

Экспериментальные статьи
МИХАЙЛИЧЕНКО Л. А.¹,
ТИХОМИРОВА И. А.²

Показатели микроциркуляции и оценка механизмов регуляции тонуса сосудов кожи крыс в условиях модификации реологических свойств крови

¹ Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии, Москва

² Ярославский государственный педагогический университет

e-mail: ilmen2006@rambler.ru

Реферат

Методом лазерной доплеровской флоуметрии показано, что в условиях модификации реологических свойств крови с помощью декстранов возможно снижение кровотока и транзитное многократное увеличение или снижение тонуса сосудов кожи. Снижение кровотока и увеличение его вариабельности проявляется на фоне декстрана 70 и чаще наблюдается увеличение тонуса миогенной природы. На фоне декстрана 500 не отмечено достоверного изменения показателей микроциркуляции независимо от стороны наблюдения и чаще проявляется многократное увеличение или снижение составляющей тонуса эндотелиальной природы. Особенности динамики более показательны при рассмотрении индивидуальных особей и определяются топографией зон регистрации кровотока. Отмечены случаи летального исхода на фоне декстрана 500. Можно отметить, что система регуляции кровотока стремится избежать резонансного изменения компонент регуляции, например, на фоне декстрана 500 увеличивается компонента тонуса нейрональной природы и уменьшается — миогенной и эндотелиальной.

Ключевые слова: микроциркуляция, кожный кровоток, сосудистый тонус, декстраны, лазерная доплеровская флоуметрия.

Mikhajlichenko L. A.¹, Tihomirova I. A.²

Parameters of microcirculation and estimation of the mechanisms of cutaneous vessels tone under conditions of blood rheological properties modification in rats

¹ Institute of general pathology and pathophysiology, Moscow, Russia

² The Yaroslavl state pedagogical university, Russia

e-mail: ilmen2006@rambler.ru

Abstract

By method laser doppler flowmetry it is shown, that in conditions of infringement rheological properties of blood with the help dextrans decrease blood flow and transit repeated increase or decrease of a tone of vessels of a skin is possible. Decrease blood flow and increase of his variability is shown on a background dextran 70 and more often the increase of a tone myogenes a nature is observed. On a background dextran 500 it is not marked authentic change index of microcirculation irrespective of the side of supervision and more often the repeated increase or decreases of a component of a tone endothelialis a nature is shown. Features of dynamics (changes) are more indicative by consideration of individual individuals and are defined (determined) by topography of zones of registration blood flow. Cases of lethal outcome on a background dextran 500 are marked. It is possible to note, that the system of regulation blood flow to aspire to avoid resonant change a component of regulation, for example, on a background dextran 500 is increased a component of a tone neurogene a nature and decreases — myogenes миогенной and endothelial.

Keywords: microcirculation, skin blood flow, vascular tone, dextrans, laser doppler flowmetry.

Введение

Растворы высоко- и низкомолекулярных декстранов широко используются в составе плазмозаместителей [1, 4, 6]. Известно, что при вливании высокомолекулярных плазмозаместителей возможно стойкое увеличение объема крови на 40 %, так как они не вызывают компенсаторного увеличения диуреза, а низкомолекулярные плазмозаместители стимулируют его [13]. Однако известно и то, что высокомолеку-

лярные декстраны негативно влияют на систему кровообращения. В экспериментах *in vivo* показано увеличение системного давления крови на 50 % при инфузии высокомолекулярных декстранов [12]. Установлено изменение распределения гематокрита в тканях сердца [15], выраженное негативное воздействие декстрана 500 на реологические свойства крови [2, 5, 7, 8, 10, 15], повышение сопротивления

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

кровотоку с ростом агрегации эритроцитов [11]. Кроме того, что растворы этих полимеров обладают значительно более высокой вязкостью, чем плазма, они оказывают воздействие на агрегатные свойства крови. Рост вязкости крови, как за счет повышенной вязкости плазмозамещающего раствора, так и за счет интенсификации агрегации эритроцитов, может приводить к увеличению пристеночного напряжения сдвига, что, в свою очередь, посредством активации механочувствительных рецепторов может влиять на величину тонуса сосудов. Однако влияние этих соединений на состояние микроциркуляции в целом недостаточно изучено [14].

Свойства декстранов с разной полимерной массой обусловлены в большей степени строением молекул этих полимеров. Раствор декстрана 70 используется в клинической практике как действенное плазмозамещающее средство при инфузионной терапии [4]. Установлено, что декстран 70 не оказывает существенного влияния на реологические свойства крови: в его присутствии вязкость крови практически не изменяется и имеет место «физиологическая» (обратимая) агрегация эритроцитов, когда клетки объединяются в небольшие немногочисленные агрегаты по типу «монетных столбиков» [2]. Напротив, инфузия высокомолекулярного декстрана (500 kDa) — полимера с разветвленными крупными молекулами — вызывает существенное повышение степени агрегации эритроцитов и способствует образованию патологических «глыбчатых» агрегатов [11]. Полагают, что применение декстрана 70 (с относительно короткими неразветвленными цепочками) соответствует модели физиологической агрегации эритроцитов, а его замена на высокомолекулярный декстран 500 (полимер с длинными разветвленными цепочками) является адекватной моделью реологических нарушений [9, 11]. Такое различие позволяет использовать эти полимеры для моделирования либо физиологических (декстран 70), либо патологических (декстран 500) изменений характеристик крови в эксперименте.

Задачей данной работы было исследование состояния кровотока и тонуса сосудов микроциркуляторного русла кожи крыс в условиях моделирования физиологических (обратимых) (декстран 70) и пато-

логических (необратимых) изменений свойств крови (декстран 500).

