

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРОВИ ПРИ КРОВОПОТЕРЕ (экспериментальное исследование)

М. М. Манцкава, Н. Г. Момцелидзе, Л. Ш. Давлианидзе

Центр экспериментальной биомедицины им. И. Бериташвили, Тбилиси, Грузия
Грузия, г. Тбилиси, ул. Готуа, 14

Blood Rheological Properties in Blood Loss (An experimental study)

M. M. Mantskava, N. G. Momtselidze, L. Sh. Davlianidze

I. Beritashvili Center of Experimental Biomedicine, Tbilisi, Georgia;
14, L. Gotua, Tbilisi, Georgia

Кровопотеря является сложным патологическим процессом с неизученным до конца механизмом. Особое звено, которое задействовано при кровопотерях, это реология крови. Целью нашей работы было комплексное исследование реологических свойств крови при экспериментальной кровопотере различной степени тяжести: агрегируемости и деформируемости эритроцитов, вязкости плазмы, гематокрита. *Материал и методы.* Моделировали кровопотерю разных стадий у наркотизированных животных. Реологические свойства крови изучали с помощью «Georgian technique», метода мембранной фильтрации, «капиллярного метода» и метода стандартного центрифугирования. Анализ данных проводили статистическими программами Origin 4.1. (Microcat.Software.Inc) и Microsoft Excel. *Результаты.* Агрегируемость эритроцитов достоверно увеличивалась по сравнению с контролем на 10, 25, 44%, деформируемость уменьшалась по сравнению с контролем на 12, 13 и 15% при первой, второй, третьей степени кровопотери, соответственно. Дельта вязкости была недостоверной (как в самих подгруппах — при различных степенях кровопотери, так и по сравнению с контролем), гематокрит при кровопотере в сравнении с контролем увеличивался недостоверно. *Заключение.* Для комплексной оценки степени кровопотери необходима минимальная совокупность гемореологических параметров — показатели агрегируемости и деформируемости эритроцитов, вязкости крови, гематокрита. Основой контроля реологических параметров массивной кровопотери являются особенности агрегации эритроцитов. *Ключевые слова:* реология крови, агрегируемость эритроцитов, кровопотеря.

Blood loss is a complex pathological process with the mechanism that has not been fully unstudied. Blood rheology is a particular link that is involved in blood losses. *Objective:* to perform a comprehensive study of blood rheological properties, such as erythrocyte aggregability, erythrocyte deformability, plasma viscosity, and packed cell volume, in different degrees of experimental blood loss. *Materials and methods.* Blood loss of different stages was simulated in anesthetized animals. The Georgian technique, membrane filtration, a capillary method, and a standard centrifugation method were used to study blood rheological properties. The data were analyzed applying the statistical programs Origin 4.1 (Microcat.Software.Inc) and Microsoft Excel. *Results.* In stages 1, 2, and 3 blood losses, erythrocyte aggregability was significantly increased by 10, 25, and 44% and erythrocyte deformability was decreased by 12, 13, and 15%, respectively, as compared to the controls. The delta viscosity was insignificant (both in the subgroups in different blood loss degrees versus the control group); the packed cell volume in blood loss was increased insignificantly as compared to the control. *Conclusion.* Comprehensive assessment of the degree of blood loss requires a minimum set of blood rheological indices, such as erythrocyte aggregability and deformability, blood viscosity, and packed cell volume. The basis for monitoring the rheological indices of massive blood loss is the specific features of erythrocyte aggregation. *Key words:* blood rheology, erythrocyte aggregability, blood loss.

