

Оцінювання регенераторної здатності залишкової частки печінки у живих родинних донорів після донорської правобічної гемігепатектомії

I. O. Kotenko^{1,A,B,C,D}, O. I. Dronov^{2,E,F}

¹Медичний центр «Універсальна клініка «Оберіг», м. Київ, Україна, ²Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, м. Київ, Україна

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

Донорська правобічна гемігепатектомія є стандартним методом забору трансплантата у живих родинних донорів. Безпека донора залежить від адекватної регенерації залишкової частки печінки. Вивчення закономірностей регенерації паренхіми та функціонального резерву печінки у таких пацієнтів має важливе клінічне значення.

Мета роботи – оцінити регенераторну здатність залишкової частки печінки у живих родинних донорів після донорської правобічної гемігепатектомії.

Матеріали і методи. За участі 50 живих донорів печінки, яким виконано правобічну гемігепатектомію, здійснили проспективне дослідження. За даними КТ-волюметрії оцінювали об'єм печінки до операції, на 14 та 90 доби післяопераційного періоду. Дослідження здійснили відповідно до принципів Гельсінської декларації, протокол затверджений комісією з біоетики. Усі учасники надали письмову інформовану згоду.

Результати. Середній об'єм залишкової частки печінки до операції становив $448,7 \pm 93,9$ мл, на 14 добу – $833,0 \pm 176,1$ мл, на 90 добу – $943,2 \pm 160,3$ мл. Встановлено статистично значуще збільшення об'єму і на 14, і на 90 добу післяопераційного періоду ($p < 0,001$). Приріст щодо доопераційного показника становив +85,6 % на 14 добу та +110,2 % – на 90 добу.

Висновки. Печінка живих донорів має високий потенціал до регенерації після правобічної гемігепатектомії. Це сприяє відновленню адекватного об'єму паренхіми впродовж перших трьох місяців після операції.

Ключові слова:

печінка, донор, правобічна гемігепатектомія, КТ-волюметрія, регенерація печінки.

Запорізький медичний журнал.
2025. Т. 27, № 5(152).
С. 417-420

Assessment of the regenerative capacity of the remnant liver lobe in living-related donors after right hemihepatectomy

I. O. Kotenko, O. I. Dronov

Donor right hepatectomy is the standard method of graft procurement in living-related donors. Donor safety depends on adequate regeneration of the remnant liver. Studying the patterns of parenchymal regeneration and functional liver reserve in this category of patients has important clinical significance.

Aim. To evaluate the regenerative capacity of the remnant liver in living-related donors after right hepatectomy.

Materials and methods. A prospective study was conducted including 50 living liver donors who underwent right hepatectomy. Liver volumes were assessed using CT volumetry preoperatively and on postoperative days 14 and 90. The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. The protocol was approved by the institutional bioethics committee, and informed consent was obtained from all participants

Results. The mean remnant liver volume was 448.7 ± 93.9 ml preoperatively, 833.0 ± 176.1 ml on day 14, and 943.2 ± 160.3 ml on day 90. A statistically significant increase was observed on both day 14 and day 90 ($p < 0.001$). The increase relative to baseline was +85.6 % at day 14 and +110.2 % at day 90.

Conclusions. The liver of living donors demonstrates a high regenerative potential after right hepatectomy, with restoration of adequate parenchymal volume within the first three months postoperatively.

Keywords:

donors, liver, right hepatectomy, CT volumetry, liver regeneration.

Zaporozhye Medical Journal.
2025;27(5):417-420

Живе родинне донорство печінки – ключовий метод подолання дефіциту трансплантатів у сучасній медицині. Безпека донора залежить від регенераторного потенціалу залишкової частки печінки, що можна точно оцінити за допомогою КТ-волюметрії [1,2]. Цей метод дає змогу не лише прогнозувати ризик післяопераційної печінкової недостатності, але й ефективно відстежувати динаміку відновлення органа [3,4].

У результаті останніх клінічних досліджень підтверджено, що такі фактори, як вік, вихідний об'єм печінки, індекс маси тіла та обсяг резекції істотно впливають на темпи регенерації. У молодших донорів зазвичай спостерігають активніше відновлення, а менший залишковий об'єм печінки стимулює інтенсивнішу регенерацію [2,5,6]. Дослідження за участі 380 донорів, що здійснене W.-C. Wang et al., дало змогу встановити, що співвідношення залишковий об'єм печінки / маса тіла, залишковий об'єм печінки / загальний об'єм печінки, а також біохімічні маркери (альбумін, білірубін на 7 та 30 доби) є ключовими прогностичними показниками відновлення [7].

