

# Інтраопераційне опромінення трансфузійної еритроцитарної маси при трансплантації частини печінки від живого родинного донора

О. Г. Котенко<sup>id A,E,F</sup>, Н. І. Мисинчук<sup>id A-F</sup>, О. С. Сілаєва<sup>id D,E</sup>, В. П. Ващишин<sup>id D,E</sup>, Н. Ю. Диховична<sup>id B,C</sup>,  
О. В. Шараров<sup>id B,C</sup>, А. О. Матвієнків<sup>id B,C</sup>, О. О. Баканичев<sup>id B,C,E,F</sup>

Медичний центр «Універсальна клініка «Оберіг», м. Київ, Україна

А – концепція та дизайн дослідження; В – збір даних; С – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; Е – редагування статті;  
F – остаточне затвердження статті

**Мета роботи** – вивчити результати інтраопераційного опромінення трансфузійної еритроцитарної маси при трансплантації частини печінки від живого родинного донора. Описати клінічний випадок використання інтраопераційного опромінення еритроцитарної маси при трансплантації частини печінки від живого родинного донора у пацієнта з гепатоцелюлярною карциномою та оцінити ефективність цього підходу для зменшення післяопераційних ускладнень.

**Матеріали і методи.** У наведеному клінічному випадку здійснено трансплантацію частини печінки пацієнту з гепатоцелюлярною карциномою. Під час оперативного втручання для запобігання виникненню ускладнень від масивної гемотрансфузії чужорідної крові використано аутологічну еритроцитарну масу, яку попередньо відмили за допомогою cell-saver та опромінили дозою 50 Гр за допомогою лінійного прискорювача.

**Результати.** У післяопераційному періоді не зафіксовано прояви гострої дихальної недостатності, не виникла потреба в кисневій чи СРАР-терапії. У ранньому післяопераційному періоді не визначено показання до трансфузії чужорідної еритроцитарної маси. У ранньому післяопераційному періоді не було проявів дисфункції трансплантату. Найвищий рівень печінкових маркерів лабораторно визначено у пізньому післяопераційному періоді.

**Висновки.** Інтраопераційне опромінювання трансфузійної еритроцитарної маси при трансплантації печінки у реципієнта з гепатоцелюлярною карциномою дало змогу запобігти виникненню післяопераційних ускладнень, що пов'язані з масивною гемотрансфузією чужорідної крові (гостра дихальна недостатність і гостре ураження легень (TRALI), рання дисфункція графту). Як оптимальну визначено дозу опромінення 50 Гр – компроміс між необхідністю забезпечити повну інактивацію пухлинних клітин і збереженням функціональних властивостей еритроцитів.

## Ключові слова:

трансплантація печінки, масивна гемотрансфузія, опромінення крові, cell-saver, відмиті еритроцити.

## Запорізький

медичний журнал.  
2025. Т. 27, № 3(150).  
С. 251-255

## Intraoperative irradiation of transfused red blood cells during living donor liver transplantation using a portion of the liver

O. H. Kotenko, N. I. Mysynchuk, O. S. Silaieva, V. P. Vashchysyn, N. Yu. Dykhovychna,  
O. V. Sharapov, A. O. Matvienkiv, O. O. Bakanychev

**Aim.** To study the results of intraoperative irradiation of transfused erythrocytes during liver donor liver transplantation. To describe a clinical case of the intraoperatively irradiated erythrocyte use during liver donor liver transplantation in a patient with hepatocellular carcinoma and to evaluate the effectiveness of this approach in reducing postoperative complications.

**Materials and methods.** In this clinical case, a part of the liver was transplanted to the patient with hepatocellular carcinoma. During surgery, in order to avoid complications from massive whole blood transfusion, autologous erythrocyte mass was used after previous washing using a cell-saver machine and irradiation with a dose of 50 Gy performed on a linear accelerator.

**Results.** There were neither signs of acute respiratory failure, nor use of oxygen or continuous positive airway pressure therapy in the postoperative period. No indications for transfusion of foreign red blood cells were found as well as no signs of graft dysfunction were noted in the early postoperative period. The highest level of liver markers was observed laboratory in the late postoperative period.