DOI:10.15360/1813-9779-2014-5-27-32

Бурный технический прогресс и рост вооруженности современного общества, урбанизация, техногенные катастрофы, природные катаклизмы, войны способствуют увеличению числа пациентов с гемор-

The stormy growth of technical progress and armament of modern society, urbanization of cities, technogenic catastrophes, natural cataclysms, local and territorial wars contribute to increase the amount of patients with a hem-

Адрес для корреспонденции:

Манцкава Майя Михайловна
E-mail: mantskavamaka@rambler.ru

Correspondence to:

Mantskava Maya Mikhailovna
E-mail: mantskavamaka@rambler.ru

рагическим шоком. Кровопотеря является сложным патофизиологическим процессом с неизученным до конца механизмом. Несмотря на широкое использование инфузионной терапии, кровезаменителей гемодинамического действия, она может вести к летальности, в случае положительного исхода лечения — к сбою в работе многих систем организма. Особое звено, которое задействовано при всех стадиях кровопотери, это реология крови. Изучению проблемы нарушений реологии крови посвящены многие научные труды [1–5]. Однако полная комплексная характеристика всех гемореологических параметров при кровопотере ранее не рассматривалась.

Целью работы было комплексное исследование реологических свойств крови при экспериментальной кровопотере различной степени тяжести: агрегируемости и деформируемости эритроцитов, вязкости плазмы, гематокрита. Опираясь на полученные данные, нами впервые был разработан перечень необходимых и достаточных лабораторных исследований при кровопотере.

Материал и методы

Опыты проводили на белых беспородных крысах обоих полов массой 250–300 г ($n=50$). В группе наркотизированных животных путем стандартного кровопускания из бедренной артерии осуществляли моделирование геморрагического шока разных стадий. Анестезию проводили Уретаном (Purum, Швейцария), 1 мл 20% раствора уретана на 100 массы тела. Анестезия длилась 4 часа. Забор выпускаемой крови — 2,5 мл; 3,5 мл; 5 мл соответствовал первой, второй и третьей стадии кровопотери, соответственно [6]. Животных распределяли по подгруппам в зависимости от степени тяжести кровопотери, т.е. при заборе 2,5 мл крови — начальный компенсаторный этап 1-й стадии шока (1-я подгруппа, $n=15$); при заборе 3,5 мл крови — 2-я стадия шока (2-я подгруппа, $n=15$); при заборе 5 мл крови — 3-я стадия шока (3-я подгруппа, $n=12$). Контрольную группу составили 8 практически здоровых животных. Для определения дополнительного критерия шока (кроме выраженности кровопотери) животным измеряли артериальное давление в хвостовой артерии с помощью манометра MPX5050D (Motorola). Никаких фармакологических препаратов экспериментальным животным не вводили. Воспроизвели полезную модель с помощью экспериментальной установки, предназначенной для моделирования геморрагической гипотензии. Задачей модели является исключение гемолиза эритроцитов при экспериментальной геморрагической гипотензии. Поставленная задача решается тем, что в устройстве, состоящем из колонки для сбора крови, соединенной со шприцем и манометром, установлен воздушный клапан после колонки [7]. Лабораторно-экспериментальное исследование реологических свойств крови проводилось через 15 минут после кровопускания. Группу ложноотрицательных животных в эксперимент не вводили. В подгруппах измеряли коэффициент агрегируемости эритроцитов, коэффициент деформируемости эритроцитов, местный гематокрит и вязкость плазмы (в сантипуазах).

Были использованы методы:

1. «Georgian technique» — для измерения агрегируемости эритроцитов. Этот метод был впервые опубликован Г. И. Мчедlishvili — учеником и сподвижником А. Д. Адо, в журнале *Biorheology* в 1993 году. На сегодняшний день метод назван его именем и широко используется в современных клиниках [8, 9].

orrhagic shock following the hemorrhage. According to WHO the problem of patients with different types of shock takes third place (after cardiovascular and oncological diseases) in mortality. Despite the intensive use of blood substitutes and adequate infusion therapy, hemorrhage continues to be a pathological process with a not fully clarified mechanisms, which significantly contribute to increased mortality. Some systems of the body fail to operate properly even in the case of positive outcome. An important link involved in various stages of hemorrhage is rheology [1–5]. Numerous scientific proceedings have been dedicated to this problem. However, a full comprehensive description of all hemorheological parameters in hemorrhage has not been considered. The aim of our work was to determine comprehensive rheological properties of blood: red blood cell aggregation, deformation of erythrocytes, plasma, viscosity, hematocrit at different degrees of severity of experimental hemorrhage in experimental setting. Based on the data, a list of necessary and sufficient laboratory studies to assess the stages of hemorrhage was developed.

