

УДК 616.12-089;616.15-073.178  
DOI: 10.26435/UC.V0I3(36).536

**И.В. Кузнецова<sup>1</sup>, В.В. Потапов<sup>1</sup>, Е.В. Хомутов<sup>1</sup>,  
Л.С. Дмитриев<sup>1</sup>, Т.В. Шестакова<sup>1</sup>, В.И. Молчанов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ГОО ВПО «Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького», Донецк

<sup>2</sup>Медицинская академия имени С.И. Георгиевского ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Симферополь, Россия

## **РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЫВОРОТКИ КРОВИ ПАЦИЕНТОВ, ОПЕРИРОВАННЫХ НА СЕРДЦЕ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ В ПЕРИ- И ИНТРАОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ**

Нарушения реологических свойств крови являются важным звеном в патогенезе заболеваний сердечно-сосудистой системы (ССС). Последствия измененной текучести крови проявляются, в первую очередь, в микроциркуляторном русле, часто на ранних этапах основного заболевания [1]. Ухудшение гемореологического статуса пациентов происходит по мере нарастания тяжести клинического состояния больного, выраженности гемодинамических и сосудистых нарушений, распространенности атеросклеротического поражения эндотелия сосудов [Ройтман Е.В. и др., 2000, 2003]. Повышение вязкости крови при патологических процессах приводит к ухудшению ее транспортных возможностей, появлению тканевой гипоксии и метаболическим сдвигам, что в известной степени определяет прогноз и характер течения основного заболевания. Оптимизация текучести крови при воздействии на организм экстремальных условий, напротив, служит адаптивной реакцией, увеличивающей резервные возможности системы кровообращения и организма в целом [2].

Как известно, вязкость цельной крови – это интегральный показатель, который зависит от множества макро- и микрореологических параметров. Макрореология оценивает кровь как единое целое, обладающее вязкими свойствами. К макрореологическим показателям относят: вязкость цельной крови, вязкость плазмы, гематокрит, эритроцитов. Микрореология рассматривает реологическое поведение крови в зависимости от свойств её компонентов, например, белков плазмы или гемоглобина [3]. Кровь содержит ряд высоко- и низкомолекулярных поверхностно-активных веществ (ПАВ) белковой и липидной природы, концентрации которых значительно меняются при различных патологиях [4]. Эти соединения способны адсорби-

роваться на жидких границах раздела фаз, понижая поверхностное и межфазное натяжение, ускоряя или замедляя процессы переноса вещества и энергии через биологические мембраны [5]. Увеличение содержания ПАВ повышает текучесть крови, степень изменений которой оценивают, изучая поверхностное натяжение как цельной крови, так и ее компонентов (сыворотки и плазмы). В отличие от цельной крови, плазму крови длительное время считали ньютоновской жидкостью, однако недавно было обнаружено, что плазма обладает вязкоупругостью – типичным свойством неньютоновской жидкости. Полагают, что это качество обусловлено наличием крупномолекулярного белка фибриногена и белковых свертывающих факторов крови [6]. Сохраняются ли вязкоупругие свойства в сыворотке крови после образования фибринового сгустка, и как меняются показатели дилатационной реологии при гемодилуции на фоне проводимой инфузионной терапии – открытые вопросы, на которые пока нет однозначных ответов.

При операциях на сердце и магистральных сосудах в условиях искусственного кровообращения (ИК) из-за обширности комплекса патофизиологических воздействий на организм отрицательное влияние на микроциркуляторный кровоток особенно выражено [9, 11, 12]. Выброс множества биологически активных веществ приводит к активации клеток эндотелия и моноцитов, что не только изменяет реологию крови, но и приводит к массивной экспрессии тканевого фактора на всем протяжении внутрисосудистого пространства. В такой ситуации вну-

© И.В. Кузнецова, В.В. Потапов, Е.В. Хомутов,  
Л.С. Дмитриев, Т.В. Шестакова, В.И. Молчанов, 2020  
© Университетская Клиника, 2020

