

## ОЦЕНКА АКТИВАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТВЕРДОФАЗНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПО СКОРОСТИ АДГЕЗИИ КЛЕТОК КРОВИ

Киричук О. П.<sup>1,2</sup>, Буркова Н. В.<sup>1</sup>, Романчук Е. В.<sup>2</sup>,  
Литвиненко Е. В.<sup>1</sup>, Киселева А. Д.<sup>1</sup>, Кузнецов С. И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия

### Контактная информация:

Буркова Наталья Владимировна,  
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова»  
Минздрава России,  
ул. Пархоменко, д. 15, лит. Б,  
Санкт-Петербург, Россия, 194156.  
E-mail: burkova\_nv@almazovcentre.ru,  
n.burk@list.ru

Статья поступила в редакцию 18.04.2019  
и принята к печати 09.06.2019.

### Резюме

При использовании в клинике метода малообъемной гемоперфузии (МОГ), лечебное действие которого заключается в реализации механизмов гемомодуляции и активации сорбционной процедуры, важно учитывать активационные свойства твердофазных гранулированных препаратов. Гемоконтактное взаимодействие проводили в стендовых условиях с использованием донорской крови в ротационном режиме. Пробы крови брали до начала эксперимента и через 5, 20, 40 и 60 мин. Оценивали изменения в клеточных и субклеточных популяциях крови с помощью гематологического анализатора Sysmex XT 1800i (26 параметров), что давало возможность косвенно судить об активации клеток крови. Проведено 20 экспериментов. Для анализа активационных функций гемоконтактного препарата СКТ-6А ВЧ использовали скоростно-временной адгезивный профиль клеток крови на сорбенте. Максимальную скорость адгезии отмечали в период «5 мин» от начала контакта. Скорость адгезии гранулоцитов во все временные интервалы была значительно выше, чем у агранулоцитов. Процесс адгезии может быть индикатором активации клеток крови, контактирующих с чужеродными поверхностями, и служить оценочным критерием активационных возможностей этих поверхностей.

**Ключевые слова:** малообъемная гемоперфузия, контактная активация крови, углеродный сорбент, клеточные популяции крови, адгезия, тромбоциты, лейкоциты.

Для цитирования: Киричук О.П., Буркова Н.В., Романчук Е.В. и соавт. Оценка активационных возможностей твердофазных поверхностей по скорости адгезии клеток крови. Трансляционная медицина. 2019; 6(3):53–60.

## VALUATION OF ACTIVATION CAPABILITIES OF SOLID-PHASE SURFACES BY THE RATE OF ADHESION OF BLOOD CELLS

Kirichuk O. P.<sup>1,2</sup>, Burkova N. V.<sup>1</sup>, Romanchuk E. V.<sup>2</sup>,  
Litvinenko E. V.<sup>1</sup>, Kiseleva A. D.<sup>1</sup>, Kuznetsov S. I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Almazov National Medical Research Centre,  
Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
Saint Petersburg, Russia

**Corresponding author:**

Burkova Natalya V.,  
Almazov National Medical Research Centre,  
Parkhomenko Str. 15-B, Saint Petersburg,  
Russia, 194156.  
E-mail: burkova\_nv@almazovcentre.ru  
n.burk@list.ru

Received 18 April 2019;  
accepted 09 June 2019.

### Abstract

When using the method of low-volume hemoperfusion (MOG) in the clinic, the therapeutic effect of which is to implement the mechanisms of hemomodulation and activation of the sorption procedure, it is important to take into account the activation properties of solid-phase granular drugs. Blood-contact interaction was carried out in bench conditions with the use of donated blood in rotary mode. Blood samples were taken before the experiment and after 5, 20, 40 and 60 minutes. Changes in blood cell and subcellular populations were evaluated using the Sysmex XT 1800i hematological analyzer (26 parameters), which made it possible to indirectly judge the activation of blood cells. 20 experiments were conducted. To analyze the activation functions of the hemocontact preparation SCT 6A HP, the speed-time adhesive profile of blood cells on the sorbent was used. The maximum rate of adhesion was noted in the period of “5 min” from the beginning of contact. The rate of adhesion of granulocytes in all time intervals was significantly higher than that of agranulocytes. The adhesion process can be an indicator of the activation of blood cells in contact with foreign surfaces, and serve as an evaluation criterion for the activation capabilities of these surfaces.