Materials and Methods

Experiments were carried out on laboratory rats of both genders, (250–300 g body mass, $n=50$). Animals were anesthetized and undergone by standard phlebotomy of the femoral artery to model hemorrhage of various stages. The anesthesia was performed with urethane (Purum, Switzerland). One ml of a 20% solution of urethane was used for each 100 g body weight. The anesthesia lasted for 4 hours. The sampling of blood (2.5, 3.5 ml and 5 ml) were supposed to be consistent with the first, second and third stages of hemorrhage, correspondingly [6]. Animals were subgrouped according to the severity of hemorrhage. Blood loss of 2.5 ml corresponded to initial compensatory stage (I subgroup, $n=15$). Loss of 3.5 ml presumably was correspondent to the II stage (II subgroup, $n=15$). Loss of 5 ml blood corresponded to — the III stage (III subgroup, $n=12$). Eight healthy animals were included in the study as a control group. For the additional definition of hemorrhage criteria (except of a blood loss volume) an arterial pressure was measured in caudal artery of the animals using manometer MPX5050D (Motorola). The experimental animals were not administered with any pharmacological drugs. In our experiments we have reproduced an experimental device intended for the modeling of hemorrhagic hypotension (utility model). The task of the utility model is to prevent erythrocyte hemolysis in experimental hemorrhagic hypotension. The device for modeling a hemorrhagic hypotension consists of the column for blood loss, which is connected to a syringe and a manometer. The column is mounted to an air valve [7]. The experimental investigations of blood rheological parameters were carried out 15 minutes after the blood loss. The aggregation coefficient of the erythrocytes, a coefficient of deformability, a local hematocrit and plasma viscosity were measured in the subgroups. The following methods were employed:

- 1) Method that received a name of «Georgian technique» [8, 9];
- 2) method of membrane filtration (Nucleopore Membrane Filter Method) — to evaluate deformation in the filter with a diameter of 5 μM [10];
- 3) capillary method for measurement of the viscosity (Ostwald type viscosimeter);
- 4) a standard centrifuge G-3500 ($R=5$ cm, 8,000 rotations/min — for measurement of a hematocrit.

We employed a device HUMACOUNT (Human GmbH, Germany) validate results obtained with the described methods.

2. Метод мембранной фильтрации (nucleopore membrane filter method) — для измерения деформируемости с использованием фильтра диаметром 5 μm [10].

3. Капиллярный метод для измерения вязкости плазмы (вискозиметр типа Оствальда, ВПЖ).

4. Метод центрифугирования крови с использованием центрифуги G-3500 ($R=5$ см, 8000 об/мин) — для измерения местного гематокрита. Для определения валидности методов, описывающих свойства эритроцитов, использовали аппарат HUMACOUNT, мод. HUMACOUNT (производитель Фирма Human GmbH, Германия), приобретенный в рамках гранта FR/420/7-270/12. Опираясь на данные, полученные путем исследования микрокапли крови аппаратом HUMACOUNT, оценивали гемореологические параметры оригинальными, созданными нашей исследовательской группой, математическими выкладками. Анализ данных проводили статистическими программами Origin 4.1. (Microcat Software Inc) и Microsoft Excel. По каждому показателю проводили сравнение среднего арифметического значения для изучаемых групп. Значимость различий средних арифметических ранжированных критериев при нормальном распределении оценивали с помощью критериев Стьюдента и Пирсона. Условия проведения работы на животных соответствовали Европейской Конвенции по защите экспериментальных животных, принятой в 1986 г. в Страсбурге [11], на проведение эксперимента было получено согласие Этического комитета.

