

ОПЫТ ТРАНСПОРТИРОВКИ КОМПОНЕНТОВ КРОВИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.М.Носов¹, А.И.Савельев², В.Н.Вильянинов¹, Ю.Е.Ромашова¹, И.В.Лебедев²,
В.В.Лебедева², А.П.Янин², И.М.Самохвалов^{1,3}

¹ ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М.Кирова» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия

² ФГБУН «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Санкт-Петербург, Россия

³ ГБУ «Санкт-Петербургский НИИ скорой помощи им. И.И.Джанелидзе» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Резюме. Цели исследования – оценить эффективность транспортировки лейкоредуцированной эритроцитной взвеси (ЛЭВ) с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) роторного типа (беспилотник, дрон); определить возможность использования ЛЭВ в клинической практике после её транспортировки с применением дрона.

Материалы и методы исследования. Выполнялась транспортировка 6 доз ЛЭВ объемом от 260 до 300 мл при помощи БПЛА роторного типа. Перед и после транспортировки определяли пригодность компонентов крови к использованию в клинической практике; оценивали количество эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов, количество свободного гемоглобина, а также гематокрит. Оценивалась скорость доставки компонентов крови автомобильным транспортом в период минимального дорожного трафика в условиях Санкт-Петербурга. Скорость доставки автомашиной сравнивалась с расчетной скоростью доставки при помощи БПЛА.

Результаты исследования и их анализ. Изменения показателей лабораторных исследований ЛЭВ после транспортировки БПЛА роторного типа не являлись статистически значимыми и оставались в пределах нормы. Транспортировка компонентов крови автомобильным транспортом занимает большее количество времени, чем их доставка дроном в условиях мегаполиса – (15 мин 17 с ± 39,3 с) и 5 мин 46 с соответственно.

Результаты пилотного исследования продемонстрировали пригодность использования в клинической практике ЛЭВ после ее транспортировки БПЛА роторного типа.

Кроме того, доставка компонентов крови и других медицинских препаратов дронами в условиях мегаполиса может выполняться значительно быстрее и будет экономически эффективнее транспортировки автомобильным транспортом.

Ключевые слова: автотранспорт, безопасность транспортировки, беспилотные летательные аппараты, время транспортировки, дроны, компоненты крови, скорость транспортировки, транспортировка, эффективность транспортировки

Конфликт интересов. Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов

Для цитирования: Носов А.М., Савельев А.И., Вильянинов В.Н., Ромашова Ю.Е., Лебедев И.В., Лебедева В.В., Янин А.П., Самохвалов И.М. Опыт транспортировки компонентов крови с применением беспилотного летательного аппарата // Медицина катастроф. 2022. №3. С.65-69. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2022-3-65-69>

CASE STUDY OF TRANSPORTING BLOOD COMPONENTS USING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

A.M.Nosov¹, A.I.Savel'ev², V.N.Vil'yaninov¹, U.E.Romashova¹, I.V.Lebedev², V.V.Lebedeva², A.P.Yanin²,
I.M.Samokhvalov^{1,3}

¹ Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russian Federation

² St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation

³ St. Petersburg Research Institute of Emergency Medicine named after I.I. Janelidze, St. Petersburg, Russian Federation

Summary. The objectives of the study were to evaluate the effect of transportation of leucoreduced erythrocyte suspension (LES) using a rotary-type unmanned aerial vehicle (UAV) (drone); to determine its application and use in clinical practice after transportation on a drone.

Materials and research methods. Transportation of 6 doses of LES with a volume of 260 to 300 ml using a rotary-type UAV was performed. Before and after transportation suitability of blood components for clinical use was determined; the number of erythrocytes, platelets, leukocytes, free hemoglobin, and hematocrit were estimated. We evaluated the speed of blood component delivery by automobile transport during the period of minimal traffic in St. Petersburg. The speed of delivery by automobile transport was compared with the estimated speed of delivery by UAV.