**Key words:** low-volume hemoperfusion, contact activation of blood, carbon sorbent, blood cell populations, adhesion, platelets, leukocyte.

*For citation: Kirichuk OP, Burkova NV, Romanchuk EV et al. Valuation of Activation Capabilities of Solid-Phase Surfaces by the Rate of Adhesion of Blood Cells. Translyatsionnaya meditsina = Translational Medicine. 2019;6(3):53–60. (In Russ.)*

**Список сокращений:** МОГ — малообъемная геморперфузия; СВАП — скоростно-временной

адгезивный профиль; СКТ-6А ВЧ — медицинский углеродный адсорбент высокой чистоты.

### Введение

В процессе эволюции обеспечена универсальность реакции клеток (в частности клеток крови) на субстраты любой природы за счет формирования разнообразного набора адгезивных структур. Адгезия является одним из показателей активации клеток крови. В природе молекулы адгезии представлены в основном четырьмя классами: суперсемейство ин-

тегринов, семейство селектинов, суперсемейство иммуноглобулинов и семейство кадгеринов, которые обеспечивают все разнообразие межклеточных, клеточно-матриксных и клеточно-субстратных (чужеродные поверхности) взаимодействий. Именно клеточно-субстратные взаимодействия являются предметом данного исследования. Ведущие адгезивные структуры клеток крови представлены в пре-

обладающем количестве молекулами суперсемейства интегринов (для лейкоцитов — FLA-1 (CD11a/CD18), Mac-1 (CD11b/CD18), p150,95 (CD11c/CD18); для тромбоцитов — GPIIb/IIIa (αIIbβ3-интегрин, CD41/CD61) и еще ряд β-интегринов, обеспечивающих адгезию к белковым структурам матрикса: к витронектину (αvβ3-интегрин, CD51/CD61), к коллагену (α2β1-интегрин, CD49b/CD29), к ламинину (α6β1-интегрин, CD49f/CD29) и другие. По данным ряда авторов, именно эти структуры обеспечивают главным образом адгезию клеток крови к чужеродным поверхностям, так как использование в эксперименте моноклональных антител против CD11b или CD18 полностью блокировало прилипание и распластывание нейтрофильных лейкоцитов на пластике [1, 2]. С другой стороны, существует предположение, что адгезия и активация клеток на чужеродной поверхности опосредуется эндогенными белками (фибриноген, фибронектин и другие), которые в процессе контакта крови с искусственным субстратом сорбируются на его поверхности, обеспечивая дальнейшее специфическое взаимодействие с ними адгезинов клеточной поверхности [3]. Адгезивные молекулы (в частности β2-интегрины) выполняют две основные функции: обеспечивают прилипание клеток к различным субстратам (непосредственно адгезию) и выполняют сигнальную функцию (передают сигнал внутрь клетки), включая активационные процессы, например обеспечивают «дыхательный взрыв» и секреторные проявления для гранулоцитов, являясь в прямом смысле молекулами двойного назначения [4]. Очевидно, что адгезивные структуры имеют непосредственное отношение к активации клеток: процессы адгезии способны трансдуцировать активационные сигналы внутрь клетки, поэтому при возрастании эффективности действия адгезивных структур активация клеток будет усиливаться. Методы исследования адгезии клеток крови достаточно многочисленны, все они направлены на изучение свойств самих клеток, их функциональной активности, экспрессии на их плазмолемме тех или иных белковых структур, изменения развития метаболических процессов, активации внутренних каскадов и т. д. В нашем исследовании мы использовали прилипающие клетки крови как метод оценки (оценочный индикатор) для регистрации активационных возможностей гемоконтактных препаратов и других чужеродных материалов, контактирующих с кровью. Возможно предположить, что процесс адгезии может быть индикатором активации клеток крови, контактирующих с чужеродными поверхностями, и служить оценочным критерием активационных возможностей этих поверхностей.