Результаты и обсуждение

В контрольных экспериментах получили следующие гемореологические параметры: индекс агрегируемости эритроцитов (ИАЭ) был равен $20,5 \pm 3,5$; индекс деформируемости эритроцитов (ИДЭ) — $2,25 \pm 0,03$; вязкость плазмы крови (Впк) — $1,25 \pm 0,5$; гематокрит (Hct) — $30,5 \pm 3,7$. Изучаемые гемореологические параметры в подгруппах имели следующие значения: ИАЭ в первой, второй и третьей подгруппах был равен, соответственно, $22,5 \pm 3,5$; $25,9 \pm 2,7$; $29,6 \pm 2,7$; ИДЭ в первой, второй и третьей подгруппах был равен, соответственно, $2,0 \pm 0,02$; $1,97 \pm 0,02$; $1,90 \pm 0,02$; Впк в первой, второй и третьей подгруппах была равна, соответственно, $1,23 \pm 0,4$; $1,34 \pm 0,3$; $1,25 \pm 0,4$; Hct в первой, второй и третьей подгруппах был равен, соответственно, $35,5 \pm 3,5$; $35,9 \pm 2,7$; $31,0 \pm 6,4$. Агрегируемость эритроцитов увеличивалась по сравнению с контролем на 10, 25 и 44%, соответственно. Деформируемость эритроцитов уменьшалась по сравнению с контролем на 12, 13 и 15%, соответственно увеличению порядкового номера степени кровопотери. Изменения вязкости были недостоверными (как в самих подгруппах — при различной степени кровопотери, так и по сравнению с контролем). Гематокрит при кровопотере в подгруппах и в сравнении с контролем изменялся также недостоверно. Распределение средних значений гемореологических параметров по количеству случаев и погрешности приведены в таблице 1.

Кризис макро- и микрокровообращения при кровопотере имеет особый специфический характер. Выраженность и стадии развития геморрагического шока зависят от степени компенсации кровообращения, которая обеспечивается, в т.ч. регуляцией гемореологических параметров крови. Циркулирующая в сосудах кровь негомогенна, ее «параболический профиль» из-

Hemorheologic parameters were evaluated using original mathematical calculations created by our research group. The analysis of the data was carried out with the aid of statistical programs Origin 4.1 (Microcat. Software. Inc.) and Microsoft Excel. The significance of differences between groups was assessed by Student's t criterion after checking the distribution of variables for normality. For correlation analysis Pearson r coefficient was computed. The study was performed in accordance to the European Convention on the protection of experimental animals, adopted in 1986 in Strasbourg [11]. For conducting the experiments the consent of Ethics Committee was obtained.

Results and Discussion

The hemorheological parameters included in our experiments were as follows: an index of erythrocyte aggregation (IEA) was 20.5 ± 3.5 , an index of erythrocyte deformability (IED) — 2.25 ± 0.03 . Blood plasma viscosity (BPV) was equal to 1.25 ± 0.5 , hematocrit (Hct) to — 30.5 ± 3.7 . Hemorheological parameters were measured in percents, the viscosity — in centipoises. The distribution of hemorheological parameters within the subgroups was as follows: in the I, II and III subgroups IEA was equal to 22.5 ± 3.5 ; 25.9 ± 2.7 and 29.6 ± 2.7 , correspondingly; IED in all three subgroups was equal to 2.0 ± 0.02 ; 1.97 ± 0.02 and 1.90 ± 0.02 , correspondingly; in all three subgroups BPV was equal to 1.23 ± 0.4 ; 1.34 ± 0.3 and 1.25 ± 0.4 , correspondingly; Hct in all three subgroups was equal to 35.5 ± 3.5 ; 35.9 ± 2.7 and 31.0 ± 6.4 , correspondingly. According to our data, the aggregation increased by 20%, 25% and 44% as compared to the control data; the deformability reduced by 12%, 13% and 15% as compared to control according to the increase of index number of hemorrhage stages. Delta of viscosity was unreliable (both in the subgroups at various stages of hemorrhage and as compared to control). At hemorrhagic shock the hematocrit increased unreliably as compared to the control. The hematocrit did not change at the II and III stages of hemorrhage. The distribution of average values of hemorheological parameters is given in Table 1 according to number of cases and errors.

