



Оригинальная статья

Изменения спектральных характеристик плазмы при контакте венозной крови человека с гранулированными сорбентами *in vitro*

Буркова Н.В.¹ • Киричук О.П.^{1,2} • Романчук Е.В.² • Даванков В.А.³ • Постнов В.Н.^{1,4} • Кузнецов С.И.¹

Актуальность. При проведении гемосорбции важно не только исследовать сорбционные и активационные характеристики гемоконтактных препаратов, но и оценить, какое влияние оказывают сорбенты на гомеостатические параметры крови. По степени изменения оптической плотности плазмы крови на длинах волн, соответствующих пикам поглощения гемоглобина (414, 544 и 577 нм), можно судить об интенсивности гемолиза. **Цель** – оценить влияние контакта трех гранулированных сорбентов (СКТ-6А ВЧ, СПС, Силохром С-120) с венозной кровью человека *in vitro* на изменения спектральных характеристик плазмы крови. **Материал и методы.** 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 минут. Спектроскопические исследования проводили в видимой области света (300–700 нм) на спектрофотометре UNICO 2802(S).

Результаты. Взаимодействие сорбента СКТ-6А ВЧ с кровью вызывало уменьшение оптической плотности плазмы на длине волны 540 нм по сравнению с исходными данными уже через 5 минут эксперимента на 17,3% ($p < 0,05$). Снижение показателей оптической плотности при контакте крови с СПС в течение срока наблюдения составило от 2,6 до 12,1% ($p < 0,05$). Сорбционная активность СКТ-6А ВЧ и СПС преобладала над лизирующими свойствами. Показатели процентного изменения оптической плотности сорбента Силохром С-120 при контакте с кровью, напротив, возросли от 25,6 до 38,3% ($p < 0,05$), что свидетельствовало о гемолизе на данном препарате. Исследуемые сорбенты, вызывающие при контакте с кровью увеличение степени гемолиза, можно расположить в следующем порядке: СПС < СКТ-6А ВЧ < Силохром С-120. **Заключение.** Апробированные сорбенты СКТ-6А ВЧ и СПС могут быть использованы в качестве гемоконтактных препаратов при проведении малообъемной

гемоперфузии. Для практического использования в клинике наиболее перспективен препарат СПС. Сорбент Силохром С-120 требует проведения химической модификации для улучшения свойств гемосовместимости.

Ключевые слова: контактная активация крови, углеродный сорбент, сверхсшитый полистирол, гемосовместимость, гемолиз, клеточные популяции крови, спектральные характеристики плазмы крови

Для цитирования: Буркова НВ, Киричук ОП, Романчук ЕВ, Даванков ВА, Постнов ВН, Кузнецов СИ. Изменения спектральных характеристик плазмы при контакте венозной крови человека с гранулированными сорбентами *in vitro*. Альманах клинической медицины. 2018;46(8):772–777. doi: 10.18786/2072-0505-2018-46-8-772-777.

Поступила 31.10.2018;
принята к публикации 29.11.2018

Одно из необходимых условий использования изделий медицинского назначения для проведения эфферентной терапии (в частности, гемосорбции) в клинике – их гемосовместимость. Важным показателем совместимости сорбентов с кровью считается гемолиз эритроцитов, который обычно оценивают по максимуму поглощения на длинах волн, характерных для гемоглобина. Все гемосорбенты должны быть проанализированы по этому показателю. Наряду с сорбционным эффектом контактное взаимодействие крови с сорбентами включает механизмы твердофазной контактной гемомодуляции, то есть механизмы развития активационных процессов в гуморальных и клеточных системах крови, что приводит к изменению общего эффекторно-регуляторного потенциала активированной крови и повышению эффективности ее воздействия на патологический

Буркова Наталья Владимировна – д-р биол. наук, доцент, профессор лечебного факультета Института медицинского образования, вед. науч. сотр. научно-исследовательской лаборатории биопротезирования и кардиопротекции Центра экспериментальной биомоделирования Института экспериментальной медицины¹
✉ 194156, г. Санкт-Петербург, пр-т Пархоменко, 15, Российская Федерация. Тел.: +7 (921) 384 05 07. E-mail: n.burk@list.ru

