

УРАКОВ А. Л.^{1,2,3}, КАСАТКИН А. А.^{1,3},
УРАКОВА Н. А.^{1,3}, ДЕМЕНТЬЕВ В. Б.²

Инфракрасная термография пальцев рук человека как метод оценки адаптации регионарного кровообращения к кровопотере

¹ ГБОУ ВПО «Ижевская государственная медицинская академия»,
Россия, Ижевск

² ФГБУН «Институт механики» Уральского отделения РАН,
Россия, Ижевск

³ ООО «Институт термологии»,
Россия, Ижевск
e-mail: urakoval@live.ru

Реферат

Цель исследования — изучение динамики температурной реакции верхних конечностей пациентов с кровопотерей в ответ на кратковременную ишемию.

Материал и методы исследования. Искусственная ишемия руки создавалась с помощью 2-х минутного манжеточного окклюзионного теста. Мониторинг температуры пальцев рук исследуемых был осуществлен с помощью тепловизора ThermoTracer TH9100XX (NEC, USA) в условиях окружающей среды с температурой +24–25 °С. Температурное окно тепловизора было установлено в диапазоне от 25 до 36 °С. Исследована динамика температурной реакции 14 здоровых добровольцев, 5 здоровых доноров крови и 35 пациентов с постгеморрагическим шоком. Количественные данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения.

Результаты исследования. Установлено, что у здоровых добровольцев и доноров крови через 60 минут после забора у них по 400 мл крови температура в подушечках пальцев рук снижалась более чем на 0,1 °С, а после прекращения cuff occlusion test развивалась локальная гипертермия подушечек пальцев рук, их температура повышалась и через 60–90 секунд становилась выше исходных значений на 0,5–1,5 °С, после чего восстанавливалась до исходного уровня в течении 3–5 минут. У пациентов с кровопотерей по классификации ATLS более 35% после прекращения cuff occlusion test гипертермия в подушечках пальцев не развивалась, а их температура оставалась ниже исходных показателей более 3–5 минут.

Выводы. Изменения локальной температуры пальцев рук человека после использования манжеточного окклюзионного теста могут служить в качестве критерия адаптации регионарного кровообращения к кровопотере.

Ключевые слова: инфракрасная термография, кровопотеря, шок, манжеточный окклюзионный тест.

Введение

Сохранение жизнеспособности теплокровного организма человека и животных в изменяющихся условиях внешней и внутренней среды возможно благодаря эволюционно выработанному свойству приспосабливаться к ним, а именно — адаптации [20, 21]. Так, потеря человеком крови запускает механизм борьбы его организма за сохранение своей жизни в условиях сниженной транспортной функции крови. Известно, что люди и животные после потери даже очень больших объемов крови, способны успешно сопротивляться наступлению смерти на протяжении нескольких часов. При этом потеря одинакового объема крови вызывает у всех людей всегда разную ответную реакцию, которая зависит от многих факторов.

Несмотря на это в основу современной оценки кровопотери положен показатель объема потерянной крови, поскольку общепринято считать, что именно этот показатель наиболее полно отражает состояние здоровья пациентов. Не случайно, что именно связь расчетных величин кровопотери с такими клиническими показателями, как частота пульса, артери-

альное давление, частота дыхания, темп диуреза и психическое состояние, лежит сегодня в основе действующей классификации кровопотери [11]. Поэтому остановка кровотечения, восстановление объема циркулирующей крови и трансфузия эритроцитарной массы являются сегодня общепринятыми элементами оптимальной реанимационной стратегии пациентов с кровопотерей и геморрагическим шоком [6, 14].

Результаты оказания неотложной помощи пострадавшим показывают, что соблюдение указанной стратегии позволяет повысить выживаемость многим пациентам после массивной кровопотери, но не обеспечивает сохранение жизни абсолютно всем пострадавшим [10]. Было установлено, что индивидуальные клинические проявления последствий массивной кровопотери у многих пострадавших могут существенно отличаться от средних статистических значений. Причем, отдельные клинические проявления кровопотери могут отсутствовать у некоторых пострадавших при наличии неоспоримой клинической картины острой кровопотери и геморрагического шока.