The crisis of macro- and microcirculation has a particular specific character at hemorrhage. Hemorrhagic shock during hemorrhage and the stages of shock development depend on adequate blood circulation, which is provided by the regulation of blood hemorheology. The blood circulating in the vessels appears to be non-homogenous, its parabolic profile is distorted according to the decrease of the caliber of vessels [12]. The violation of various hemorheological functions takes place and it is independent of hematologic parameters. This complex medical-biological problem develops step by step following blood loss and appears to be a consequence of shock development. To complete the goal of our study, we have determined the aggregation and deformability of erythrocytes, plasma viscosity, as well as the hematocrit of various severities after the experimental hemorrhage. There are various classifications of the shock [13, 14]. At any classification, the etiology and internal signs are related and evoked by the change in microcirculatory features, and in microvessels the blood circulation depends on

Таблица 1. Средние значения гемореологических параметров в зависимости от степени кровопотери ($M \pm m$)
Table 1. Hemorheological parameters in various groups after blood loss ($M \pm m$)

Groups	IEA, %	IED, %	Hct, %	BPV, sP	n
I	22,5±3,5*	2,0±0,02	35,5±3,5	1,23±0,4	15
II	25,9±2,7*	1,97±0,02*	35,9±2,7	1,34±0,3	15
III	29,6±2,7**	1,90±0,02*	31,0±6,4	1,25±0,4	12
Control	20,5±3,5	2,25±0,03	30,5±3,7	1,25±0,5	8

Note (примечание). Groups — группы; control — контроль; IEA — index of erythrocyte aggregation (индекс агрегируемости эритроцитов); IED — index of erythrocyte deformability (индекс деформируемости эритроцитов); Hct — hematocrit (гематокрит); BPV — Blood plasma viscosity (вязкость плазмы крови); sP — centipoise (сП — сантипуаз).

* — $p < 0,05$; ** — $p < 0,001$ control (достоверность различий исследуемых параметров относительно контроля).

меняется по мере уменьшения калибра сосудов [12] и возможно развитие независимых от гематологических параметров нарушений гемореологических функций. Эти нарушения находятся во взаимосвязи с выраженностью кровопотери и шока, что составляет сложную медико-биологическую проблему. Существуют различные классификации шока при кровопотере [13, 14]. Однако вне зависимости от используемой классификации, этиология и внешние проявления шока связаны между собой и вызваны изменением микроциркуляторных свойств, а циркуляция крови в микрососудах, в свою очередь, зависит от гемореологических параметров крови. Анализируя полученные данные, констатировали резкое изменение эритроцитарной составляющей гемореологических свойств крови, в отличие от вязкости. В особенности это касается агрегируемости эритроцитов, которая наиболее значима для гемореологии при потере любого объема крови. Предложенная нами ранее новая классификация, основанная на изменении агрегируемости эритроцитов [6], в данной работе получила подтверждение. Агрегируемость эритроцитов значительно менялась от стадии к стадии, тогда как изменение других гемореологических параметров было стертым. Даже у здоровых млекопитающих и людей эритроциты в циркулирующей в организме крови более или менее хаотично склеиваются между собой, присоединяя разрозненные эритроциты, которые, соединяясь своими поверхностями, образуют монетные столбики — агрегаты (не конгломераты!). По разным источникам, агрегаты составляют 15–30% всей общей площади эритроцитов [11, 15]. При кровопотере изменение агрегируемости сопряжено с включением компенсаторных реакций организма, и/или усиленная агрегация является основой для включения этого механизма. Дальнейшее усиление внутрисосудистой агрегации эритроцитов происходит параллельно увеличению степени кровопотери и вызывает уменьшение скорости кровотока в микрососудах, вплоть до развития полного стаза крови, заканчивающимся закупоркой всех «открытых» капилляров и исчезновением «слепых», иногда на фоне неизменного перфузионного давления. Поэтому особенно важно контролировать агрегацию эритроцитов при кровопотере любой этиологии. Эффективность лечения острой кровопотери и геморрагического шока зависит от своевременности, качества и