процесс [1]. Данный принцип лежит в основе новой медицинской технологии – малообъемной гемоперфузии, которая не имеет аналогов в мировой практике. Методы целевой и регионарной малообъемной гемоперфузии доказали свою эффективность при лечении некоторых заболеваний [2]. В настоящее время проводятся работы по поиску и конструированию гемоконтактных препаратов (сорбентов), которые должны проявлять максимальное активационное (и желательное разнонаправленное) воздействие на клеточные и гуморальные системы крови и не должны оказывать негативного влияния на кровь человека. Предварительные исследования показали, что длительный контакт сорбентов с кровью приводит к гемолизу эритроцитов различной степени интенсивности [3]. Гемолиз эритроцитов сопровождается выделением в плазму крови молекул гемоглобина. По степени изменения оптической



плотности плазмы на длинах волн, соответствующих пикам поглощения гемоглобина, можно судить об интенсивности гемолиза [4]. В данной работе были исследованы изменения оптической плотности плазмы крови при длительном (60 минут) контакте крови человека с гранулированными сорбентами *in vitro*.

Цель исследования – оценить влияние контакта трех гранулированных сорбентов (СКТ-6А ВЧ, СПС, Силохром С-120) с венозной кровью человека *in vitro* на изменения спектральных характеристик плазмы крови.

Материал и методы

В стендовых условиях исследовали влияние контакта крови с различными по физико-химической структуре гранулированными сорбентами на гемолиз эритроцитов. В эксперименте использовали венозную кровь здоровых доноров, которую получали на станции переливания крови ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России. Кровь забирали из локтевой вены в вакуумную пробирку с гепарином лития в объеме 9 мл.

В работе были исследованы три сорбента:

1. СКТ-6А ВЧ – медицинский углеродный адсорбент высокой чистоты, разрешенный к применению в клинической практике в качестве гемосорбента и гемоактиватора при процедуре малообъемной гемоферфузии [5].

2. СПС (сверхсшитый полистирол марки MN) – гранулы темно-коричневого цвета размером 0,3–1,2 мм. Удельная поверхность 800–1000 м²/г, суммарный объем пор – 1–1,1 мл/г. Поры двух типов: транспортные диаметром 80 нм и нанопоры диаметром 1–3 нм. Полимер нейтрален, не содержит функциональных групп, имеет гидрофобную поверхность, не меняет объема в средах в интервале рН 1–14 независимо от ионной силы раствора.

3. Силохром С-120 – гранулы белого цвета неправильной формы размером 0,3–0,5 мм. Удельная поверхность гранул – 130 м²/г, размер пор – 28 нм.

Этическая экспертиза. Получено заключение этического комитета ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России: «Одобрить проведение исследований по протоколу проекта «Апробация сверхсшитого полистирола (марки MN) и силикагелей (Силохрома С-120 и КСК-2)

Киричук Оксана

Петровна – лаборант-исследователь научно-исследовательской лаборатории биопротезирования и кардиопротекции Центра экспериментального биомоделирования Института экспериментальной медицины¹; студентка кафедры медицинской физики²

Романчук Елизавета

Вячеславовна – студентка кафедры медицинской физики²

Даванков Вадим

Александрович – д-р хим. наук, профессор, заведующий лабораторией стереохимии сорбционных процессов³

Постнов Виктор

Николаевич – канд. хим. наук, доцент, ст. науч. сотр. научно-исследовательской лаборатории нанотехнологий Центра экспериментального биомоделирования Института экспериментальной медицины¹; доцент кафедры химии твердого тела⁴

Кузнецов Сергей

Иванович – д-р мед. наук, профессор, гл. науч. сотр. научно-исследовательской лаборатории биопротезирования и кардиопротекции Центра экспериментального биомоделирования Института экспериментальной медицины¹

в качестве гемоконтактных препаратов в стендовых условиях на базе Центра» (протокол № 154 от 10.10.2016).