**Conclusions.** The use of intraoperatively irradiated transfused red blood cells in liver transplantation for the recipient with hepatocellular carcinoma allowed for the prevention of postoperative complications associated with massive foreign blood transfusion such as acute respiratory failure or transfusion-related acute lung injury and early graft dysfunction. An optimal radiation dose is 50 Gy as a compromise between the need to ensure complete inactivation of tumor cells and preserve the functional properties of erythrocytes.

## Keywords:

liver transplantation, massive blood transfusion, blood irradiation, cell saver technique, washed erythrocytes.

## Zaporizhye

Medical Journal.  
2025;27(3):251-255

В останні роки визначають тенденцію до поширення операцій з трансплантації печінки від живого родинного донора та від донора-трупа. Вживаність пацієнтів після трансплантації печінки істотно залежить від періопераційного анестезіологічного менеджменту. Трансплантація печінки пов'язана з великою інтраопераційною крововтратою, що виникає внаслідок коагулопатії та синдрому портальної гіпертензії, ендотеліальної дисфункції, бактеріальної інфекції та ниркової недостатності [1].

Інтраопераційне переливання крові впливає на виживаність пацієнта у післяопераційному періоді. У ретроспективному аналізі, що здійснили A. Rana et al. [2], показано: інтраопераційне введення еритроцитарної маси у великому об'ємі є значущим предиктором ранньої післяопераційної смертності. Переливання чужорідної донорської еритроцитарної маси під час операції може спричинити або посилювати дисфункцію трансплантату в ранньому післяопераційному періоді [3]. Крім того, внаслідок переливання компонентів крові є ризик розвитку гострого ураження легень і некардіогенного набряку легень (transfusion-related lung injury, TRALI), що може зумовити необхідність інтубації трахеї та потребу у штучній вентиляції легень [4].

Використання інтраопераційного відновлення власних еритроцитів реципієнта (intraoperative red blood cell salvage) суттєво зменшує потребу в гетерогенній трансфузії та дає змогу запобігти виникненню ускладнень, а також може зменшити вартість виконання процедури [5].

Відомо, що онкологічні захворювання, виявлені в пацієнтів, можуть обмежувати використання методу інтраопераційного відновлення еритроцитів. Одна з основних проблем такого підходу в онкологічних хворих – імовірність потрапляння пухлинних клітин із хірургічного поля по відсмоктувачу до системи аутотрансфузії cell-saver. Це створює ризик системної дисемінації пухлинних клітин, що потенційно може спричинити виникнення метастазів або рецидив захворювання. Втім, нині це не є абсолютним протипоказанням до використання методу, але сучасна база доказів обмежена за обсягом і якістю даних, тому доцільним є здійснення великих рандомізованих контрольованих досліджень [6].

Вирішенню цієї проблеми сприяє інтраопераційне опромінення відновлених еритроцитів під час хірургічного втручання. Опромінення дає змогу ефективно інактивувати метастатичні клітини, забезпечуючи безпечно повернення аутологічної еритроцитарної маси пацієнту та запобігаючи потенційним ускладненням, що пов'язані з масивною трансфузією та гетерогенною трансфузією. Іонізуюче випромінювання спричиняє незворотні пошкодження ДНК пухлинних клітин, у такий спосіб роблячи неможливим їхнє розмноження і функціонування. Це робить метод оптимальним для забезпечення максимальної безпеки пацієнта під час переливання.

## Мета роботи

Вивчити результати інтраопераційного опромінення трансфузійної еритроцитарної маси при трансплантації частини печінки від живого родинного донора. Описати клінічний випадок використання інтраопераційного опромінення еритроцитарної маси при трансплантації частини печінки від живого родинного донора у пацієнта

з гепатоцелюлярною карциномою та оцінити ефективність цього підходу для зменшення післяопераційних ускладнень.

## Матеріали і методи дослідження

Метод опромінення крові не є експериментальним, його вже понад десятиліття використовують у провідних клініках світу, що підтверджено відомостями фахової літератури.

