



**Як цитувати статтю:** Slynko Ye, Chamata R, Potapov O. Impact of Interbody Cage Geometry on Outcomes of Microdiscectomy with Interbody Fusion. *East Ukr Med J.* 2026;14(1):268-281.  
[https://doi.org/10.21272/eumj.2026;14\(1\);268-281](https://doi.org/10.21272/eumj.2026;14(1);268-281)

## ABSTRACT

Yevgenii Slynko

<https://orcid.org/0000-0002-4831-2711>

Department of Spinal Neurosurgery,  
Romodanov Neurosurgery Institute,  
Kyiv, Ukraine

Roman Chamata

<https://orcid.org/0009-0006-0102-2959>

Department of Spinal Neurosurgery,  
Romodanov Neurosurgery Institute,  
Kyiv, Ukraine

Olexander Potapov

<https://orcid.org/0000-0002-0913-3024>

Department of Neurology and  
Neurosurgery, Ivano-Frankivsk  
National Medical University, Ivano-  
Frankivsk, Ukraine

## IMPACT OF INTERBODY CAGE GEOMETRY ON OUTCOMES OF MICRODISCECTOMY WITH INTERBODY FUSION

**Objective.** To evaluate the association between interbody cage geometry and clinical and radiological outcomes following microdiscectomy with stand-alone posterior lumbar interbody fusion (PLIF).

**Materials and Methods.** A retrospective single-center comparative cohort study included 120 patients who underwent microdiscectomy with stand-alone PLIF at the L4–L5 or L5–S1 level. Patients were divided into four groups according to cage geometry: rectangular, bullet-shaped, banana-shaped (lordotic), and crescent-shaped ( $n = 30$  in each group).

Primary endpoints were  $\Delta$ VAS and  $\Delta$ ODI at 12 months. Secondary endpoints included cage migration, clinically significant migration, subsidence, fusion rate, and outcomes according to the Macnab and Prolo scales. Intergroup differences were analyzed using ANOVA with Tukey post-hoc test and the  $\chi^2$  test. Effect sizes were calculated ( $\eta^2$ , Cramér's V).

**Results.** All groups demonstrated statistically significant improvement in pain intensity and functional status ( $p < 0.001$ ). Intergroup analysis revealed significant differences in  $\Delta$ VAS ( $p = 0.002$ ;  $\eta^2 = 0.12$ ) and  $\Delta$ ODI ( $p = 0.011$ ;  $\eta^2 = 0.08$ ). Banana-shaped cages showed a lower degree of improvement compared to rectangular and crescent-shaped cages ( $p < 0.01$ ). Any migration was observed in 30% of banana-shaped cages versus 3–7% in rectangular and crescent-shaped cages ( $\chi^2 = 10.62$ ;  $p = 0.014$ ; Cramér's V = 0.30). The highest fusion rates were observed in crescent-shaped (97%) and rectangular (93%) cages, while the lowest rate was noted in banana-shaped cages (73%) ( $p = 0.032$ ).

**Conclusions.** Cage geometry is significantly associated with differences in clinical improvement, mechanical stability, and fusion rates. Rectangular and crescent-shaped cages demonstrate superior

biomechanical performance, whereas banana-shaped cages are associated with a higher risk of mechanical complications. These findings support an individualized approach to cage selection.

**Keywords:** lumbar disc herniation; microdiscectomy; microdiscectomy with interbody fusion; interbody cages; cage geometry; rectangular cages; crescent-shaped cages; bullet-shaped cages; banana-shaped cages.

**Corresponding author:** Roman Chamata, Department of Spinal Cord Pathology, Romodanov Neurosurgery Institute, 32 Platona Maiborody St., Kyiv, Ukraine, 04050  
e-mail: [chamataroman@gmail.com](mailto:chamataroman@gmail.com)

## РЕЗЮМЕ

Євгеній Слинко

<https://orcid.org/0000-0002-4831-2711>

Відділення патології спинного мозку, Інститут нейрохірургії імені акад. А.П. Ромоданова НАМН України, м. Київ, Україна

Роман Чамата

<https://orcid.org/0009-0006-0102-2959>

Відділення патології спинного мозку, Інститут нейрохірургії імені акад. А.П. Ромоданова НАМН України, м. Київ, Україна

Олександр Потапов

<https://orcid.org/0000-0002-0913-3024>

Кафедра неврології та нейрохірургії, Івано-Франківський національний медичний університет, м. Івано-Франківськ, Україна

## ВПЛИВ ГЕОМЕТРІЇ МІЖТІЛОВОГО КЕЙДЖА НА РЕЗУЛЬТАТИ МІКРОДИСКЕКТОМІЇ З КОРПОРОДЕЗОМ

**Мета:** Оцінити асоціацію між формою міжтілового кейджа та клінічними й радіологічними результатами після мікродискектомії з stand-alone заднім міжтіловим корпорозом (PLIF).

