратами как одного из основополагающих компонентов интенсивной терапии.

В клинической практике среди препаратов для инфузионной терапии используют кристаллоидные и коллоидные инфузионные среды. Отличительной чертой кристаллоидных сред является их способность быстро (в течение 15–30 мин) покидать сосудистое русло и переходить в интерстициальное пространство. Коллоидные же, напротив, в течение долгого времени находятся в сосудистом русле, а некоторые из них притягивают воду из межклеточного пространства [6].

На сегодняшний день накоплены обширные данные по перераспределению жидких сред организма, изменениям водно-солевого обмена, тканевого метаболизма, изменениям центральной и, отчасти, периферической гемодинамики в условиях микрогравитации [5].

Однако исследований по изучению состояния гемодинамики микроциркуляторного русла (МЦР) и влиянию коллоидных и кристаллоидных инфузионных сред на параметры микроциркуляции в данных условиях не проводилось.

Система микроциркуляции составляет важнейшую часть системы кровообращения, в которой осуществляется обмен веществ между кровью и тканями. Существует большое разнообразие в организации системы микроциркуляции различных органов, а также в эффективности местных и нейрогуморальных механизмов регуляции, даже в пределах последовательно расположенных участков одного и того же сосудистого русла [4]. Тем не менее в системе микроциркуляции существуют определенные организационные и функциональные общие черты. В многочисленных работах [4, 8] объективно подтверждается системный характер изменения микроциркуляции при различных состояниях организма. Однако мониторинг гемодинамики в МЦР и в клинических, и в экспериментальных условиях весьма ограничен из-за небольшого числа имеющихся безопасных методов исследования и сложности интерпретации получаемых данных.

Целью данной работы являлось изучение влияния коллоидных и кристаллоидных инфузионных сред на параметры микроциркуляции в условиях АНОГ –15°.

Материал и методы исследования

Исследование динамики кровотока в МЦР входило в программу комплексного эксперимента, цели, задачи и методология которого были описанного ранее [1].

В исследовании принимали участие 6 практически здоровых мужчин-добровольцев в возрасте

от 21 до 28 лет, прошедших врачебно-экспертную комиссию и подписавших информированное согласие. Проведено 3 серии исследований в условиях 21-часовой АНОГ с углом наклона -15° , в каждой из них принимали участие все обследуемые. Период восстановления обследуемого после каждого воздействия составлял 7 суток.

Во всех 3-х сериях для усиления эффекта дегидратации организма в конце 13-го часа АНОГ испытуемым однократно внутривенно (в/в) вводили по 20 мг лазикса. Для компенсации обезвоживания организма проводилась инфузионная терапия коллоидным или кристаллоидным растворами. 1-я серия исследований была контрольной, и в ней компенсации обезвоживания организма не проводилось. Во 2-й серии через 3 часа после введения лазикса (в течение 17 часа АНОГ) для восстановления обезвоживания организма в/в в дозе 500 мл вводили коллоидный раствор «Инфукол ГЭК» — 10 %-й раствор гидроксипропилоккрахмала (200 kDa, СГ = 0,45–0,55, Na^+ 154 ммоль/л, СГ ммоль/л). В 3-й серии в тот же временной период, как и во 2-й серии, в/в в дозе 500 мл вводили кристаллоидный препарат — 5 %-й раствор глюкозы.

Для исследования динамики кровотока в МЦР использовался высокочастотный ультразвуковой (УЗ) доплерограф «Минимакс-Допплер-К» с датчиком 20 МГц, а также компьютерный капилляроскоп «Капилляр» (КК), разработанный Центром «Анализ веществ». Исследование показателей МЦР проводилось в двух областях — в области ногтевого валика большого пальца левой руки (УЗ-доплерографом и КК) и в области ногтевого валика большого пальца левой ноги (УЗ-доплерографом), применяя стандартные методики [4, 7].

Исследование динамики кровотока в МЦР с помощью УЗ проводилось перед переводом в АНОГ (фоновое исследование — 1 точка), на 1-й, 5-й, 10-й мин АНОГ (2–4 точки), через 2 ч после введения лазикса (15 час АНОГ — 5-я точка), через 30 мин после проведения инфузионной терапии (во 2-й и 3-й сериях — 18 час АНОГ — 6-я точка), перед переводом в горизонтальное положение (21 час АНОГ — 7-я точка), на 1-й и 5-й мин в горизонтальном положении тела человека (8-я, 9-я точки). Исследования с использованием КК проводились до АНОГ (фоновое исследование — 1 точка), на 10 мин АНОГ (4-я точка), после введения лазикса (15-й час АНОГ — 5-я точка), перед переводом в горизонтальное положение (21 час АНОГ — 7-я точка).