### Цель исследования

Состояла в оценке активационных свойств твердофазных материалов (сорбентов) при их контактном взаимодействии с кровью по скорости адгезии прилипающих клеток (тромбоцитов и лейкоцитов).

### Материалы и методы

Эксперименты по контактному взаимодействию крови с твердофазными материалами проводили в стендовых условиях. Донорскую кровь получали на станции переливания крови ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, которую забирали у здоровых волонтеров из локтевой вены в вакуумную пробирку с гепарином лития в объеме 9,0 мл. В качестве твердой фазы (гемоконтактного препарата) использовали углеродный сорбент СКТ-6А ВЧ, который был апробирован в клинике как активатор крови при лечении различных заболеваний методом малообъемной гемоперфузии (МОГ) [5].

В колонки, изготовленные из одноразовых шприцов объемом 20 мл, помещали фильтр из нетканого материала и капроновую сетку, которые плотно фиксировали у торцевой поверхности шприца прижимным кольцом, и загружали угольный сорбент СКТ-6А ВЧ, хранящийся в 20 %-ном растворе этанола, в объеме 1,8–2,0 мл. Перед началом работы из шприц-колонок удаляли раствор этанола, гемоконтактный препарат 3 раза промывали стерильным физиологическим раствором (1:10), а затем еще 3 раза физиологическим раствором с гепарином (20 ед/мл). Затем в шприц-колону забирали гепаринизированную донорскую кровь из вакуумной пробирки из расчета сорбент : кровь (1:4), предварительно отобрав пробу крови «до контакта». Загруженные кровью шприц-колону помещали в горизонтальном положении на роторную мешалку и включали вращение со скоростью 10 об/мин. Эксперименты (n = 20) проводили в течение 60 мин при комнатной температуре в постоянном ротационном режиме. Брали пробы крови каждые 5, 20, 40 и 60 мин от начала эксперимента в объеме 1,8–2,0 мл в пробирки с ЭДТА (этилендиаминтетрауксусной кислотой). До подсчета клеток пробы крови хранили в холодильнике. После завершения эксперимента во всех пробах регистрировали показатели крови (26 параметров) с использованием гематологического анализатора SySmex XT 1800i.

Во всех пробах исследовали прилипающие клетки крови — тромбоциты, лейкоциты и их субпопуляции (гранулоциты и агранулоциты), регистрировали количество фиксированных к субстрату (сорбенту) клеток по их числу, оставшихся в жидкой фазе крови. Скорость адгезии клеток за

каждый временной интервал рассчитывали по формуле:

$$V = (A - B) / t,$$

где:  $V$  — скорость адгезии клеток;  $A$  — количество клеток в единице объема крови в предыдущей пробе;  $B$  — количество клеток в единице объема крови в последующей пробе;  $t$  — время между соответствующими точками проведения анализа.

По полученным результатам оценивали активационные свойства углеродного сорбента СКТ-6А ВЧ. Скорость взаимодействия клеток с гранулами сорбента выражали в изменении количества клеток в единице объема в минуту (кл/мкл/мин). Данные величины позволяют судить, какие процессы (прилипания или отлипания) преобладают в гемоконтактной системе в данный промежуток времени и какое количество клеток каждую минуту прилипает к субстрату или уходит с него в жидкую фазу крови.

Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием прикладных пакетов Statistica 7.0 for Windows и Excel 2013. Достоверность изменения показателей внутри групп оценивали с помощью  $t$ -критерия Стьюдента для попарно связанных выборок и критерия Вилкоксона для парных сравнений, достоверность различий показателей между группами — с помощью  $t$ -критерия Стьюдента для независимых выборок и  $U$ -критерия Манн–Уитни. Для анализа непараметрических показателей применяли метод Фишера, тест  $\chi^2$  Пирсона. Статистически достоверными считали различия при  $p < 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

Процесс взаимодействия прилипающих клеток крови с твердофазным препаратом, приводящий к наведенной активности клеток, можно представить следующим образом: в начале контакта идет интенсивная адгезия прилипающих клеток крови к субстрату, затем скорость адгезии падает и наступает момент, когда скорости прилипания и отлипания клеток равны (наступает динамическое равновесие) и наконец в гемоконтактной системе начинает преобладать процесс отлипания клеток от субстрата и переход их обратно в жидкую фазу крови.