**Матеріали і методи.** Проведено ретроспективне одноцентрове порівняльне когортне дослідження 120 пацієнтів, яким виконано мікродискектомію з stand-alone PLIF на рівні L4–L5 або L5–S1. Пацієнтів розподілено на чотири групи залежно від геометрії кейджа: прямокутні, кулеподібні (bullet), бананоподібні (lordotic) та півмісяцеві (по 30 у кожній групі). Первинними кінцевими точками були  $\Delta$ VAS та  $\Delta$ ODI через 12 місяців. Вторинні – міграція кейджа, клінічно значуща міграція, субсиденція, рівень міжтілового зрощення, результати за шкалами Macnab та Prolo. Міжгрупові відмінності аналізували за допомогою ANOVA з post-hoc аналізом Tukey та критерію  $\chi^2$ . Розраховано розмір ефекту ( $\eta^2$ , Cramér's V).

**Результати.** В усіх групах відзначено статистично значуще зменшення інтенсивності болю та функціональних обмежень ( $p < 0,001$ ). Міжгруповий аналіз виявив значущі відмінності для  $\Delta$ VAS ( $p = 0,002$ ;  $\eta^2 = 0,12$ ) та  $\Delta$ ODI ( $p = 0,011$ ;  $\eta^2 = 0,08$ ). Бананоподібні кейджі демонстрували менший ступінь покращення порівняно з прямокутними та півмісяцевими ( $p < 0,01$ ). Будь-яка міграція зафіксована у 30% бананоподібних кейджів проти 3–7% у прямокутних та півмісяцевих ( $\chi^2 = 10,62$ ;  $p = 0,014$ ; Cramér's V = 0,30). Найвищий рівень зрощення відзначено у півмісяцевих (97%) та прямокутних (93%) кейджів, найнижчий – у бананоподібних (73%) ( $p = 0,032$ ).

**Висновки.** Геометрія кейджа статистично значущо асоціюється з відмінностями клінічного покращення, механічної стабільності та рівня зрощення. Прямокутні та півмісяцеві кейджі демонструють кращі біомеханічні характеристики, тоді як бананоподібні пов'язані з вищим ризиком механічних ускладнень. Отримані результати обґрунтовують індивідуалізований вибір форми кейджа.

**Ключові слова:** грижі попереково-крижового відділу хребта; мікродискектомія; мікродискектомія з корпорозом кейджами; півмісяцеві кейджі; прямокутні кейджі; круглі кейджі; бананоподібні кейджі.

**Автор, відповідальний за листування:** Чамата Роман Валерійович, Відділення патології спинного мозку, Інститут нейрохірургії імені акад. А.П. Ромоданова, вул. Платона Майбороди, 32, Київ, Україна, 04050, e-mail: [chamataroman@gmail.com](mailto:chamataroman@gmail.com)