На углеродном сорбенте СКТ-6А ВЧ было выполнено 20 экспериментов, на СПС и Силохроме С-120 – по 10 экспериментов. Стендовые эксперименты проводили в гемоконтактных одноразовых шприц-колонках объемом 20 мл. В шприц помещали фильтр из нетканого материала и капроновую сетку, которые плотно фиксировали у торцевой поверхности прижимным кольцом. В колонки загружали гемоконтактные препараты, хранящиеся в 20% растворе этанола, в объеме 1,8–2 мл. Перед началом работы из колонок удаляли раствор этанола, гемоконтактные препараты промывали 3 раза стерильным физиологическим раствором (1:10), а затем еще 3 раза физиологическим раствором с гепарином (20 ед/мл). После этого в шприц-колонку забирали гепаринизированную донорскую кровь из вакуумной пробирки из расчета «сорбент – кровь» 1:4. Предварительно из этой же пробирки отбирали пробу крови «до контакта». Загруженные кровью шприцы-колонки помещали в горизонтальном положении на роторную мешалку и включали вращение. Эксперименты проводили в течение 60 минут при комнатной температуре в постоянном ротационном режиме. Для проведения исследований пробы крови забирали из колонки через 5, 20, 40 и 60 минут от начала контакта с сорбентом в объеме 1,8–2 мл в пробирки с этилендиаминтетрауксусной кислотой. Далее цельную кровь центрифугировали в течение 10 минут при скорости 3500 об/мин на лабораторной центрифуге Thermo Scientific SL 16 и отделяли плазму крови от форменных элементов. Плазму крови разводили в пропорции «кровь – физиологический раствор» 1:29. Спектроскопические исследования проводились в видимой области света (300–700 нм) на спектрофотометре UNICO 2802(S).

Гемолитическую активность (ГА) сорбентов оценивали в процентах по изменению оптической плотности в постконтактных пробах относительно оптической плотности на соответствующих длинах волн в пробах до контакта. Числовые значения рассчитывали по формуле:

$GA = (A - B) / B \times 100\%$, где А – оптическая плотность в исследуемых (постконтактных) пробах на соответствующих длинах волн, В – оптическая

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, Российская Федерация

³ ФГБУН Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН; 119334, г. Москва, ул. Вавилова, 28, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (институт химии); 198504, г. Санкт-Петербург, г. Петергоф, Университетский пр-т, 26, Российская Федерация

плотность нативной плазмы без контакта с сорбентами (проба «до») на тех же длинах волн [6].

Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием прикладных пакетов Statistica 7.0 для Windows и Excel 2013. Статистически значимые изменения показателей внутри групп оценивали с помощью t-критерия Стьюдента для попарно связанных выборок и критерия Вилкоксона для парных сравнений, статистически значимые различия показателей между группами – с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок и U-критерия Манна – Уитни. Результаты представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (25-й и 75-й процентиля): Me (25%; 75%). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

В предварительных экспериментах для всех трех гемоконтактных препаратов были исследованы спектры плазмы крови в диапазоне длин волн 300–700 нм. Для этого были выбраны пробы, в которых плазма визуально имела наиболее выраженный гемолиз. Это позволило выявить длины волн, на которых идет максимум поглощения. Дальнейшие исследования всех образцов плазмы проводили только на этих длинах волн, а не по всему спектру волн видимого диапазона. На рис. 1 представлены спектры плазмы крови в пробах «до» контакта с сорбентом СКТ-6А ВЧ и в пробах «5 минут» и «60 минут» после контакта (точки «20 минут» и «40 минут» на рисунках не отражены, поскольку они малоинформативны). На каждом из трех спектров наблюдали резкий максимум поглощения на длине волны около

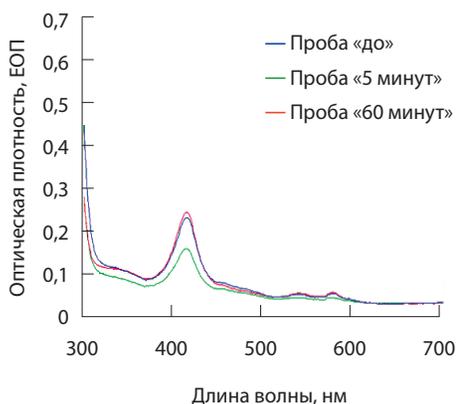


Рис. 1. Изменения оптической плотности плазмы крови человека в диапазоне длин волн 300–700 нм при контакте с сорбентом СКТ-6А ВЧ в пробах «до», через «5 минут» и «60 минут» после начала эксперимента