Для проведения анализа развития активационных процессов клеток в зависимости от скорости адгезии их к субстрату в разные временные интервалы контакта использовали скоростно-временной адгезивный профиль (СВАП) клеток крови на сорбенте. Исследования проводили в пробах крови «до», «5 мин», «20 мин», «40 мин» и «60 мин», но при анализе гемограмм для построения временного профиля были определены реперные точки:

1 — проба «5 мин» от начала контакта крови с сорбентом (по методике проведения МОГ в клинике время контакта крови с сорбентом СКТ-6А ВЧ составляло 3–5 мин) [5].

2 — временная точка, включающая период от начала контактного взаимодействия и до точки, в которой еще преобладает адгезия клеток к субстрату над их отлипанием и уходом в жидкую фазу крови.

3 — временная точка, завершающая период преобладания отлипания клеток крови от сорбента. Этот период длится от второй реперной точки, когда начинают превалировать процессы ухода клеток с сорбента, и до конца эксперимента — «60 мин».

Для получения скоростного профиля реакции прилипающих клеток крови на контактное взаимодействие с сорбентами рассчитывали скорости адгезии клеток в периоды между реперными точками. Таким образом, для каждого сорбента (гемоконтактного материала) можно рассчитать, составить и графически представить СВАП. Анализируя полученные профили, можно сравнить различные твердофазные гемоконтактные препараты и определить, какие из них в большей степени обладают способностью активировать клеточные элементы крови, что важно учитывать при проведении процедуры МОГ.

СВАП для тромбоцитов крови человека при ее контакте с углеродным сорбентом СКТ-6А ВЧ представлен на рис. 1. В течение первых 5 минут скорость прилипания тромбоцитов к гранулам была максимальной и составляла  $(21,2 \pm 1,47) \times 10^3$  кл/мкл/мин. В период временного интервала «0–20 мин» отмечали снижение скорости адгезии тромбоцитов до  $(6,17 \pm 0,368) \times 10^3$  кл/мкл/мин, в данный период еще преобладало прилипание клеток к гранулам над их отлипанием. Средняя скорость адгезии в период «20–60 мин» является отрицательной величиной  $(-1,02 \pm 0,122) \times 10^3$  кл/мкл/мин, так как в этот временной интервал процессы отлипания клеток от сорбента преобладали над их фиксацией. Учитывая незначительную скорость отлипания клеток и длительное время преобладания данного процесса можно полагать, что существенное количество тромбоцитов в конце контактного взаимодействия возвращается в жидкую фазу крови в активированном состоянии. Агрегации тромбоцитов при этом не наблюдается.

Диаграмма скорости взаимодействия лейкоцитов с сорбентом представлена на рис. 2. Она схожа реакцией тромбоцитов на контактное взаимодействие. Максимальную скорость адгезии отмечали в период «5 мин» от начала контакта. В период «0–20 мин» преобладали процессы адгезии, затем в