Study results and their analysis. Changes in the indices of LES laboratory tests after transportation by UAV of rotor type were not statistically significant and remained within the norms. Transportation of blood components by motor transport takes more time than their delivery by drone under metropolitan conditions – (15 min 17 s ± 39,3 s) and 5 min 46 s, respectively.

The results of the pilot study demonstrated the suitability of using LES in clinical practice after its transportation by rotor-type UAV. In addition, delivery of blood components and other medical drugs by drones in metropolitan areas can be performed much faster and will be more cost-effective than transportation by road transport.

Key words: blood components, drones, road transport efficiency, transportation, transportation speed, transportation time, UAV

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

For citation: Nosov A.M., Savel'ev A.I., Vil'yaninov V.N., Romashova U.E., Lebedev I.V., Lebedeva V.V., Yanin A.P., Samokhvalov I.M. Case Study of Transporting Blood Components Using an Unmanned Aerial Vehicle. *Meditsina Katastrof = Disaster Medicine*. 2022;3:65-69 (In Russ.). <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2022-3-65-69>

Контактная информация:

Носов Артём Михайлович – канд. мед. наук; начальник научно-исследовательской лаборатории военной хирургии – зам. начальника отдела экспериментальной медицины научно-исследовательского центра ВМА им. С.М.Кирова
Адрес: 194044, Санкт-Петербург, ул. акад. Лебедева, д. 6
Тел.: +7 (812) 292-32-66
E-mail: artem_svu06@mail.ru

Contact information:

Artem M. Nosov – Cand. Sc. (Med.); Head of the Research Laboratory of Military Surgery – Deputy. Head of the Department of Experimental Medicine of the Research Center of the Kirov Military Medical Academy
Address: 6, Academica Lebedeva str., St. Petersburg, 194044, Russia
Phone: +7 (812) 292-32-66
E mail: artem_svu06@mail.ru

Актуальность

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (далее – БПЛА, беспилотники, дроны) находят широкое применение не только в военных целях, но и в различных сферах мирной жизни. Беспилотники используют для ведения аэрофотосъемки, доставки различных товаров, в поисково-спасательных операциях, для мониторинга урожая, отслеживания погоды, в целях охраны правопорядка и оценки целостности инженерных конструкций и зданий [1–3].

Успешное использование беспилотных летательных аппаратов по данным направлениям привело к появлению еще одной области их применения – медицинской логистики и оказания неотложной и экстренной медицинской помощи. Польза использования БПЛА в медицинских целях – очевидна. Дроны позволяют сократить время реагирования на неотложную или экстренную ситуацию и снизить транспортные расходы, особенно в удаленных и/или недостаточно обслуживаемых регионах. Потребность в дронах может быть актуальной и для городских районов, где высокий уровень автомобильного трафика может стать серьезным препятствием при оказании неотложной и экстренной медицинской помощи больным и пострадавшим. Описаны случаи применения дронов для доставки автоматических дефибрилляторов и спасения жизни пациентов с остановившимся сердцем в условиях улицы [4–7].

Одной из актуальных проблем при оказании медицинской помощи пострадавшим с политравмой, особенно при их массовом поступлении, является недостаточное количество компонентов крови. Наземная транспортировка компонентов крови часто бывает ограничена из-за пробок на дорогах и их ремонта. Кроме того, доставка компонентов крови машиной скорой медицинской помощи (СМП) может оказаться невозможной в контексте инцидентов с большим числом пострадавших, поскольку автомобили СМП в первую очередь предназначены для реагирования на вызов с места события и медицинской эвакуации пациентов. Медицинские дроны могут помочь в спасении людей за счет сокращения времени на доставку компонентов крови и медикаментов на большие расстояния или в травмоцентры в условиях мегаполиса.