## ВСТУП

Дегенеративно-дистрофічні ураження міжхребцевих дисків попереково-крижового відділу хребта є однією з провідних причин корінцевого больового синдрому та зниження працездатності у пацієнтів працездатного віку [1, 2]. Найчастіше патологічний процес локалізується на рівнях L4–L5 та L5–S1, що зумовлює компресію корінців L5 і S1 та формування стійкого больового синдрому з неврологічними проявами [3, 4]. Мікродискектомія на сьогодні залишається базовим хірургічним методом лікування симптомних гриж поперекових міжхребцевих дисків завдяки високій ефективності декомпресії нервових структур і відносно низькій частоті інтра- та післяопераційних ускладнень [5, 6]. Метод дозволяє видаляти грижі різної морфології, у тому числі секвестровані, а також застосовується за наявності супутнього стенозу хребтового каналу. Водночас результати сучасних клінічних досліджень і метааналізів свідчать, що ізольована мікродискектомія не завжди забезпечує стабільний довготривалий клінічний ефект. У частини пацієнтів зберігається або рецидує больовий синдром, що може бути пов'язано зі зменшенням висоти міжхребцевого проміжку, прогресуванням дегенеративних змін замикальних пластинок або розвитком сегментарної нестабільності оперованого рівня [7–9]. Поєднання мікродискектомії з міжтіловим корпорорезом розглядається як обґрунтований варіант хірургічного лікування у вибраних категорій пацієнтів, зокрема за наявності нестабільності, дегенеративних змін замикальних пластинок або повторних гриж міжхребцевих дисків [10, 11]. Сучасні рекомендації WFNS Spine Committee наголошують, що застосування міжтілового зрощення не повинно бути рутинним, однак може покращувати результати лікування за чітко визначених показів [12]. Окрему увагу в сучасній літературі приділяють характеристикам міжтілових імплантів, зокрема їх геометрії. Запропоновано різні форми кейджів – прямокутні, круглі, бананоподібні та півмісяцеві, які відрізняються площею контакту із замикальними пластинками, можливостями відновлення сегментарного лордозу та біомеханічною стабільністю сегмента [13–15]. Метааналізи та біомеханічні дослідження свідчать, що форма та позиціонування кейджа можуть впливати на розподіл навантаження, ризик субсиденції та формування міжтілового зрощення [16–18]. Незважаючи на зростаючу кількість публікацій, присвячених міжтіловому корпорорезу, порівняльні дослідження, які аналізують результати

мікродискектомії з урахуванням форми застосованого кейджа, залишаються обмеженими. Це визначає актуальність проведення порівняльної оцінки клінічних, функціональних та рентгенологічних результатів застосування кейджів різної геометрії при мікродискектомії з міжтіловим корпорорезом.

**Мета:** Оцінити асоціацію між формою міжтілового кейджа та клінічними й радіологічними результатами після мікродискектомії з stand-alone заднім міжтіловим корпорорезом (PLIF).

## Матеріали і методи

### Учасники дослідження

У дослідження було залучено 120 хворих із грижами попереково-крижового відділу хребта, які перебували на лікуванні в Інституті нейрохірургії імені акад. А.П. Ромоданова НАМН України у 2018–2024 рр. Дослідження виконано як ретроспективне одноцентрове порівняльне когортне.

Від усіх хворих отримана усвідомлена та добровільна письмова згода на участь у дослідженні та публікацію даних.

### Критерії залучення:

1. Письмова інформована згода на участь у дослідженні.
2. Симптомна грижа міжхребцевого диска L4–L5 або L5–S1;
3. Неефективність консервативної терапії протягом  $\geq 6$  тижнів;
4. Корінцевий больовий синдром із/без неврологічного дефіциту;
5. Наявність ознак дегенеративних змін або сегментарної нестабільності, що потребували стабілізації.

### Критерії виключення

1. Багаторівневе ураження;
2. Спондилолістез II ступеня і вище (за Meyerding);
3. Пухлинні, інфекційні або травматичні ураження хребта;
4. Тяжкий остеопороз;
5. Попередні інструментальні втручання на досліджуваному рівні.

### Характеристики групи

Залежно від форми імплантованого кейджа пацієнти були розподілені на чотири рівні групи:

- I група (n = 30) – прямокутні кейджі
- II група (n = 30) – круглі кейджі
- III група (n = 30) – бананоподібні кейджі
- IV група (n = 30) – півмісяцеві кейджі

Групи були порівнянними за рівнем ураження (L4–L5, L5–S1) та тривалістю симптоматики та ступеню змін за Modic.

Усім пацієнтам виконано мікродискектомію через задній серединний доступ із використанням операційного мікроскопа. Після декомпресії нервових структур проводили підготовку міжхребцевого простору з видаленням залишків дискового матеріалу та обробкою замикальних пластинок.

Міжтіловий корпородез здійснювали за методикою PLIF із встановленням кейджа відповідної форми в міжтіловий простір під рентгенологічним контролем. Додаткову фіксацію не використовували. У групі порівняння застосовували лише техніку stand-alone cage.

Вибір форми кейджа визначався з урахуванням:

- анатомічної конфігурації міжхребцевого простору;
- ступеня колапсу дискового простору;
- необхідності відновлення сегментарного лордозу;

- площі контакту імплантата із замикальними пластинками.