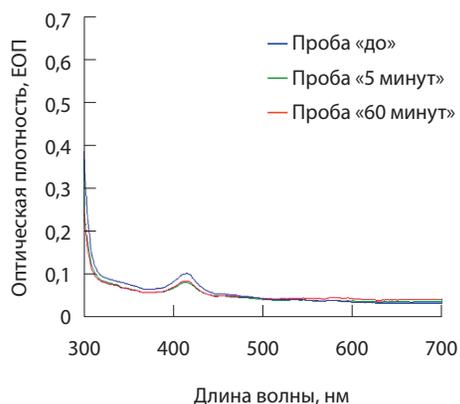


Рис. 2. Изменения оптической плотности плазмы крови человека в диапазоне длин волн 300–700 нм при контакте с сорбентом СПС в пробах «до», через «5 минут» и «60 минут» после начала эксперимента

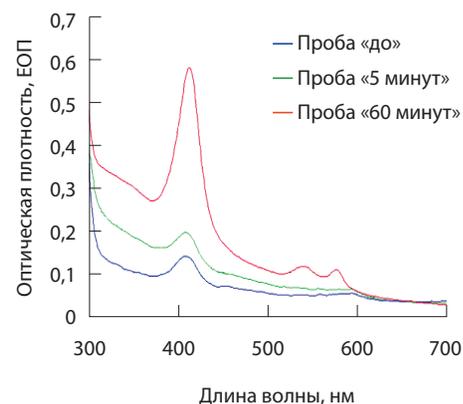


Рис. 3. Изменения оптической плотности плазмы крови человека в диапазоне длин волн 300–700 нм при контакте с сорбентом Силохром С-120 в пробах «до», через «5 минут» и «60 минут» после начала эксперимента

414 нм. Этот максимум – отличительный признак порфиринового ядра, характерный для молекулы гемоглобина [7]. Сравнивая с пробой «до», можно отметить, что спектр пробы «5 минут» практически не отличался от нее, а в пробе «60 минут» наблюдалось значительное увеличение оптической плотности в максимуме на 414 нм ($p < 0,05$).

Спектры плазмы крови, контактировавшей с сорбентом СПС, имели максимумы на длине волны 414 нм (рис. 2).

При этом значения оптической плотности в пробах «до», «5 минут» и «60 минут» практически не различались. Пики поглощения в диапазоне 540–580 нм отсутствовали. Согласно данным литературы, спектр поглощения молекулы гемоглобина в оксиформе состоит из трех главных полос: 414 нм (полоса Core), 542–544 нм (β -полоса) и 576–578 нм (α -полоса) [7]. Следовательно, можно полагать, что при пробе «60 минут» в плазме крови появляются молекулы оксигемоглобина. Нарастание концентрации оксигемоглобина в венозной крови связано с присутствием в колонке атмосферного воздуха, из которого кровь насыщается кислородом и постепенно артерируется, то есть увеличивается парциальное давление кислорода в крови. Других пиков поглощения в растворе плазмы обнаружено не было, что позволяет говорить об отсутствии в этих пробах дезокси- (полосы поглощения на 429 и 556 нм) и карбокси-форм гемоглобина (пики поглощения на 540 и 570 нм) [8].

Более выраженный эффект наблюдался в спектрах плазмы крови после контакта с Силохромом С-120 (рис. 3).

В спектре, соответствующем пробе «до», присутствовал только пик поглощения,

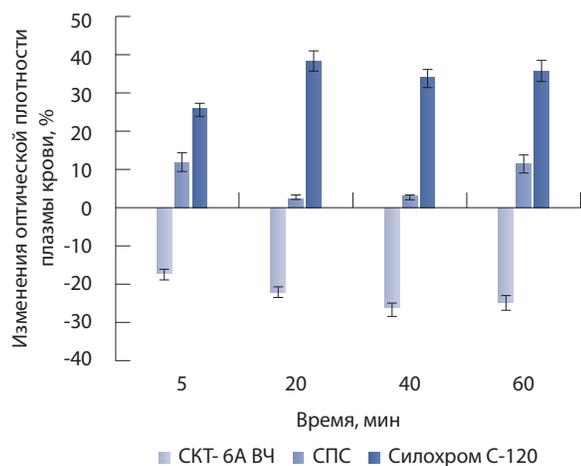


Рис. 4. Изменения оптической плотности плазмы крови (%) на длине волны 540 нм при контакте с сорбентами СКТ-6А ВЧ, СПС и Силохром С-120 в течение 60 минут