Відомо, що пухлинні клітини, як і всі еукаріотичні клітини, є вразливими до радіаційного впливу [7]. Гамма-випромінювання пошкоджує структури ДНК, спричиняючи втрату здатності клітин до реплікації. Для більшості пухлинних клітин доза, необхідна для зменшення кількості життєздатних клітин до 37 %, становить від 1,2 Гр до 2,2 Гр. При дозі 50 Гр спостерігають більш ніж 10-логарифмічне зниження кількості життєздатних клітин, тобто їхня кількість зменшується до рівня, що майже виключає ризик рецидиву [8]. Крім того, після опромінення в жодній клітині не виявляють залишкової метаболічної активності ДНК, що свідчить про повну інактивацію. Оскільки середній рівень кисню у крові становить майже 170 мм рт. ст., це забезпечує достатню оксигенацію для непрямого ефекту від опромінення. Тому такі умови є оптимальними для досягнення високої ефективності методу.

Доведено, що оптимальною дозою опромінення є 50 Гр як компроміс між необхідністю забезпечити повну інактивацію пухлинних клітин і збереженням функціональних властивостей еритроцитів [8]. Ця доза дає змогу досягти необхідного рівня знищення клітин без шкоди для еритроцитів, які не мають ядра, і тому не зазнають прямого впливу радіації. Ключові біохімічні параметри еритроцитів, як-от рівні АТФ і 2,3-Bisphosphoglyceric acid, залишаються стабільними, а гемоліз не перевищує нормальних рівнів, що визначають під час звичайного зберігання крові.

У практичному аспекті доза 50 Гр є достатньою для обробки великих об'ємів крові в короткий термін. Сучасні гамма-опромінювачі забезпечують рівномірне опромінення крові, сприяючи покращенню безпеки процедури. Зауважимо, що поділ об'єму крові для опромінення на менші порції додатково покращує ефективність.

Отже, використання дози 50 Гр для опромінення крові є ефективним, безпечним і практичним заходом, що сприяє зменшенню ризику рецидиву пухлини при внутрішньоопераційній аутотрансфузії та значно покращує якість медичної допомоги онкологічним пацієнтам.

Для опромінення пакетів із кров'ю в МЦ «Універсальній клініці «Оберіг» (м. Київ) використано лінійний прискорювач TrueBeam 2.7. Доступні енергії для опромінення – 6 MV, 6 MV FFF, 10 MV та 10 MV FFF.

Оскільки необхідно рівномірно опромінити весь об'єм крові, то для достатнього опромінення приповерхневого шару для додаткового розсіяння використано фантом IBA MiniPhantom із порожниною всередині, в який поміщали пакет із кров'ю (рис. 1).

Пакет може мати різний рівень наповнення та неточність положення, тому потрібно розширити зону опромінення, враховуючи названі джерела геометричних похибок (рис. 2).