С 2016 г. компания Zipline (США) использует БПЛА для доставки продуктов крови, вакцин и антидотов в Руанде и Гане. Дроны компании Zipline имеют дальность полета 160 км и могут нести полезный груз массой около 4 кг. В случае необходимости груз сбрасывается с парашютом медицинским работником. Исследования показали, что средние сроки доставки крови сократились с 4 ч до 30 мин [8]. Matternet, еще одна компания по производству беспилотных летательных аппаратов в США, успешно совершила более 1,8 тыс. полетов в Швейцарию и доставила более 900 компонентов крови и лабораторных образцов в гг. Лугано, Берн и Цюрих. В США данная компания успешно доставляла вакцину от COVID-19 в удаленные районы страны [8]. Таким образом, беспилотники уже применяются в системах здравоохранения различных стран.

В Российской Федерации в системе здравоохранения БПЛА пока не применяются. В доступной нам российской литерату-

ре не обнаружено исследований, посвященных использованию дронов для транспортировки компонентов крови и её влиянию на указанные медицинские препараты.

Цель исследования – оценить эффективность – скорость перемещения по сравнению с наземным транспортом и пригодность к использованию в клинической практике лейкоредуцированной эритроцитной взвеси (ЛЭВ) после ее транспортировки с помощью БПЛА роторного типа.

Материалы и методы исследования. В качестве исследуемых компонентов крови использовали 6 доз ЛЭВ объемом 260–300 мл. В соответствии с требованиями, предъявляемыми к компонентам крови для переливания человеку, до и после их транспортировки определяли количество эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов, гемоглобина, оценивали количество свободного гемоглобина, а также гематокрит¹. Исследование проводили совместно с сотрудниками лаборатории Центра крови и тканей Военно-медицинской академии им. С.М.Кирова (ВМА). Всего были выполнены 3 полета с образцами ЛЭВ. Для транспортировки компонентов крови был использован БПЛА, построенный на базе Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН), со следующими характеристиками: габариты в разложенном виде – 140×140×40 см; в сложенном виде – 60×60×40 см; максимальная масса полезной нагрузки – 15 кг; максимальная горизонтальная скорость полета – 21 м/с; высота полета – 1500 м. Беспилотник с такими характеристиками может находиться в воздухе от 20 до 25 мин, а дальность его полета ограничена зарядом аккумулятора и составляет 15 км. По сравнению с БПЛА самолетного или вертолетного типа мультироторный дрон способен взлетать и приземляться вертикально, а также относительно дешев в производстве и прост в механической части – отдельные элементы БПЛА распечатывались на 3D-принтере. Транспортировка компонентов крови с применением БПЛА проводилась в специальном изотермическом контейнере (Campingaz Isotherm, Италия). Дополнительно на летательный аппарат была смонтирована разработанная нами система крепления и фиксации термоконтейнера (рис. 1, 2).

Протяженность маршрута полета была рассчитана исходя из того, что Центр крови и тканей ВМА обеспечивает компонентами крови в срочном порядке клинику военно-полевой хирургии (ВПХ) – травмоцентр 1-го уровня г. Санкт-Петербурга. В специальной программе для управления полетами БПЛА Mission Planner был построен предполагаемый маршрут следования дрона протяженностью 5600 м – расстояние от Центра крови и тканей до клиники ВПХ. Расчетное время полета – 5 мин 46 с.

Испытательные полеты беспилотника проходили вне населенных пунктов и вдали от линий электропередач на частной территории в Ленинградской области по двум траекториям с

¹. Об утверждении Правил заготовки, хранения, транспортировки и клинического использования донорской крови и ее компонентов и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 22 июня 2019 г. № 797



Рис. 1. Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) с зафиксированным контейнером для перевозки компонентов крови
Fig. 1. Unmanned aerial vehicle (UAV) with fixed container for transportation of blood components

наибольшим количеством смен направлений (рис. 3). Это было сделано с целью проверки максимального воздействия ускорения на компоненты крови в ходе их транспортировки на БПЛА. Во время экспериментальных полетов температура окружающей среды составляла -10°C , скорость ветра – $5-6$ м/с. Высота полета – 35 м, что не нарушало требований к полетам БПЛА в пределах Санкт-Петербурга. Полет БПЛА, состоявший из взлета, горизонтального перемещения по запрограммированной заранее траектории и посадки, проходил без участия пилота в полностью автоматическом режиме, но под визуальным контролем оператора. Было предусмотрено, что в случае возникновения нештатной ситуации управлять беспилотником будет оператор в ручном режиме.