Результати іншого дослідження, що здійснене M. Kim et al., показали: у донорів віком понад 55 років рівень регенерації через 3 місяці становить лише 80,4 %, а в молодших за 30 років донорів – 90,5 % ($p < 0,001$) [5]. Крім того, підтверджено високу точність КТ-волюметрії у прогнозуванні маси трансплантата. Так, K. D. Calver et al. встановили тісну кореляцію між передопераційним об'ємом печінки та реальною масою трансплантата ($R^2 = 0,52$, $p < 0,001$) [8].

Отже, згідно з даними, що одержали протягом останнього десятиріччя, КТ-волюметрія та клініко-лабораторні фактори є надійними інструментами для оцінювання регенераторної здатності печінки у живих донорів. Це обґрунтовує актуальність нашого дослідження, під час якого аналізуємо динаміку відновлення залишкової частки печінки через 14 та 90 днів після правобічної гемігепатектомії.

Мета роботи

Оцінити регенераторну здатність залишкової частки печінки у живих родинних донорів після донорської правобічної гемігепатектомії.

Матеріали і методи дослідження

До дослідження залучено 50 живих родинних донорів печінки, яким у відділенні хірургії печінки, підшлункової залози та трансплантації Медичного центру «Універсальна клініка «Оберіг» виконано правобічну донорську гемігепатектомію. Дослідження здійснено у період з 2020 до 2025 року.

Як критерії залучення визначено відсутність супутньої патології печінки (стеатоз, цироз, вірусні гепатити); задовільний соматичний стан; індекс маси тіла ≤ 30 кг/м²; нормальні біохімічні показники функції печінки. Критерії виключення – виявлення жирової дистрофії печінки >10 % за даними інтраопераційної біопсії; анатомічні варіанти будови печінкових судин чи жовчних проток, що унеможлилювали безпечну резекцію; діагностовані тяжкі супутні захворювання.

Усім донорам виконали мультиспіральну комп'ютерну томографію (Siemens Healthineers CT 128, Siemens, Німеччина) з болюсним контрастуванням. Під час обстеження використано йодовмісну контрастну речовину Томогексол (350 мг йоду/мл) у дозі, об'єм препарату обраховано відповідно до інструкції виробника, враховуючи масу тіла донора. Швидкість введення контрастної речовини становила 4 мл/сек. Дані опрацьовано на робочій станції, застосовано програмне забезпечення *Somatom Go top* з напівавтоматичною сегментацією печінкової паренхіми.

КТ-волюметрію здійснювали на трьох етапах:

- 1) доопераційно визначали загальний об'єм печінки та прогнозований об'єм залишкової частки (RLV);
- 2) через 14 днів після операції оцінювали початкові темпи регенерації залишкової лівої частки печінки;
- 3) через 90 днів після операції оцінювали відновлення залишкової частки печінки у віддаленому періоді.

Для оцінювання регенераторної здатності використано такі показники: RLV (мл) – абсолютний об'єм залишкової частки печінки; %RLV – щодо початкового об'єму печінки.

Дослідження здійснили відповідно до принципів Гельсінської декларації (1964 р. з поправками) та «Загальної декларації про біоетику та права людини (ЮНЕСКО)». Робота схвалена Комісією з питань біомедичної експертизи та наукових досліджень Національного медичного університету імені О. О. Богомольця (протокол № 189 від 25.11.2024 р.). Усі донори надали письмову інформовану згоду на участь у дослідженні та використання їхніх анонімізованих даних у наукових цілях.

Статистичний аналіз здійснили за допомогою програмного забезпечення SPSS Statistics v. 27 (IBM, США). Результати наведено як середнє значення $\pm$ стандартне відхилення. Для оцінювання достовірності різниць між групами застосували t-критерій Стюдента для залежних вибірок. Рівень статистичної значущості визначено як достовірний при $p < 0,05$.

Результати

До дослідження залучено 50 живих родинних донорів, яким виконано правобічну гемігепатектомію з наступним оцінюванням регенераторної здатності залишкової частки печінки методом КТ-волюметрії.

Під час дослідження передбачені три контрольні точки: до операції, на 14 та на 90 післяопераційні доби.

Середній початковий об'єм залишкової частки печінки до резекції становив $448,7 \pm 93,9$ мл. На 14 добу після операції цей показник збільшився до $833,0 \pm 176,1$ мл, що свідчить про інтенсивну ранню регенераторну відповідь. До 90 доби середній об'єм залишкової частки печінки становив $943,2 \pm 160,3$ мл, що свідчить про продовження зростання цього показника, хоч і менш виражене, у віддаленому періоді.

Статистичний аналіз дав змогу визначити достовірну різницю між усіма контрольними значеннями. Найбільш істотні зміни відбулися у перші 14 діб після операції ($p < 0,001$). Загалом на 90 добу встановлено збільшення доопераційного об'єму печінки з високою вірогідністю ($p < 0,001$).