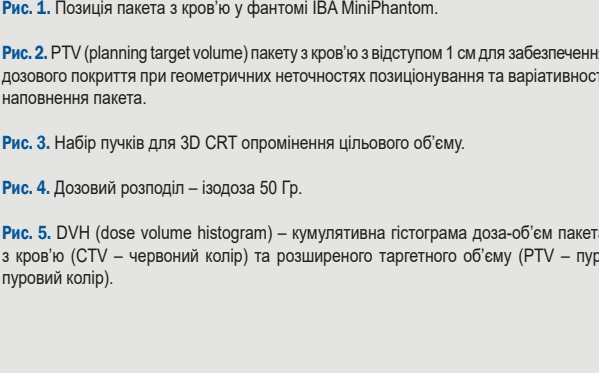
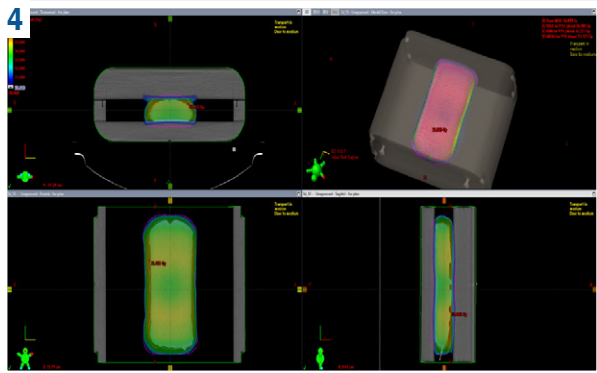
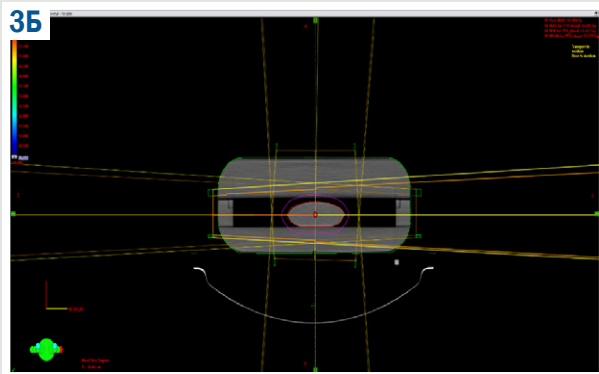
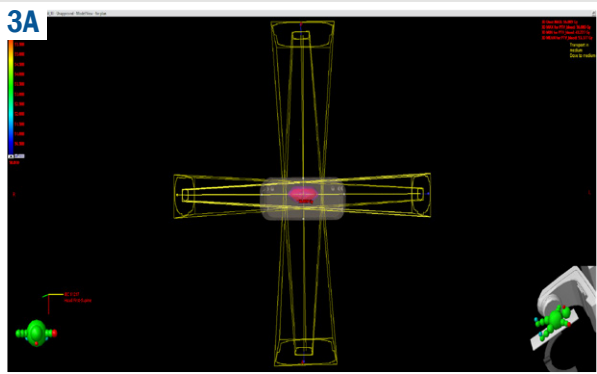
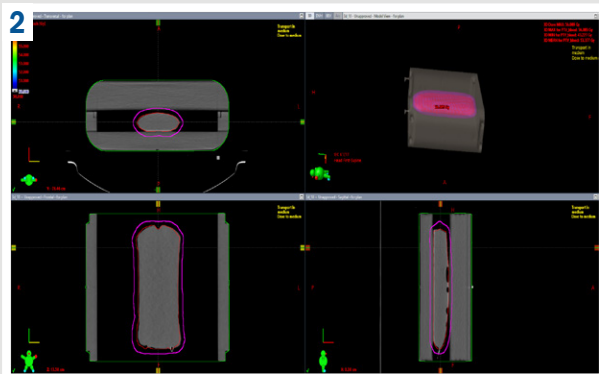
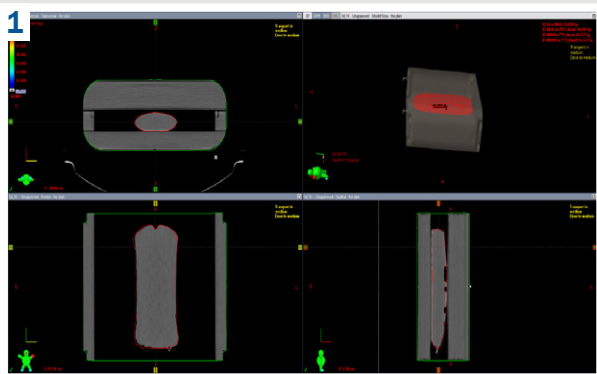