При транспортировке 3 доз компонентов крови БПЛА и автомобилем до и после транспортировки дополнительно сравнивали скорость доставки компонентов крови и влияние на них транспортировки. При транспортировке автомашиной определяли те же параметры, что и при транспортировке БПЛА: количество эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов, гемоглобина, свободного гемоглобина, гематокрит. Был выбран отрезок времени с наименьшей загруженностью дорог в рабочие дни – с 11 до 12 ч дня. Определялось время доезда автомашины СМП от Центра крови и тканей до клиники военно-полевой хирургии ВМА. Замеры времени проводили в течение 5 рабочих дней. Кроме того, учитывали количество перевозимых компонентов крови.

Для оценки подчинения нормальному закону распределения полученных в эксперименте количественных переменных применяли критерий Шапиро-Уилка при $\alpha = 0,05$; равенство дисперсий проверяли по F-критерию Фишера при $\alpha = 0,05$. Оценку значимости различий этих показателей между группами осуществляли по t-критерию Стьюдента посредством двухвыборочного t-теста для связанных и несвязанных выборок при $\alpha = 0,05$. При отсутствии признаков нормального распределения сравниваемых переменных оценку значимости различий между ними осуществляли по U-критерию Манна – Уитни и T-критерию Вилкоксона. Оценки средних значений изучаемых показателей представлены в тексте в виде: математического ожидания (M); 95%-ного доверительного интервала математического ожидания (95% ДИ); среднего квадратического отклонения (СКО); медианы (Me); моды (Mo); границы верхнего и нижнего квартилей (H25 и H75).

Результаты исследования и их анализ. Исследование полета БПЛА с грузом заключалось в построении полетной миссии, имитирующей непрямолинейную траекторию движения в городских условиях от точки старта до конечной точки, где происходит посадка БПЛА и передача груза.

В реальных условиях были выполнены 3 тестовых полета с разными параметрами полетных миссий. Первая полетная миссия содержала большое количество поворотов и различных искривлений на протяжении всего маршрута. Во второй и третьей полетных миссиях количество поворотов было уменьшено, однако миссии отличались разной заданной горизонтальной скоростью полета БПЛА. Все параметры миссий представлены в табл. 1.

Одной из основных проблем беспилотников является довольно небольшая продолжительность полета при транспортировке грузов. Во время маневров беспилотники должны за-



Рис. 2. Система крепления контейнера для перевозки компонентов крови на БПЛА
Fig. 2. System of fixing the container for transportation of blood components on the UAV

медляться, вращаться и ускоряться, увеличивая время полета и, следовательно, потребление энергии. Первая полетная миссия имела наиболее искривленную траекторию полета, поэтому за 15 мин 44 с БПЛА преодолел меньшее расстояние, чем во второй миссии. Первая миссия имела более 100 точек поворота, и выполнение миссии закончилось на 84-й точке из-за небольшого заряда аккумулятора. Количество маневров прямо пропорционально влияет на заряд аккумулятора БПЛА – чем больше маневров, тем быстрее разряжается аккумулятор. При таких параметрах миссии в городских условиях желаемая дальность полета – 5500 м от точки взлета до точки посадки – не будет достигнута. Вторая и третья полетные миссии имели меньше поворотов и содержали 41 точку, где совершается маневр. Наилучший результат по времени выполнения полетной миссии по перемещению БПЛА с грузом на расстоянии 5000 м (13 мин 51 с) был получен в третьем случае, когда скорость полета составляла 10 м/с. Траектории полета БПЛА в трех экспериментах, где пунктами 3а, 3в, 3д обозначены траектории полета БПЛА, заданные в планировщике полетных миссий (MissionPlanner), а пунктами 3б, 3г, 3е – реальные траектории, взяты из бортового журнала БПЛА – см. рис. 3.