Сегментарну нестабільність визначали на підставі комплексної оцінки функціональної рентгенографії, МРТ та клінічних даних. Рентгенологічними критеріями вважали сагітальне зміщення понад 4 мм або понад 15% ширини тіла хребця та кутову рухливість понад 10° (L1–L5) або 15° (L5–S1). Додатково враховували наявність дегенеративного спондилолітезу  $\geq$  I ступеня за Meyerding. За даними МРТ аналізували непрямі маркери нестабільності: фасетковий випіт  $> 2$  мм, зміни замикальних пластинок за Modic (тип I–II) та зниження висоти міжхребцевого диска  $> 50\%$ . Клінічними ознаками нестабільності вважали механічний біль у попереку та неефективність консервативного лікування протягом  $\geq 6$  місяців (Таблиця 1).

Таблиця 1 – Критерії сегментарної нестабільності поперекового відділу хребта, використані для визначення показань до міжтілової фіксації (cage)

| Домен оцінки                                       | Критерій                              | Поріг/<br>визначення                                                     | Використано для показань до «cage» (так/ні) |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Функціональна рентгенографія (згинання–розгинання) | Сагітальне зміщення (translation)     | $> 4$ мм або $> 15\%$ ширини тіла суміжного хребця                       | Так                                         |
| Функціональна рентгенографія (згинання–розгинання) | Кутова рухливість (angular motion)    | $> 10^\circ$ на рівнях L1–L5; $> 15^\circ$ на рівні L5–S1                | Так                                         |
| Рентгенографія                                     | Дегенеративний спондилолітез          | Ступінь $\geq$ I за Meyerding; оцінка динаміки на функціональних знімках | Так                                         |
| МРТ (непрямі маркери)                              | Випіт у фасеткових суглобах           | $> 2$ мм                                                                 | Так                                         |
| МРТ (непрямі маркери)                              | Зміни за Modic                        | Тип I або II (тип I – більш значущий маркер нестабільності)              | Так                                         |
| МРТ (непрямі маркери)                              | Втрата висоти диска                   | $> 50\%$ порівняно з суміжними рівнями                                   | Так                                         |
| Клінічні дані                                      | Механічний біль у попереку            | Посилення при осьовому навантаженні, зменшення в положенні лежачи        | Допоміжний критерій                         |
| Клінічні дані                                      | Неефективність консервативної терапії | Тривалість $\geq 6$ місяців                                              | Допоміжний критерій                         |

Вибір форми кейджа визначався з урахуванням:

- анатомічної конфігурації міжхребцевого простору;
- ступеня колапсу дискового простору;

- необхідності відновлення сегментарного лордозу;
- площі контакту імплантата із замикальними пластинками (Таблиця 2).

Таблиця 2 – Клініко-радіологічні показання до вибору форми міжтілового кейджа

| Критерій                    | Прямокутний кейдж             | Круглий кейдж                 | Banana (lordotic)                 | Півмісяцевий                  |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Рівень ураження             | L4–L5, L5–S1                  | L4–L5                         | L4–L5, L5–S1                      | Переважно L5–S1               |
| Сегментарна нестабільність  | Помірна                       | Мінімальна                    | Помірна–виражена                  | Помірна                       |
| Сагітальне зміщення         | $\leq 4$ мм                   | $< 3$ мм                      | $> 4$ мм                          | $\leq 4$ мм                   |
| Кутова рухливість           | $\leq 10^\circ$               | $\leq 8^\circ$                | $> 10^\circ$                      | $\leq 10^\circ$               |
| Висота диска                | Збережена або помірно знижена | Збережена                     | Значно знижена ( $>50\%$ )        | Помірно знижена               |
| Sagittal balance / лордоз   | Без істотних порушень         | Збережений                    | Потребує корекції                 | Часткова корекція             |
| Modic-зміни                 | Тип I–II                      | Відсутні або тип I            | Тип I–II (часто)                  | Тип I–II                      |
| Стан фасеткових суглобів    | II–III ст.                    | I–II ст.                      | III–IV ст.                        | II–III ст.                    |
| Анатомія дискового простору | Симетрична                    | Центральна                    | Асиметрична                       | Вузька, клиноподібна          |
| Основна мета імплантації    | Стабілізація                  | Заповнення дискового простору | Відновлення сегментарного лордозу | Анатомічна адаптація до L5–S1 |

Мікродискектомію з міжтіловим корпорозом кейджем (MD + Cage) застосовували в пацієнтів із дискогенними ураженнями, що супроводжувалися структурними або біомеханічними порушеннями стабільності сегмента, коли лише декомпресія була недостатньою для стабілізації хребта й запобігання рецидиву грижі.

