

життєво важливих органів та неефективністю навіть таргетованої терапії.

Висновки. Використання тромбоеластографії (TEG/ROTEM) у діагностиці та лікуванні коагулопатії при бойовій травмі дозволяє швидко і точно виявити порушення згортання крові, зокрема ті, які не визначаються за допомогою стандартних лабораторних тестів. Застосування цього підходу забезпечує персоналізовану та патогенетично обґрунтовану гемостатичну терапію, що сприяє зменшенню обсягів трансфузій, скороченню часу до стабілізації гемостазу та зниженню летальності. Отримані результати свідчать про доцільність включення TEG/ROTEM у стандарти надання медичної допомоги при бойовій травмі, зокрема на етапах стабілізації та первинної хірургічної обробки.

Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка алгоритмів інтеграції тромбоеластографії у телемедичну підтримку та навчання персоналу мобільних стабілізаційних груп.

Список використаної літератури

1. O'Hara, J. et al. (2020). "The role of thromboelastography in trauma care: From diagnosis to treatment." Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 88(3), 510-518.
2. Borchardt, M. et al. (2020). "Thromboelastography as a diagnostic tool for trauma-induced coagulopathy: A review of its applications in military medicine." Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 89(4), 768-776.
3. Jouppila, J. et al. (2018). "Clinical applications of thromboelastography in trauma patients." International Journal of Emergency Medicine, 11(1), 52-59.
4. Schöchl, H., et al. (2011). "Thromboelastography-guided hemostatic therapy in trauma patients." The Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 70(5), 1053-1060.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕКЗОСОМ В ТЕРАПІЇ МЕЛАНОМИ

Старченко К.В., здобувачка освітньої програми «Медицина»

Шкуропат А.В., канд. біол. наук, доцентка

Херсонський державний університет, Херсон – Івано-Франківськ, Україна

Анотація. Позаклітинні везикули – екзосоми – приймають участь у міжклітинній комунікації та транспорті біологічно активних молекул. Екзосоми виявили себе як перспективний засіб доставки ліків у мікрооточення пухлин. Окрім того, екзосоми, що виділяють самі пухлинні клітини, може слугувати прогностичним маркером відгуку на терапію при онкопатологіях.

Ключові слова: екзосоми, меланома, онкопатологія, наномедицина, культури клітин.

Вступ. Меланома є серйозним викликом сучасній онкології як одна з найбільш агресивних форм раку шкіри через свою здатність до метастазування та резистентність до традиційної терапії [1-5]. У зв'язку з цим виникає потреба



у розробці новітніх, ефективніших та більш специфічних терапевтичних стратегій. Одним із перспективних напрямів сучасної наномедицини є використання екзосом — позаклітинних везикул, що беруть участь у міжклітинній комунікації та здатні транспортувати біологічно активні молекули [2-4]. В попередніх дослідженнях екзосоми виявили себе як перспективний засіб доставки лікарських препаратів саме до пухлинних клітин, впливу на імунну систему для посилення її здатності знищувати ракові клітини та подолання стійкості пухлин до лікування [6]. Їхнє застосування у лікуванні меланоми відкриває нові терапевтичні можливості.

Мета та завдання дослідження. Метою даної роботи є аналіз сучасних підходів до використання екзосом у лікуванні меланоми, оцінка їхньої терапевтичного потенціалу як самостійних агентів та платформ для доставки протипухлинних препаратів, а також визначити ключові перспективи та виклики впровадження екзосом у клінічну онкотерапію.

Матеріал і методи дослідження. У роботі ми проаналізували публікації за останні 5 років, що містилися у базі даних PubMed за ключовими словами «меланома», «екзосоми».

Результати дослідження та їх обговорення. Екзосоми, завдяки своїй природній біосумісності, низькій імуногенності та здатності долати такі фізіологічні бар'єри, як гематоенцефалічний або міжтканинний простори, є надзвичайно ефективними носіями терапевтичних засобів. Їхня структура дозволяє інтегрувати в них широкий спектр біологічно активних молекул, включаючи ліки, siРНК (малі інтерферуючі РНК), miРНК (мікроРНК), імуномодулюючі молекули, білки та ліпіди, що забезпечує можливість індивідуалізованої доставки без істотного ризику імунної реакції. Екзосоми не лише ефективно транспортують фармакологічні агенти до пухлинних клітин, але й самі можуть виявляти протипухлинну активність [7].

Одним із найбільш перспективних джерел терапевтичних екзосом вважаються природні кілерні клітини (NK-клітини), які відіграють ключову роль у природному імунному захисті від пухлин. Так, наприклад, Liya Zh та ін. у дослідженні впливу екзосом, отриманих із клітинної лінії NK-92, продемонстрували високу здатність останніх стимулювати апоптоз в клітинах меланоми B16F10 *in vitro*. Дослідження вмісту екзосом, отриманих з NK показало високий вміст в останніх перфторинів та FasL – два функціональних білки NK, що зумовлює їх цитотоксичність [4]. Наявність в екзосомах молекул FasL, перфोरину та TNF- α активують каскад загибелі пухлинних клітин. Крім того, результати дослідів *in vivo* на мишах показали істотне зменшення розмірів пухлин після введення NK-екзосом, що підтверджує їхній високий потенціал як агентів імунотерапії для лікування меланоми [4].