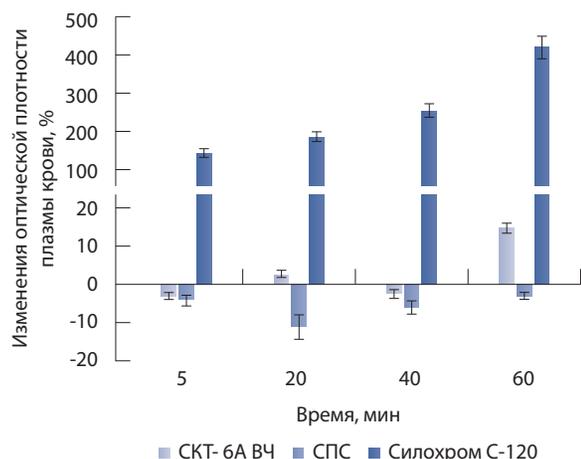


Рис. 5. Изменения оптической плотности плазмы крови (%) на длине волны 414 нм при контакте с сорбентами СКТ-6А ВЧ, СПС и Силохром С-120 в течение 60 минут

соответствующий полосе Сорс, а α - и β -полосы отсутствовали. С увеличением времени проведения экспериментов увеличивалась абсорбция на длине волны 414 нм, а также появлялись пики поглощения, соответствующие α - и β -полосам. Следовательно, для оценки гемолитической активности сорбентов важно учитывать максимумы поглощения на длинах волн, характерных для поглощения оксигемоглобина: 414, 544 и 577 нм.

Дальнейшие эксперименты позволили оценить степень гемолиза эритроцитов при контактном взаимодействии крови с сорбентами. Измерения оптической плотности проводили на длинах волн, наиболее часто используемых специалистами для оценки гемолиза и соответствующих пикам поглощения гемоглобина (414 и 540 нм). Анализ полученных спектров на длине волны 540 нм (рис. 4) показал, что контакт сорбента СКТ-6А ВЧ с кровью вызывал уменьшение оптической плотности плазмы в пробах «5 минут» по сравнению с пробой «до» на 17,3% ($p < 0,05$).

В отрицательном диапазоне также находились аналогичные показатели в других точках исследования, причем различия между ними не были существенными. Необходимо отметить, что все исследованные гемоконтактные препараты обладают выраженными сорбционными свойствами, а СПС и СКТ-6А ВЧ представляют собой гемосорбенты, которые способны сорбировать многие макромолекулы, в том числе и гемоглобин. В этой связи результирующий показатель будет складываться из способности гранул лизировать эритроциты и сорбировать их содержимое (гемоглобин). При исследовании СКТ-6А ВЧ очевидно, что сорбционная активность несколько преобладает над лизирующими свойствами угля и остается сбалансированной на протяжении всего эксперимента. Исследуемые показатели на двух других сорбентах находились в диапазоне выше нуля (см. рис. 4).

Диапазон изменения величины оптической плотности при контакте крови с СПС варьировал от 2,6 до 12,1%. В пробе «5 минут» процент оптической плотности был равен 12,1%, а в пробах «20 минут» и «40 минут» начинали превалировать сорбционные процессы, и только к концу эксперимента показатели составляли 11,6%. Следовательно, для сорбента СПС характерно преобладание сорбционной активности, а лизирующий эффект минимален. Силохром С-120 при контакте с кровью был более «агрессивен» по отношению к эритроцитам: показатели процентного изменения оптической плотности возрастали от 25,6 до 38,3% ($p < 0,05$), что свидетельствовало о гемолизе на данном сорбенте.

Еще более значительные изменения регистрировали в плазме при контакте Силохрома С-120 с кровью на длине волны 414 нм (рис. 5). Уже в пробе «5 минут» прирост показателей оптической плотности составил 144,4% ($p < 0,05$), а в пробе «60 минут» – 418,5% ($p < 0,05$). На других сорбентах данные показатели практически не изменялись. Для СПС характерно преобладание сорбционных свойств сорбента, регистрируемых на этой длине волны. Во всех реперных точках показано снижение процента изменений оптической плотности, которые регистрировались в отрицательной зоне.