В частности, было показано, что при поступлении в госпиталь пострадавших с травмой, нуждавшихся в переливании донорской крови, у 1/3 пациентов артериальное давление оставалось нормальным [3]. Все это подтверждает необходимость поиска дополнительных методов для оценки состояния пациентов при острой кровопотере.

Массивная кровопотеря сопровождается снижением перфузии тканей оксигенированной кровью и развитием в них гипоксии и/или ишемии [15]. Хорошо известно, что наименьшую устойчивость к недостатку оксигенированной крови и/или кислорода имеют клетки коры головного мозга [13, 16].

Известен факт, что в условиях нормальной температуры тела конечность человека может сохранять свою жизнеспособность в условиях 2-х часов острой ишемии, в то время как головной мозг погибает ранее 10 минут ишемии (или гипоксии) [24]. В связи с этим механизм адаптации человека к кровопотере направлен на максимальное сохранение жизнеспособности головного мозга, путем обеспечения его нормальной перфузии оксигенированной кровью за счет последовательной адаптационной ишемии более устойчивых к гипоксии тканей.

Известно, что ишемия органов и тканей приводит к развитию в них локальной гипотермии [1, 18]. В ходе проведенных ранее исследований изменений температуры тела здоровых добровольцев в условиях выполнения ими апноэ-теста было установлено, что уже через 7–15 секунд от начала задержки дыхания у всех исследуемых наступало спонтанное охлаждение тела в виде прогрессирующей локальной гипотермии подушечек пальцев рук. Восстановление спонтанного дыхания восстанавливало их исходную температуру [2]. Таким образом, изменение температуры кожи пальцев рук представляет собой раннюю адаптационную реакцию на острую гипоксию, а мониторинг их температуры может быть использован в качестве метода оценки адаптации к ней [19].

Известно, что одним из клинических симптомов острой массивной кровопотери и геморрагического шока являются холодная на ощупь кожа конечностей. Первое упоминания о том, что низкая температура кожи может служить клиническим признаком травматического шока, были опубликованы еще в 1867 году [8]. Позднее исследователями была показана прогностическая роль изменений центральной и периферической температуры тел пациентов с кровопотерей в развитии клинической смерти [7].

Сегодня точно известно, что развитие локальной гипотермии тканей обусловлено изменением функционального состояния сосудов микроциркуляторного русла и интенсивности локального тканевого кровотока [23]. Выявленная взаимосвязь изменений локальной температуры участков тела человека и локального кровотока в них дает возможность использовать инфракрасную термографию для изучения локальных гемодинамических процессов [5].

В связи с этим, применение инфракрасной термографии для оценки адаптации регионального кровообращения к кровопотере имеет неоспоримые преимущества перед другими методами оценки

микроциркуляции, в частности, таких как лазерной доплеровской флоуметрии, ближней инфракрасной спектроскопией и фотоплетизмографией [4].

Цель работы — изучение динамики температурной реакции верхних конечностей пациентов с кровопотерей в ответ на кратковременную ишемию.