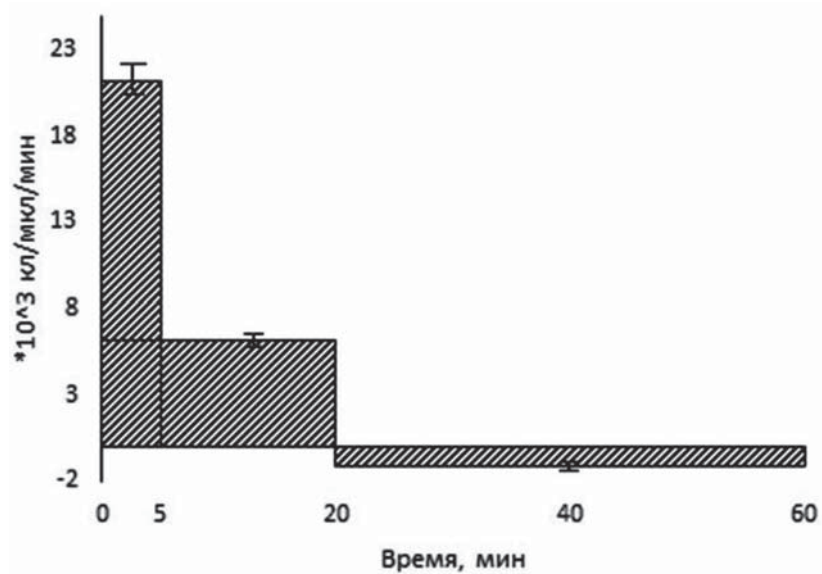


Рис. 1. Скоростно-временной адгезивный профиль для тромбоцитов при контакте крови с углеродным сорбентом СКТ-6А ВЧ

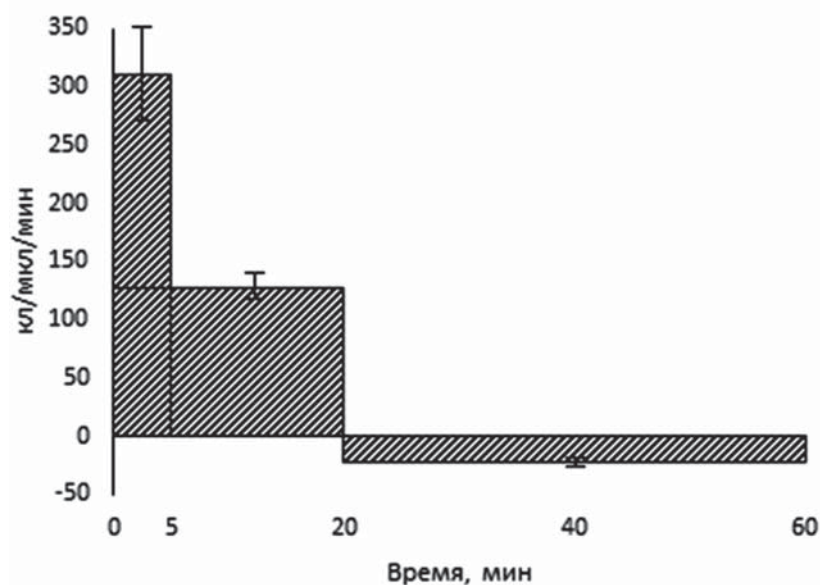


Рис. 2. Скоростно-временной адгезивный профиль для лейкоцитов (общее количество) при контакте крови с углеродным сорбентом СКТ-6А ВЧ

период «20–60 мин» превалировал процесс отлипания клеток. Но можно выделить и некоторые отличия. Во-первых, скорость адгезии лейкоцитов в период «5 мин» значительно ниже ( $310,6 \pm 43,2$  кл/мкл/мин), чем скорость прилипания тромбоцитов. Во-вторых, соотношение скорости адгезии тромбоцитов в периоды «0–5 мин» / «0–20 мин» составило 3,44, а для лейкоцитов этот показатель равен 2,44. Эти различия могут быть связаны с размером и количеством клеток в единице объема крови. В период «0–20 мин» скорость адгезии лейкоцитов составляла  $126,8 \pm 13,3$  кл/мкл/мин. Начиная с «20 мин» начинал преобладать процесс отлипания клеток,

но его скорость (в отличие от тромбоцитов) была значительно ниже (более чем в 45 раз). В период «20–60 мин» средняя скорость адгезии лейкоцитов составляла  $-22,4 \pm 6,17$  кл/мкл/мин.