Таблиця 1. Динаміка середнього об'єму залишкової частки печінки у донорів (n = 50)

Контрольна точка	Об'єм, мл	Приріст від вихідного, %	p-значення
До операції	448,7 ± 93,9	–	–
14 доба	833,0 ± 176,1	+85,6 %	<0,001
90 доба	943,2 ± 160,3	+110,2 %	<0,001

Отже, найінтенсивніша регенерація відбувалася у перші два тижні після операції, надалі визначали тенденцію до стабілізації об'єму печінки (на 90 добу).

Обговорення

Результати підтверджують високу регенераторну здатність печінки у живих родинних донорів після правобічної гемігепатектомії. Під час нашого дослідження визначено достовірне збільшення об'єму залишкової частки печінки вже на 14 добу, надалі спостерігали приріст – до 90 доби. Найінтенсивніший період регенерації відповідав першим двом тижням післяопераційного періоду, що відповідає результатам інших клінічних і експериментальних робіт [3,7,9,10].

Збільшення об'єму печінки після резекції пояснюють комплексом морфологічних та молекулярних механізмів, включаючи активацію факторів росту (HGF, VEGF), цитокінів (IL-6, TNF-α) і сигнальних шляхів JAK/STAT, NF-κB [6,11]. Це призводить до гіпертрофії та проліферації гепатоцитів, а також перебудови судинного русла у залишковій частці печінки [12].

Важливим клінічним аспектом є те, що швидке відновлення об'єму печінки у донорів корелює з відновленням її функціональної активності, що показано у низці досліджень, де використано функціональні проби (ICG-тест, LiMAx) та серологічні маркери [3,4,7,10].

Втім, опубліковано результати досліджень, де показано, що функціональне відновлення може дещо відставати від морфологічного, особливо у перші тижні після резекції [6,11,13].

Згідно з даними нашого дослідження, об'єм залишкової частки печінки на 90 добу становив у середньому понад 940 мл. Це свідчить про майже дворазове збільшення порівняно з доопераційним рівнем. Зіставні показники одержано у проспективних когортних дослідженнях, що здійснені в Європі та Азії. Згідно з їхніми результатами, темпи регенерації у донорів становили від 60 % до 100 % від початкового об'єму протягом перших трьох місяців [3,7,9,10].

Особливість когорти донорів полягає в тому, що вони не мають супутньої патології печінки. Це сприяє швидкій і більш прогнозованій регенерації порівняно з пацієнтами після резекції з приводу пухлинних чи циротичних уражень [10]. Завдяки цьому ризик виникнення печінкової недостатності є відносно низьким, а процедури донорської правобічної гемігепатектомії характеризуються високою безпекою. Разом із тим, у низці робіт акцентовано на тому, що регенераторна здатність має індивідуальні варіації, що залежать від віку донора, початкового об'єму печінки, статі, гормонального статусу та навіть генетичних факторів [5,4,11]. Результати дослідження сприятимуть точнішому визначенню предикторів швидкого відновлення печінки у донорів.

Висновки

1. Правобічна гемігепатектомія у живих родинних донорів асоційована з вираженою регенераторною адаптацією залишкової частки печінки.

2. Збільшення об'єму печінки продовжується між 14 та 90 добою, однак темпи регенерації значно знижуються, що свідчить про поступову стабілізацію регенераторних процесів.

3. На 90 добу об'єм залишкової частки печінки перевищує вихідні показники більш ніж удвічі. Це свідчить про високу відновну здатність печінки у живих донорів та обґрунтовує безпечність використання правобічної гемігепатектомії в межах програми живого донорства.

Перспективи подальших досліджень. Результати, що одержали, мають важливе значення для планування та ведення донорів у післяопераційному періоді, дають змогу прогнозувати відновлення функціонального резерву печінки і визначати оптимальні терміни їхнього клінічного нагляду.

Фінансування

Дослідження здійснено без фінансової підтримки.

Конфлікт інтересів: відсутній.

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

Надійшла до редакції / Received: 22.08.2025

Після доопрацювання / Revised: 06.10.2025

Схвалено до друку / Accepted: 15.10.2025

Відомості про авторів:

Котенко І. О., лікар-хірург, трансплантолог відділення хірургії печінки, підшлункової залози та трансплантації, Медичний центр «Універсальна клініка «Оберіг», м. Київ, Україна.

ORCID ID: 0000-0002-9917-1314

Дронов О. І., д-р мед. наук, професор, зав. каф. загальної хірургії № 1, Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, м. Київ, Україна.