На углеродном сорбенте СКТ-6А ВЧ в начале эксперимента фиксировали отрицательные показатели, а к пробе «60 минут» показатели оптической плотности достигали 14,9%, что свидетельствовало о преобладании сорбционной активности над лизирующим эффектом.

Таким образом, предварительные эксперименты показали, что при оценке гемолитической активности сорбентов важно обращать



внимание на максимумы поглощения на длинах волн, характерных для оксигемоглобина: 414, 544 и 577 нм. Исследуемые нами сорбенты, вызывающие увеличение степени гемолиза, можно расположить в следующем порядке: СПС < СКТ-6А ВЧ < Силохром С-120.

Наиболее перспективным для использования в клинической практике можно считать СПС, так как его контакт с кровью практически не вызывает гемолиза эритроцитов. Кроме того, он обладает активационными свойствами по отношению к гуморально-клеточным компонентам системы крови [3]. СКТ-6А ВЧ – сорбент, который уже прошел клиническую апробацию и зарекомендовал себя как активационный препарат при использовании метода малообъемной гемоперфузии [5]. В ряде клиник Санкт-Петербурга при его применении для целевой и регионарной малообъемной гемоперфузии получен выраженный лечебный эффект у пациентов с критической ишемией и термическими поражениями нижних конечностей, диабетической стопой, воспалительными и гнойно-некротическими заболеваниями пальцев и кисти [2]. Однако были выявлены и недостатки СКТ-6А ВЧ: углеродные гранулы хрупкие и «пылят», а также имеют низкие модификационные свойства поверхности, что делает невозможным получение на его основе новых селективных гемоконтактных препаратов. Силохром С-120 также можно рассматривать как потенциальный гемоконтактный препарат для малообъемной гемоперфузии. Необходимым условием его дальнейшего эффективного использования считаем определенную химическую модификацию для баланса лизирующих и сорбционных свойств.

Известно, что взаимодействие крови с твердофазными (гранулированными) препаратами

вне организма в гемоконтактном устройстве изменяет ее физико-химические параметры, вызывает образование ряда биоактивных регуляторных и эффекторных структур [3]. Можно утверждать, что проведение целевой химической модификации поверхности матриц различных сорбентов для придания им специфических свойств позволит создать линейку гемоконтактных препаратов, не только обладающих высокими сорбционными качествами, но и способных индуцировать заданный спектр биологической активности в крови.

Заключение

Предварительные эксперименты показали, что по динамике оптической плотности плазмы крови человека в исследуемых участках спектра можно косвенно судить об изменении концентрации гемоглобина в плазме и, следовательно, о степени гемолиза эритроцитов крови при контакте с сорбентом. СКТ-6А ВЧ и СПС продемонстрировали высокую сорбционную активность, преобладающую над их литическими свойствами, и могут быть рекомендованы в качестве гемоконтактных препаратов для клинического применения с целью качественного и количественного изменения биоактивных субстанций крови. Сорбент Силохром С-120 требует проведения дополнительной химической модификации его поверхности для улучшения показателей совместимости. Эффективность использования указанных препаратов в клинической практике при проведении малообъемной гемоперфузии можно будет констатировать после дальнейших исследований их активационных свойств, которые позволят оценить спектр индуцируемых ими в крови биоактивных соединений. ☺

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование

Работа проведена без привлечения дополнительного финансирования со стороны третьих лиц.