Диаграмма, характеризующая скорости прилипания и отлипания различных субпопуляций лейкоцитов к гранулам сорбентов представлена на рис. 3. По форме она повторяет динамику поведения общей популяции лейкоцитов. Нужно отметить, что скорость адгезии гранулоцитов во все временные интервалы была значительно выше, чем у агранулоцитов. Гранулоциты: «0–5 мин» —  $255,4 \pm 38,87$  кл/мкл/мин; «0–20 мин» —

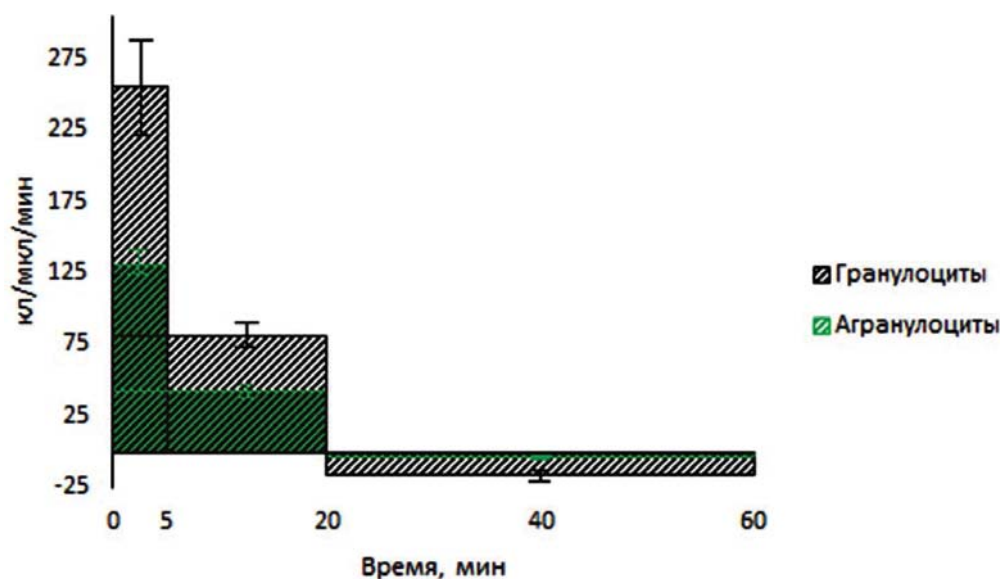


Рис. 3. Скоростно-временной адгезивный профиль для гранулоцитов и агранулоцитов при контакте крови с углеродным сорбентом СКТ-6А ВЧ

81,6 ± 10,29 кл/мкл/мин; «20–60 мин» — (–15,9) ± 3,27 кл/мкл/мин. Агранулоциты: «0–5 мин» — 130,0 ± 16,68 кл/мкл/мин; «0–20 мин» — 42,6 ± 5,09 кл/мкл/мин; «20–60 мин» — (–3,4) ± 0,68 кл/мкл/мин. Вероятно, это связано с более развитым адгезивным аппаратом гранулоцитов.

Проведенное исследование позволяет регистрировать запуск активационных процессов в прилипающих клетках крови по скорости их адгезии к субстрату и оценивать активационные свойства любых чужеродных материалов, контактирующих с кровью, путем построения конкретного СВАП. Известно, что адгезия клеток крови к искусственным поверхностям зависит от ряда их характеристик: от гидрофильности (гидрофобные структуры обладают менее выраженной адгезивностью, чем гидрофильные) [6]; от топографии поверхности (грубые поверхности обладают более выраженной адгезивностью, но и большей повреждающей способностью, чем гладкие) [7]. Таким образом, каждый гемоконтактный материал может иметь индивидуальный СВАП.

Исследуемые характеристики важны при использовании в клинике метода малообъемной гемоперфузии (МОГ), при котором реализуются активационные (не сорбционные) механизмы лечебного действия гемоконтактной (сорбционной) процедуры. Контактное взаимодействие крови с гранулами сорбентов приводит к активации всех ее гуморальных и клеточных систем, результатом которой является изменение общего эффекторно-регуляторного потенциала крови, приводящее к изменению воздействия на патологический процесс [8]. Включение метода МОГ в схемы