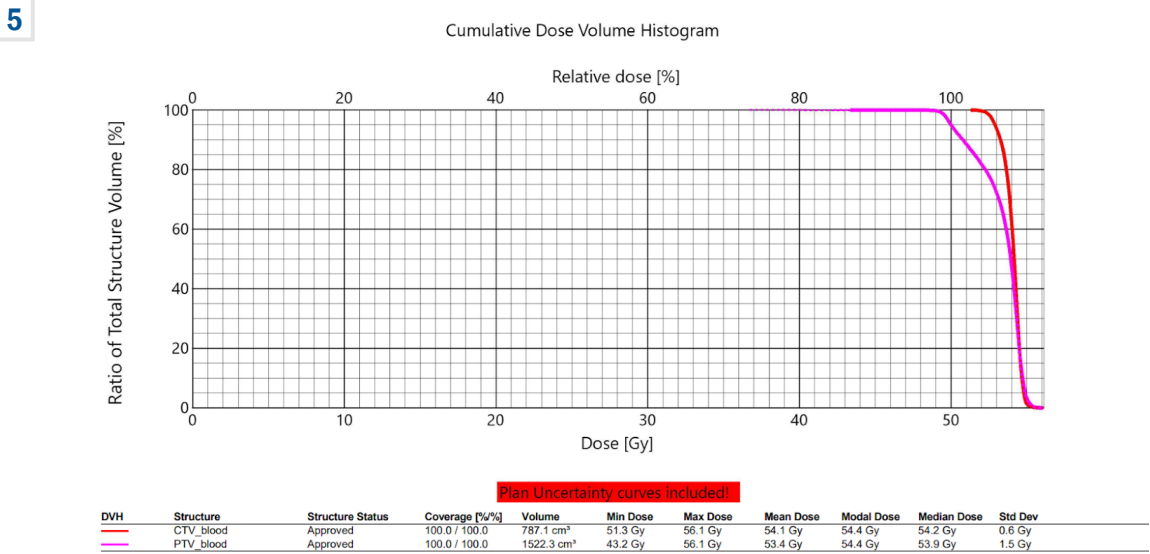
Рис. 1. Позиція пакета з кров'ю у фантомі IBA MiniPhantom.

Рис. 2. PTV (planning target volume) пакету з кров'ю з відступом 1 см для забезпечення дозового покриття при геометричних неточностях позиціонування та варіативності наповнення пакета.

Рис. 3. Набір пучків для 3D CRT опромінення цільового об'єму.

Рис. 4. Дозовий розподіл – ізодоза 50 Гр.

Рис. 5. DVH (dose volume histogram) – кумулятивна гістограма доза-об'єм пакету з кров'ю (CTV – червоний колір) та розширеного таргетного об'єму (PTV – пурпуровий колір).



**Таблиця 1.** Лабораторна динаміка гемоглобіну в загальному аналізі крові та лактату в газах венозної крові

| Показник, одиниці вимірювання | 27.11.2024<br>(перший післяопераційний день) | 30.11.2024 | 27.01.2025<br>(амбулаторне спостереження) |
|-------------------------------|----------------------------------------------|------------|-------------------------------------------|
| Гемоглобін, g/L               | 114                                          | 101        | 105                                       |
| Лактат, mmol/L                | 4,1                                          | 1,7        | 0,9                                       |

**Таблиця 2.** Лабораторна динаміка печінкових маркерів

| Показник, одиниці вимірювання | 27.11.2024 | 30.11.2024 | 16.12.2024 | 27.01.2025 |
|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Білірубін загальний, umol/L   | 108        | 131        | 222        | 32         |
| Білірубін прямий, umol/L      | 36         | 62         | 174        | 24         |
| АЛТ, U/L                      | 263        | 126        | 488        | 53         |
| АСТ, U/L                      | 197        | 67         | 366        | 51         |

Для рівномірного опромінення використано енергію 10 MV, оскільки вона має більшу проникну здатність і менших спад дози з глибиною та глибший пік Брега ( $\approx 2,2$  см). План опромінення складався в чотирьох 3D CRT полів з кутами  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  та  $270^\circ$  Гентрі (рис. 3).

Поля опромінення містили таку кількість моніторних одиниць (MU): поле  $180^\circ$  – 1779 MU, поле  $270^\circ$  – 969 MU, поле  $0^\circ$  – 1930 MU, поле  $90^\circ$  – 970 MU.

Результуючий дозовий розподіл з ізодозою 50 Гр наведено на рис. 4.

DVH (dose volume histogram) для об'єкта опромінення та його розширеного об'єму наведено на рис. 5.