Литература

1. Кузнецов СИ. Практические аспекты принципа твердофазной контактной активации крови. Успехи современного естествознания. 2006;(2):31–2.
2. Кузнецов СИ, Буркова НВ, Тюкавин АИ. Контактная твердофазная гемомодуляция. Бюллетень ФЦСКЭ им. В.А. Алмазова. 2013;(6): 28–33.
3. Кузнецов СИ, Киричук ОП, Буркова НВ, Даванков ВА, Постнов ВН, Литвиненко ЕВ. Реакция клеточных элементов крови на контакт с гранулированными сверхшитым полистиролом и кремнеземами. Трансляционная медицина. 2017;4(4):43–55. doi: 10.18705/2311-4495-2017-4-4-43-55.
4. Pan T, Huang W, Liu Z, Yao L. Near-infrared spectroscopic analysis of hemoglobin with stability based on human hemolysates samples. American Journal of Analytical Chemistry. 2012;3(1): 19–23. doi: 10.4236/ajac.2012.31004.
5. Багненко СФ, Курыгин АА, Киселев ВА, Нохрин СП, Кузнецов СИ, Джурко БИ, Крещер ИВ, Буркова НВ. Лечение критической ишемии нижних конечностей методом целевой малообъемной гемоперфузии. Методические рекомендации. СПб.: Изд-во НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе; 2003. 7 с.
6. Анисимова НЮ, Должикова ЮИ, Даванков ВА, Пастухов АВ, Миляева СИ, Сенатов ФС, Киселевский МВ. Гемосо-
- вместимость наносорбентов на основе сверхшитых полимеров стирола серии Стиросорб. Российский биотерапевтический журнал. 2012;11(1):23–7.
7. Кривенцев ЮА, Никулина ДМ. Биохимия: строение и роль белков гемоглобинового профиля М.: Юрайт; 2018. 73 с.
8. Кузнецов СИ, Киричук ОП, Буркова НВ, Топко АА, Даванков ВА, Постнов ВН, Литвиненко ЕВ. Влияние контакта венозной крови человека с сорбентами in vitro на ее некоторые физико-химические параметры. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2018;17(1):50–60. doi: 10.24884/1682-6655-2018-17-1-50-60.



References

1. Kuznetsov SI. Practical aspects of the principle of solid-phase contact activation of blood. *Advances in Current Natural Sciences*. 2006;(2): 31–2. Russian.
2. Kuznetsov SI, Burkova NV, Tyukavin AI. Solid-phase contact hemomodulation. *Bulletin of Almazov National Medical Research Centre*. 2013;(6):28–33. Russian.
3. Kuznetsov SI, Kirichuk OP, Burkova NV, Davankov VA, Postnov VN, Litvinenko EV. Reaction of the cellular elements of the blood to the contact with the granulated hypercross-linked polystyrene and silica. *Translational Medicine*. 2017;4(4):43–55. Russian. doi: 10.18705/2311-4495-2017-4-4-43-55.
4. Pan T, Huang W, Liu Z, Yao L. Near-infrared spectroscopic analysis of hemoglobin with stability based on human hemolysates samples. *American Journal of Analytical Chemistry*. 2012;3(1):19–23. doi: 10.4236/ajac.2012.31004.
5. Bagnenko SF, Kurygin AA, Kiselev VA, Nokhrin SP, Kuznetsov SI, Dzhurko BI, Kretser IV, Burkova NV. Treatment of critical ischemia of lower extremities by targeted low volume hemoperfusion. A guideline. Saint Petersburg: Janelidze St. Petersburg Research Institute; 2003. 7 p.
6. Anisimova NYu, Dolzhikova YuI, Davankov VA, Pastukhov AV, Miljaeva SI, Senatov FS, Kiselevsky MV. Hemocompatibility of nanostructured sorbents based on hypercrosslinked styrene polymers of the Styrosorb series. *Russian Journal of Biotherapy*. 2012;11(1):23–7. Russian.
7. Kriventsev YuA, Nikulina DM. *Biochemistry: the structure and role of hemoglobin profile proteins*. Moscow: Yurayt; 2018. Russian.
8. Kuznetsov SI, Kirichuk OP, Burkova NV, Topko AA, Davankov VA, Postnov VN, Litvinenko EV. The impact of the contact of venous human blood with sorbents on some of blood physicochemical parameters in vitro. *Regional Blood Circulation and Microcirculation*. 2018;17(1):50–60. Russian. doi: 10.24884/1682-6655-2018-17-1-50-60.