трисосудистая коагуляция и отложение фибрина в системе микроциркуляции приводят к истощению факторов свертывания. Применение гепарина, контакт крови с неэндотелизированной поверхностью, гипотермия и другие факторы вызывают изменения в гемореологических характеристиках крови и вовлекаются в коагуляционно-воспалительный каскад [7, 8]. По мнению Е.В. Ройтмана (2003), нарушения реологических свойств крови в послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов являются самостоятельным фактором патогенеза критических состояний и опережают развитие гемокоагуляционных и микроциркуляторных расстройств на 1-2 часа, а органических дисфункций – на 3-4 часа [9]. По этой причине изучение характера нарушений и возможностей коррекции реологических свойств крови и ее компонентов позволит обеспечить лечебным мероприятиям профилактическую направленность.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Установить закономерности изменения показателей поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости сыворотки крови у пациентов, оперированных на сердце в условиях искусственного кровообращения (ИК) в периоперационном периоде.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проведено у 40 пациентов с ишемической болезнью сердца в возрасте от 49 до 70 лет (средний возраст  $62,1 \pm 0,9$  года), которым были выполнены операции по реваскуляризации миокарда (аортокоронарное или аорто-маммарокоронарное шунтирование). Так как ведущим патологическим синдромом у изучаемых пациентов была сердечная недостаточность, то и первичная оценка тяжести состояния пациентов проводилась до операции по шкале Нью-Йоркской кардиологической ассоциации (New York Heart Association Functional Classification, NYHA, 1994). Шкала основана на функциональном принципе оценки тяжести у больных с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) без характеристики морфологических изменений и нарушений гемодинамики в большом или малом круге кровообращения. У всех пациентов имелась ХСН III класса.

Для обеспечения искусственного кровообращения применялся аппарат Terumo System I, терморегулирующее устройство Terumo Sarns TCMII, оксигенаторы Medtronic Affinity NT. Объем первичного заполнения оксигенатора с магистральями составлял  $1300,0 \pm 200$  мл. Использовали следующие растворы: NaCl 0,9% –  $700,0 \pm 100,0$  мл, гелофузин (B.Brown) – 500,0 мл,

маннит 15% из расчета 0,5 г/кг ( $200,0 \pm 22$  мл), натрия гидрокарбонат 5% – 100,0 мл, гепарин 7500 ЕД. Добавки в аппарат ИК: альбумин 10% – 200 мл, калия хлорид 7,5%-20,0. До начала искусственного кровообращения перфузат подогревался до температуры  $36,0^\circ\text{C}$ . Оперативные вмешательства с ИК проводили в условиях умеренной гипотермии ( $33,0-34,0^\circ\text{C}$ ). Для остановки сердечной деятельности и профилактики ишемических повреждений миокарда применяли метод холодной кардиopleгии («Кустодиол», Др. Франц Кёлер ХемиГмбХ, Германия). Забор проб крови для исследования производился за 1 час до операции, на 5-й минуте ИК, через 12 часов после операции (1-е сутки) и на 7-е сутки после операции.

Группу контроля составили 17 человек, не имеющих хронических заболеваний и активных жалоб в возрасте от 50 до 75 лет (средний возраст  $61 \pm 1,0$  год), из них мужчин – 12, женщин – 5. Возраст доноров контрольной группы статистически значимо не отличается от возраста пациентов в исследуемых группах.

Из рутинных лабораторных показателей, определяемых в сыворотке крови до операции, на 1-е и 7-е сутки после операции унифицированными лабораторными методами (лаборатории Донецкого областного клинического территориального медицинского объединения, ДОК-ТМО) определены и проанализированы следующие лабораторные показатели крови: уровень общего белка, альбумина, глюкозы, мочевины, креатинина (анализатор биохимический фотометрический БиАн (Россия); анализатор-фотометр биохимический В200 (КНР)). Данные показатели были выбраны в связи с их уже известным влиянием на реологические характеристики как цельной крови так и ее компонентов (плазмы и сыворотки). На 5-й мин от начала ИК, контролировали уровень глюкозы, общего белка.

Исследование поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости с использованием методов формы капли и пузырька были выполнены с использованием тензиометров ПАТ-1 и ПАТ-2 (SINTERFACETechnologies, Берлин, Германия) на базе Центральной научно-исследовательской лаборатории (ЦНИЛ). Методика детально описана ранее [13]. Из параметров, характеризующих поверхностное натяжение и дилатационную реологию сыворотки крови, изучали следующие: динамическое поверхностное натяжение при времени адсорбции 100 с ( $\gamma$ ), равновесное поверхностное натяжение ( $\gamma^\infty$ ) (время адсорбции 2500 с), модуль вязкоупругости  $|E|$  при частотах 0,1 и 0,01 Гц и фазовый угол ( $\phi$ ) при этих же частотах осцилляций.