Для оценки изменения кровотока в МЦР исследована динамика следующих показателей, получаемых при УЗИ:

- а) линейных скоростей кровотока (см/с):
 - V_s — максимальная систолическая скорость по кривой максимальной скорости (огнивающей);
 - V_{am} — средняя скорость по кривой средней скорости;
 - V_{akd} — конечная диастолическая скорость по кривой максимальной скорости;
- б) объемной скорости кровотока (мл/мин):
 - Q_{am} — средняя объемная скорость;
- в) индексов кровотока:

— RI — индекс периферического сопротивления (индекс Пурсело), отражает сопротивление кровотоку дистальнее места измерения, не зависит от абсолютных значений скоростей и не меняется с возрастом. Его увеличение свидетельствует о возрастании сопротивления кровотоку (стеноз, тромбоз), а уменьшение — о снижении;

— PI — индекс пульсации (индекс Геслинга), отражает упругоэластические свойства сосудов, снижается с возрастом.

С помощью КК измерялись следующие показатели:

- а) линейная скорость кровотока (мкм/с):
 - СКК — скорость капиллярного кровотока (АО — в артериальном, ВО — венозном, ПО — переходном отделах);
- б) объемная скорость капиллярного кровотока (мкм³/с):
 - Q_{ao} — в артериальном отделе;
 - Q_{vo} — в венозном отделе;
- в) диаметр различных отделов капилляра (мкм):
 - d_{AO} — диаметр артериального отдела;
 - d_{VO} — диаметр венозного отдела;
 - d_{PO} — диаметр переходного отдела;
 - РПЗ — размер периваскулярной зоны.

Одновременно осуществлялась регистрация частоты сердечных сокращений (ЧСС) УЗ-фонендоскопом «Минимакс-Доплер-Фоно», место наложения датчика — безымянный палец левой руки. Артериальное давление (АД) регистрировалось автоматическим тонометром.

Изменения большинства показателей гемодинамики в МЦР не соответствуют нормальному закону распределения, поэтому их оценка проводилась с помощью непараметрического метода — критерия Вилкоксона [9]. Применялся пакет прикладных программ «Statistica».

Результаты исследования и их обсуждение

Инфузионная терапия оказывает многогранное действие на организм. Характер этого действия зависит от вводимого препарата, его объема, скорости и путей введения, а также от функционального состояния организма. Первой реагирует на инфузии система кровообращения, так как переливаемые препараты оказывают непосредственное воздействие на сосуды, кровь и деятельность сердца. При этом проявляются волеимический, реологический, гемодилюционный эффекты [2]. В условиях микрогравитации, когда происходит перераспределение жидких сред в организме, изменяются параметры центрального, периферического кровообращения и микроциркуляции, объем циркулирующей крови, эффекты коллоидных и кристаллоидных инфузионных сред могут существенно меняться. Это может иметь первостепенное значение при определении тактики инфузионной терапии критических состояний и хирургических заболеваний в условиях космического полета.

Для исследования реакции МЦР на различные виды воздействия, а также для более детального изучения этих реакций мы провели два вида исследований: капилляроскопию и УЗИ. Капилляроскопия

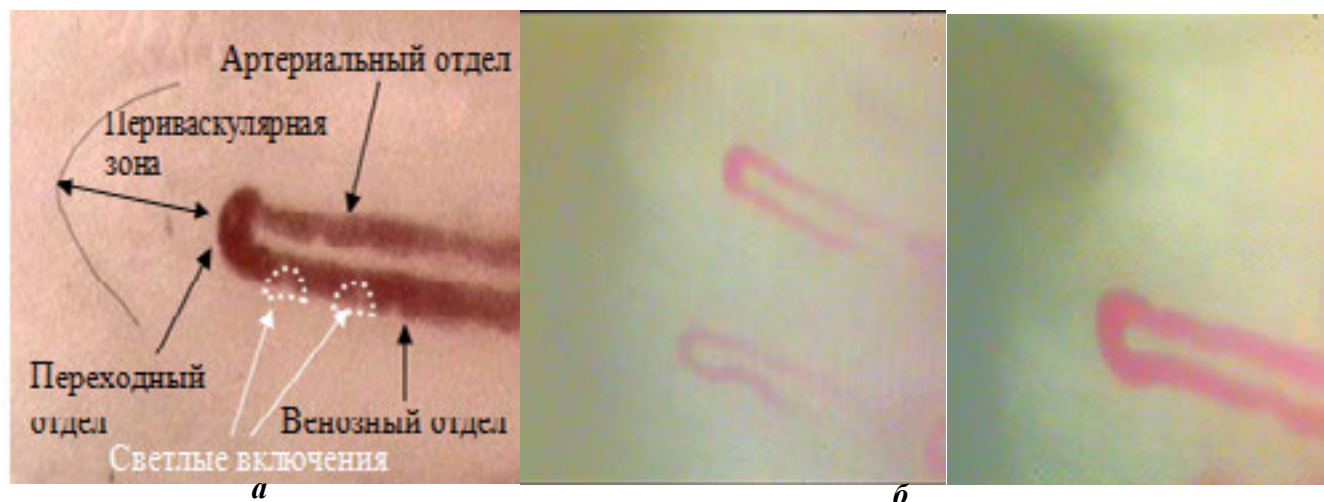


Рис. 1. Схема капиллярной петли и ее переходных отделов (а); общий вид капилляра с монитора капилляроскопа (б)

позволяет визуализировать самые терминальные звенья МЦР — уровень капиллярной петли и ее переходные отделы (рис. 1). В области ногтевого валика хорошо прослеживаются петли капилляров. В большинстве областей кожи петли капилляров располагаются под углом 90° относительно поверхности кожи. Капилляры ногтевого ложа (эпонихия) расположены параллельно поверхности кожи и могут быть хорошо визуализированы на всем протяжении. Это выделило капилляры ногтевого ложа в объект для исследования капилляров и микроциркуляции. Измерить кровоток в более крупных сосудах МЦР (артериолах и венах), которые залегают более глубоко от поверхности кожи, данным методом невозможно.