Материал и методы исследования

Эксперименты проводились на крысах весом 200–210 г под нембуталовым наркозом (5 мг на 100 г веса, в/б). Растворы 6 %-го декстрана 70 и 500 вводили в дозе 0,5 мл на 100 г веса. Капиллярный кровоток измерялся методом ЛДФ с помощью флоуметра «ЛАКК-01» фирмы «ЛАЗМА». Показатели микроциркуляции (ПМ) кожных фрагментов крысы записывали с частотой 10 Гц до и в течение часа и далее после введения препарата, время каждой записи — не менее 2 минут. Области записи кровотока: симметричные фрагменты МЦР (лобные, височные, ушные; также область живота). Для анализа доплерограмм применялся традиционный спектральный анализ. Диапазон частоты в периодограммах определялся частотой записи ПМ и был в пределах 0–5 Гц. Для оценки сосудистого тонуса МЦР рассматривались гармоники спектра в следующих диапазонах 0,009–0,02 Гц — диапазон, в котором, по современным представлениям [3], гармоники несут информацию об участии эндотелиального фактора в регуляции мышечного тонуса, обусловленного активностью NO; 0,02–0,2 Гц — низкочастотные (LF), где гармоники в диапазоне 0,02–0,06 Гц рассматриваются как отражение колебаний нейрогенной (LF_n) и в диапазоне 0,06–0,2 Гц — миогенной природы (LF_m); 0,2–0,4 Гц — высокочастотные (HF); 0,8–1,5 Гц — респираторный ритм (RF); 2–5 Гц — кардиоритма — CF). Вклад механизмов различной природы в формирование тонуса сосудов оценивался согласно отношению σ/ALF , где σ — среднее квадратичное отклонение; ALF — максимальная амплитуда низкочастотных гармоник в диапазоне вышеуказанных частот. Результаты представлены как средние параметры кровотока по совокупности фрагментов симметричных сторон также симметричных фрагментов одноименных органов. Вычисления проведены в программе Statistica 6. Для сравнения результатов использовали t-критерий Стьюдента и F-критерий (сравнение дисперсий показателей).

Динамика параметров МЦР левой стороны после введения декстрана

Таблица 1

Параметр	Фрагменты слева		
	исходно	декстран 500 (30 мин)	декстран 500 (1 ч)
Фаза			
ПМ (у. е.)	17,889±4,311	15,448±4,754	16,021±5,852
σ	1,391±0,398	1,557±0,806**	1,622±0,859** (p<0,001)
$\sigma/Аэ$	0,276±0,541	0,239±0,558	0,058±0,119** (p<0,001)
$\sigma/Ан$	0,057±0,059	0,053±0,071	0,044±0,080
$\sigma/Ам$	0,050±0,038	0,050±0,030	0,056±0,039
n	15	15	0,044±0,080

Примечание: здесь и далее ПМ — показатель микроциркуляции; σ — среднее квадратичное отклонение; $\sigma/Аэ$, $\sigma/Ан$, $\sigma/Ам$ — компоненты тонуса эндотелиальной, нейрогенной и миогенной природы.

Динамика параметров МЦР правой стороны после введения декстрана 500

Таблица 2

Параметр	Фрагменты слева		
	исходно	декстран 500 (30 мин)	декстран 500 (1 ч)
Фаза			
ПМ (у. е.)	14,649±3,961	14,155±3,861	14,360±4,038
σ	1,285±0,542	1,520±0,843	1,538±0,732
$\sigma/\Delta\varepsilon$	0,137±0,166	0,276±0,451**	0,070±0,114
$\sigma/\Delta n$	0,044±0,041	0,032±0,032	0,043±0,051
$\sigma/\Delta m$	0,071±0,066	0,062±0,049	0,060±0,083
n	13	22	23

Результаты исследования и их обсуждение

Средние значения ПМ и оценок сосудистого тонуса по данным кровотока фрагментов левой (табл. 1) и правой (табл. 2) сторон на фоне декстрана 500 показаны ниже.

Динамика параметров МЦР левой стороны после введения декстрана 500 показывает значимое снижение эндотелиальной составляющей тонуса в отдаленное время после введения декстрана 500 по F-критерию ($p < 0,001$). Имеет место большой разброс тонуса эндотелиальной природы изначально (от 0,004 до 1,808). Увеличивается вариабельность ПМ фрагментов МЦР левой стороны.

Динамика параметров МЦР правой стороны после введения декстрана 500 показывает фазное изменение эндотелиальной составляющей тонуса после введения декстрана 500 по F-критерию ($p < 0,001$).

Из данных табл. 1; 2 видно, что действие декстрана 500 более отражается на динамике эндотелиального компонента механизма модуляции кровотока независимо от стороны наблюдения, но в различные периоды после введения препарата.

В табл. 3; 4 показаны средние значения ПМ и оценок сосудистого тонуса по данным кровотока фрагментов левой (табл. 3) и правой (табл. 4) сторон на фоне декстрана 70.

Из динамики параметров МЦР фрагментов слева после введения декстрана 70 следует (табл. 3), что достоверно снижение среднего ПМ фрагментов левой стороны и увеличение миогенной составляющей тонуса. Также достоверно увеличивается дисперсия ПМ, что может иметь место при разнообразии реакций на препарат сосудов различных фрагментов МЦР тела животного.

Из динамики параметров МЦР фрагментов справа после введения декстрана 70 следует (табл. 4), что достоверно снижение среднего ПМ фрагментов правой стороны, транзиторно увеличивается эндотелиальной и монотонно возрастает миогенная составляющая тонуса.