Количественные переменные представлены описательной статистикой в формате: средняя величина, стандартное отклонение, медиана а также минимум и максимум значений переменной. Для доказательства различий использовали: непараметрические методы Mann-Whitney (несвязанные совокупности) и Wilcoxon (для связанных совокупностей). В процессе статистической обработки полученных данных был использован лицензионный пакет прикладной статистической программы – STATISTICA 5.11 в соответствии с рекомендациями [10].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что при развитии сердечной недостаточности, особенно у пациентов с длительно не леченной сердечной патологией, происходит изменение биохимического гомеостаза биологических жидкостей, в том числе со стороны поверхностно-активных компонентов. Гемодинамические параметры в системе микроциркуляции зависят от свойств крови, которые управляют переносом воды и веществ через эндотелий капилляров. Одним из важных факторов, существенным образом влияющим на капиллярное гидростатическое давление и на баланс жидкости между микрососудистым руслом и тканью, являются реологические характеристики крови.

На рисунке показаны кривые динамического поверхностного натяжения сыворотки крови для здоровых добровольцев и больных с ИБС до операции. Видно, что тензиограмма больных лежит значительно ниже, и что равновесное состояние капли сыворотки достигается при вре-

мени больше 2000 с, в то время, как у здоровых – за 900-1200 с.

В таблице 1 показаны результаты исследований сыворотки крови до, во время и после операции. Установлено, что показатели тензиометрических и дилатационных вязкоупругих свойств сыворотки крови больных статистически значимо отличаются от контрольной группы. Следует отметить также значительное уменьшение ( $p < 0,001$ ) поверхностного натяжения сыворотки крови больных в 1-е и 7-е сутки после операции, по сравнению с дооперационным периодом. Снижение динамического ( $\gamma$ ) при 100 с и равновесного поверхностного натяжения ( $\gamma_{\infty}$ ) на 6-7 мН/м свидетельствует об увеличении содержания в сыворотке больных ПАВ. Их природа точно неизвестна, но установлено, что из изученных биохимических показателей сыворотки крови статистически значимый рост концентрации мочевины и креатинина способствует увеличению поверхностно активных свойств альбумина [11-13]. Мочевина вызывает денатурацию альбумина в поверхностном слое, вследствие чего поверхностное натяжение снижается [14, 15]. Вероятно, что снижение тензиометрических показателей может быть обусловлено также и гипоальбуминемией, которую наблюдали в послеоперационном периоде у всех пациентов.

Ранее описанные закономерности, снижения поверхностного натяжения сыворотки крови у больных, дополняются данными модуля вязкоупругости  $|E|$  и фазового угла ( $\phi$ ) при частотах 0,1 и 0,01 Гц (табл. 1.). Так в динамике периода наблюдения пациентов стоит выделить два этапа: 1 этап – ИК, характеризующийся значительным

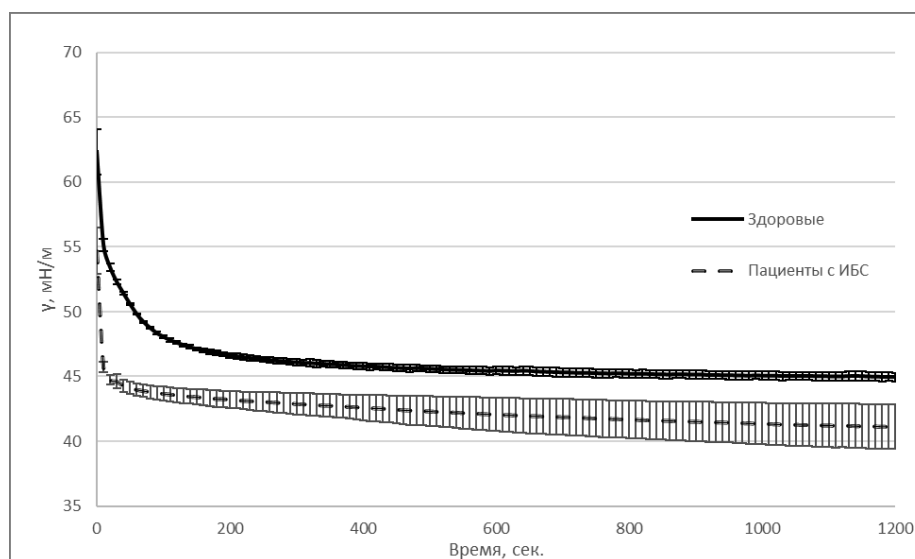


Рис. Тензиограммы поверхностного натяжения у пациентов с ИБС и здоровых добровольцев

Таблица 1.