Для этого мы использовали УЗ-доплерограф, глубина УЗ-сигнала которого достигает 1,5 мм, что соответствует III уровню сплетения микроциркуляторных сосудов кожи, который представлен в основном артериолами и венами [3]. Таким образом, в данном исследовании мы могли изучить динамику кровотока в различных отделах МЦР.

Перевод в АНОГ не вызывал значимых изменений со стороны АД и ЧСС. Во всех сериях отмечалось снижение АДс (систолического) на 1-й мин АНОГ в среднем на 2–4,5 %, АДд (диастолического) — на 4–7,4 %, при этом АДп (пульсовое) во 2-й и 3-й сериях в среднем возросло на 5 %, а в 1-й серии снизилось на 4,5 %. Показатели ЧСС практически не изменялись. К 10-й мин АНОГ данные показатели были близки к фоновым значениям.

По данным УЗИ (рис. 2), показатель Vs в МЦР верхних конечностей в первые минуты АНОГ имел разнонаправленные колебания в пределах 5–20 % в разных сериях исследования. К 10-й мин АНОГ данный показатель был выше фонового значения в среднем на 8 %. Остальные показатели кровотока в МЦР во всех 3-х сериях имели тенденцию к снижению. Следует отметить, что менее всего они снижались в 3-й серии (на 25 %). Вероятно к 3-й серии у обследуемых развивалась адаптация к изменению положения тела, что выражалось в более стабильных показателях кровотока в МЦР. Индексы RI и PI не претерпевали значимых изменений.

В нижних конечностях при переводе в АНОГ показатель Vs возрастал в 1-й и 2-й сериях на 10–16 % и снижался практически до уровня фоновых значений к 10-й мин АНОГ. В 3-й серии — снижался с первых минут АНОГ и на протяжении всего времени исследования был ниже уровня фоновых показателей. Показатели Vam, Vakd и Qam снижались во всех сериях, в некоторых — более чем на 50 %. К 10-й мин АНОГ все показатели имели тенденцию к увеличению. Индексы RI и PI варьировали в незначительных пределах.

Снижение объема крови в нижней половине тела и увеличение в верхней показано в многочисленных экспериментах в условиях АНОГ и в полетных исследованиях [6].

Введение диуретического препарата не вызвало изменения АД и ЧСС.

В системе МЦР во всех 3-х сериях скорость Vs не изменялась, остальные показатели кровотока снижались. Более значительное снижение отмечалось в области нижних конечностей. Индексы кровотока снижались как в верхних, так и в нижних конечностях RI в среднем на 18 %, PI — на 22 %.

Во 2-й серии проведение инфузионной терапии не вызвало изменений со стороны АД и ЧСС. Показатели гемодинамики МЦР верхних конечностей были стабильны. В области нижних конечностей отмечалось увеличение показателей кровотока.

В 3-й серии после введения препарата отмечался рост АДс на 1,7 %, АДд — на 6,5 %, снижение АДп — на 3,6 % и ЧСС — на 19,7 %. В МЦР показатели скорости кровотока увеличивались как в верхних, так и в нижних конечностях.

К завершению АНОГ показатели АД и ЧСС во всех сериях были на уровне фоновых значений. Показатели кровотока в МЦР верхних конечностей у обследуемых в 1-й серии находились на уровне фоновых значений, в нижних конечностях были ниже фоновых в среднем на 25 %. Во 2-й серии отмечалось снижение всех показателей кровотока МЦР в верхних и нижних конечностях относительно фоновых значений, за исключением показателя Vs в нижних конечностях. В 3-й серии показатели линейных и объемной скорости кровотока в МЦР верхних конеч-