Для сравнения изменений средних параметров МЦР симметричных сторон на фоне декстранов

Динамика параметров МЦР фрагментов слева после введения декстрана 70

Таблица 3

Параметр	Фрагменты слева		
	исходно	декстран 70 (30 мин)	декстран 70 (1 ч)
Фаза			
ПМ (у. е.)	18,41±3,664	14,37±3,521*($p < 0,02$)	13,34±3,876*($p < 0,02$)
σ	1,494±0,463	1,973±1,222**($p < 0,01$)	1,489±0,731
$\sigma/\Delta\varepsilon$	0,044±0,052	0,037±0,036	0,035±0,042
$\sigma/\Delta n$	0,035±0,033	0,042±0,044	0,058±0,140
$\sigma/\Delta m$	0,036±0,015	0,064±0,065	0,073±0,048*($p < 0,01$)
n	9	15	21

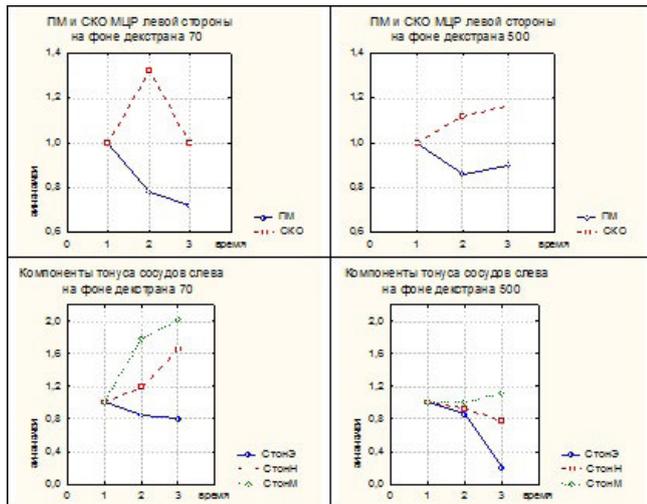
Динамика параметров МЦР фрагментов справа после введения декстрана 70

Таблица 4

Параметр	Фрагменты справа		
	исходно	декстран 70 (30 мин)	декстран 70 (1 ч)
Фаза			
ПМ (у. е.)	16,38±3,428	14,09±3,724*($p < 0,05$)	12,30±2,901*($p < 0,01$)
σ	1,042±0,466	1,854±1,175*($p < 0,05$)	1,424±0,570
$\sigma/\Delta\varepsilon$	0,043±0,034	0,128±0,143*($p < 0,05$)	0,040±0,065* * ($p < 0,05$)
$\sigma/\Delta n$	0,024±0,014	0,026±0,022	0,026±0,021
$\sigma/\Delta m$	0,036±0,026	0,057±0,030	0,066±0,036*($p < 0,02$)
n	9	17	19

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

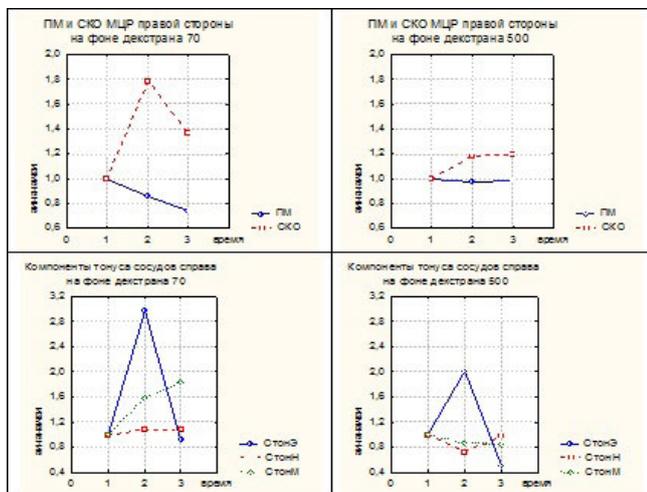
Д70 (фрагменты слева) *a* Д500 (фрагменты слева)
 Исходно: Исходно:
 ПМ=18,41±3,664; ПМ=17,89±4,311;
 стон: 0,044 (Э); стон: 0,276 (Э);
 0,035 (Н); 0,036 (М) 0,057 (Н); 0,050 (М)



Снижение ПМ на 30 % и рост СКО в 2,64 раза; рост СтонМ – в 2 раза; рост СтонН – в 1,6 раза; снижение СтонЭ – на 20 %

Снижение ПМ и рост СКО менее выражено, чем на фоне Д70; изменение СтонМ и СтонН – не более 20 %; снижение СтонЭ до 0,11 от исхода

Д70 (фрагменты справа) Д500 (фрагменты справа)
 Исходно: Исходно:
 ПМ=16,38 ±3,428; Стон: 0,043 (Э); 0,024 (Н); 0,036 (М) ПМ=14,65±3,961;
 Стон: 0,137 (Э); 0,044 (Н); 0,071 (М)



Снижение ПМ на 25 % и рост СКО — скачок на 80–40 % и остается выше исходного; стонЭ изменяется скачком: рост в 2,98 раза и возвращается к значению 0,93 от исхода; стонН мало изменен; стонМ – рост на 58–83 % от исхода

ПМ и СКО мало изменяются; стон Э изменяется скачком: рост в 2 раза и далее резкое снижение до 0,5 от исхода; стон Н и стон М мало изменены

b

Рис. 1. Сравнение действия декстранов 70 и 500 на изменение средних показателей МЦР кожи слева относительно исходного уровня — *a* (исходные значения указаны по табл. 1 и 3; ось X — фаза записи до и 30 и 60 мин после введения препарата); сравнение действия декстранов 70 и 500 на изменение средних показателей МЦР кожи справа относительно исходного уровня — *b*

ниже показана их динамика относительно исходного уровня (рис. 1). В описании использованы следующие обозначения: СКО — среднее квадратичное отклонение; СтонЭ, СтонН, СтонМ — компоненты тонуса эндотелиальной, нейрогенной и миогенной природы.