Тензиометрические параметры сыворотки крови больных в периоперационном периоде (M±Sd; Me; (Min-Max)

Группы наблюдения	Параметры					
	$\gamma_{100с}$ , мН/м	$\gamma_{\infty с}$ , мН/м	E  (0,1 Гц) мН/м	E  (0,01 Гц) мН/м	$\phi$ (0,1Гц) <sup>о</sup>	$\phi$ (0,01Гц) <sup>о</sup>
Контрольная группа, n=17	50,0±2,2 Me=51,0 (46,5-52,9)	45,5±1,3 Me=45,6 (44,0-48,1)	29,5±3,0 Me=30,3 (23,4-33,6)	15,9±3,6 Me=15,0 (9,6-22,4)	20,8±2,7 Me=21,0 (16,0-27,8)	33,0±4,4 Me=33,0 (26,3-40,3)
Больные до операции, n=40	43,9±1,2* Me=44,0 (38,0-45,2)	40,0±2,3* Me=39,5 (33,5-42,7)	21,2±9,5* Me=26,7 (9,7-34,3)	12,2±5,0* Me=12,7 (3,6-20,7)	18,6±4,0 Me=19,3 (11,4-26,8)	27,0±5,3* Me=29,0 (13,9-35,5)
Больные во время ИК, n=16	44,0±0,7* Me=44,3 (43,2-44,6)	41,4±0,8* Me=41,7 (40,5-42,2)	10,1±1,3* Me=10,2 (8,7-11,9)	7,4±1,1* Me=7,0 (6,0-8,8)	15,7±2,8* Me=16,4 (12,4-19)	18,2±2,6* Me=18,3 (15,5-21,3)
1 сутки после операции, n=40	44,3±0,6* <sup>о</sup> Me=44,4 (43,2-45,6)	40,1±2,2* Me=39,2 (36,7-43,5)	22,7±10,5* <sup>о</sup> Me=29,4 (9,6-35,3)	13,5±5,5* <sup>о</sup> Me=16,8 (5,9-20,3)	17,2±3,2* <sup>о</sup> Me=18,2 (11,1-23,3)	25,6±5,0* <sup>о</sup> Me=27,5 (14,8-32,2)
7 сутки после операции, n=40	44,5±1,3* <sup>о</sup> Me=44,5 (41,3-49,9)	40,0±2,5* Me=39,2 (34,2-42,9)	22,6±10,4* <sup>о</sup> Me=23,8 (11,0-37,2)	13,4±5,6* <sup>о</sup> Me=12,1 (7,0-22,1)	17,6±3,7* <sup>о</sup> Me=17,5 (11,4-26,1)	26,5±5,1* Me=28,0 (16,1-34,6)

Примечание: \* – статистическая значимость различий по отношению к контрольной группе на уровне p<0,05; <sup>о</sup> – статистическая значимость различий по отношению к дооперационному периоду p<0,05.

снижением значений модуля вязкоупругости |E| и фазового угла, и последующего за ним 2 этапа-послеоперационный период наблюдения с тенденцией к нормализации показателей к дооперационному уровню.

В результате ИК происходит изменение качественных и количественных характеристик циркулирующей крови с отклонением от индивидуальных характеристик гомеостаза, что в свою очередь приводит к увеличению поверхностной упругости в комбинации с практически не измененной поверхностной вязкостью. По причине характера изменений исследуемых параметров на этапе ИК можно предположить влияние методики проведения ИК во время операции, поскольку используемый первичный объем заполнения контура не соответствует качественным характеристикам циркулирующей крови. На втором этапе зафиксирована нормализация показателей вязкоупругости до близких к дооперационному уровню. Это можно объяснить постепенным восстановлением состава крови.

Подобного рода нормализация возможна при формировании многокомпонентной фазы на границе жидкой среды (циркулирующая кровь-ткань) с вовлечением низкомолекулярных ПАВ непосредственно на границе раздела и коллоидных элементов в объёме. Это в свою очередь отражается в формировании энергетического баланса между характеристиками вязкости и упругости, и, как следствие, приводит к балансу скорости массообменных процессов между объемной и поверхностной фазами. Все перечислен-

ные эффекты влияют на значение модуля вязкоупругости |E| и фазового угла ( $\phi$ ).

Благодаря этому факту мы можем оценить смещение концентрационного баланса через модуль вязкоупругости |E|. Его снижение на этапе ИК говорит об ускорении диффузии веществ на границе раздела двух сред вследствие увеличения концентрации ПАВ в составе крови после острой гемодилюции.

Помимо измерения тензиометрических и реологических параметров, у всех больных были выполнены биохимические исследования сыворотки крови с последующим анализом динамики «реологически активных» маркеров (табл. 2.).