## Результати

Клінічний випадок опромінення еритроцитарної маси реципієнта. Хворий віком 42 роки звернувся в МЦ «Універсальна клініка «Оберіг» (м. Київ) у зв'язку з верифікованим новоутворенням печінки за даними інструментальних (МРТ органів черевної порожнини з контрастним підсиленням) та гістологічних (трепанбіопсія печінки – гепатоцелюлярна карцинома G1) методів досліджень. Під час дообстеження у хворого виявлено хронічний вірусний гепатит В (HBsAg+, PCR HBV DNA+).

Для онкологічного стадіювання та через припущення про можливий цироз печінки хворому виконано діагностичну лапароскопію. Інтраопераційно верифіковано білобарну гепатоцелюлярну карциному печінки на фоні мікронодулярного цирозу печінки.

Призначено мультидисциплінарний онкологічний консиліум.

Клінічний діагноз: гепатоцелюлярна карцинома з мультифокальним білобарним ураженням печінки pT3N0M0, стадія III, кл. гр. 2 на фоні цирозу печінки вірусної етіології (HBV, PCR DNA+), клас B за Child–Pugh; епілепсія, тоніко-клонічні напади з невідомим початком середньої частоти.

Рішенням консиліуму: за рекомендаціями NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology (NCCN Guidelines®) Hepatocellular Carcinoma Version: 2.2024 рекомендовано оперативне втручання в обсязі ортотопічної трансплантації частки печінки від живого родинного донора.

Усі медичні втручання, включаючи трансплантацію та опромінення крові, здійснили відповідно до загальноприйнятих клінічних стандартів і принципів біоетики, що підтверджено протоколом № 112 від 24.04.2025 року

засідання Комісії з питань біоетики Медичного центру «Універсальна клініка «Оберіг» ТОВ «Капітал». Пацієнт надав письмову інформовану згоду на виконання трансплантації з використанням методу опромінювання трансфузійної еритроцитарної маси, а також на використання анонімних клінічних даних для наукових публікацій.

Як донора обстежено брата пацієнта, заплановано оперативне втручання. Трансплантацію лівої частки печінки від брата здійснено 26.11.2024 року. Під час оперативного втручання у реципієнта печінки інтраопераційна крововтрата становила приблизно 3200 мл. За допомогою системи аутоотрансфузії отримано та відміто чотири дози еритроцитарної маси у сумарному об'ємі 2666 мл з гематокритом 78–79 %. Кожна з доз еритроцитарних мас опромінена впродовж 15 хв дозою 50 Гр у відділенні променевої терапії за методикою, що описана. Після цього еритроцитарну масу повертали до операційної, виконували трансфузію пацієнтові. Крім того, виконували трансфузію свіжозамороженої плазми та концентрату фібриногену, керуючись результатами, що одержали з використанням віскоеластичних методів оцінювання коагуляції (ClotPro).

Пацієнт перебував у відділенні анестезіології та реанімаційної терапії впродовж 14 днів після трансплантації печінки. У післяопераційному періоді не зафіксовано прояви гострої дихальної недостатності, не виникла потреба в кисневій чи СРАР-терапії. У ранньому післяопераційному періоді не було показань до трансфузії чужорідної еритроцитарної маси (табл. 1).

У ранньому післяопераційному періоді не виявлено ознаки дисфункції трансплантату. Найвищий рівень печінкових маркерів лабораторно зафіксовано у пізньому післяопераційному періоді (табл. 2).

Пацієнт виписаний зі стаціонару 30.12.2024 року у задовільному стані.

## Обговорення

Результати, що зафіксовані в цьому клінічному випадку, показали: інтраопераційне опромінення еритроцитарної маси при трансплантації частини печінки від живого родинного донора є ефективним методом, що сприяє покращенню перебігу післяопераційного періоду в реципієнтів. Ці дані збігаються з результатами попередніх досліджень, під час яких виявили негативний вплив масивної гемотрансфузії донорської крові на функціонування трансплантату та загальну виживаність пацієнтів [2,3].