Динамика параметров МЦР левой стороны на фоне декстранов 70 и 500 (рис. 1, *a*) показывает, что на фоне декстрана 70 снижается ПМ на 30 % и увеличивается СКО в 2,64 раза. Также отмечается рост СтонМ в 2 раза и СтонН в 1,6 раза, но мало снижается СтонЭ (на 20 %). На фоне декстрана 500 в МЦР снижение ПМ и рост СКО слева менее выражены, чем на фоне Д70. Изменение СтонМ и СтонН — не более 20 %, но значительно снижение СтонЭ (до 0,11 от исхода).

Динамика параметров МЦР правой стороны на фоне декстранов 70 и 500 (рис. 1, *b*) показывает, что справа на фоне декстрана 70 снижается ПМ на 25 %, имеет место скачок СКО (на 80–40 %) и далее остается выше исходного. Компонента тонуса эндотелиальной природы (СтонЭ) изменяется скачком: увеличивается в 2,98 раза и возвращается к значению 0,93 от исхода; СтонН мало изменен; СтонМ — рост на 58–83 % от исхода. На фоне декстрана 500 в МЦР правой стороны ПМ и СКО мало изменяются. Изменение компоненты тонуса эндотелиальной природы (Стон Э) носит фазный характер: рост в 2 раза и далее резкое снижение до 0,5 от исхода; СтонН и СтонМ мало изменены.

Таким образом, сравнение эффекта действия препаратов на микрососуды левой стороны показывают, что на фоне Д70 доминирует увеличение компоненты тонуса миогенной природы, а на фоне Д500 — снижение компоненты тонуса эндотелиальной природы.

Сравнение эффекта действия препаратов на компоненты тонуса сосудов правой стороны показывают, что на фоне как Д70, так и Д500 доминирует изменение компоненты эндотелиальной природы, но для Д70 — это скачок и возвращение к исходному уровню, а для Д500 — скачок и резкое снижение тонуса.

Можно отметить, что на фоне декстрана 500 (Д500) имели место случаи летального исхода животных через 30–70 минут после введения препарата (в 3-х случаях из 5). Изменения показателей состояния МЦР в частном случае летального исхода показаны в табл. 5, где приведены ПМ, пять самых мощных гармоник, также низкочастотные гармоники спектра как исходно, так и перед гибелью животного.

Очевидно, что рост variability кровотока в условиях увеличения тонуса сосудов есть проявление адапционных процессов сохранения системы. В предельном случае — летальный исход. Очевидно, что система регуляции кровотока не допускает резонансного изменения ее компонент, что хорошо демонстрируется соотношением компонентов тонуса сосудов различной природы в динамике после любого воздействия. В случае из табл. 5 констрикции нейрогенной и эндотелиальной природы препятствует дилатация дыхательного компонента. Интересно, что на фоне декстрана 500, когда более всего нарушаются

Результат влияния декстрана 500 на показатели кровотока при исходно низком тоне сосудов (детальный исход через 30 минут после введения). Допплерограммы, амплитуда и частота 5-ти доминирующих гармоник в спектре кровотока; компоненты тону эндотелиальной (э), нейрогенной (н) и миогенной (м) природы

Таблица 5

Фаза	Фрагменты живота		Допплерограмма
	слева	справа	
Исход	18,476±1,971	20,589±1,152	
	1486:1,435 449,7:0,009(э) 214,4:1,417 208,4:1,426 119,6:0,019(н) 80,66:0,065(м)	169,8:1,444 144,0:0,009(э) 140,3:1,435 81,96:1,454 33,62:1,426 21,64:0,018(н) 23,22:0,148(м)	
Исходно Тонус:	0,004(э) 0,016(н) 0,024(м)	0,008(э) 0,053(н) 0,050(м)	
Декстран 500 Последняя запись	23,346±2,400 3249:1,171 393,9:1,180 207,8:0,009(э) 196,3:1,162 185,0:1,190 95,42:0,018(н) 64,02:0,074(м)	19,088±4,088 7885:1,190 3787:1,180 2426:1,199 576,9:1,208 351,2:1,171 3,81:0,009(э) 26,98:0,056(н) 83,91:0,195(м)	
Тонус:	0,012(э) 0,025(н) 0,037(м)	1,073(э)↑↑ 0,152(н) ↑ 0,049(м)	
Резкое увеличение тону эндотелиальной и нейрогенной природы более выражено для сосудов правого фрагмента. Дыхательный компонент тону сосудов снижается (контрфактор констрикции)			При низком исходном тоне в спектре кровотока доминирует RF-ритм, который возрастает на фоне декстрана и в большей степени справа. На фоне декстрана 500 резко возрастают флуктуации кровотока справа

реологические свойства крови, ПМ мало изменяются или даже возрастают. Высказывается предположение, что образовавшиеся конгломераты клеток крови могут быть причиной увеличения скорости кровотока, что и отражается на ПМ.

Варианты соотношения компонент тону различной природы для частных случаев в условиях воздействия декстрана 500 и 70 показаны на рис. 2–11. Из представленных случаев следует, что на фоне декстрана 500 чаще играют определяющую роль эндотелиальный и нейрогенный механизмы модуляции кровотока и именно совпадение фаз их усиления или уменьшения может привести систему к гибели.