Сравнение результатов исследования изменений показателей ЛЭВ до и после транспортировки представлено в табл. 2.

Анализ полученных результатов показал, что после транспортировки на БПЛА изменения в анализах образцов ЛЭВ были минимальными, не отличались от изменений при наземной транспортировке ($p > 0,05$), что означает – в соответствии с требованиями Постановления Правительства Российской Федерации от 22 июня 2019 г. №797 – пригодность этих компонентов крови для использования в клинической практике.

Измерения скорости доставки компонентов крови автомобилем СМП показали, что в условиях города и при отсутствии высокого уровня трафика время транспортировки составляет (15 мин 17 с $\pm 39,3$ с) / (14 мин 19 с – 16 мин 3 с), но в часы

Таблица 1 / Table No. 1

Параметры и результаты экспериментов по транспортировке компонентов крови на БПЛА

Parameters and results of experiments on transportation of blood components on a UAV

| Параметр / Parameter | Полет №1 Flight No.1 | Полет №2 Flight No.2 | Полет №3 Flight No.3 |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Масса полезной нагрузки, кг / Payload mass, kg | 8 | 8 | 8 |
| Дальность полёта, м Flight range, m | 3980 | 5550 | 5350 |
| Высота полета, м Flight altitude, m | 35 | 35 | 35 |
| Расчетное время полета Estimated flight time | 10 мин 57 с 10min 57s | 11 мин 29 с 11min 29s | 11 мин 29 с 11min 29s |
| Реальное время полета Actual flight time | 15 мин 44 с 15min 44s | 16 мин 40 с 16min 40s | 13 мин 51 с 13min 51s |
| Заданная горизонтальная скорость полёта, м/с / Set horizontal flight speed, m/s | 7 | 7 | 10 |

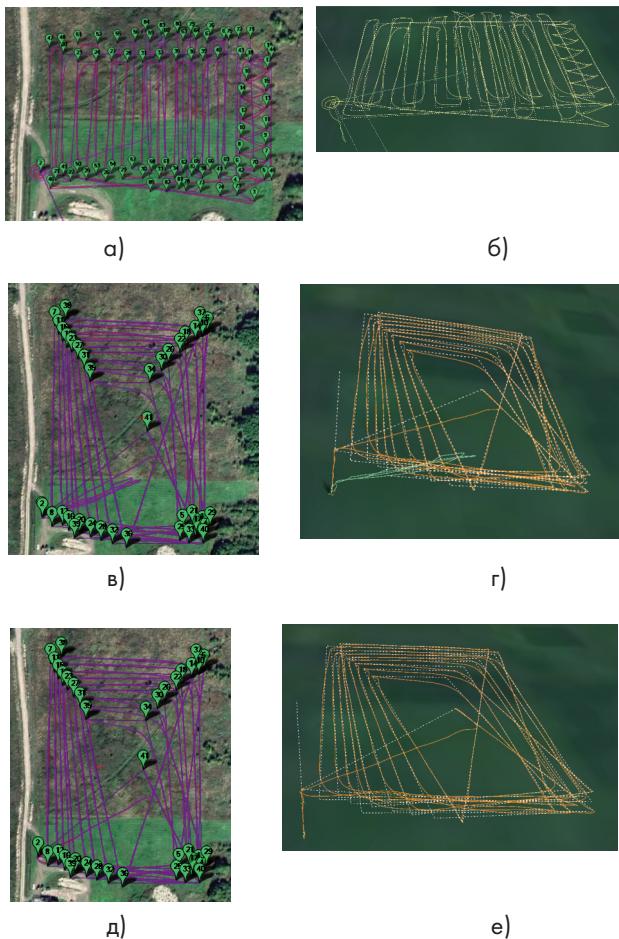


Рис. 3. Траектории полета БПЛА: а, б – в первом эксперименте; в, г – во втором; д, е – в третьем эксперименте
Fig. 3. UAV flight paths: a, b – in the first experiment; c, d – in the second experiment; e, f – in the third experiment