Из таблицы 2 видно, что у больных до операции определялся исходно повышенный уровень глюкозы, мочевины и креатинина, по сравнению с контрольной группой. На этом этапе исследования патологическое увеличение содержания азотистых шлаков в сыворотке крови можно объяснить развитием различных вариантов кардиоренального синдрома вследствие ХСН. Кроме того, у 30 % больных повреждение почек усугублялось наличием неблагоприятной коморбидной патологии – сахарного диабета 2-го типа. В послеоперационном периоде отмечался статистически достоверный (p<0,001), хотя и не критический, рост концентраций глюкозы, мочевины и креатинина, по сравнению с исходным. Причиной послеоперационной гипергликемии и почечной дисфункции считали системный воспалительный ответ на операционную травму, интраоперационные перепады

**Таблица 2.**

Показатели «реологически активных» биохимических маркеров сыворотки крови больных в периоперационном периоде (M±Sd; Me; (Min-Max))

Группы наблюдения	Параметры					
	Глюкоза, ммоль/л	Общ. белок, г/л	Альбу-мин, г/л	Мочевина, ммоль/л	Креатинин, мкмоль/л	Гематокрит %
Контрольная группа, n=17	5,47±1,24 Me=5,4 (4,1-5,7)	74,1±4,7 Me=73,4 (64,7-79,8)	43,3±3,1 Me=42,5 (38,3-47,2)	5,0±1,54 Me=4,9 (3,4-6,9)	73,3±15,9 Me=72 (56,2-93,4)	
Больные до операции, n=40	7,1±2,3* Me=6,3 (4,2-13,5)	74,8±7,0 Me=76,2 (58,6-85,7)	40,8±7,0* Me=40,3 (31,0-42,9)	6,8±2,5* Me=6,4 (2,0-13,2)	106,8±24,4* Me=103,6 (62,0-182,0)	42,7±4 Me=43,0 (33,0-53,0)
Больные во время ИК (5-я минута), n=16	11,7±4,5* <sup>oΔ</sup> Me=11,4 (5,6-30,0)	41,5±7,8* <sup>oΔ</sup> Me=40,2 (26,0-55,8)	-	-	-	27,0±4,6* Me=29,0 (15,0-31,0)
1 сутки после операции, n=40	8,3±2,0* <sup>oΔ</sup> Me=8,0 (4,8-16)	58,6±6,4* <sup>oΔ</sup> Me=59,7 (37,3-70,0)	33,0±3,6* <sup>o</sup> Me=33,7 (24,5-40,4)	8,3±2,3* <sup>o</sup> Me=8,5 (4,6-14,9)	130,4±29,5* <sup>o</sup> Me=119,4 (82,7-201,3)	32,0±4,2* Me=32 (24,0-46,0)
7 сутки после операции, n=40	7±2,1* <sup>Δ</sup> Me=6,5 (4,4-13,9)	64,7±6,6* <sup>oΔ</sup> Me=64,8 (51,3-74,2)	34,3±2,9* <sup>o</sup> Me=34,7 (29,9-39,0)	9±3,0* <sup>o</sup> Me=8,5 (4,5-14,4)	130,7±39,9* <sup>o</sup> Me=122,3 (90,7-243,3)	32,2±2,5* Me=32,5 (26,0-36,0)

*Примечание:* \* – статистическая значимость различий по отношению к контрольной группе на уровне  $p < 0,05$ ; <sup>o</sup> – статистическая значимость различий по отношению к дооперационному периоду  $p < 0,05$ ; <sup>Δ</sup> – статистическая значимость различий по отношению к 1-м суткам п/о  $p < 0,05$ .

системного артериального давления и снижение органной перфузии в условиях непульсирующего кровотока при ИК. К последствиям воспалительного ответа, кровопотери и гемодилюции относили гипопроотеинемию и гипоальбуминемию. К 7-м суткам послеоперационного периода отмечалась положительная динамика медианных значений лишь по содержанию глюкозы крови и общего белка, однако, несмотря на позитивные тенденции, уровень анализируемых показателей достоверно не достигал предоперационных «нормальных» значений. Сопоставляя изменения тензиометрических, реологических и клиничко-биохимических показателей на этапах исследования, можно выделить следующие особенности: в период острой гемодилюции (5-я минута ИК) наибольшим изменениям подвержены реологические параметры (модуль вязкоупругости |E| и фазовый угол (φ) при частотах 0,1 и 0,01 Гц). Тензиометрические показатели (поверхностное натяжение при времени адсорбции 100 с (γ), равновесное поверхностное натяжение (γ ∞)), несмотря на быструю инфузионную нагрузку, сохраняют стабильность, что свидетельствует об инертности этой системы.