лечения больных с тяжелыми видами патологии (критическая ишемия нижних конечностей, термические поражения нижних конечностей, воспалительные и гнойно-некротические заболевания пальцев и кисти) продемонстрировало выраженный лечебный эффект. В качестве гемоконтактного препарата при проведении МОГ использовали углеродный гемосорбент СКТ-6А ВЧ, разрешенный для проведения лечебных мероприятий у больных [9, 10]. Поэтому данный сорбент был выбран и для оценки активационных свойств гранул угля по адгезии к ним прилипающих клеток крови. Он был рассмотрен как некий активационный «стандарт», при применении которого были получены «классические» показатели изменения скорости адгезии при контакте гепаринизированной крови человека с гранулами углеродного гемосорбента СКТ-6А ВЧ. Так как это пока единственный препарат, который прошел клиническую апробацию при использовании метода МОГ при ряде тяжелых заболеваний с явно выраженным лечебным эффектом, то он может служить эталоном для сравнения его активационных способностей с другими гемоконтактными препаратами. При увеличении или снижении скорости адгезии на других сорбентах либо изменении характера реакции (смена реперных точек, удлинение или укорочение времени и скорости максимума адгезии, то есть изменение СВАП гемоконтактного материала) можно ожидать усиление либо снижение эффективности лечебного действия того или иного твердофазного гранулированного гемоконтактного препарата при проведении малообъемной гемоперфузии.

**Выводы**

По скорости адгезии прилипающих клеток крови можно оценивать активационные свойства твердофазных материалов, например углеродного гемосорбента СКТ-6А ВЧ.

Активационные свойства гемоконтактных материалов целесообразно представлять в виде скоростно-временного адгезивного профиля (СВАП), который будет индивидуален для каждого твердофазного препарата.

По развитию процесса адгезии можно судить об активации клеток крови, подвергшихся контакту с любыми чужеродными поверхностями, и оценивать активационные возможности этих поверхностей.

**Конфликт интересов / Conflict of interest**

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

**Список литературы / References**

- Schleiffenbaum B, Moser R, Patarroyo M et al. The Cell Surface Glycoprotein Mac-1 (CD11b/CD18) Mediates Neutrophil Adhesion and Modulates Degranulation Independently of Its Quantitative Cell Surface Expression. *J Immunol.* 1989;142(10):3537–3545.
- Jaconi ME, Theler JM, Schlegel W et al. Cytosolic Free Ca<sup>2+</sup> Signals in Single Adherent Human Neutrophils: Generation and Functional Role. *Eur J Pediatr.* 1993;152(1):S26–32.
- Mazurov A.V. Physiology and Pathology of Platelets. M.: Litterra, 2011. p.480. In Russian [Мазуров А. В. Физиология и патология тромбоцитов. М.: Литтерра, 2011. с.480].
- Galkin AA, Demidova VS. The Role of Adhesion in Activation of Neutrophil and Their Cytotoxic Interaction with Endothelium. *Uspekhi sovremennoj biologii = Successes of modern biology.* 2011;131(1):62–78. In Russian [Галкин А. А., Демидова В. С. Роль адгезии в активации нейтрофилов и цитотоксическом взаимодействии нейтрофилов с эндотелием. *Успехи современной биологии.* 2011;131(1):62–78].
- Treatment of Critical Ischemia of Lower Extremities by the Method of the Target Small Hemoperfusion. *Methodical Recommendation.* SPb, 2003. p. 7. In Russian [Лечение критической ишемии нижних конечностей методом целевой малообъемной гемоперфузии. Методические рекомендации. Лечение критической ишемии нижних конечностей методом целевой малообъемной гемоперфузии. Методические рекомендации. СПб.: НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе, 2003. с.7].
- Tomczok J, Sliwa-Tomczok W, Klein CL et al. Biomaterial-Induced Alterations of Human Neutrophils under Fluid Shear Stress: Scanning Electron Microscopical Study In Vitro. *Biomaterials.* 1996;17(14):1359–1367.
- Chang S, Popowich Y, Greco RS et al. Neutrophil Survival on Biomaterials Is Determined by Surface Topography. *J Vasc Surg.* 2003;37(5):1082–1090.
- Kuznetsov SI, Burkova NV, Tyukavin AI. Solid-Phase Contact Hemomodulation. *Byulleten' federal'nogo centra serdca, krovi i endokrinologii im. V.A. Almazova = Bulletin of the Federal Almazov Medical Research Centre.* 2013;6:28–33. In Russian [Кузнецов С. И., Буркова Н. В., Тюкавин А. И. Контактная твердофазная гемомодуляция. *Бюллетень федерального центра сердца, крови и эндокринологии им. В.А. Алмазова.* 2013;6:28–33].
- Burkova NV, Kuznetsov SI, Nohrin SP et al. Clinical Effects of Small Volume Hemoperfusion in Treatment of Critical Ischemia of the Lower Extremities. *Efferentnaya terapiya = Efferent therapy.* 2010;16(3):24–27. In Russian [Буркова Н. В., Кузнецов С. И., Нохрин С. П. и др. Клинические эффекты малообъемной гемоперфузии при лечении критической ишемии нижних конечностей. *Эфферентная терапия.* 2010;16(3):24–27].
- Burkova NV, Rutenburg DG, Arseniev NA et al. The Use of Regional Small Volume Hemoperfusion, Light Therapy and Laser Radiation in Complex Treatment of the Patients with Suppurative Pathology of Fingers and Hand. *Efferentnaya terapiya = Efferent therapy.* 2010;16(3):34–41. In Russian [Буркова Н. В., Рутенбург Д. Г., Арсениев Н. А. и др. Применение регионарной малообъемной гемоперфузии, светотерапии и лазерного излучения в комплексном лечении больных с гнойной патологией пальцев и кисти. *Эфферентная терапия.* 2010;16(3):34–41].