пик сроки транспортировки будут значительно большими. Количество перевозимых компонентов крови составляло не более 7 пакетов (4–7) за одну поездку – следовательно данный груз может быть свободно транспортирован за один полет беспилотника.

Обсуждение результатов исследования. В настоящее время применение БПЛА представляет собой потенциальное решение логистических проблем, связанных с транспортировкой компонентов крови в условиях мегаполиса или в местностях с неразвитой дорожной сетью. Дроны невосприимчивы к задержкам движения, имеют низкую себестоимость и стоимость технического обслуживания. В то же время, поскольку биологические образцы (кровь) – хрупки, использование дронов является жизнеспособным решением только в том случае, если оно не оказывает отрицательного воздействия на компоненты крови [3, 9–11]. Таким образом, чтобы определить наличие и степень неблагоприятного воздействия на компоненты крови, мы должны были испытать разные режимы их транспортировки. Силы, действующие на образцы, перемещаемые дроном, включают в себя внезапные ускорения и замедления, а также изменения давления и температуры воздуха. Эффекты влияния этих сил заранее предсказать нельзя.

Проведенные исследования изменений в образцах ЛЭВ показали, что данный препарат крови пригоден для использования в клинической практике после транспортировки БПЛА роторного типа. Однако имеются еще 28 наименований компонентов крови, которые в будущем могут потребовать проведения подобных исследований.

Дрон, использованный в этом эксперименте, был беспилотником мультироторного типа, имел более низкую максимальную скорость и потреблял больше энергии, чем сопоставимый дрон-самолет. Кроме того, траектория полета требовала небольшой скорости полета: при максимальной скорости 21 м/с средняя скорость полета составляла 7–10 м/с. Следует отметить, что силы, действующие на дроны самолетного типа (сила ускорения при запуске и при приземлении дрона), будут иными. Учитывая географические особенности нашей страны, в России будет актуальным использование обоих типов дронов. Мультироторные БПЛА могут широко применяться для транспортировки компонентов крови и медицинских изделий в условиях города ввиду ограниченного радиуса их полета, необходимости выполнять большое количество маневров при движении по траектории, а также ввиду отсутствия площадок для взлета и посадки дронов самолетного типа. Кроме того, для снижения энергопотребления БПЛА мультироторного типа рекомендуется разрабатывать специальные алгоритмы построения траекторий полета в городских условиях. Указанные алгоритмы должны учитывать окружающие статические и динамические препятствия и планировать сглаженные известные методами, например, методом Безье, траектории, сокращая

Таблица 2/ Table No. 2

Изменения показателей анализа образцов ЛЭВ до и после транспортировки на БПЛА и автомашине
 Changes in the analysis parameters of leukoreduced erythrocyte suspension samples before and after transportation by UAV and vehicle