## ВЫВОДЫ

1. Для больных с ишемической болезнью сердца, в сравнении со здоровыми добровольцами того же возраста, характерно снижение динамического и равновесного поверхностного натяжения в среднем на 5-6 мН/м, что свидетельствует о существенном приросте концентрации ПАВ в сыворотке крови больных. Это явление может рассматриваться как приспособительная адаптационная реакция организма при нарушении микроциркуляции, так как увеличение количества ПАВ (сурфактантов) приводит к уменьшению трения на границе раздела фаз (сыворотка/эндотелий). Накопление ПАВ положительно влияет на гидродинамическое сопротивление в системе микроциркуляции при прогрессировании ИБС и ХСН.

2. Патологические отклонения величин биохимических показателей крови (глюкоза, мочевина, креатинин и альбумин), влияющих на реологию крови, сопровождаются изменением значений параметров поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости сыворотки крови, однако четкой линейной связи между этими процессами не установлено.

3. Острая гемодилюция на 5-й минуте ИК не вызывает изменения динамического и равновесного поверхностного натяжения сыворотки крови, но приводит к увеличению чувствительности модуля дилатационной вязкости к частоте осцилляции, что может свидетельствовать об увеличении скорости диффузионного обмена между кровью и эндотелием.

*И.В. Кузнецова<sup>1</sup>, В.В. Потапов<sup>1</sup>, Е.В. Хомутов<sup>1</sup>, Л.С. Дмитриев<sup>1</sup>, Т.В. Шестакова<sup>1</sup>, В.И. Молчанов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ГОО ВПО «Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького», Донецк

<sup>2</sup>Медицинская академия имени С.И. Георгиевского ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Симферополь, Россия

**РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЫВОРОТКИ КРОВИ ПАЦИЕНТОВ, ОПЕРИРОВАННЫХ НА СЕРДЦЕ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ В ПЕРИ- И ИНТРАОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ**

Цель работы. Установить закономерности изменения показателей поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости сыворотки крови у пациентов, оперированных на сердце в условиях искусственного кровообращения (ИК) в периоперационном периоде.

Материалы и методы. У 40 пациентов в возрасте 62,1±0,9 года, оперированных в условиях искусственного кровообращения по поводу ишемической болезни сердца проведено проспективное исследование поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости сыворотки и плазмы крови с использованием методов формы капли и пузырька (тензиометры PAT-1 и PAT-2 SINTERFACE Technologies, Германия). Забор крови для исследования производился за 1 час до операции, на 5-й минуте искусственного кровообращения, через 12 часов (1-е сутки) и на 7-е сутки после операции. Из рутинных биохимических показателей крови анализировали реологически активные маркеры: уровень глюкозы, общего белка, альбумина, мочевины и креатинина.

Результаты. Установлено, что показатели тензиометрических и дилатационных вязкоупругих свойств сыворотки крови больных статистически значимо отличаются от контрольной группы. Следует отметить также значительное уменьшение ( $p < 0,001$ ) поверхностного натяжения сыворотки крови больных в 1-е

и 7-е сутки после операции, по сравнению с дооперационным периодом. Снижение динамического ( $\gamma$ ) при 100 с и равновесного поверхностного натяжения ( $\gamma^\infty$ ) на 5-6 мН/м свидетельствует об увеличении содержания в сыворотке больных ПАВ. В то же время, группа больных во время ИК достоверно выделяется среди других групп пациентов по величине модуля вязкоупругости  $|E|$  при частотах 0,1 и 0,01 Гц. Это указывает на изменение механизма формирования дилатационной вязкости, вероятно, за счет введения в сосудистое русло больших объемов инфузионных сред за короткое время.

Выводы. Патологические отклонения со стороны влияющих на вязкость крови ее биохимических показателей (глюкозы, мочевины, креатинина и альбумина) сопровождаются значительным изменением параметров поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости сыворотки. Несмотря на отсутствие прямой корреляции между биохимическими и реологическими параметрами сыворотки крови пациентов, исследование поверхностного натяжения позволяет надежно идентифицировать пациентов с тяжелой ишемической болезнью сердца в долгосрочной перспективе.