Інтраопераційне використання відмитих еритроцитів, щодо яких застосовували опромінення, також зменшує ризик виникнення ускладнень, як-от гострого ураження легень, індукованого трансфузією гетерологічної еритроцитарної маси (TRALI). Виникнення TRALI є одним із важливих факторів летальності після трансплантації [4]. Під час обстеження та лікування пацієнта не зафіксовано випадків TRALI або гострої дихальної недостатності, що підтверджує безпечність методу. Зазначимо також, що рівень післяопераційної анемії в клінічному випадку, що наведено, залишався в межах очікуваних показників, не виникла потреба у повторних трансфузіях донорської крові.

Ключовий аспект клінічного випадку – доведена ефективність дози 50 Гр для повної інактивації пухлин-

них клітин зі збереженням функціональних характеристик еритроцитів. Ці результати збігаються з даними інших авторів [8], які встановили: така доза не порушує біохімічні параметри еритроцитів, зокрема рівень АТФ і 2,3-BPG, які є критично важливими для їхнього нормального функціонування.

Крім медичних переваг, використання опромінених відмитих еритроцитів сприяє зниженню економічних витрат, пов'язаних із застосуванням гетерологічних гемотрансфузій. Зіставні дані наведено у фаховій літературі щодо економічної доцільності використання cell-saver у трансплантаційній хірургії [5].

Разом із тим, наведений клінічний випадок має певні обмеження. По-перше, це описове дослідження, і доцільними залишаються інтервенційні рандомізовані клінічні дослідження з достатньою вибіркою пацієнтів. По-друге, у межах цього дослідження не здійснювали тривале спостереження, і тому неможливо оцінити потенційний вплив застосованої методики на віддалену виживаність пацієнтів і ризик рецидиву пухлинного процесу. Отже, нові дослідження з залученням більшої кількості пацієнтів і довшим періодом спостереження є необхідними для підтвердження висновків, що зробили.

## Висновки

1. Інтраопераційне опромінювання трансфузійної еритроцитарної маси при трансплантації печінки у реципієнта з гепатоцелюлярною карциномою дало змогу запобігти виникненню післяопераційних ускладнень, що пов'язані з масивною гемотрансфузією чужорідної крові (гостра дихальна недостатність і гостре ураження легень (TRALI), рання дисфункція графту).

2. Як оптимальну визначено дозу опромінення 50 Гр – компроміс між необхідністю забезпечити повну інактивацію пухлинних клітин і збереженням функціональних властивостей еритроцитів.

3. Використання опроміненої еритроцитарної маси з cell-saver дає змогу зменшити економічну вартість процедури.

4. Позитивний досвід опромінювання еритроцитарної маси з cell-saver під час трансплантації печінки у реципієнта з гепатоцелюлярною карциномою підтверджує доцільність розширення використання цього методу під час великих хірургічних втручань в онкологічних пацієнтів.

## Фінансування

Дослідження здійснено без фінансової підтримки.

## Конфлікт інтересів:

Conflicts of interest: authors have no conflict of interest to declare.

Надійшла до редакції / Received: 24.03.2025

Після доопрацювання / Revised: 29.04.2025

Схвалено до друку / Accepted: 07.05.2025

## Відомості про авторів:

Котенко О. Г., д-р мед. наук, професор, зав. відділення хірургії печінки, підшлункової залози та трансплантації, МЦ «Універсальна клініка «Оберіг», м. Київ, Україна.  
ORCID ID: 0000-0001-8264-7374

Мисинчук Н. І., лікар-анестезіолог, МЦ «Універсальна клініка «Оберіг», м. Київ, Україна.

ORCID ID: 0000-0002-6318-2855

Сілаєва О. С., лікар з променевої терапії, лікар-онколог, керівник центру променевої терапії, МЦ «Універсальна клініка «Оберіг», м. Київ, Україна.

ORCID ID: 0000-0002-1044-4022

Вашишин В. П., медичний фізик, Президент Української асоціації медичних фізиків, МЦ «Універсальна клініка «Оберіг», м. Київ, Україна.

ORCID ID: 0009-0003-0005-1924

Диховична Н. Ю., PhD, лікар-анестезіолог, МЦ «Універсальна клініка «Оберіг», м. Київ, Україна.