Материал и методы исследования

В период 2009–2015 гг. исследована динамика локальной температуры поверхности тела у 20 здоровых добровольцев (группа 1), у 5 здоровых доноров крови (группа 2) и 35 пациентов, которые находились на лечении в отделении анестезиологии и интенсивной терапии с диагнозом: травматический геморрагический шок (группа 3). Диагноз геморрагического шока основывался на системе ATLS. Оценивали динамику температуры у пациентов, поступивших в клинику с кровопотерей менее 35% от расчетного объема циркулирующей крови (II класс кровопотери по ATLS, n=21) и более 35% (III–IV класс кровопотери по ATLS, n=14). Всем исследуемым проводился укороченный манжеточный окклюзионный тест. Для этого исследуемого укладывали в горизонтальном положении лежа на спине, накладывали манжету на область плеча «рабочей» руки, накачивали ее до значения, превышающего величину систолического давления на 30 мм рт. ст., и сохраняли такое давление в течение 2 минут [9]. Инфракрасные тепловые изображения ладони и ладонной поверхности пальцев исследуемых были записаны до, во время и после окклюзионной пробы с интервалом времени 30 секунд. Инфракрасный контроль температуры избранных участков тела проводили с помощью тепловизора ThermoTracer TH9100XX (NEC, USA). Температура окружающей среды в исследуемой комнате была 24–25 °C, температурное окно тепловизионной камеры было установлено в диапазоне от 25 до 36 °C [17]. Полученные данные обрабатывали с использованием программного обеспечения Thermography Explorer and Image Processor. Количественные данные представлены в виде среднего арифметического (M), стандартного отклонения (SD). Сравнения между группами проводились по t-критерию Стьюдента. Уровень значимости принимался $p < 0,05$.

Протокол исследования отвечает принципам, изложенным в Хельсинкской декларации Всемирной организации здравоохранения, был одобрен этическими Комитетами при Ижевской государственной медицинской академии и Институте термологии [22]. Все добровольцы подписали информированное согласие граждан на добровольное участие в исследовании.

Результаты исследования

Инфракрасная термография с применением укороченного манжеточного окклюзионного теста проведена у 60 исследованных пациентов (таблица 1).

Результаты инфракрасной термографии пальцев рук исследуемых, проведенных до начала выполнения манжеточного окклюзионного теста выявили исходные значения диапазона температур подушечек

Таблица 1

Показатель	Группа 1	Группа 2	Группа 3
Количество исследуемых	20	5	35
Мужчины/женщины	11/9	5/0	24/11
Средний возраст±SD (лет)	36±11.5	42±9.0	46±12.5

SD – стандартное отклонение.

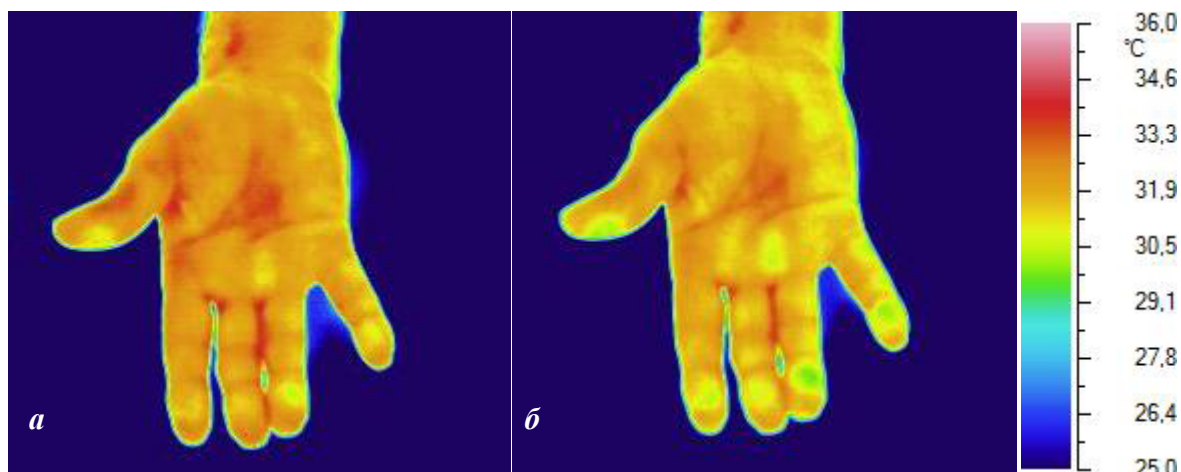


Рис. 1. Изображение на экране тепловизора ладонной поверхности правой кисти донора крови (мужчина 52 лет): а — до забора крови; б — после забора 400 мл венозной крови (длительность забора крови 11 минут)

пальцев рук исследуемых в группах и показатель средней температуры в них. В группе 1 температура подушечек пальцев исследуемых находилась в диапазоне 27,1–35,4 °С, при этом средний показатель температуры в группе составил 33,0±2,2 °С (n=20), в группе 2 эти показатели составили 28,0–34,8 °С и 33,6±2,8 °С (n=5) и в группе 3: 25,0–30,6 °С и 26,3±2,1 °С (n=35, p<0,05) соответственно.