**Ключевые слова:** поверхностное натяжение, реология крови, ишемическая болезнь сердца.

*I.V.Kuznetsova<sup>1</sup>, V.V.Potapov<sup>1</sup>, E.V. Khomutov<sup>1</sup>, L.S.Dmitriev<sup>1</sup>, T.V. Shestakova<sup>1</sup>, V.I. Molchanov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>SEI HPE «M. Gorky Donetsk National Medical University», Donetsk

<sup>2</sup>S.I. Georgievsky Medical Academy of Vernadsky CFU, Simferopol, Russia

**RHEOLOGICAL PARAMETERS OF THE BLOOD SERUM OF PATIENTS OPERATED ON FOR THE HEART IN CARDIOPULMONARY BYPASS DURING THE INTRA- AND INTRAOPERATIVE PERIOD**

The purpose of this study was to establish patterns of changes of surface tension and dilatational viscoelasticity of serum of patients, who were operated on for the heart under cardiopulmonary bypass during intra- and intraoperative periods.

Materials and methods. The study was conducted in 40 patients aged 62.1 ± 0.9 years who underwent cardiopulmonary bypass surgery for coronary heart disease, a prospective study of surface tension and dilated viscoelasticity of serum and plasma was performed by using drop and bubble methods (PAT-1 and PAT tensiometers -2 SINTERFACE Technologies, Germany). Blood sampling for the study was carried out 1 hour before the operation, at the 5th minute of cardiopulmonary bypass, 12 hours (1st day) and on the 7th day after the operation. Also were analyzed routine biochemical blood parameters, rheologically active markers: glucose, total protein, albumin, urea and creatinine levels.

Results. It was found that the indicators of tensiomet-

ric and dilatational viscoelastic properties of blood serum of patients are significantly different from the control group. It should also be noted a significant decrease ( $p < 0.001$ ) in the surface tension of the blood serum of patients on the 1st and 7th day after surgery, compared with the preoperative period. A decrease in dynamic ( $\gamma$ ) at 100s and equilibrium surface tension ( $\gamma^\infty$ ) by 5-6 mN/m indicates an increase in the serum content of patients with surfactants. At the same time, the group of patients during IR significantly distinguishes among other groups of patients by the magnitude of the viscoelastic modulus  $|E|$  at frequencies of 0.1 and 0.01 Hz. This indicates a change in the mechanism of formation of dilatational viscosity, probably due to the introduction of large volumes of infusion media into the vascular bed in a short time.

Conclusions. Pathological deviations from affecting blood biochemical parameters viscosity (glucose, urea, creatinine and albumin) are accompanied by a significant change in the surface tension and dilated viscoelas-

ticity of serum. Despite the absence of direct correlation between the biochemical and rheological parameters of the blood serum of patients, the study of surface tension allows the reliable identification of patients with severe

coronary heart disease and in the long term.

**Key words:** surface tension, blood rheology, coronary heart disease.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Старцева Ю.В. Методика проведения и оценки результатов биомикроскопии конъюнктивы глаза. Пермь; 2005. 55.
2. Черняховская Н. Е. Коррекция микроциркуляции в клинической практике. М.: Бином; 2013. 208.
3. Пахрова О.А. Методология и клиническое значение исследования реологических свойств крови. Вестник Ивановской медицинской академии. 2008;13(1-2): 89-97.
4. LI S.S.. Identification of psoriasis vulgaris biomarkers in human plasma by non-targeted metabolomics based on UPLC-Q-TOF/MS. European Review for Medical and Pharmacological Sciences. 2019;23:3940-3950. DOI: 10.26355/eurrev\_201905\_17823.
5. Kazakov V.N. Dilational rheology of serum albumin and blood serum solutions as studied by oscillating drop tensiometry. Colloids Surfaces B. 2008; 62: 77-82. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2007.09.015.
6. Brust M. Rheology of Human Blood Plasma: Viscoelastic Versus Newtonian Behavior. Phys. Rev. Lett.2013;110:1-5. DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.078305.
7. Krishnan A. Liquid-vapor interfacial tension of blood plasma, serum and purifiedprotein constituents thereof. Biomaterials. 2005; 26:3445 -3453. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2004.09.016
8. Деметьева И.И. Диагностическая значимость исследований реологии крови при кардиохирургических вмешательствах. Анестезиология и реаниматология. 1999;5: 25-28.
9. Ройтман Е.В. Гемореология при операциях на сердце и магистральных сосудах с применением искусственного кровообращения: автореф. дисс. ...канд.мед.наук. Москва; 2003.56.
10. Лях Ю.Е. Основы компьютерной биостатистики: анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом MedStat . Д.: Папакица Е.К. 2006. 214.
11. Kazakov V.N. Interfacial Rheology of Biological Liquids: Application in Medical Diagnostics and Treatment Monitoring in "Interfacial Rheology". Progress in Colloid and Interface Science, R. Miller and L. Liggieri (Eds.), Brill Pub l.- Leiden.2009; 1: 519-566.
12. Kazakov V.N. Dynamic surface tensiometry in medicine. Amsterdam.: Elsevier. 2000.373.
13. Chevalier G. Earthing (Grounding) the Human Body Reduces Blood Viscosity – a Major Factor in Cardiovascular Disease. The journal of alternative and complementary medicine. 2013;19: 102-110. DOI: 10.1089/acm.2011.0820.
14. Shishehbor M. H.A Direct Comparison of Early and Late Outcomes with Three Approaches to Carotid Revascularization and Open Heart Surgery. J Am CollCardiol. 2013; 62 (21):1948-1956. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.03.094.
15. Fainerman V.B. Interfacial tensiometry and rheometry of biological liquids in medicine. Adv. Colloid Interface Sci.2018;255: 34-46.