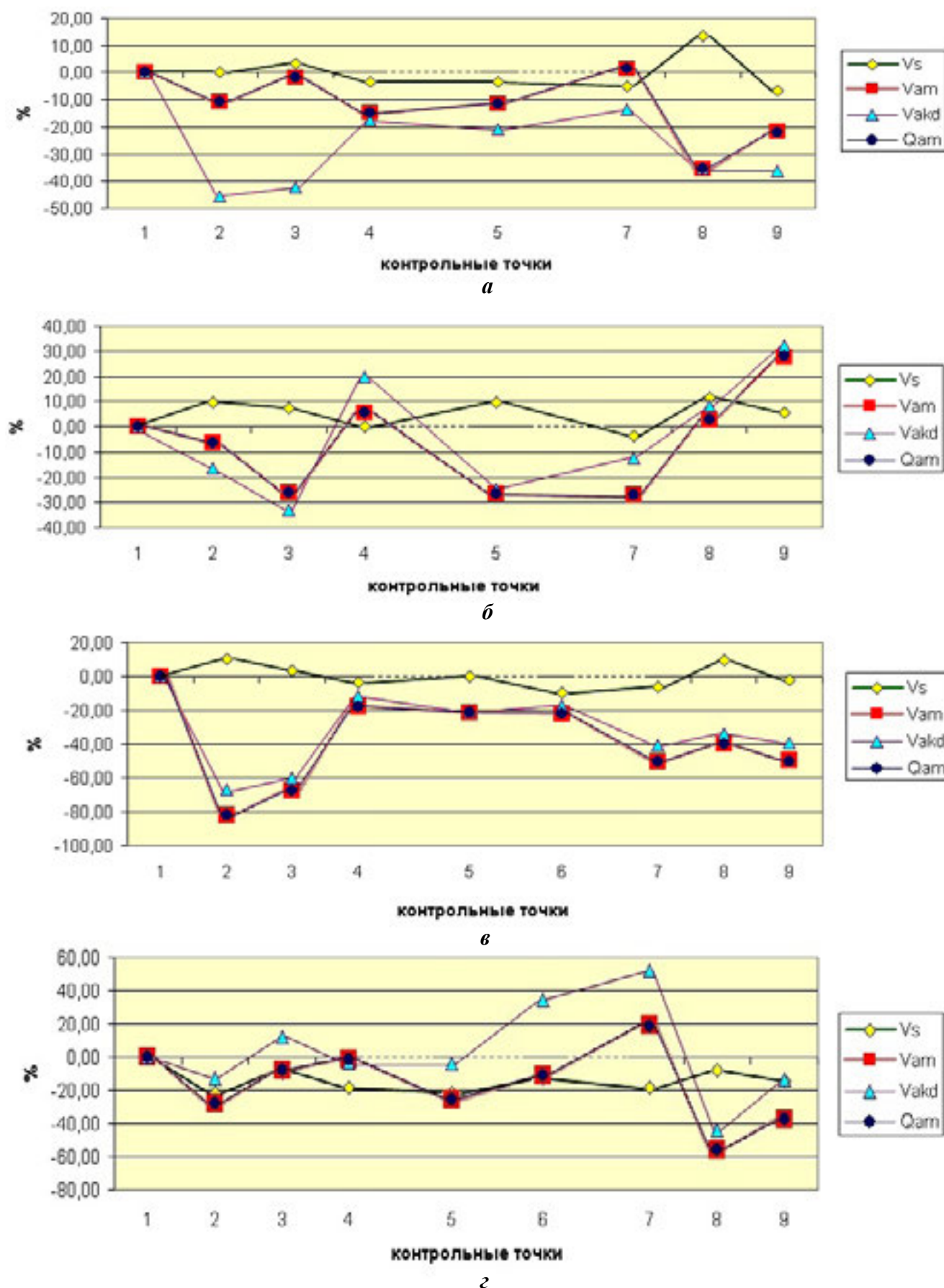


Рис. 2. Динамика показателей кровотока в МЦР верхних и нижних конечностей в ходе всех серий исследования по данным УЗ-доплерографии (в % относительно фоновых значений). Динамика показателей кровотока в МЦР верхней конечности в 1-й серии (а); нижней конечности в 1-й серии (б); верхней конечности во 2-й серии (в); нижней конечности во 2-й серии (г).