| Исследуемый образец компонента крови до и после транспортировки на БПЛА (1, 2, 3) и автомашине (4, 5, 6) Blood component sample before and after transportation by UAV (1, 2, 3) and vehicle (4, 5, 6) | | Исследуемый показатель / Researched indicator | | | | | | |
|---|---------------|--|---|---|------------------------------------|--|--|--------------------------------|
| | | Эритроциты, $\times 10^{12}/л$ Erythrocytes, $\times 10^{12}/l$ | Тромбоциты, $\times 10^9/л$ Platelets, $\times 10^9/l$ | Лейкоциты, $\times 10^9/л$ Leukocytes, $\times 10^9/l$ | Гемоглобин, г/л Hemoglobin, g/l | Гемоглобин, г/доза Hemoglobin, g/dose | Гемоглобин, свободный, г/л Free hemoglobin, g/l | Гематокрит, % Hematocrit, % |
| №1 | До / Befour | 6,68 | 20,1 | 0,002 | 184 | 51,5 | 0,1 | 63,9 |
| | После / After | 6,78 | 20,1 | 0,002 | 185 | 51,8 | 0,1 | 64,2 |
| №2 | До / Befour | 6,76 | 19,1 | 0,002 | 180 | 54,0 | 0,5 | 60,0 |
| | После / After | 7,78 | 18,6 | 0,002 | 178 | 53,5 | 0,4 | 59,9 |
| №3 | До / Befour | 6,72 | 23,9 | 0,001 | 182 | 52,8 | 0,2 | 61,2 |
| | После / After | 6,70 | 24,1 | 0,002 | 181 | 52,8 | 0,1 | 60,2 |
| №4 | До / Befour | 6,32 | 18,7 | 0,002 | 165 | 47,8 | 0,3 | 56,1 |
| | После / After | 6,32 | 18,1 | 0,002 | 163 | 47,2 | 0,3 | 54,4 |
| №5 | До / Befour | 5,65 | 10,7 | 0,003 | 172 | 49,9 | 0,1 | 60,0 |
| | После / After | 5,98 | 10,4 | 0,002 | 171 | 49,6 | 0,1 | 59,1 |
| №6 | До / Befour | 6,70 | 14,1 | 0,003 | 167 | 43,9 | 0,2 | 57,3 |
| | После / After | 6,73 | 13,8 | 0,003 | 171 | 45,0 | 0,2 | 56,5 |

количество поворотов. Это необходимо для поддержания постоянной скорости БПЛА при маневрах. Постоянство скорости также гарантирует уменьшение потребления энергии беспилотником при полете. Беспилотники самолетного типа могут активно использоваться при транспортировке более тяжелых медицинских наборов, упаковок и грузов на большие расстояния вне крупных населенных пунктов.

Кроме того, использование дрона будет способствовать уменьшению времени доставки компонентов крови в стационар. Проведенное нами исследование показало, что даже при благоприятных дорожных условиях автомобиль СМП следует по заданной ему дистанции в течение (15 мин 17 с ± 39,3 с), в то время как расчетное время полета БПЛА по оптимальной заданной траектории между Центром крови и клиникой ВПХ составит всего 5 мин 46 с. При этом необходимо учитывать, что время транспортировки автомобилем может существенно увеличиться ввиду сложной дорожной ситуации, ремонта дорог или дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на пути следования. Об экономической целесообразности использования БПЛА говорит и тот факт, что среднее количество перевозимых автоматической компонентой крови составляло 7 пакетов (средняя потребность клиник). Данный объем способен транспортировать и БПЛА, в то время как автомашину целесообразнее использовать в других целях.

Проблемным остается вопрос, насколько безопасно использовать дроны в медицинских целях, потому что еще не накоплен достаточный опыт использования летательных аппаратов данного типа. Так, несмотря на надежность современных БПЛА, необходимо предусмотреть дополнительную систему страхования и безопасного приземления перевозимого груза и самого дрона. Для этого могут использоваться парашютные системы, срабатывающие при остановке двигателей. В то же время при случайном отсоединении контейнера возможно вытекание биологических жидкостей. Для предотвращения данной ситуации кровь в транспортировочном контейнере необходимо помещать в упаковку с абсорбирующим материалом, способным быстро поглотить вытекающий перевозимый

материал и не допустить его попадания в почву или воду. Кроме того, необходимо контролировать соблюдение температурного режима транспортируемых компонентов крови или медикаментов, что может быть достигнуто установкой в термоконтейнерах дополнительных температурных датчиков с возможностью дистанционного мониторинга. В настоящее время указанные проблемы можно решить достаточно легко.