## REFERENCES

1. Startseva Yu.V. Metodika provedeniya i otsenki rezul'tatov biomikroskopii kon'yunktivy glaza. [Methods of conducting and evaluating the results of biomicroscopy of the conjunctiva of the eye]. Perm; 2005. 55. (In Russian)
2. Chernyakhovskaya N. E. Korrektsiya mikrotsirkulyatsii v klinicheskoi praktike. [Correction of microcirculation in clinical practice]. M.: Binom; 2013. 208. (In Russian)
3. Pakhrova O.A. Metodologiya i klinicheskoe znachenie issledovaniya reologicheskikh svoystv krovi.[Methodology and clinical significance of the study of rheological properties of blood]. Bulletin of the Ivanovo Medical Academy. 2008;13(1-2): 89-97. (In Russian)
4. LI. S.S. Identification of psoriasis vulgaris biomarkers in human plasma by non-targeted metabolomics based on UPLC-Q-TOF/MS. European Review for Medical and Pharmacological Sciences. 2019;23:3940-3950. DOI: 10.26355/eurrev\_201905\_17823.
5. Kazakov V.N. Dilational rheology of serum albumin and blood serum solutions as studied by oscillating drop tensiometry. Colloids Surfaces B. 2008; 62: 77-82. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2007.09.015.
6. Brust M. Rheology of Human Blood Plasma: Viscoelastic Versus Newtonian Behavior. Phys. Rev. Lett.2013;110:1-5. DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.078305.
7. Krishnan A. Liquid-vapor interfacial tension of blood plasma, serum and purifiedprotein constituents thereof. Biomaterials. 2005; 26:3445 -3453. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2004.09.016
8. Dement'eva I.I. Diagnosticheskaya znachimost' issledovaniya reologii krovi pri kardiokhirurgicheskikh vmeshatel'stvakh [Diagnostic significance of blood rheology studies during cardiosurgical interventions]. Anesthesiology and Intensive Care.1999;5:25-28.(In Russian)
9. Roitman E.V. Gemoreologiya pri operatsiyakh na serdtse i magistral'nykh sosudakh s primeneniem iskusstvennogo krovoobrashcheniya: avtoref. diss. ...kand. med. nauk. [Hemorheology in operations on the heart and main vessels using cardiopulmonary bypass: Cand.med.sci.diss. abs.] Moscow; 2003.56. (In Russian)
10. Lyakh Yu.E. Osnovy komp'yuterno biostatistiki: analiz informatsii v biologii, meditsine i farmatsii statisticheskim paketom MedStat. [Basics of computer biostatistics: analysis of information in biology, medicine and pharmacy with the statistical package MedStat]. D.: Papakitsa E.K. 2006. 214. (In Russian)
11. Kazakov V.N. Interfacial Rheology of Biological Liquids: Application in Medical Diagnostics and Treatment Monitoring in "Interfacial Rheology". Progress in Colloid and Interface Science, R. Miller and L. Liggieri (Eds.), Brill Pub l.- Leiden.2009; 1: 519-566.
12. Kazakov V.N. Dynamic surface tensiometry in medicine. Amsterdam.: Elsevier. 2000.373.
13. Chevalier G. Earthing (Grounding) the Human Body Reduces Blood Viscosity – a Major Factor in Cardiovascular Disease. The journal of alternative and complementary medicine. 2013;19: 102-110. DOI: 10.1089/acm.2011.0820.
14. Shishehbor M. H.A Direct Comparison of Early and Late Outcomes with Three Approaches to Carotid Revascularization and Open Heart Surgery. J Am CollCardiol. 2013; 62 (21):1948-1956. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.03.094.
15. Fainerman V.B. Interfacial tensiometry and rheometry of biological liquids in medicine. Adv. Colloid Interface Sci.2018;255: 34-46.