Полученные результаты показали, что абсолютные значения температур подушечек пальцев рук не могут быть использованы для оценки состояния исследуемых, поскольку значения температур подушечек пальцев, находящихся в диапазоне 27–30 °С встречались у исследуемых во всех группах.

Инфракрасный мониторинг за кожей пальцев рук у здоровых добровольцев при проведении у них укороченного окклюзионного теста выявил закономерность изменения температуры в пальцах рук. Так, к концу 2-х минутной ишемии руки средняя температура в подушечках пальцев снизилась с 33,0±2,2 до 29,7±2,5 °С. Устранение ишемии приводило к увеличению температуры, значения которой через 90 секунд достигли 34,6±1,5 °С, то есть локальная температура превысила исходные показатели на 1,6 °С. Восстановление исходной температуры подушечек пальцев рук здоровых добровольцев наступало через 300 секунд после устранения ишемии руки.

Далее нами были проведены исследования динамики локальной температуры в пальцах у доноров вплоть до потери ими по 400 мл венозной крови. Было установлено, что средняя температура в подушечках всех пальцев правой руки у всех доноров снижалась более чем на 0,1 °С после вытекания из

вены около 100 мл крови, а к концу кровопотери температура в подушечках пальцев снизилась на 1,4 °С (Рис. 1).

Таким образом, забор у донора 400 мл крови привел к снижению локальной температуры подушечек пальцев рук с 33,6±2,8 до 32,2±1,6 °С. Проведенный инфракрасный мониторинг показал, что при проведении укороченного окклюзионного теста к концу 2-х минутной ишемии руки средняя температура в подушечках пальцев рук доноров снизилась с 32,2±1,6 до 28,5±2,0 °С (p<0,05). После устранения ишемии через 90 секунд в подушечках развивалась локальная гипертермия, их средняя температура превысила исходные показатели на 1,2 °С, а через 300 секунд вернулась к исходным значениям.

Таким образом, укороченный манжеточный окклюзионный тест позволил выявить наличие в организме дополнительных резервов адаптации к острой ишемии. Полное восстановление температуры подушечек пальцев (до показателя температуры, зафиксированном у доноров до начала забора крови) наступило через 60 минут после кровопотери.

Далее нами были проведены наблюдения за динамикой локальной температуры подушечек пальцев рук у 35 пациентов при выполнении им окклюзионного теста. Исследования проведены после восстановления у пациентов стойкого гемостаза. Всем пациентам была оказана медицинская помощь в соответствии с принятыми рекомендациями [12].

Результаты проведенных наблюдений приведены в таблице 2.

Полученные результаты показали, что у пациентов с кровопотерей устранение ишемии руки не

Динамика показателей средней температуры подушечек пальцев рук до, во время и после 2-х минут ишемии у пациентов с геморрагическим шоком

Таблица 2

Температура, °C			
Исходные значения	К концу 2-х минутной ишемии	Через 90 секунд после устранения ишемии	Через 300 секунд после устранения ишемии
Пациенты с геморрагическим шоком (n=35) до лечения			
С кровопотерей <35 % ОЦК (n=21)			
27,3±2,1	26,2 ±1,1	26,0 ± 1,5	27,2 ± 1,8
С кровопотерей >35 % ОЦК (n=14)			
26,6±1,5	25,0 ±0,7	25,7 ± 0,6	25,6±1,1*

