

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭРИТРОЦИТОВ ПРИ ИХ ХРАНЕНИИ

© 2021 г. А. К. Евсеев¹*, А. И. Колесникова¹, И. В. Горончаровская¹, Е. В. Трусова¹, А. И. Костин¹,
А. К. Шабанов¹, М. М. Гольдин², С. С. Петриков¹

¹Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского
Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, 129090 Россия

²Колледж Глен Окс Коммьюнити, MI 49032, Центerville, США

*E-mail: anatolevseev@gmail.com

Поступила в редакцию 22.05.2021 г.

После доработки 01.06.2021 г.

Принята к публикации 16.06.2021 г.

С помощью электрохимического метода, основанного на использовании оптически прозрачного рабочего электрода, было показано, что в условиях гипотермического (4°C) хранения эритроцитов происходит снижение степени обратимости изменения их формы при воздействии постоянного электрического тока. При катодной поляризации оптически прозрачного рабочего электрода (–0.5 В) доля эритроцитов, перешедших в сфероэритроциты, снизилась с $99.6 \pm 0.4\%$ (1-е сут) до $42.8 \pm 14.5\%$ (42-е сут) ($p < 0.05$), а при анодной поляризации (1.2 В) доля эритроцитов, перешедших в стоматоциты, снизилась с $80.6 \pm 6.7\%$ (1-е сут) до $35.4 \pm 5.6\%$ (42-е сут) ($p < 0.05$). На поздних сроках хранения в образцах наблюдали увеличение числа клеток, подвергавшихся разрушению в условиях воздействия постоянного электрического тока, наличие которых в переливаемой эритроцитарной взвеси может приводить к увеличению свободного гемоглобина в крови реципиента после трансфузии. Полученные результаты могут лечь в основу разработки новых методов оценки качества компонентов крови.

Ключевые слова: оптически прозрачный электрод, оксид индия–олова, эритроцит, деформируемость, морфология

DOI: 10.31857/S0041377121050035

Электрохимические методы, благодаря своей эффективности, простоте и гибкости широко используются не только в различных областях промышленности, но и находят свое применение в медицине и биологии (Djokić, 2016). Особого внимания заслуживают исследования поведения живых клеток при контакте с чужеродными заряженными материалами, позволяющие расширить представление о процессах функционирования клеток. Начиная с 50-х гг. прошлого века, проводились многочисленные исследования взаимодействия клеток с электропроводными материалами (например, платиной, золотом, стеклоуглеродом, активированным углем), результатом которых стало описание электрохимической природы ряда фундаментальных процессов (тромбогенеза, адгезии и пролиферации клеток) (Sawyer, 1983; Kojima et al., 1991), а также разработка принципов оценки гемосовместимости материалов (Sawyer, 1984).

Выйти на качественно новый уровень в данных исследованиях позволило внедрение оптически прозрачных электродов, используемых преимуще-

ственно при производстве жидкокристаллических дисплеев и солнечных батарей (Ellmer, 2012). При этом, в качестве оптически прозрачных электродов могут применяться как классические металлические электроды, например, тонкие слои серебра или меди (Bi et al., 2019), так и нанесенные на прозрачную подложку другие электропроводные материалы: углеродные нанотрубки (López-Naranjo et al., 2016), оксид графена (Woo, 2019), электропроводные полимеры (Hofmann et al., 2018). Однако наибольшее распространение получили оптически прозрачные электроды на основе оксидов индия и олова (ITO) (Cao et al., 2014; Afre et al., 2018), обладающие достаточно высоким светопропусканием (80–95%) при относительно низком сопротивлении ($10\text{--}50 \text{ Ом/см}^2$) (Cao et al., 2014).

Благодаря возможности визуализации функционирования клеток в условиях их контакта с поверхностью заряженного электрода, было показано влияние потенциала оптически прозрачного электрода на морфологию и рост живых клеток HeLa (Yaoita et al., 1990), морфологию эндотелиальных клеток бычьей аорты (Wong et al., 1994), а также на способность к

Принятые сокращения: ITO – indium tin oxide