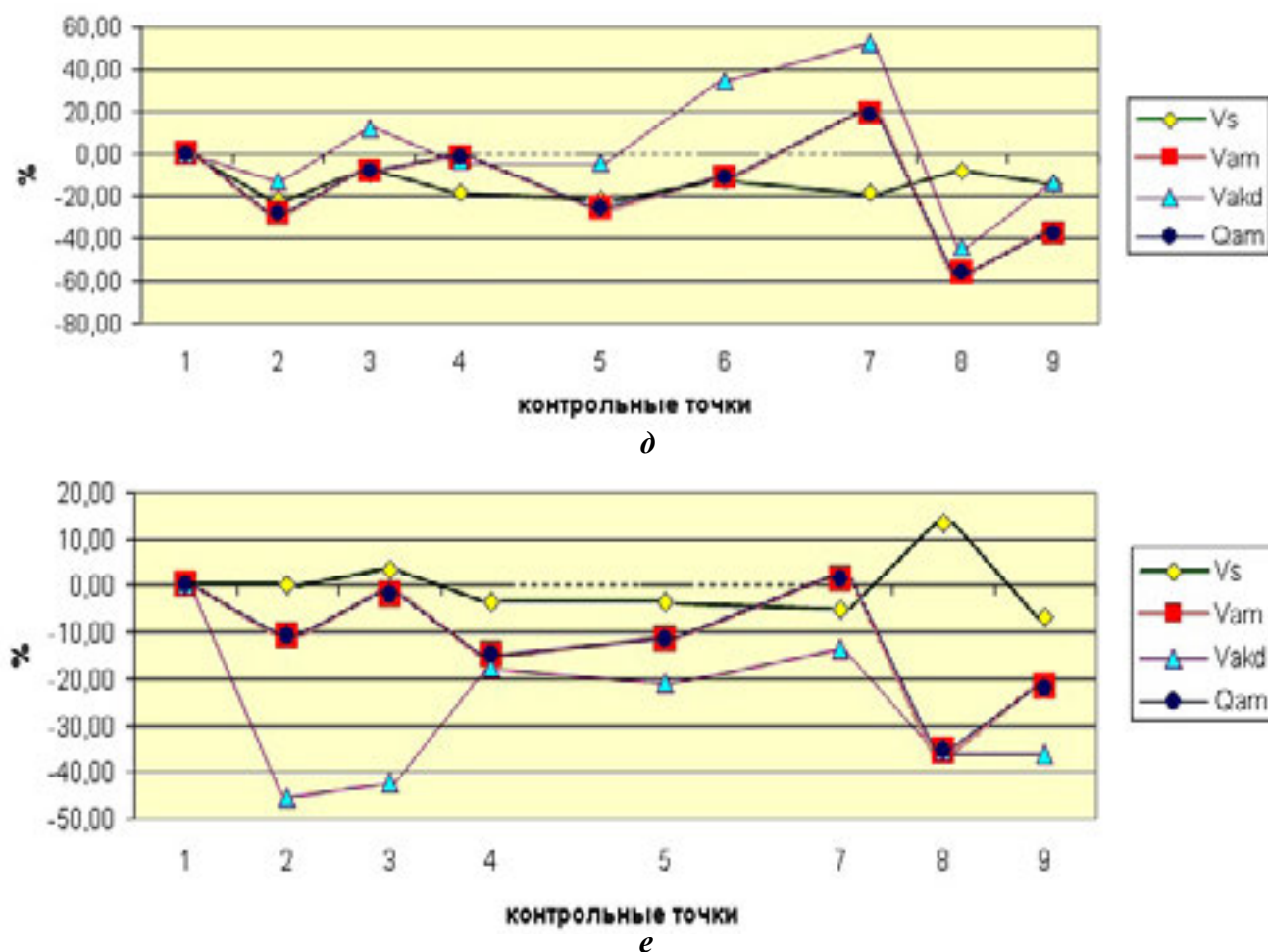


Рис. 2. Динамика показателей кровотока в МЦР верхних и нижних конечностей в ходе всех серий исследования по данным УЗ-доплерографии (в % относительно фоновых значений). Динамика показателей кровотока в МЦР верхней конечности в 3-й серии (d); нижней конечности в 3-й серии (e)

ностей увеличивались на 20–50 %. PI снизился на 31 % относительно фоновых показателей. Данная динамика показателей характеризует наличие застойных явлений в верхних конечностях, дилатацию сосудов МЦР. В нижних конечностях показатели кровотока МЦР снизились относительно фоновых значений в среднем на 50 %.

Динамика показателей кровотока в МЦР при проведении инфузионной терапии в условиях АНОГ соответствовала особенностям фармакокинетики коллоидных и кристаллоидных инфузионных сред, наблюдаемых в клинической практике.

При введении кристаллоидного раствора отмечалось увеличение системного АД и показателей кровотока в МЦР как верхних, так и нижних конечностей. Однако кристаллоидные растворы не имеют коллоидно-осмотического давления, что приводит к быстрому переходу жидкости во внеклеточное пространство и быстрому выведению их почками.

Следовательно, наблюдается ограниченный волемический эффект, непродолжительный по времени. Поскольку кристаллоидные растворы быстро перераспределяются из сосудистого русла в межклеточное пространство, то существует риск переполнения интерстициального пространства с развитием пери-

ферических отеков и гипоксии тканей [5]. Начальные проявления данного эффекта мы наблюдали через 4 часа после инфузии: в верхних конечностях отмечалась картина застойных явлений, характеризующаяся снижением капиллярного кровотока при усилении артериовенозного шунтирующего кровотока и снижением индекса пульсации.

А в нижних конечностях волемический эффект уже не поддерживался, поскольку показатели кровотока в МЦР были значительно снижены. Так как в условиях микрогравитации происходит перераспределений жидких сред в краниальном направлении, введение кристаллоидных растворов может усугубить эффект отека верхней половины тела.

Коллоидные растворы дольше удерживаются в сосудистом русле благодаря высокой осмотической активности содержащихся в них высокомолекулярных веществ.

Этот механизм действия основан на повышении онкотического давления крови, вследствие чего из интерстициального пространства в сосудистое русло по градиенту онкотического давления поступает жидкость, что еще больше увеличивает объем циркулирующей плазмы. Период их полусуществования в сосудистом русле составляет 3–6 ч [10].