* — достоверно при $p < 0,05$

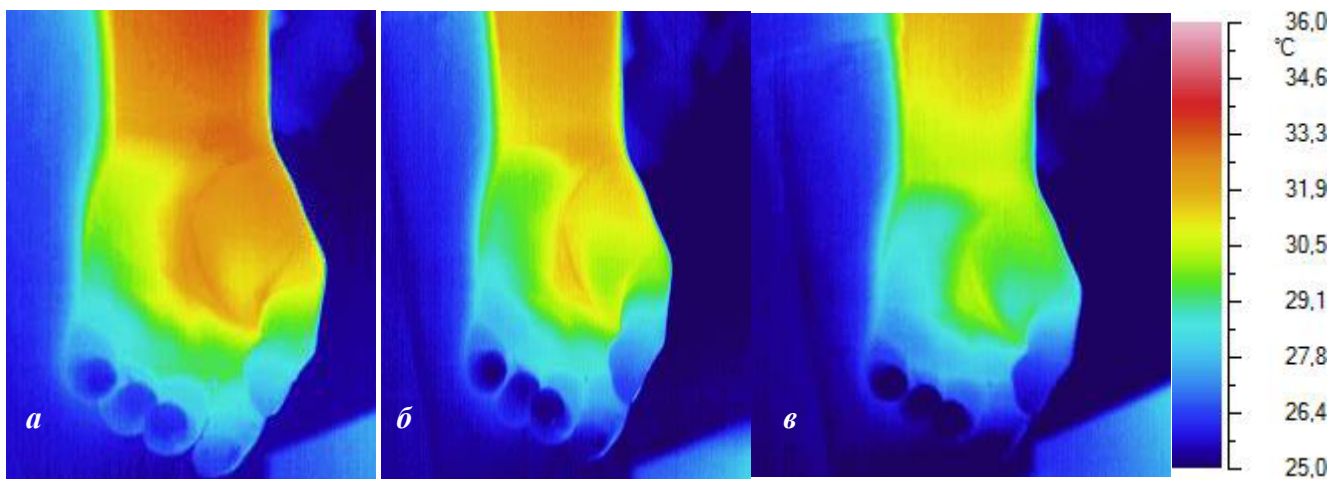


Рис. 2. Изображение на экране тепловизора ладонной поверхности левой кисти пациента с геморрагическим шоком (мужчина, 46 лет): а — до создания ишемии руки, б — через 2 минуты после создания ишемии руки; в — через 1,5 минут после устранения ишемии

сопровождалось появлением постокклюзионной гипертермии. Было установлено, что у пациентов с расчетной кровопотерей <35 % от объема циркулирующей крови температура подушечек пальцев достигала исходных показателей через 5 минут как и в группе здоровых добровольцев, а у пациентов с кровопотерей >35 % температура подушечек пальцев оставалась ниже исходных показателей (рис. 2). На основании полученных данных было выдано заключение о том, что у этих пациентов не включаются механизмы адаптации к острой ишемии. Поэтому при прочих равных условиях прогнозировалась низкая вероятность их выздоровления.

Результаты госпитального лечения пациентов показали, что все пациенты с кровопотерей, у которых температура подушечек пальцев рук достигала к 5-й минуте исходных значений, выжили. Из 14 пациентов, у которых температура после прекраще-

ния ишемии оставалась ниже исходных значений, 4 пациента умерли в течении 48–72 часов. Степень их кровопотери соответствовала IV классу кровопотери по ATLS и составила более 60% расчетного показателя объема циркулирующей крови.

Полученные в ходе проведенного исследования результаты позволяют нам сделать вывод о том, что изменения локальной температуры в подушечках пальцев рук человека при использовании укороченного манжеточного окклюзионного теста могут быть предложены в качестве диагностического симптома наличия резервов адаптации регионарного кровообращения к кровопотере.