Changes in plasma spectral characteristics during the *in vitro* contact of human venous blood with granulated sorbents

N.V. Burkova¹ • O.P. Kirichuk^{1,2} • E.V. Romanchuk² • V.A. Davankov³ • V.N. Postnov^{1,4} • S.I. Kuznetsov¹

Rationale: During hemosorption procedures, it is important to investigate not only the sorption and activation characteristics of hemocontact agents, but also to assess the effect of sorbents on the parameters of blood homeostasis. The intensity of hemolysis can be judged by the degree of changes in optical density of blood plasma at wavelengths corresponding to the peak absorption of hemoglobin (414, 544 and 577 nm). **Aim:** To assess the effect of three granular sorbents (SKT-6A, HPS, Silochrome C-120) contacting human venous blood *in vitro* on changes in plasma spectral characteristics. **Materials and methods:** The blood contact was modeled at bench conditions with the use of donated blood at rotating mode. Blood samples were drawn before the experiment and after 5, 20, 40, and 60 minutes. Spectroscopic assessment was performed in the visible light range (300–700 nm) with UNICO 2802(S) spectrophotometer. **Results:** The interaction of the SKT-6A sorbent with blood resulted in a 17.3% decrease in the plasma optical density at a wavelength of 540 nm, compared to baseline, as soon as at 5 minute of the experiment ($p < 0.05$). The decline in optical density imposed by the blood contact with HPS ranged from 2.6 to 12.1% ($p < 0.05$) during the observation period. The sorption activity of SKT-6A and HPS prevailed over their lytic properties. On the contrary, the

percentage change in the optical density of the Silochrome C-120 sorbent during its blood contact increased from 25.6 to 38.3% ($p < 0.05$), indicating that this sorbent was inducing hemolysis. The sorbents tested can be arranged as follows according to their ability to induce hemolysis during their contact with blood: HPS < SKT-6A < Silochrome C-120. **Conclusion:** The tested SKT-6A and HPS sorbents can be used as blood-contact agents for the low volume hemoperfusion. The HPS agent seems to be the most promising for routine clinical use. The Silochrome C-120 sorbent requires some chemical modification to improve its properties of hemocompatibility.

Key words: contact blood activation, carbon sorbent, hypercross-linked polystyrene, hemocompatibility, hemolysis, blood cell populations, plasma spectral characteristics

For citation: Burkova NV, Kirichuk OP, Romanchuk EV, Davankov VA, Postnov VN, Kuznetsov SI. Changes in plasma spectral characteristics during the *in vitro* contact of human venous blood with granulated sorbents. *Almanac of Clinical Medicine*. 2018;46(8):772–7. doi: 10.18786/2072-0505-2018-46-8-772-777.

Received 31 October 2018; accepted 29 November 2018

Natal'ya V. Burkova – PhD, ScD in Biology, Associate Professor, Professor of Medical Faculty, Institute of Medical Education; Leading Research Fellow, Research Laboratory for Bioprosthesis and Cardioprotection, Center of Experimental Biomodeling, Institute of Experimental Medicine¹
 ✉ 15 Parkhomenko prospekt, Saint Petersburg, 194156, Russian Federation. Tel.: +7 (921) 384 05 07. E-mail: n.burk@list.ru

Oksana P. Kirichuk – Assistant Researcher, Laboratory of Bioprosthesis and Cardioprotection, Center of Experimental Biomodeling, Institute of Experimental Medicine¹; Student, Chair of Medical Physics²

Elizaveta V. Romanchuk – Student, Chair of Medical Physics²

Vadim A. Davankov – PhD, ScD in Chemistry. Sci., Professor, Head of the Laboratory of Stereochemistry of Sorption Processes³

Victor N. Postnov – PhD in Chemistry. Sci., Associate Professor, Senior Research Fellow, Research Laboratory of Nanotechnologies, Center of Experimental Biomodeling, Institute of Experimental Medicine¹; Associate Professor, Chair of Solid State Chemistry⁴

Sergey I. Kuznetsov – MD, PhD, Professor, Chief Research Fellow, Research Laboratory for Bioprosthesis and Cardioprotection, Center of Experimental Biomodeling, Institute of Experimental Medicine¹

¹ Almazov National Medical Research Centre; 2 Akkuratova ul., Saint Petersburg, 197341, Russian Federation

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; 29 Politekhnicheskaya ul., Saint Petersburg, 195251, Russian Federation

³ A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences; 28 Vavilova ul., Moscow, 119334, Russian Federation

⁴ St. Petersburg State University (Institute of Chemistry); 26 Universitetskii prospekt, Peterhof, Saint Petersburg, 198504, Russian Federation

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.