Основні показання до проведення мікродискектомії з міжтіловим корпорозом кейджем:

1. Поєднання грижі диска з рентгенологічними ознаками сегментарної нестабільності (зміщення тіл  $>3$  мм або патологічна рухливість  $>10^\circ$  за функціональними пробами).
2. Modic II типу за даними МРТ (ознаки ендопластичної дегенерації, кістозної перебудови чи фіброзу).
3. Рецидивна грижа диска після попередньої дискектомії.
4. Виразна втрата висоти диска ( $>50\%$ ) або постдискектомічна деформація сегмента.
5. Клінічні вияви механічного болю, що зменшується в положенні розвантаження (ознака нестабільності рухового сегмента).

Протипоказання до мікродискектомії з міжтіловим корпорозом кейджем:

1. Виражений остеопороз, що перешкоджає стабільній імплантації кейджа.
2. Активний інфекційний спондилодисцит.

3. Анатомічна неможливість доступу (аномалії розвитку, рубцево-спайкові зміни після багаторазових операцій).
4. Виразна нестабільність хребцевого сегмента III ступеня (зміщення  $>6$  мм, патологічна рухливість  $>15^\circ$ ), що є показанням для проведення спондилолізу.

#### Дизайн дослідження

Проведено порівняльне дослідження чотирьох груп пацієнтів із грижами міжхребцевих дисків попереково-крижового відділу хребта, яким виконано мікродискектомію з міжтіловим корпорозом (stand-alone cage). Пацієнтів розподілено на групи залежно від форми імплантованого кейджа: прямокутний, круглий (bullet), «banana», півмісяцевий (по 30 пацієнтів у кожній групі; загалом 120).

Аналізували особливості хірургічної технології та рентгенологічні параметри відновлення висоти міжхребцевого проміжку, а також частоту ускладнень, пов'язаних із кейджем (субсиденція, міграція, клінічно значуща міграція), частоту рецидивів, динаміку больового синдрому та неврологічної симптоматики в ранньому й віддаленому післяопераційному періоді. На підставі отриманих результатів розроблено показання до застосування окремих форм кейджів та практичні рекомендації.

Усім пацієнтам проводили оцінку неврологічного статусу та клінічних проявів

больового синдрому, інтенсивність болю визначали за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ), функціональний статус – за ODI (Oswestry Disability Index), результат лікування – за шкалою Макнаб (Macnab Scale) та шкалою функціонально-економічного результату Проло (Prolo Scale); також фіксували частоту міграції кейджа.

Для оцінки передопераційних маркерів сегментарної нестабільності виконували функціональну рентгенографію (згинання–розгинання) із визначенням сагітального зміщення та кутової рухливості, а також аналізували непрямі МРТ-ознаки (Modic I/II, випіт у фасеткових суглобах тощо). Міграцію кейджа оцінювали за післяопераційними контрольними знімками/КТ (за наявності), виділяючи клінічно значущу міграцію за наперед визначеним критерієм.

Хірургічне лікування виконували на рівнях L4–L5 або L5–S1. Переважно застосовували задній міжламінарний доступ на відповідному рівні. Після мікродискектомії виконували міжтіловий корпорозез титановими або PEEK-кейджами (виробництва «Medtronic» або «Novo Spine») відповідної форми. Розмір кейджа підбирали індивідуально відповідно до інтраопераційно визначеної висоти дискового простору. одаткову інструментальну фіксацію (педиккульні гвинти) не застосовували; в усіх групах використовували техніку stand-alone cage.

Передопераційні скарги у більшості пацієнтів включали біль у поперековій ділянці з іррадіацією в нижню кінцівку, обмеження толерантності до ходьби та неможливість тривалого перебування у вертикальному положенні. У частини хворих відзначали неврологічний дефіцит (зокрема парез стопи) та поодинокі тазові розлади (зафіксовані у протоколах обстеження).