ORCID ID: 0000-0001-9639-6721

Information about the authors:

Kotenko I. O., MD, Surgeon, Transplantologist, Department of Liver, Pancreas and Transplantation Surgery, Medical Center, Universal Clinic "Oberig", Kyiv, Ukraine.

Dronov O. I., MD, PhD, DSc, Professor, Head of the Department of General Surgery No. 1, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine.



Іван Котенко (Ivan Kotenko)
i.kotenko@oberig.ua

References

1. Tsang LL, Chen CL, Huang TL, Chen TY, Wang CC, Ou HY, et al. Pre-operative imaging evaluation of potential living liver donors: reasons for exclusion from donation in adult living donor liver transplantation. Transplant Proc. 2008;40(8):2460-2. doi: 10.1016/j.transproceed.2008.07.075

2. Jeong SY, Lee J, Kim KW, Jang JK, Kwon H-J, Song GW, et al. Estimation of the right posterior section volume in live liver donors: Semiautomated CT volumetry using portal vein segmentation. *Acad Radiol*. 2020;27(2):210-8. doi: [10.1016/j.acra.2019.03.018](https://doi.org/10.1016/j.acra.2019.03.018)
3. Park R, Lee S, Sung Y, Yoon J, Suk HI, Kim H, et al. Accuracy and Efficiency of Right-Lobe Graft Weight Estimation Using Deep-Learning-Assisted CT Volumetry for Living-Donor Liver Transplantation. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(3):590. doi: [10.3390/diagnostics12030590](https://doi.org/10.3390/diagnostics12030590)
4. Zhang Y, Li B, He Q, Chu Z, Ji Q. Comparison of liver regeneration between donors and recipients after adult right lobe living-donor liver transplantation. *Quant Imaging Med Surg*. 2022;12(6):3184-92. doi: [10.21037/qims-21-1077](https://doi.org/10.21037/qims-21-1077)
5. Kim M, Suh SW, Lee ES, Suh S, Lee SE, Choi YS. Clinical Factors Affecting the Rate of Liver Regeneration in Living Donors after Right Hepatectomy. *J Pers Med*. 2024;14(5):458. doi: [10.3390/jpm14050458](https://doi.org/10.3390/jpm14050458)
6. Michalopoulos GK, Bhushan B. Liver regeneration: biological and pathological mechanisms and implications. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2021;18(1):40-55. doi: [10.1038/s41575-020-0342-4](https://doi.org/10.1038/s41575-020-0342-4)
7. Wang WC, Wu TH, Hung HC, Lee JC, Cheng CH, Wang YC, et al. Liver regeneration of living donor after liver donation for transplantation: Disparity in the left and right remnant liver. *Medicine (Baltimore)*. 2024;103(14):e37632. doi: [10.1097/MD.00000000000037632](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000037632)
8. Khalid A, Khan BA, Saeed Z, Khan MY, Rashid S, Haq IU, et al. 301.9: Correlating CT volumetry with actual graft volume in living donor liver transplantation: A retrospective analysis. *Transplantation*. 2024;108(9S). doi: [10.1097/01.tp.0001065196.43278.e8](https://doi.org/10.1097/01.tp.0001065196.43278.e8)
9. Olthoff KM, Emond JC, Shearon TH, Everson G, Baker TB, Fisher RA, et al. Liver regeneration after living donor transplantation: adult-to-adult living donor liver transplantation cohort study. *Liver Transpl*. 2015;21(1):79-88. doi: [10.1002/lt.23966](https://doi.org/10.1002/lt.23966)
10. Haga J, Shimazu M, Wakabayashi G, Tanabe M, Kawachi S, Fuchimoto Y, et al. Liver regeneration in donors and adult recipients after living donor liver transplantation. *Liver Transpl*. 2008;14(12):1718-24. doi: [10.1002/lt.21622](https://doi.org/10.1002/lt.21622)
11. Dehlke K, Krause L, Tyufekchieva S, Murtha-Lemekhova A, Mayer P, Vlasov A, et al. Predicting liver regeneration following major resection. *Sci Rep*. 2022;12(1):13396. doi: [10.1038/s41598-022-16968-9](https://doi.org/10.1038/s41598-022-16968-9)
12. Hou CT, Chen YL, Lin CC, Chou CT, Lin KH, Lin PY, et al. Portal venous velocity affects liver regeneration after right lobe living donor hepatectomy. *PLoS One*. 2018;13(9):e0204163. doi: [10.1371/journal.pone.0204163](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204163)
13. Dindo D, Demartines N, Clavien PA. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Ann Surg*. 2004;240(2):205-13. doi: [10.1097/01.sla.0000133083.54934.ae](https://doi.org/10.1097/01.sla.0000133083.54934.ae)