Из частных случаев следует, что реакция МЦР предопределяется исходным состоянием. При исходно низком значении компоненты тону любой природы система, как правило, отвечает его много-

кратным увеличением. Примером такой реакции является резкое увеличение эндотелиальной составляющей тону для сосудов виска справа, лба слева после введения декстрана 500 (рис. 2; 4) или фрагменты живота крысы после введения декстрана 70 (рис. 11). При исходно высоком значении компонент тону любой природы после воздействия следует резкое (или монотонное) снижение. В любом случае для симметричных фрагментов МЦР кожи имеет место своя композиция компонент тону различной природы (рис. 2–11). Даже когда исходные значения компонент в симметричных фрагментах одного порядка, различия в их динамике после воздействия проявляются. При исходно низком тоне эндотелиальной природы в симметричных фрагментах живота на фоне декстрана 70 (рис. 11) величина этой компоненты возрастает, но слева — это транзитный скачок, справа — непрерывное нарастание в течение

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Висок слева

исходно:
 $PM=22,5 \pm 0,972$;
 Стон: 0,009 (Э); 0,004 (Н);
 0,111 (М)

Висок справа

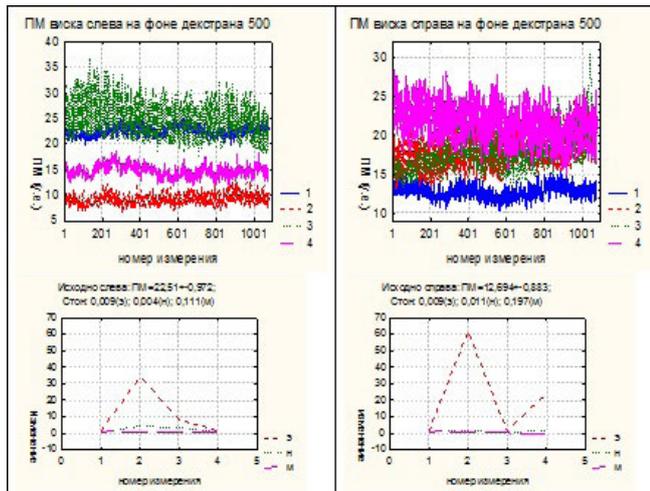
исходно:
 $PM=12,69 \pm 0,883$;
 Стон: 0,009 (Э); 0,011 (Н);
 0,197 (М)

Фрагмент лба слева

исходно:
 $PM=17,39 \pm 1,360$;
 Стон: 0,023 (Э); 0,009 (Н);
 0,126 (М)

Фрагмент лба справа

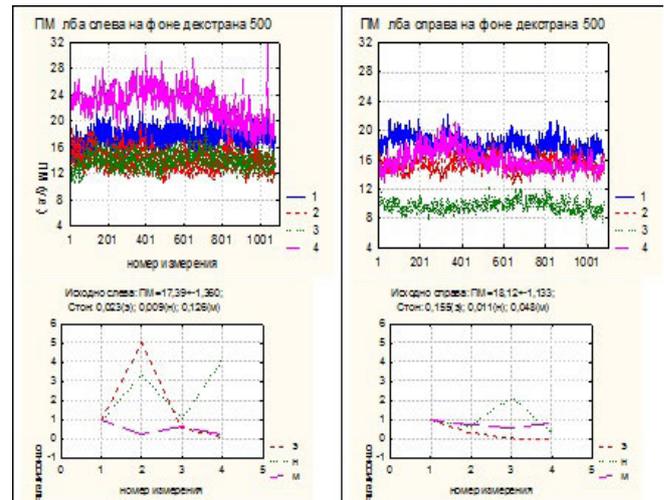
исходно:
 $PM=18,12 \pm 1,133$;
 Стон: 0,155 (Э); 0,011 (Н);
 0,048 (М)



Скачок variability ПМ и СтонЭ (34 крат)

Увеличение ПМ и СКО; скачок компоненты тонуза эндотелиальной природы (62 крат)

Рис. 2. Фрагменты МЦР висков на фоне декстрана 500 при исходно малых значениях компонент тонуза эндотелиальной и нейрогенной природы (доплерограммы и компоненты тонуза в динамике от исходного и в течение 1 ч после введения декстрана)



Транзиторное увеличение СтонЭ и фазное СтонН

Монотонное снижение СтонЭ и фазное изменение СтонН

Рис. 4. Фрагменты МЦР лба на фоне декстрана 500 (ось X: 1 — исходно; 2–4 — три измерения ПМ в течение часа после введения препарата)

Висок слева

исходно:
 $PM=17,11 \pm 1,380$;
 Стон: 1,353 (Э); 0,014 (Н);
 0,102 (М)

Висок справа

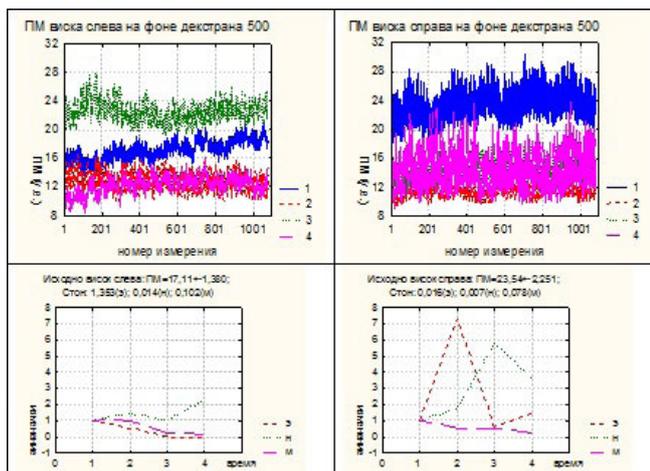
исходно:
 $PM=23,54 \pm 2,251$;
 Стон: 0,016 (Э); 0,007 (Н);
 0,078 (М)