Выявление с помощью инфракрасного мониторинга постокклюзионной гипертермии пальцев рук исследуемых позволяет сделать вывод о сохранении резервов адаптации регионарного кровообращения к кровопотере.

1. Ураков А.Л. Рецепт на температуру. Ижевск: Удмуртия. 1988. 80 с.
2. Уракова Н.А., Касаткин А.А. Острая гипоксия вызывает спонтанное охлаждение тела человека // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. №10. С. 86-88.
3. Carlile C., Wade C.E., Baraniuk M.S., Holcomb J.B., Moore L.J. Evaluation of StO₂ tissue perfusion monitoring as a tool to predict the need for lifesaving interventions in trauma patients // *Am J Surg*. 2015. 210(6). P. 1070-5.
4. De Backer D., Ospina-Tascon G., Salgado D., Favory R., Creteur J., Vincent J.L. Monitoring the microcirculation in the critically ill patient: current methods and future approaches // *Intensive Care Med*. 2010. 36. P.1813-1825.
5. Frick P., Mizeva I., Podtaev S. Skin temperature variations as a tracer of microvessel tone // *Biomedical Signal Processing and Control*. 2015. T. 21. C. 1-7.
6. Holcomb J.B. et al. Transfusion of plasma, platelets, and red blood cells in a 1:1:1 vs a 1:1:2 ratio and mortality in patients with severe trauma: the PROPPR randomized clinical trial // *JAMA*. 2015. 313(5). P. 471-482.
7. Joly H.R., Weil M.H. Temperature of the great toe as an indication of the severity of shock // *Circulation*. 1969. 39(1). P. 131-138.
8. Jordan F. Shock after Surgical Operations and Injuries // *Br Med J*. 1867. 1(319). P.136-137.
9. Kasatkin, A.A.; Urakov, A.L.; Rudnov V.A.; Mal'chikov, A.J.; Dement'ev, V.B.; Kasatkina, N.A.; Shikhova, N.I. Method of determining microcirculatory injuries in case of shock and efficiency of anti-shock treatment. Patent RU 2480183, 2013 Bull. 12.
10. Kauvar D.S., Wade C.E. The epidemiology and modern management of traumatic hemorrhage: US and international perspectives // *Crit Care*. 2005. 9(Suppl 5). S1-S9.
11. Kortbeek J.B. et al. Advanced Trauma Life Support for Doctors, 8th edition, the evidence for change // *J Trauma*. 2008. Vol. 64. P. 1638-1650.
12. Kozek-Langenecker S.A. et al. Management of severe preoperative bleeding. Guidelines from the European Society of Anaesthesiology // *EJA*. 2013. 30. P. 270-382.
13. Negovski, V.A.; Gurvich, A.M.; Zolotokrylina, E.S. Postresuscitation disease. 2-nd revised and updated edition Moscow, "Meditsina". 1987. 480 p.
14. Rossaint R. et al. Management of bleeding following major trauma: an updated European guideline // *Crit Care*. 2010. 14. R52.
15. Shoemaker W. Oxygen transport and oxygen metabolism in shock and critical illness. Invasive and noninvasive monitoring of circulatory dysfunction and shock // *Crit Care Clin*. 1996. 12(4). P. 939-969.
16. Siesjö B.K. Cerebral circulation and metabolism // *J Neurosurg*. 1984. 60(5). P. 883-908.
17. Urakov A.L., Kasatkin A.A., Urakova N.A., Ammer K. Infrared thermographic investigation of fingers and palms during and after application of cuff occlusion test in patients with hemorrhagic shock // *Thermology International*. 2014. 24(1). P. 5-10.
18. Urakova, N.A.; Urakov, A.L. Diagnosis of intrauterine newborn brain hypoxia using thermal imaging video. *Biomedical Engineering*, 2014 48(3), 111-115.
19. Urakov, A.L.; Urakova, N.A.; Kasatkin, A.A.; Gausknekht, M.J.; Gajšina, L.F.; Churkin, A.V. Method for assessing body compensatory response to acute hypoxia. Patent RU 2531924, 2014 Bull. 30.
20. Vlasov T.D., Smirnov D.A., Nutfullina G.M. Preconditioning of the small intestine to ischemia in rats // *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2002. T. 32. № 4. C. 449-453.
21. Vlasov T.D., Korzhevskii D.E., Poliakova. Ischemic preconditioning of the rat brain as a method of endothelial protection from ischemic/reperfusion injury // *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2005. Vol. 35. № 6. C. 567-572.
22. Williams J.R. The Declaration of Helsinki and public health // *Bull World Health Organ*. 2008. 86(8). P. 650 - 652.
23. Wilson S.B., Spence V.A. Dynamic thermographic imaging method for quantifying dermal perfusion: potential and limitations // *Medical and Biological Engineering and Computing* September. 1989. Vol.27(5). P. 496-501.
24. Zeman, W.; Youngue, E. Decortication as a result of widespread circulatory and anoxic damage // *J Neuropathol Exp Neurol*. 1957. 16(4). P. 492-506.