#### Розподіл за рівнем ураження

Серед 120 пацієнтів:

- L4–L5 – 66 випадків (55%)
- L5–S1 – 54 випадки (45%)

Через 12 місяців після оперативного втручання оцінку клінічних результатів проводили з використанням ВАШ, ODI, шкал Macnab та Prolo. Порівняльний аналіз між групами різних форм кейджів дозволив визначити вплив геометрії імплантата на функціональне відновлення, рівень болю та економічну реабілітацію пацієнтів.

**Критерії оцінювання результатів за шкалою Macnab [19].** Оцінювання здійснювали на підставі суб'єктивної відповіді пацієнта під час контрольного огляду.

#### Категорія і клінічна характеристика:

**Excellent** – Повна регресія больового синдрому; відновлення повсякденної активності та професійної діяльності без обмежень

**Good** – Наявність періодичного неінтенсивного болю, який не впливає на працездатність; пацієнт виконує попередню роботу

**Fair** – Больовий синдром зменшився порівняно з доопераційним періодом, однак зберігаються функціональні обмеження; потреба в зміні характеру праці

**Poor** – Відсутність клінічного покращення або посилення болю; збереження непрацездатності

Інтенсивність болю визначали за візуально-аналоговою шкалою (ВАШ), що представляє собою 100-мм лінію, де крайні значення відповідають повній відсутності болю та максимально можливому болю.

Для клінічного аналізу значення класифікували таким чином:

- 0 мм – біль відсутній
- 1–20 мм – незначний біль
- 21–60 мм – помірний біль
- 61–100 мм – інтенсивний біль

З метою стандартизації результати подано також у 10-бальній шкалі (0–10), що є перерахунком показників у мм.

Функціональний стан пацієнтів оцінювали за версією Oswestry Disability Index v2.0 [20], що включає 10 запитань із 6 варіантами відповіді (0–5 балів кожен).

Максимальна сума становить 50 балів.

Для отримання відсоткового показника використовували формулу:

$$ODI(\%) = \text{Набраний бал} : 50 \times 100 ODI$$

Інтерпретацію проводили відповідно до загальноприйнятих категорій:

#### ODI (%) Ступінь функціонального порушення

0–20 Мінімальні обмеження

21–40 Помірні порушення

41–60 Виражені функціональні обмеження

61–80 Інвалідизуючий стан

81–100 Повна втрата активності

Для комплексної характеристики віддалених результатів використовували шкалу Prolo, яка включає дві незалежні складові: економічну (E) та функціональну (F).

Таблиця 3 – Шкала функціонально-економічного результату Проло [21]

| 1. Економічна шкала (E)                     |                                                                                  |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Бал                                         | Опис                                                                             |
| 1                                           | Пацієнт непрацездатний, не може виконувати роботу                                |
| 2                                           | Працездатність збережена лише частково, пацієнт виконує легку або неповну роботу |
| 3                                           | Пацієнт може працювати, але з обмеженнями (зміна спеціальності або умов праці)   |
| 4                                           | Пацієнт працює на попередній роботі з незначними обмеженнями                     |
| 5                                           | Повна працездатність, повернення до попередньої професійної діяльності           |
| 2. Функціональна шкала (F)                  |                                                                                  |
| Бал                                         | Опис                                                                             |
| 1                                           | Виразний біль, постійна потреба в аналгетиках                                    |
| 2                                           | Помірний біль, суттєві обмеження щоденної активності                             |
| 3                                           | Періодичний біль, часткові обмеження активності                                  |
| 4                                           | Незначний біль, побутова активність збережена                                    |
| 5                                           | Відсутність болю, нормальна фізична активність, відсутність обмежень             |
| Інтерпретація загального результату (E + F) |                                                                                  |
| Сума балів                                  | Оцінка результату                                                                |
| 9–10                                        | Відмінний                                                                        |
| 7–8                                         | Добрий                                                                           |
| 5–6                                         | Задовільний                                                                      |
| <5                                          | Незадовільний                                                                    |

**Статистичний аналіз**

Статистичну обробку даних виконували з використанням програми Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США). Нормальність розподілу перевіряли за критерієм Шапіро–Уїлка. Кількісні показники подано як  $M \pm SD$  або медіану (IQR) залежно від типу розподілу. Міжгрупові відмінності (4 незалежні групи) за показниками ВАШ, ODI, ΔВАШ та ΔODI оцінювали за допомогою ANOVA. Для попарних порівнянь застосовували t-критерій Вельча. Динаміку показників у межах групи (до операції та через 12 міс) аналізували з використанням парного t-тесту або критерію Вілкоксона. Категоріальні змінні (міграція, субсиденція, рецидив, результати за Macnab та Prolo) порівнювали за допомогою  $\chi^2$  або точного критерію Фішера. Незалежні фактори ризику субсиденції визначали методом логістичної регресії з поданням OR та 95% ДІ. Статистично значущими вважали відмінності при  $p < 0,05$  (двосторонні тести).