Серед інноваційних підходів у комбінованій терапії меланоми привертає увагу стратегія поєднання екзосом з фотосенсибілізаторами — речовинами, що активуються світлом і запускають руйнування пухлинних клітин. У одному із досліджень було розроблено систему доставки, що базується на полімерних



екзосомах, які інкапсулюють комплекси іридію (Ir(III)) та заліза (Fe(III)). Після активації світлом ці комплекси утворюють синглетний кисень — високореактивну форму кисню, яка пошкоджує клітини, та ініціюють фєроапоптоз — форму клітинної смерті, пов'язану з порушенням метаболізму заліза [6]. Такий підхід допомагає подолати типові недоліки фотодинамічної терапії, зокрема її недостатню вибірковість і обмежену здатність проникати в глибокі тканини.

В іншому дослідженні продемонстровано ефективність гібридної системи IHLE, яка об'єднує екзосоми з двома активними компонентами — геміном і фотосенсибілізатором IR780 [1]. Така система забезпечує подвійний терапевтичний ефект: по-перше, вона спричиняє апоптоз і фєроапоптоз — форми запрограмованої загибелі пухлинних клітин; по-друге, впливає на мікрооточення пухлини, зокрема активує імуногенну клітинну смерть, що стимулює імунну систему до розпізнавання та знищення ракових клітин. Отже, дана стратегія підтверджує високу функціональну гнучкість екзосом і їхню придатність для мультимодального підходу до лікування меланоми.

Особливої уваги заслуговують екзосоми, що утворюються в умовах гіпоксії — зниженого вмісту кисню, характерного для багатьох злоякісних пухлин. Такі гіпоксично-індуковані екзосоми активують ангіогенез — процес утворення нових судин, що забезпечує пухлину поживними речовинами. Водночас вони сприяють імунній втечі, тобто здатності пухлини уникати імунного нагляду, а також підвищують стійкість клітин до радіотерапії (радіорезистентність) [2]. Завдяки цим властивостям, гіпоксичні екзосоми можуть використовуватися як біомаркери агресивності пухлини, а також як потенційні терапевтичні мішені для новітніх протипухлинних підходів.

Одним із перспективних напрямів сучасної онкоімунології є створення протипухлинних вакцин з використанням екзосом. Було розроблено вакцину під назвою eNVs-FAP, основу якої становлять екзосоми, отримані з генетично модифікованих CAF-клітин (рак-асоційованих фібробластів) [3]. Ця вакцина спрямована на активацію цитотоксичних Т-лімфоцитів — клітин, здатних безпосередньо знищувати пухлинні клітини. Крім того, вакцина впливає на імуносупресивне мікрооточення пухлини, перепрограмовуючи його таким чином, щоб воно більше не перешкоджало активній імунній відповіді. Це робить екзосомальні вакцини багатообіцяючим інструментом для імунотерапії меланоми.

Висновки. Отже, екзосоми мають великий потенціал як у ролі самостійних засобів лікування, так і як носії для прицільної доставки ліків до пухлинних клітин. Застосування екзосом при меланомі дозволяє ефективніше долати проблеми, пов'язані з розвитком резистентності до ліків та виникненням небажаних побічних реакцій, а також відкриває шлях до персоналізованої терапії, що враховує біологічні характеристики конкретної пухлини. У майбутньому важливо зосередити увагу на покращенні методів виділення і очищення екзосом, вивченні їхнього складу як потенційних біомаркерів, а



також розробці безпечних і ефективних способів їхнього клінічного застосування.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку. В подальшому планується поглиблення аналізу ефективності використання екзосом у доставці хіміотерапевтичних препаратів до меланом різних типів.

Список використаної літератури

1. Zhou H., Zhu Ch., Li Y., et al, Exosome/liposome hybrid nanovesicles for enhanced phototherapy and boosted anti-tumor immunity against melanoma, European Journal of Medicinal Chemistry. 2025;289:117485. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2025.11748>
2. Singh M, Agarwal Sh, Agarwal V, et al, Current theranostic approaches for metastatic cancers through hypoxia-induced exosomal packaged cargo, Life Sciences. 2021;286:120017. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.120017>
3. Hu Sh., Ma J., Su Ch., et al. Engineered exosome-like nanovesicles suppress tumor growth by reprogramming tumor microenvironment and promoting tumor ferroptosis, Acta Biomaterialia, 2021;135:567-581. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2021.09.003>
4. Zhu L., Kalimuthu S., Gangadaran P., et al. Exosomes Derived From Natural Killer Cells Exert Therapeutic Effect in Melanoma. Theranostics. 2017;7(10):2732–2745. <https://doi.org/10.7150/thno.18752>
5. Шкурпат А. В., Швець В. А., Головченко І. В., Просяннікова Ю. М. Вплив біологічно активних речовин на функцію синтезу та клітинну деструкцію гепатоцитів in vitro. Physiological Journal/Fiziologichniy Zhurnal. 2022;68 (5). DOI: 10.15407/fz68.05.060
6. Feng T., Tang Z., Karges J., et al. Exosome camouflaged coordination-assembled Iridium(III) photosensitizers for apoptosis-autophagy-ferroptosis induced combination therapy against melanoma. Biomaterials 2023;301:122212. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2023.122212>
7. Das A., Sonar S., Dhar R., et al., Exosomes in melanoma: Future potential for clinical theranostics, Pathology - Research and Practice. 2025;269:155950. <https://doi.org/10.1016/j.prp.2025.155950>

БІОМАРКЕРИ МАЙБУТНЬОГО: НОВІ МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА КОНТРОЛЮ СТАРІННЯ

Степанова Ольга, магістрантка

Должикова Олена, доктор фарм. наук, професор

Херсонський державний університет, Херсон – Івано-Франківськ, Україна

Анотація. У роботі проаналізовано найбільш валідовані біомаркери старіння, їх специфічність, механізми дії та клінічну значущість. Виділено маркери, які найактивніше використовуються в експериментальній та клінічній