UDK [616-005.4]

**Urakov A. L.^{1,2,3}, Kasatkin A. A.^{1,3},
Urakova N. A.^{1,3}, Dement'ev V. B.²**

Infrared thermography of human fingers as a method of assessing regional circulation adaptation to blood loss

**First Pavlov State Medical University of St.Petersburg
197089, Saint Petersburg, Lev Tolstoy St., 6-8
e-mail: ARukhovets@gmail.com**

Abstract

The aim of the study — to investigate the dynamics of the temperature of fingers and palms in response to short-term ischemia.

Materials and methods. The temperature dynamics of fingers and palms was studied with infrared thermal images before, during and after 2 minutes of provokable ischemia in the right hand in 14 healthy volunteers; in 5 blood donors after 400 ml of blood loss; and in 35 patients diagnosed with traumatic hemorrhagic shock. Infrared monitoring of hands temperature was performed by using ThermoTracer TH9100XX (NEC, USA) thermal imager. Ambient temperature of the examination room was 24–25°C, the temperature window of the thermal camera was set to the range of 25 to 36°C. %. Quantitative data are presented as mean ± standard deviation.

Results. During the cuff occlusion test the fingers temperature of the healthy volunteer and blood donors after 60 minutes from collection 400 ml of blood was reduced by more than 0,1°C. After the cuff occlusion test in the pads of the fingers developed local hyperthermia, after 60–90 seconds of their temperature rises above baseline on 0.5–1.5 °C, and then restored to the original level values for 3–5 minutes. Patients with hemorrhage by ATLS classification of more than 35% after the termination of cuff occlusion test hyperthermia in the fingertips are not developed, and they remained below baseline over 3–5 minutes the temperature.

Conclusions. Changes in local temperature of human fingers after using cuff occlusion test can serve as a criterion for the adaptation of the regional blood flow to the blood loss.

Keywords: infrared thermography, blood loss, shock, cuff occlusion test.