Фрагмент МЦР живота

слева исходно:
 $PM=19,44 \pm 1,779$;
 Стон: 0,009 (Э); 0,023 (Н);
 0,006 (М)

Фрагмент МЦР живота

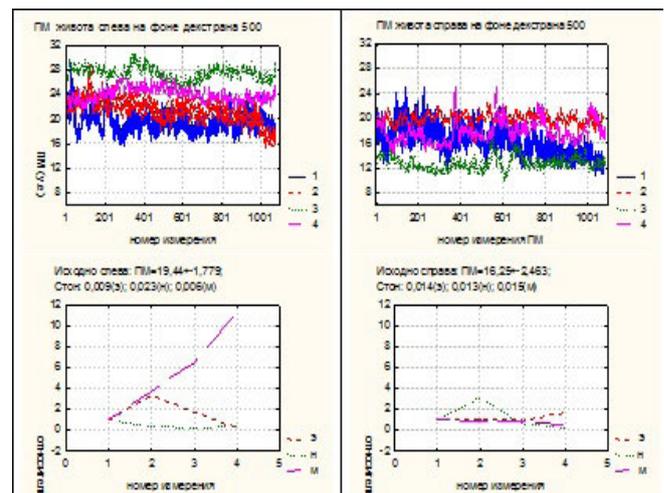
справа исходно:
 $PM=16,25 \pm 2,247$;
 Стон: 0,014 (Э); 0,013 (Н);
 0,015 (М)



Слева: вазодилатация Э- и М-природы

Справа: транзиторная вазоконстрикция Э- и Н-природы

Рис. 3. Фрагменты МЦР висков на фоне декстрана 500 (исходно высока компонента тонуза эндотелиальной природы слева)



Слева: монотонное увеличение стонМ

Справа: фазное изменение СтонН и отдаленное увеличение СтонЭ

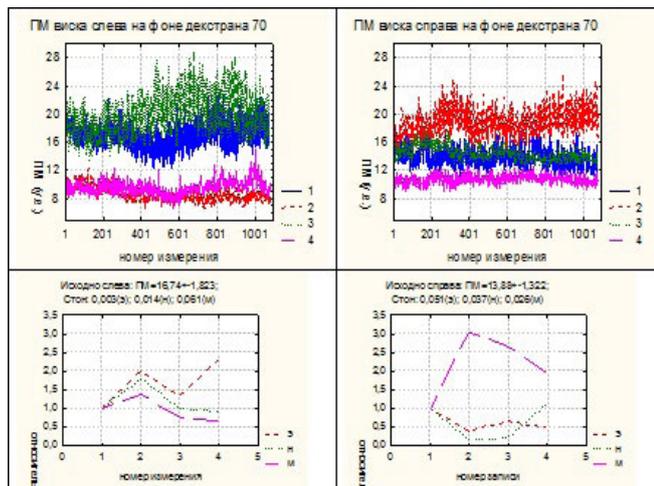
Рис. 5. Изменения ПМ МЦР фрагментов живота и оценок их сосудистого тонуза эндотелиальной (э), нейрогенной (н) и миогенной (м) природы относительно исходного значения после введения декстрана 500 (доплерограммы и компоненты тонуза сосудов)

Висок слева
исходно:
ПМ=16,74±1,823;
Стон: 0,003 (Э); 0,014 (Н);
0,061 (М)

Висок справа
исходно:
ПМ=13,88±1,322;
Стон: 0,051 (Э); 0,037 (Н);
0,026 (М)

Висок слева
исходно:
ПМ=15,37±1,152;
Стон: 0,019 (Э); 0,014 (Н);
0,028 (М)

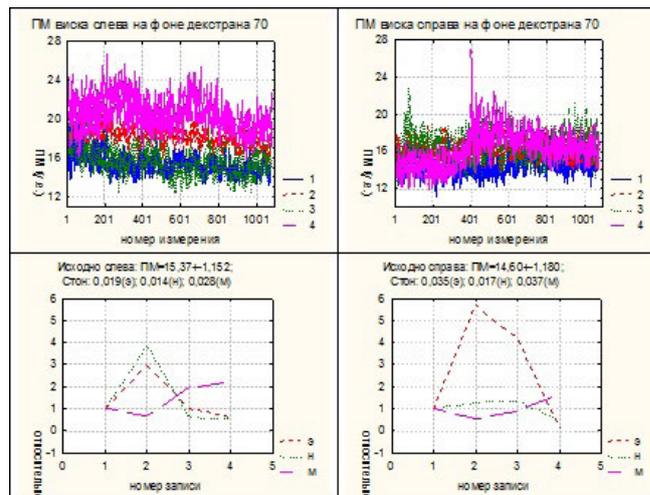
Висок справа
исходно:
ПМ=14,60±1,180;
Стон: 0,035 (Э); 0,017 (Н);
0,037 (М)



Первая реакция: констрикция.
Далее: констрикция
эндотелиальной и дилатация
миогенной природы

Констрикция миогенной
природы и дилатация
эндотелиальной и нейро-
генной природы (контрфактор)

Рис. 6. Фрагменты МЦР виска на фоне декстрана 70 (исходно мала компонента тонуса эндотелиальной природы слева)



Первая реакция: констрикция
эндотелиальной и нейрогенной
природы. Далее — констрик-
ция миогенной природы

Первая реакция — скачок
тонуса эндотелиальной
природы (в 6 раз)