hemorheological parameters. We noticed a sharp change in erythrocyte patterns related to viscosity and erythrocytes aggregation, which had a dominant role in pathologies associated with a blood loss of any volume. New classification based on the change in aggregation of erythrocytes proposed by us earlier was confirmed [6]. The aggregation of erythrocytes intensively varied from stage to stage, while the change in other hemorheological parameters was erased. In the blood circulating in the organism even in healthy mammals and humans the erythrocytes more or less are chaotically sticking among themselves by attaching the scattered erythrocytes. These erythrocytes while connecting with their surfaces, form rouleaux columns — aggregates (but not conglomerates!). According to various sources, the aggregates constitute 15–30% of the surface of the total area of all erythrocytes [11, 15]. After the blood loss, the change in the aggregation takes place following the onset of a compensatory reaction of the organism, and/or an enhanced aggregation appears to be the basis for the onset of this mechanism. The further strengthening of the aggregation takes place in parallel with the increase in hemorrhage stages and causes a decrease in blood flow velocity in the microvessels up to the development of a complete blood stasis, ending in occlusion of all open capillaries and in disappearance of the blind ones, sometimes against the background of unchanging perfusion pressure. It is explained by the enhancement of intravascular aggregation of the erythrocytes. Therefore, it is important to monitor the erythrocyte aggregation after the blood loss. The effectiveness of the treatment of acute blood loss and post-hemorrhage shock depends on the timeliness, quality and volume of replenishment of total central blood, the correction of homeostasis disruption, and a real estimation of the condition. In the urgent care medicine, the tactics of hemorrhage treatment is well known and widely used. However, the diagnostic methods for studies of hemorrhage stages deserve a special attention and reworking. We have suggested a list of rheological parameters, which fully describes a shock status. It is very important both at hemorrhage and after the recovery of the patient from hemorrhage and the elimination of an immediate threat to life. In-time diagnostics of hemorheologic parameters for the correction of the disturbance of separate links of the homeostasis (acidic-alkaline compo-

объема восполнения общей центральной крови, коррекции нарушений гомеостаза с одной стороны, и адекватной оценки кровообращения — с другой стороны. В медицине критических состояний принципы лечения кровопотери хорошо известны и широко используются. Однако лабораторно-диагностические методы исследования шока с учетом его стадий заслуживают особого внимания и доработки. Нами впервые предложен перечень параметров, которые полностью описывают «реологический статус» шока. Это очень важно как в процессе развития шока, так и при его разрешении и устранении непосредственной угрозы для жизни. Правильная диагностика гемореологических параметров также важна при коррекции нарушений звеньев гомеостаза (кислотно-щелочной состав, гемостаз и т. д.).

Заключение

Комплексно исследованы гемореологические свойства крови при кровопотере: показатель агрегируемости эритроцитов; показатель деформируемости эритроцитов; вязкость крови; гематокрит. Результаты исследований сопоставимы, если они проводятся сертифицированными и лицензированными методиками. Основой контроля реологических параметров массивной кровопотери являются особенности агрегации эритроцитов.