**РЕЗУЛЬТАТИ**

Аналіз результатів через 12 місяців продемонстрував достовірне зменшення інтенсивності болю (ΔVAS) та індексу непрацездатності Oswestry (ΔODI) в усіх групах. Найбільш виражене клінічне покращення спостерігалось у групах з прямокутними та півмісяцевими кейджами (ΔVAS  $6,5 \pm 1,3$  та  $6,5 \pm 1,2$ ; ΔODI  $40 \pm 10\%$  та  $40 \pm 9\%$  відповідно). У групі banana-кейджів зафіксовано найменше покращення

(ΔVAS  $4,8 \pm 1,7$ ; ΔODI  $33 \pm 12\%$ ). ANOVA виявив статистично значущі міжгрупові відмінності для ΔVAS ( $p = 0,002$ ) та ΔODI ( $p = 0,011$ ). Post-hoc аналіз (Tukey) показав достовірно гірші результати у групі banana порівняно з прямокутними та півмісяцевими кейджами ( $p < 0,01$  для ΔVAS;  $p < 0,05$  для ΔODI), тоді як різниця між прямокутними та півмісяцевими кейджами статистично значущою не була ( $p > 0,05$ ). Розмір ефекту був помірним ( $\eta^2 = 0,12$  для ΔVAS та  $\eta^2 = 0,08$  для ΔODI), що свідчить про клінічно значущий вплив форми кейджа на результати лікування.

Таблиця 3 – Динаміка інтенсивності болю за ВАШ (0–10) через 12 місяців

| Група (n=30) | ВАШ до        | ВАШ 12 міс    | ΔВАШ          |
|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Прямокутні   | $7.8 \pm 1.1$ | $1.3 \pm 0.8$ | $6.5 \pm 1.3$ |
| Півмісяцеві  | $7.7 \pm 1.2$ | $1.2 \pm 0.7$ | $6.5 \pm 1.2$ |
| Bullet       | $7.6 \pm 1.3$ | $2.2 \pm 1.1$ | $5.4 \pm 1.5$ |
| Banana       | $7.9 \pm 1.0$ | $3.1 \pm 1.4$ | $4.8 \pm 1.7$ |

Примітка: ANOVA для ΔВАШ:  $p = 0.002$ ,  $\eta^2 = 0.12$

За шкалою Macnab (Excellent + Good) продемонстрували групи з прямокутними та півмісяцевими кейджами – по 90% відповідно. У групі bullet цей показник становив 80%, тоді як у групі banana – 70%, що супроводжувалося

найбільшою частотою незадовільних результатів (Fair + Poor – 30%). Порівняльний аналіз із застосуванням критерію  $\chi^2$  виявив статистично значущу різницю між групами ( $\chi^2 = 9,8$ ;  $p = 0,020$ ), що свідчить про вплив форми кейджа на клінічний результат через 12 місяців спостереження.

Аналогічна тенденція простежувалася при оцінці функціонального результату за індексом Prolo. Найвищу частоту відмінних результатів (Excellent) продемонстрували групи з півмісяцевими (70%) та прямокутними (67%) кейджами. У групі bullet частка Excellent становила 47%, тоді як у групі banana – лише 30%, із найбільшою частотою незадовільних результатів (Fair + Poor – 37%). Розподіл результатів між групами також був статистично значущим ( $\chi^2 = 11,6$ ;  $p = 0,015$ ). Розмір

ефекту за Cramér's V становив 0,18, що відповідає малому–помірному впливу форми кейджа на функціональний результат за індексом Prolo.