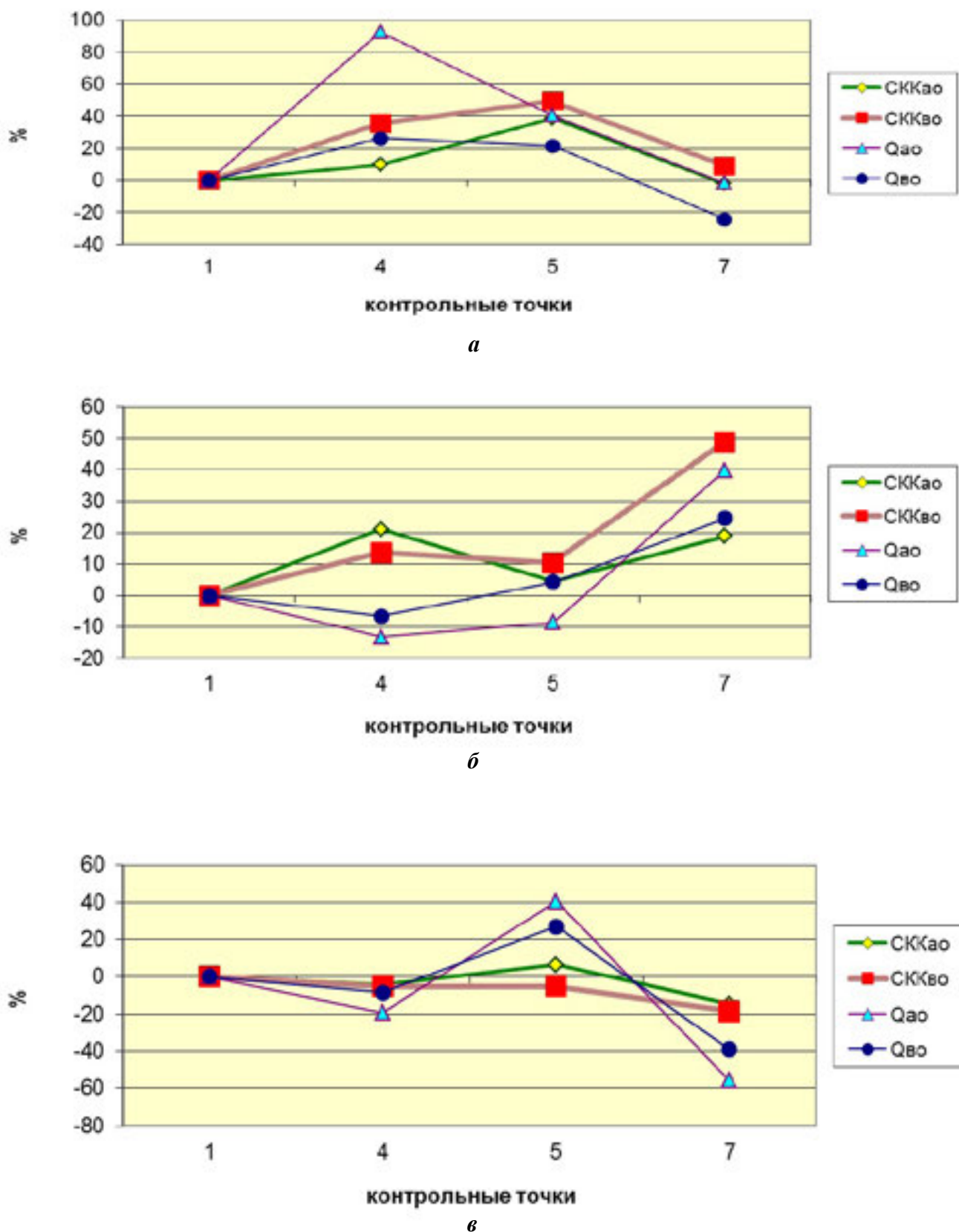


Рис. 3. Динамика показателей кровотока в капиллярах в ходе всех серий исследования по данным капилляроскопии (в % от фона). Динамика показателей скоростей в МЦР верхней конечности в 1-й серии (а); верхней конечности во 2-й серии (б); верхней конечности во 3-й серии (в)

Динамика показателей диаметров различных отделов капилляра в ходе всех серий исследования

Таблица				
Точка исследования	dAO, мкм	dПО, мкм	dBO, мкм	РПЗ, мкм
Показатели нормы	8–14	8–18	9–16	90–110
<i>1-я серия</i>				
1-я	7,29±1,6	11,29±3,8	8,86±2,5	73,43±23,7
4-я	7,14±1,9	10,43±3,06	9,29±3,4	78,86±21,8
5-я	5,71±1,1	8,29±1,8	7,29±2,0	63,17±17,5
7-я	6,29±1,0	9,71±1,9	7,86±2,9	64,71±17,3
<i>2-я серия</i>				
1-я	6,83±3,2	10,67±3,6	8,83±4,09	63,33±18,4
4-я	5,17±1,6	8,33±2,9	6,67±2,8	63,5±23,5
5-я	7,0±1,8	11,17±1,8	8,17±3,5	64,6±17,2
7-я	5,5±2,5	9,33±2,75	6,67±3,4	63,2±23,09
<i>3-я серия</i>				
1-я	7,0±1,1	10,5±2,07	9,33±2,6	68±24,5
4-я	6,83±1,4	11±3,56	8,67±3,08	73,33±20,9
5-я	6,5±0,96	8,33±3,8	7,83±4,35	70,4±20,2
7-я	4,17±0,58	7,17±3,4	5,17±1,7	54,75±16,5

Препаратом выбора для стабилизации параметров гемодинамики после дегидратации организма стал коллоидный синтетический плазмозаменитель «Инфукол ГЭК» 10 %. Осмолярность растворов ГЭК незначительно превышает осмолярность плазмы крови, а коллоидно-осмотическое давление для 10 %-ого раствора ГЭК делает его более предпочтительными для возмещения дефицита объема циркулирующей крови (ОЦК).