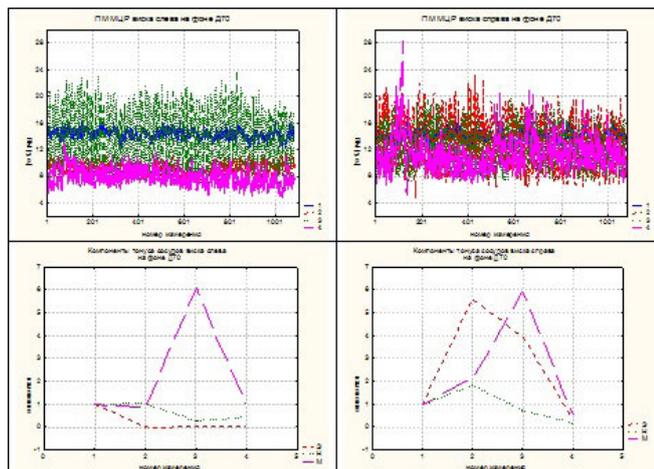
Рис. 8. Фрагменты МЦР виска на фоне декстрана 70 (фрагменты с близкими показателями микроциркуляции)

Висок слева.
исходно:
ПМ=14,30±0,690;
Стон: 3,830 (Э); 0,073 (Н);
0,029 (М)

Висок справа.
исходно:
ПМ=14,01±0,791;
Стон: 0,043 (Э); 0,023 (Н);
0,018 (М)

Фрагмент слева
исходно:
ПМ=20,59±1,916;
Стон: 0,036 (Э); 0,020 (Н);
0,021 (М)

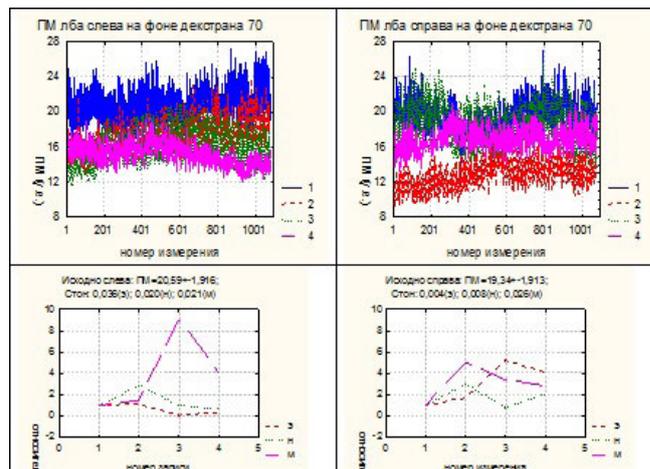
Фрагмент справа
исходно:
ПМ=19,34±1,913;
Стон: 0,004 (Э); 0,008 (Н);
0,026 (М)



Констрикция миогенной и
дилатация эндотелиальной
природы

Констрикция эндотелиальной
и миогенной и дилатация
нейрональной природы

Рис. 7. Фрагменты МЦР висков на фоне декстрана 70 (исходно велика составляющая тонуса эндотелиальной природы, ПМ симметричных фрагментов исходно близки)



Скачок СтонМ (8 крат)

Скачок СтонМ и СтонЭ
(5 крат)

Рис. 9. Фрагменты МЦР лба на фоне декстрана 70 (исходно низкий тонус эндотелиальной и нейрогенной природы справа)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Фрагмент слева

исходно:
 ПМ=24,94±2,027;
 Стон: 0,144 (Э); 0,028 (Н);
 0,061 (М)

Фрагмент справа

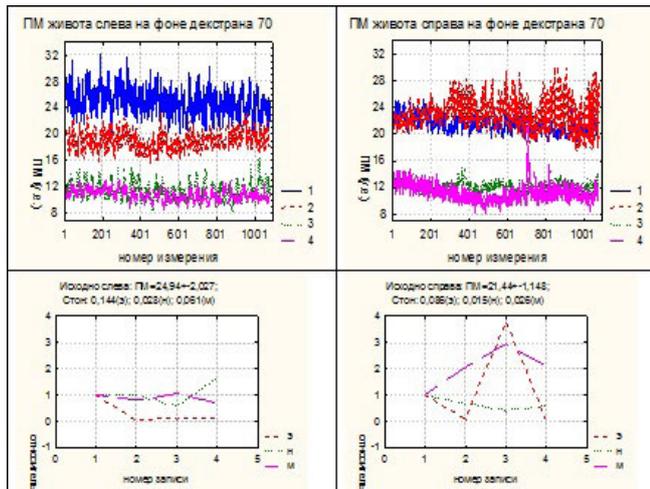
исходно:
 ПМ=21,44±1,148;
 Стон: 0,086 (Э); 0,015 (Н);
 0,026 (М)

Фрагмент слева

исходно:
 ПМ=22,86±1,361;
 Стон: 0,002 (Э); 0,004 (Н);
 0,042 (М)

Фрагмент справа

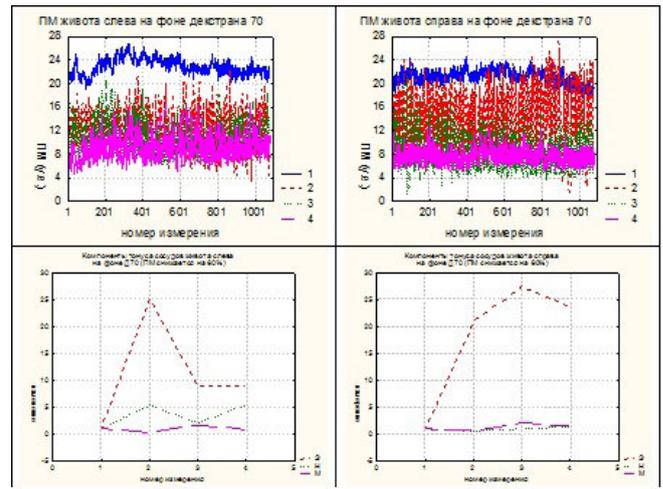
исходно:
 ПМ=20,99±1,231;
 Стон: 0,002 (Э); 0,033 (Н);
 0,037 (М)