**Информация об авторах:**

Киричук Оксана Петровна, лаборант-исследователь НИЛ биопротезирования и кардиопротекции Центра экспериментального биомоделирования Института экспериментальной медицины ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, студентка кафедры медицинской физики ФГАОУ ВО СПбПУ;

Буркова Наталья Владимировна, д.б.н., доцент, профессор лечебного факультета Института медицинского образования, ведущий научный сотрудник НИЛ биопротезирования и кардиопротекции Центра экспериментального биомоделирования Института экспериментальной медицины ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Романчук Елизавета Вячеславовна, студентка кафедры медицинской физики ФГАОУ ВО СПбПУ;

Литвиненко Елена Валерьевна, заведующая клинико-диагностической лабораторией Лечебно-реабилитационного комплекса ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Киселева Анастасия Дмитриевна, студентка лечебного факультета Института медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Кузнецов Сергей Иванович, д.м.н., профессор, главный научный сотрудник НИЛ биопротезирования и кардиопротекции Центра экспериментального биомоделирования Института экспериментальной медицины ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

**Author information:**

Kirichuk Oksana P., Laboratory Researcher of the Research Laboratory of Biological Prosthetic Valve Replacement and Cardioprotection of the Center for Experimental Surgical Bio-Modelling of the Institute of Experimental Medicine, Almazov National Medical Research Centre; Student of the Department of Medical Physics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University;

Burkova Natalya V., Dr. Sc., Professor of the Medical Faculty Institute of Medical Education, Leading Researcher of the Research Laboratory of Biological Prosthetic Valve Replacement and Cardioprotection of the Center for Experimental Surgical Bio-Modelling of the Institute of Experimental Medicine, Almazov National Medical Research Centre;

Romanchuk Elizabeth V., Student of the Department of Medical Physics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University;

Litvinenko Elena V., Head of the Clinical and Diagnostic Laboratory of Treatment and Rehabilitation Complex, Almazov National Medical Research Centre;

Kiseleva Anastasia D., Student of the Medical Faculty of the Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Centre;

Kuznetsov Sergei I., Dr. Sc., Professor, Chief Researcher of the Research Laboratory of Biological Prosthetic Valve Replacement and Cardioprotection of the Center for Experimental Surgical Bio-Modelling of the Institute of Experimental Medicine, Almazov National Medical Research Centre.