Растворы ГЭК эффективны для восполнения ОЦК, длительно улучшают макро- и микроциркуляцию, перфузию тканей, повышают доставку и потребление кислорода, нивелируют нарушения кислотно-основного состояния.

После в/в-введения коллоидного раствора был отмечен прирост объемной скорости кровотока в нижних конечностях. Через 4 часа после инфузии наблюдался дальнейший прирост средней и объемной скорости кровотока. При переводе обследуемых из АНОГ в горизонтальное положение в среднем по сериям не отмечалось изменения АД, но наблюдался рост ЧСС от 5 до 15,9 %. Со стороны МЦР в 1-й серии исследований в верхних конечностях на 1 мин изменения положения тела наблюдался рост V_s при снижении других показателей. В нижних конечностях все показатели кровотока в МЦР возросли в среднем на 25–30 %. К 5-й мин горизонтального положения показатели МЦР в нижних конечностях превышали фоновые значения на 27–32 %, а в верхних конечностях отмечалась тенденция к снижению V_s и росту остальных показателей кровотока. Во 2-й серии показатели кровотока МЦР верхних и нижних конечностей на 1 мин горизонтального положения тела обследуемых возросли.

В 3-й серии в верхних конечностях наблюдалась динамика, характерная для 1-й серии, в нижних ко-

нечностях динамика соответствовала 2-й серии, но была более выраженная. К 5-й мин горизонтального положения тела регистрировали снижение всех показателей кровотока в МЦР.

По данным КК, при переводе из горизонтального положения тела в АНОГ показатели линейной скорости капиллярного кровотока, как и при УЗИ, в разных сериях исследования носили разнонаправленный характер и были менее выражены в 3-й серии (рис. 3).

Диаметр аортального отдела капилляра (dAO) во всех сериях уменьшался на 5–20 %, диаметры венозного (dBO) и переходного (dПО) отделов носили разнонаправленные колебания (таблица). После введения диуретического препарата изменения линейной скорости кровотока в различных отделах капилляра колебались в пределах 10–15 %. При этом прослеживалась динамика уменьшения диаметра всех отделов капилляра в среднем на 10 % (1-й и 3-й серии). Через 4 часа после введения коллоидного раствора отмечалось увеличение скорости капиллярного кровотока во всех отделах капилляра. При этом диаметры всех отделов капилляра уменьшились в среднем на 15 %. А при введении раствора глюкозы на фоне более значительного уменьшения диаметра капилляра наблюдалось снижение линейной и объемной скорости кровотока, при этом, по данным УЗИ, отмечено увеличение показателя V_{akd} .

Данная динамика характеризует усиление артериовенозного шунтирующего кровотока и обеднение капиллярного кровотока.

Заключение

Таким образом, используя два метода исследования — высокочастотную УЗ-доплерографию и капилляроскопию, мы оценили динамику кровотока в различных структурах МЦР (от капиллярной петли до

артериол и венул) при различных видах воздействия (АНОГ, обезвоживание организма, инфузионная терапия различными препаратами). Результаты анализа данных показали, что сердечно-сосудистая система в той или иной степени реагирует на все виды воздействий, применяемых в исследовании. Эффекты

коллоидных и кристаллоидных инфузионных сред в условия АНОГ существенно не изменились, однако применение кристаллоидных инфузионных сред может привести к увеличению интерстициального отека верхней половины тела, особенно в начальный период микрогравитации.

Литература

1. Баранов В. М., Попова Ю. А., Ковалев А. С., Баранов М. В. Изменения чувствительности центрального дыхательного механизма в условиях 21-часовой антиортостатической гипокинезии // *Авиакосм. и эколог. мед.* 2011. Т. 45. № 4. С. 35–38.
2. Буланов С. А., Городецкий В. М., Шулутко Е. М. Коллоидные объемозаменяющие растворы и гемостаз // *Росс. журн. анестезиол. и интенсивной терапии.* 1999. № 2. С. 25–31.
3. Ковалева А. А., Скедина М. А., Пичулин В. С. Моделирование микроциркуляторного русла на основе гидромеханической и акустической математических моделей // *Авиакосм. и эколог. мед.* 2009. Т. 43. № 6. С. 43–51.
4. Козлов В. И., Тупицин И. О. Микроциркуляция при мышечной деятельности. М.: Физкультура и спорт, 1982. 137 с.
5. Молчанов И. В., Буланов А. Ю., Шулутко Е. М. Некоторые аспекты безопасности инфузионной терапии //

- Клин. анестезиол. и реаниматол.* 2004. Т. 3. № 1. С. 19–24.
6. Носков В. Б. Перераспределение жидких сред организма в условиях невесомости и моделирующих ее воздействий // *Авиакосм. и эколог. мед.* 2011. Т. 45. № 1. С. 17–26.
7. Петрищев Н. Н., Васина Е. Ю., Корнеев Н. В. и др. Способ определения реактивности сосудов микроциркуляторного русла и возомоторной функции эндотелия с использованием высокочастотной доплерографии: мед. технол. СПб.: СП-Минимакс, 2009. 20 с.
8. Поленов С. А. Основы микроциркуляции // *Региональное кровообращение и микроциркуляция.* 2008. Т. 25. № 1. С. 5–19.
9. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. М.: Медиа-Сфера, 2006. 305 с.
10. Шевченко Ю. Л., Жибурт Е. Б. Плазмозаменители на основе гидроксиэтилрованного крахмала в клинической практике // *Безопасное переливание крови: рук-во для врачей.* СПб.: Питер, 2000. С. 268–272.