Немаловажным фактором является и создание нормативной правовой базы использования БПЛА в медицинских целях в различных территориальных условиях, особенно в пределах города. Построение маршрутов БПЛА должно осуществляться в соответствии с уже разработанными законодательными требованиями, с учетом расположения бесполетных зон и выполнения полетов над местами наименьшего скопления людей и транспорта.

Проведенный эксперимент является первым исследованием по оценке безопасности транспортировки компонентов крови с помощью БПЛА в России. Надеемся, что схема проведенного эксперимента будет использована при проведении экспериментов с использованием других классов дронов для транспортировки иных компонентов крови, а также другого биологического материала и медицинских изделий.

Выводы

1. Пилотное исследование продемонстрировало пригодность использования в клинической практике лейкоцедурированной эритроцитной взвеси после ее транспортировки БПЛА роторного типа – минимальные изменения её свойств не превышали таковые при транспортировке наземным транспортом.
2. Результаты исследования показали, что доставка компонентов крови и других медицинских препаратов дронами в условиях мегаполиса может осуществляться значительно быстрее и является экономически более эффективной по сравнению с их транспортировкой автомобильным транспортом.
3. Необходимо проведение дальнейших исследований для оценки возможности использования БПЛА и дронов вертолетного и самолетного типов для транспортировке указанных и других компонентов крови.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Balasingam M. Drones in Medicine – the Rise of the Machines. Int. J. Clin. Pract. 2017;71:e12989.
2. Bhatt K., Pourmand A., Sikka N. Targeted Applications of Unmanned Aerial Vehicles (Drones) in Telemedicine. Telemed. J. E. Health. 2018;24:833–838.
3. Amukele T.K., Sokoll L.J., Pepper D., et al. Can Unmanned Aerial Systems (Drones) Be Used for the Routine Transport of Chemistry, Hematology, and Coagulation Laboratory Specimens? PLoS One. 2015;10:e0134020.
4. Van de Voorde P., Gautama S., Momont A., et al. The Drone Ambulance [A-UAS]: Golden Bullet or Just a Blank? Resuscitation. 2017;116:46–48.
5. Look! Up in the Sky! It's a Bird. It's a Plane. It's a Medical Drone! Lancet Haematol. 2017;4;2:56.
6. Claesson A., Bäckman A., Ringh M., et al. Time to Delivery of an Automated External Defibrillator Using a Drone for Simulated Out-of-Hospital Cardiac Arrests vs Emergency Medical Services. JAMA. 2017;317;22:2332–2334.
7. Claesson A., Fredman D., Svensson L., et al. Unmanned Aerial Vehicles (Drones) in Out-of-Hospital-Cardiac-Arrest. Scand. J. Trauma Resusc. Emerg. Med. 2016;24;1:124–132.
8. Ling G., Draghic N. Aerial Drones for Blood Delivery. Transfusion. 2019;59;S2:1608–1611.
9. Amukele T., Ness P.M., Tobian A., et al. Drone Transportation of Blood Products. Transfusion. 2017;57;3:582–588.
10. Keshgegian A.A., Bull G.E. Evaluation of a Soft-Handling Computerized Pneumatic Tube Specimen Delivery System. Effects on Analytical Results and Turnaround Time. Am. J. Clin. Pathol. 1992;97;4:535–540.
11. Boutilier J.J., Brooks S.C., Janmohamed A., et al. Optimizing a Drone Network to Deliver Automated External Defibrillators. Circulation. 2017;135;25:2454–2465.

Материал поступил в редакцию 20.06.22; статья принята после рецензирования 12.09.22; статья принята к публикации 23.09.22
The material was received 20.06.22; the article after peer review procedure 12.09.22; the Editorial Board accepted the article for publication 23.09.22