Литература

1. Лиховецкая З.М., Пригожина Т.А., Горбунова Н.А. Гемореологические нарушения при шоке различной этиологии. *Бюл. эксперим. биологии и медицины*. 1988; 106 (10): 426–428. PMID: 3191229
2. Мороз Д.В., Шаповалова Н.В. Влияние гипербарической оксигенации на состояние гемостаза и реологические свойства крови при шоке. *Бюл. гипербар. биол. и медицины*. 1997; 1–2: 31–37.
3. Мороз Д.В., Шаповалова Н.В. Состояние гемостаза и реологических свойств крови при лечении шока. Мат.-лы науч. конф. «Актуальные вопросы абдоминальной хирургии». Курск; 1997.
4. Sordia T., Tatarishvili J., Varazashvili M., Mchedlishvili G. Hemorrhage disorders in the microcirculation following hemorrhage. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2004; 30 (3–4): 461–462. PMID: 15258387
5. Stoltz J., Donner M. Erythrocyte aggregation: experimental approaches and clinical implications. *Int. Angiol.* 1987; 6 (2): 193–201. PMID: 3323355
6. Манцкава М.М., Момцелидзе Н.Г., Давлианидзе Л.Ш. Новая классификация стадий геморрагического шока, основанная на изменении агрегации эритроцитов. Мат.-лы Первой конф. Рос. Нац. общества по изучению шока. 3 октября 2013 г. М.; 2013: 42–43.
7. Коваленко Н.Я., Мацеевский Д.Д. Сердечно-сосудистая система у крыс с различной устойчивостью к острой кровопотере. *Патол. физиология и эксперим. терапия*. 1998; 2: 32–36. PMID: 9633197
8. Baskurt O., Neu B., Meiselman H. Red blood cell aggregation. CRS Press; 2012: 1–26.
9. Mchedlishvili G., Beritashvili N., Lominadze D., Tsinamdzgovichvili B. Technique for direct and quantitative evaluation of erythrocyte aggregability on blood samples. *Biorheology*. 1993; 30 (2): 153–161. PMID: 8400153
10. Reid H.L., Barnes A.J., Lock P.J., Dormandy J.A., Dormandy T.L. A simple method for measuring erythrocyte deformability. *J. Clin. Pathol.* 1976; 29 (9): 855–858. PMID: 977787
11. Lăcătușu D., Căruntu I.D., Rusu V. Study on erythrocyte aggregation using computerized image analysis methods. *Rev. Med. Chir. Soc. Med. Nat. Iasi*. 2013; 117 (3): 801–805. PMID: 24502054

sition, hemostasis, etc.), which appears to be an inevitable cause of hypervolemia is urgently needed.

Conclusion

The following hemorheological features of the blood were studied after the hemorrhage: an index of erythrocyte aggregation, an index of erythrocyte deformability, blood viscosity, hematocrit. It is assumed that it is real to carry out the investigations using any certified and licensed method. By estimating the rheological parameter, sparticularly the erythrocyte aggregation, it is possible to refine an algorithm of intensive therapy and the diagnostics of massive hemorrhage that both would significantly contribute to the emergency medicine and reanimatology.

Acknowledgement. Authors appreciate Shota Rustaveli Georgian National Scientific Fund (Grant FR/420/7-270/12) for support and Society for Shock Studies in Russia (SSSR), the members of which the research group of authors appears to be.

Благодарность. Грузинскому Национальному научному фонду им. Шота Руставели (грант FR/420/7-270/12) и Обществу по изучению шока в России, членами которого является наша исследовательская группа.

References

1. Likhovetskaya Z.M., Prigozhina T.A., Gorbunova N.A. Gemoreologicheskie narusheniya pri shoke razlichnoi etiologii. [Hemorheologic disorders in shock of diverse etiology]. *Byulleten Eksperimentalnoi Biologii i Meditsiny*. 1988; 106 (10): 426–428. PMID: 3191229. [In Russ.]
2. Moroz D.V., Shapovalova N.V. Vliyanie giperbaricheskoi oksigenatsii i reologicheskie svoystva krovi pri shoke. [Impact of hyperbaric oxygenation on hemostasis and blood rheological properties in shock]. *Byulleten Giperbaricheskoi Biologii i Meditsiny*. 1997; 1–2: 31–37. [In Russ.]
3. Moroz D.V., Shapovalova N.V. Sostoyanie gemostaza i reologicheskikh svoystv krovi pri lechenii shoka. Materily nauchnoi konferentsii «Aktualnye voprosy abdominalnoi khirurgii». [Hemostasis and blood rheological properties in the treatment of shock. Proceedings of the Scientific Conference on the Topical Aspects of Abdominal Surgery]. Kursk; 1997. [In Russ.]
4. Sordia T., Tatarishvili J., Varazashvili M., Mchedlishvili G. Hemorrhage disorders in the microcirculation following hemorrhage. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2004; 30 (3–4): 461–462. PMID: 15258387
5. Stoltz J., Donner M. Erythrocyte aggregation: experimental approaches and clinical implications. *Int. Angiol.* 1987; 6 (2): 193–201. PMID: 3323355
6. Mantskava M.M., Momtselidze N.G., Davlianiidze L.Sh. Novaya klassifikatsiya stadii gemorragicheskogo shoka, osnovannaya na izmenenii agregatsii eritrotsitov. Materily Pervoi konferentsii Rossiiskogo Natsionalnogo obshchestva po izucheniyu shoka. 3 oktyabrya 2013 g. [New hemorrhagic stages classification based on platelet aggregation changes. Proceedings of the First Conference of the Russian National Society of Shock Study. 3 October 2013]. Moscow; 2013: 42–43. [In Russ.]
7. Kovalenko N.Ya., Matsievsky D.D. Serdechno-sosudistaya sistema u kryс s razlichnoi ustoichivostyu k ostroi krvopotere. [Cardiovascular system in rats with varying resistance to acute hemorrhage]. *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimentalnaya Terapiya*. 1998; 2: 32–36. PMID: 9633197. [In Russ.]