UDK 615.38:612.13

Skedina M. A., Kovaleva A. A., Repenkova L. G.

Research of dynamics in microcirculation during modelling conditions of microgravity and carrying out of infusion

Federal State Institution of Science State Scientific Center of the Russian Federation — Institute for Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences, Moscow
e-mail: skedina@imbp.ru

Abstract

Effects of infusion therapy by various drugs on the dynamics of blood flow in different parts of the microcirculatory bloodstream (MCB) during 21-hours of antiorthostatic hypokinesia (ANOG) –15 ° was examined.

3 series of research was conducted with participation of 6 volunteers (21–28 years old). The enhancement of dehydration effect was achieved by intravenous administration of 20 mg Lasix at the end of 13th hour ANOG.

To compensate for dehydration after 17 hours of ANOG the infusion therapy was conducted by colloid («Infukol GEK» 10 %) or crystalloid (5 % glucose) solutions. Haemodynamics research in the microcirculatory bloodstream was performed using a method of high-frequency Doppler ultrasound and capillaroscopy.

The results of data analysis showed, that the cardiovascular system reacts in a varying degree to all kinds of effects applied in research; clinical effects of colloid and crystalloid infusion solutions during conditions of ANOG have not changed essentially.

Keywords: space flight, infusion therapy, microcirculatory bloodstream, high-frequency Doppler ultrasound, capillaroscopy.

References

1. Baranov V.M., Popova Ju.A., Kovalev A.S., Baranov M.V. *Izmeneniya chuvstvitel'nosti tsentral'nogo dyhatel'nogo mehanizma v usloviyakh 21-chasovoy antiortostaticheskoy gipokinezii* // *Aviakosm. i jekolog. med.* 2011. V. 45. No 4. P. 35–38. [Sensitivity Changes of the central respiratory mechanism in the conditions of 21-hour anti ortostatic hypokineziya]. [In Russian].
2. Bulanov S. A., Gorodeckij V. M., Shulutko E.M. *Kolloidnye ob'emozameshchajushhie rastvory i gemostaz* // *Russian journal of anesthesiology and intensive care.* 1999.

No 2. p. 25–31. [Colloid volume replacing solutions and hemostasis]. [In Russian].

3. Kovaleva A.A., Skedina M.A., Pichulin V.S. *Modelirovanie mikrocirkuljatornogo rusla na osnove gidromehaničeskoj i akustičeskoj matematičeskikh modelej* // *Aviakosm. i jekolog. med.* 2009. V. 43. No 6. P. 43–51. [Modeling of the microcirculation on the basis of hydromechanical and acoustic mathematical models]. [In Russian].

4. Kozlov V. I., Tupicin I. O. *Mikrocirkuljacija pri myshečnoj dejatel'nosti.* M.: Fizkul'tura i sport, 1982. 137 p. [Microcirculation at muscular activity]. [In Russian].

5. Molchanov I.V., Bulanov A.Ju., Shulutko E.M. *Nekotorye aspekty bezopasnosti infuzionnoj terapii* // *Klin. anesteziol. i reanimatol.* 2004. V. 3. No 1. P. 19–24. [Some aspects of safe infusive therapy.] [In Russian].

6. Noskov V.B. *Pereraspredelenie zhidkih sred organizma v uslovijah nevesomosti i modelirujushhih ee vozdeystvij* // *Aviakosm. i jekolog. med.* 2011. V. 45. No 1. p. 17–26. [Redistribution of liquid environments of an organism in the conditions of zero gravity and influences modeling it]. [In Russian].

7. Petrishhev N.N., Vasina E.Ju., Korneev N.V. et al. *Sposob opredelenija reaktivnosti sosudov mikrocirkuljatornogo rusla i vozomotornoj funkcii jendotelija s ispol'zovaniem vysokochastotnoj dopplerografii: med. tehnol. SPb.: SP-*

Minimaks, 2009. 20 p. [The way of diagnostics of vascular reactivity and vasomotor function of endothelium by high frequency Doppler]. [In Russian].

8. Polenov S.A. *Osnovy mikrocirkuljarii* // *Regional hemodynamics and microcirculation* 2008. V. 25. No 1. P. 5–19. [Microcirculation basics]. [In Russian].

9. Rebrova O. Ju. *Statisticheskij analiz medicinskih dannyh.* M.: Media-Sfera, 2006. 305 p. [Statistical analysis of medical data]. [In Russian].

10. Shevchenko Ju. L., Zhiburt E. B. *Plazmozameniteli na osnove godroksijetilirovannogo krahmala v klinicheskoy praktike* // *Bezopasnoe perelivanie krovi: ruk-vo dlja vrachej.* Saint-Petersburg.: Piter, 2000. p. 268–272. [Safe blood transfusion]. [In Russian].