ORCID ID: 0009-0003-5022-2963

Шарапов О. В., PhD, лікар-анестезіолог, МЦ «Універсальна клініка «Оберіг», м. Київ, Україна.

ORCID ID: 0009-0009-3867-336X

Матвієнкі А. О., лікар-хірург відділення хірургії печінки, підшлункової залози та трансплантації, МЦ «Універсальна клініка «Оберіг», м. Київ, Україна.

ORCID ID: 0000-0003-0414-328X

Баканичев О. О., лікар-інтерн анестезіолог, МЦ «Універсальна клініка «Оберіг», м. Київ, Україна.

ORCID ID: 0009-0006-6767-823X

## Information about the authors:

Kotenko O. H., MD, PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Liver, Pancreas Surgery and Transplantation, Universal Clinic "Oberig", Kyiv, Ukraine.

Mysynchuk N. I., MD, Anesthesiologist, Universal Clinic "Oberig", Kyiv, Ukraine.

Silaieva O. S., MD, Radiation Therapist, Oncologist, Head of the Radiation Therapy Center, Universal Clinic "Oberig", Kyiv, Ukraine.

Vashchyshyn V. P., Medical Physicist, President of the Ukrainian Association of Medical Physicists, Universal Clinic "Oberig", Kyiv, Ukraine.

Dykhovychna N. Yu., MD, PhD, Anesthesiologist, Universal Clinic "Oberig", Kyiv, Ukraine.

Sharapov O. V., MD, PhD, Anesthesiologist, Universal Clinic "Oberig", Kyiv, Ukraine.

Matvienkiv A. O., MD, Surgeon at the Department of Liver, Pancreas Surgery and Transplantation, Universal Clinic "Oberig", Kyiv, Ukraine.

Bakanychev O. O., MD, Intern Anesthesiologist, Universal Clinic "Oberig", Kyiv, Ukraine.



Назарій Мисинчук (Nazarii Mysynchuk)  
tivaisbetter@gmail.com

## References

1. Tripodi A, Mannucci PM. The Coagulopathy of Chronic Liver Disease. *New England Journal of Medicine*. 2011;365:147-56. doi: 10.1056/NEJMr1011170
2. Rana A, Petrowsky H, Hong JC, Agopian VG, Kaldas FM, Farmer D, et al. Blood transfusion requirement during liver transplantation is an important risk factor for mortality. *J Am Coll Surg*. 2013;216(5):902-7. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2012.12.047
3. Hudcova J, Qasmi ST, Ruthazer R, Waqas A, Haider SB, Schumann R. Early Allograft Dysfunction Following Liver Transplant: Impact of Obesity, Diabetes, and Red Blood Cell Transfusion. *Transplant Proc*. 2021;53(1):119-23. doi: 10.1016/j.transproceed.2020.02.168
4. Bux J. Transfusion-related acute lung injury (TRALI): a serious adverse event of blood transfusion. *Vox Sang*. 2005;89(1):1-10. doi: 10.1111/j.1423-0410.2005.00648.x
5. Kirmap M, Tezcaner T, Ayvazoglu Soy HE, Akdur A, Yildirim S, Torgay A, et al. Efficacy of cell saver use in living-donor liver transplant. *Exp Clin Transplant*. 2015;13 Suppl 1:315-7. doi: 10.6002/ect.meso2014.p153
6. Rajendran L, Lenet T, Shorr R, Abou Khalil J, Bertens KA, Balaa FK, et al. Should Cell Salvage Be Used in Liver Resection and Transplantation? A Systematic Review and Meta-analysis. *Ann Surg*. 2023;277(3):456-68. doi: 10.1097/SLA.0000000000005612
7. Ross GM. Induction of cell death by radiotherapy. *Endocr Relat Cancer*. 1999;6(1):41-4. doi: 10.1677/erc.0.0060041
8. Hansen E, Kneuechel R, Altmeppen J, Taeger K. Blood irradiation for intraoperative autotransfusion in cancer surgery: demonstration of efficient elimination of contaminating tumor cells. *Transfusion*. 1999;39(6):608-15. doi: 10.1046/j.1537-2995.1999.39060608.x