Слева: предельная дилатация эндотелиальной природы

Справа: монотонный рост СтонМ и фазное изменение СтонЭ

Рис. 10. Допплерограммы ПМ фрагментов живота и в динамике на фоне декстрана 70 (часто встречаемые исходные параметры МЦР)



Слева: скачок СтонЭ (25 крат) и СтонН (5 крат)

Справа: монотонный рост СтонЭ (25 крат) и долгое последствие

Рис. 11. Допплерограммы ПМ фрагментов живота и в динамике на фоне декстрана 70 (ось X: 1 – исходно; 2 – 4 – три измерения ПМ в течение часа после введения препарата; исходно низкий тонус эндотелиальной и нейrogenной природы)

времени наблюдения. Частные случаи подтверждают, что в регуляции кровотока на фоне декстрана 70, в отличие от декстрана 500, миогенная составляющая тонуса приобретает больший вес, однако эндотелиальный компонент доминирует в случаях его низких или высоких значений в исходном состоянии.

Частные случаи также подтверждают, что в условиях нарушения реологических свойств крови на фоне Д500 при исходно низком тонусе или, напротив, высоком тонусе возможны предельные состояния тонуса сосудов.

В случае исходно низкого тонуса эндотелиальной природы может иметь место его транзиторный скачок

в десятки раз (предельная констрикция). В случае исходно высокого тонуса эндотелиальной природы может быть предельная вазодилатация. На фоне Д70 столь резкие изменения в компонентах тонуса сосудов реже наблюдаются, так как чаще выполняется композиция сопряженных компонент, препятствующая условиям предельных состояний.

В заключение можно отметить, что особенности динамики более показательны при рассмотрении индивидуальных особенностей и определяются топографией зон регистрации кровотока и исходным состоянием МЦР.

Литература

1. Бокерия, Л. А. Система гемостаза и реология крови у больных ишемической болезнью сердца кардиохирургического профиля, методы диагностики и контроля / Л. А. Бокерия. — М., 2001.
2. Голубкова, Е. В. Изучение вклада клеточных факторов и свойств суспензионной среды в реализацию микрореологических свойств крови человека / Е. В. Голубкова, И. А. Тихомирова // Материалы науч.-практ. конф. «Чтения Ушинского». — Ярославль, 2007. — С. 117–122.
3. Крупаткин, А. И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А. И. Крупаткин, В. В. Сидоров / под ред. А. И. Крупаткина, В. В. Сидорова. — М.: Медицина, 2005. — С. 9–28.
4. Молчанов, И. В. Растворы гидроксиэтилирован-

- ного крахмала – современные и эффективные плазмозаменяющие средства инфузионной терапии / И. В. Молчанов, О. А. Гольдина, Ю. В. Горбачевский. — М., 1998.
5. Муравьев, А. В. Анализ влияния плазменных и клеточных факторов на агрегацию эритроцитов разных возрастных популяций / А. В. Муравьев, И. А. Тихомирова, Д. В. Борисов // Физиология человека. — 2002. — Т. 28. — № 4. — С. 144–148.
6. Суханов, А. А. Применение низкомолекулярного декстрана для профилактики тромбоза у хирургических больных / А. А. Суханов, В. А. Суханов // Хирургия. — 1976. — № 10. — С. 133–135.
7. Тихомирова, И. А. Адренореактивность организма и агрегатные свойства эритроцитов в норме и

при патологии / И. А. Тихомирова, А. В. Муравьев, Е. П. Гусева // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. — 2006. — № 2 (18). — С. 63–68.

8. Чернух, А. М. Микроциркуляция / А. М. Чернух, П. Н. Александров, О. В. Алексеев. — М., 1984. — 429 с.

9. Barshtein, G. Red blood cell rouleaux formation in dextran solution: dependence on polymer conformation / G. Barshtein, I. Tamir, S. Yedgar // Eur. Biophys. — 1998. — Vol. 27. — P. 177–181.

10. Baskurt, O. K. Aggregation behavior of red blood cells in different polymer solutions: Comparative studies / O. K. Baskurt [et al] // Biorheology. — 1999. — Vol. 36. — № 1/2. — P. 63.

11. Baskurt, O. K. RBC electrophoresis can be used to investigate the role of polymer depletion in RBC aggregation / O. K. Baskurt [et al] // Biorheology. — 2002. — Vol. 39. — № 5. — P. 646–647.

МИХАЙЛИЧЕНКО Л. А., ТИХОМИРОВА И. А.

12. Mchedlishvili, G. Effect of intensified red blood cell aggregability on arterial pressure and mesenteric microcirculation / G. Mchedlishvili, L. Gobejishvili, N. Beritashvili // Microvasc. Res. — 1993. — № 45. — P. 233–242.

13. Sjöstrand, T. Blood volume / T. Sjöstrand // Handbook of Physiology, Sect. 2. Circulation. — Washington D.C., 1962. — Vol. 1. — P. 51–62.

14. Tikhomirova, I. A. Major alterations in body fluid status and blood rheology / I. A. Tikhomirova, A. V. Muravyov, V. N. Levin // Clinical Hemorheology and Microcirculation (blood flow and vessels). — 2002. — Vol. 26. — № 3. — P. 195–198.

15. Yalcin, O. Effects of red blood cell aggregation on myocardial hematocrit gradient using two approaches to increase aggregation / O. Yalcin [et al] // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. — 2006. — Vol. 290. — № 2. — P. H765–H771.