12. Мchedlishvili Г.И. Микроциркуляция крови. Ленинград: Наука; 989: 295.13. Мюллер М., Альговер М., Шнайдер Р., Виллинеггер Х. Руководство по внутреннему остеосинтезу. М.; 1996.
14. Рябов Г.А. Анестезиология и реаниматология, М.: Медицина; 1983.15. Bishop J.J., Nance P.R., Popel A.S., Intaglietta M., Johnson P.C. Effect of erythrocyte aggregation on velocity profiles in venules. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2001; 280 (1): H222–H236. PMID: 11123237
15. Bishop J.J., Nance P.R., Popel A.S., Intaglietta M., Johnson P.C. Effect of erythrocyte aggregation on velocity profiles in venules. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2001; 280 (1): H222–H236. PMID: 11123237
8. Baskurt O., Neu B., Meiselman H. Red blood cell aggregation. *CRS Press*; 2012: 1–26.
9. Mchedlishvili G., Beritashvili N., Lominadze D., Tsinamdzgvrishvili B. Technique for direct and quantitative evaluation of erythrocyte aggregability on blood samples. *Biorheology.* 1993; 30 (2): 153–161. PMID: 8400153
10. Reid H.L., Barnes A.J., Lock P.J., Dormandy J.A., Dormandy T.L. A simple method for measuring erythrocyte deformability. *J. Clin. Pathol.* 1976; 29 (9): 855–858. PMID: 977787
11. Lăcătușu D., Cărintu I.D., Rusu V. Study on erythrocyte aggregation using computerized image analysis methods. *Rev. Med. Chir. Soc. Med. Nat. Iasi.* 2013; 117 (3): 801–805. PMID: 24502054
12. Mchedlishvili G.I. Mikrotsirkulyatsiya krovi. [Blood microcirculation]. Leningrad: Nauka; 989: 295. [In Russ.]
13. Myuller M., Algovver M., Shnaider R., Villinegger Kh. Rukovodstvo po vnutrennemu osteosintezu. [A manual of internal osteosynthesis]. Moscow; 1996. [In Russ.]
14. Ryabov G.A. Anesteziologiya i reanimatologiya. [Anesthesiology and Reanimatology]. Moscow: Meditsina Publishers; 1983. [In Russ.]
15. Bishop J.J., Nance P.R., Popel A.S., Intaglietta M., Johnson P.C. Effect of erythrocyte aggregation on velocity profiles in venules. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2001; 280 (1): H222–H236. PMID: 11123237

Поступила 25.12.13

Submitted 25.12.13

Диссертации на соискание ученой степени доктора наук без опубликования основных научных результатов в ведущих журналах и изданиях, перечень которых утвержден Высшей аттестационной комиссией, будут отклонены в связи с нарушением п. 10 Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Перечень журналов ВАК, издаваемых в Российской Федерации по специальности 14.01.20 «Анестезиология и реаниматология», в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата медицинских наук:

- *Анестезиология и реаниматология;*
- *Общая реаниматология.*