References

1. Urakov A.L. *Recept na temperaturu*. Izhevsk: Udmurtija. 1988. 80 s. [In Russian].
2. Urakova N.A., Kasatkin A.A. *Ostraja gipoksija vyzyvaet spontannoe ohlazhdenie tela cheloveka* // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 2014. №10. S. 86–88. [In Russian].
3. Carlile C., Wade C.E., Baraniuk M.S., Holcomb J.B., Moore L.J. Evaluation of StO₂ tissue perfusion monitoring as a tool to predict the need for lifesaving interventions in trauma patients // *Am J Surg*. 2015. 210(6). P. 1070–5.
4. De Backer D., Ospina-Tascon G., Salgado D., Favory R., Creteur J., Vincent J.L. Monitoring the microcirculation in the critically ill patient: current methods and future approaches // *Intensive Care Med*. 2010. 36. P.1813–1825.
5. Frick P., Mizeva I., Podtaev S. Skin temperature variations as a tracer of microvessel tone // *Biomedical Signal Processing and Control*. 2015. T. 21. C. 1–7.
6. Holcomb J.B. et al. Transfusion of plasma, platelets, and red blood cells in a 1:1:1 vs a 1:1:2 ratio and mortality in patients with severe trauma: the PROPPR randomized clinical trial // *JAMA*. 2015. 313(5). P. 471–482.
7. Joly H.R., Weil M.H. Temperature of the great toe as an indication of the severity of shock // *Circulation*. 1969. 39(1). P. 131–138.
8. Jordan F. *Shock after Surgical Operations and Injuries* // *Br Med J*. 1867. 1(319). P.136–137.
9. Kasatkin, AA; Urakov, AL; Rudnov VA; Mal'chikov, AJ; Dement'ev, VB; Kasatkina, NA; Shikhova, NJ. Method of determining microcirculatory injuries in case of shock and efficiency of anti-shock treatment. Patent RU 2480183, 2013 Bull. 12.
10. Kauvar D.S., Wade C.E. The epidemiology and modern management of traumatic hemorrhage: US and international perspectives // *Crit Care*. 2005. 9(Suppl 5). S1–S9.
11. Kortbeek J.B. et al. *Advanced Trauma Life Support for Doctors*, 8th edition, the evidence for change // *J Trauma*. 2008. Vol. 64. P. 1638–1650.
12. Kozek-Langenecker S.A. et al. Management of severe preoperative bleeding. Guidelines from the European Society of Anaesthesiology // *EJA*. 2013. 30. P. 270–382.
13. Negovski, VA; Gurvich, AM; Zolotokrylina, ES. *Postresuscitation disease*. 2-nd revised and updated edition Moscow, "Meditsina". 1987. 480 p.
14. Rossaint R. et al. Management of bleeding following major trauma: an updated European guideline // *Crit Care*. 2010. 14. R52.
15. Shoemaker W. Oxygen transport and oxygen metabolism in shock and critical illness. Invasive and noninvasive monitoring of circulatory dysfunction and shock // *Crit Care Clin*. 1996. 12(4). P. 939–969.
16. Siesjö B.K. Cerebral circulation and metabolism // *J Neurosurg*. 1984. 60(5). P. 883–908.
17. Urakov A.L., Kasatkin A.A., Urakova N.A., Ammer K. Infrared thermographic investigation of fingers and palms during and after application of cuff occlusion test in patients with hemorrhagic shock // *Thermology International*. 2014. 24(1). P. 5–10.
18. Urakova, NA; Urakov, AL. Diagnosis of intrauterine newborn brain hypoxia using thermal imaging video. *Biomedical Engineering*, 2014 48(3), 111–115.
19. Urakov, AL; Urakova, NA; Kasatkin, AA; Gausknekt, MJ; Gajšina, LF; Churkin, AV. Method for assessing body compensatory response to acute hypoxia. Patent RU 2531924, 2014 Bull. 30.
20. Vlasov T.D., Smirnov D.A., Nutfullina G.M. Preconditioning of the small intestine to ischemia in rats // *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2002. T. 32. № 4. C. 449–453.
21. Vlasov T.D., Korzhhevskii D.E., Poliakova. Ischemic preconditioning of the rat brain as a method of endothelial protection from ischemic/reperfusion injury // *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2005. Vol. 35. № 6. C. 567–572.
22. Williams JR. The Declaration of Helsinki and public health // *Bull World Health Organ*. 2008. 86(8). P. 650 – 652.
23. Wilson S.B., Spence V.A. Dynamic thermographic imaging method for quantifying dermal perfusion: potential and limitations // *Medical and Biological Engineering and Computing September*. 1989. Vol.27(5). P. 496–501.
24. Zeman, W; Youngue, E. Decortication as a result of widespread circulatory and anoxic damage // *J Neuropathol Exp Neurol*. 1957. 16(4). P. 492–506.