Таблиця 4 – Динаміка індексу непрацездатності Oswestry (ODI) через 12 місяців

| Група (n=30) | ODI до (%) | ODI 12 міс (%) | $\Delta$ ODI (%) |
|--------------|------------|----------------|------------------|
| Прямокутні   | 58 $\pm$ 9 | 18 $\pm$ 7     | 40 $\pm$ 10      |
| Півмісяцеві  | 57 $\pm$ 8 | 17 $\pm$ 6     | 40 $\pm$ 9       |
| Bullet       | 56 $\pm$ 9 | 22 $\pm$ 8     | 34 $\pm$ 11      |
| Banana       | 59 $\pm$ 9 | 26 $\pm$ 10    | 33 $\pm$ 12      |

Примітка: ANOVA для  $\Delta$ ODI:  $p = 0,011$

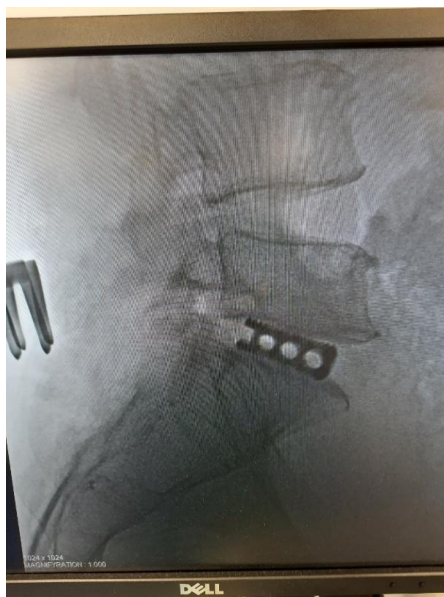


Рисунок 1 – Рентген РВХ. Копророзезд прямокутним кейджем на рівні L5-S1

Отримані дані узгоджуються з результатами аналізу первинних кінцевих точок (VAS та ODI) та підтверджують клінічну перевагу прямокутних і півмісяцевих кейджів порівняно з banana- та bullet-конфігураціями.

Таблиця 5 – Розподіл клінічних результатів за шкалою Maspin через 12 місяців

| Група (n=30) | Excellent | Good     | Fair    | Poor   |
|--------------|-----------|----------|---------|--------|
| Прямокутні   | 18 (60%)  | 9 (30%)  | 3 (10%) | 0 (0%) |
| Півмісяцеві  | 19 (63%)  | 8 (27%)  | 3 (10%) | 0 (0%) |
| Bullet       | 14 (47%)  | 10 (33%) | 5 (17%) | 1 (3%) |
| Banana       | 10 (33%)  | 11 (37%) | 7 (23%) | 2 (7%) |

Примітка: статистичний аналіз:  $\chi^2 = 9,8$ ;  $p = 0,020$

Внутрішньогруповий аналіз динаміки клінічних показників (до операції та через 12 місяців) проводили із застосуванням критерію Вілкоксона для зв'язаних вибірок. У всіх групах відзначено статистично значуще зменшення інтенсивності болю

Таблиця 6 – Розподіл клінічних результатів за індексом Prolo через 12 місяців

| Група (n=30) | Excellent | Good     | Fair    | Poor    |
|--------------|-----------|----------|---------|---------|
| Прямокутні   | 20 (67%)  | 8 (27%)  | 2 (6%)  | 0 (0%)  |
| Півмісяцеві  | 21 (70%)  | 7 (23%)  | 2 (6%)  | 0 (0%)  |
| Bullet       | 14 (47%)  | 10 (33%) | 5 (17%) | 1 (3%)  |
| Banana       | 9 (30%)   | 10 (33%) | 8 (27%) | 3 (10%) |

Примітка: статистичний аналіз:  $\chi^2 = 11,6$ ;  $p = 0,015$



Рисунок 2 – Рентген ПВХ. Копророрез круглим кейджем на рівні L5-S1



Рисунок 3 – Рентген ПВХ. Копророрез банановим кейджем на рівні L5-S1

за ВАШ через 12 місяців після оперативного втручання ( $p < 0,001$  для всіх груп). Аналогічно, індекс непрацездатності Oswestry (ODI) достовірно знизився у кожній із досліджуваних груп ( $p < 0,001$ ). Найбільш виражене покращення показників ВАШ та ODI спостерігалось у групах із прямокутними та півмісяцевими кейджами, що узгоджується з результатами міжгрупового аналізу (ANOVA). Таким чином, незалежно від форми кейджа, оперативне втручання забезпечувало достовірне клінічне покращення, однак ступінь цього покращення відрізнявся між групами.

Аналіз радіологічних та безпекових показників через 12 місяців продемонстрував статистично значущу залежність результатів від форми кейджа.

Найвищу частоту будь-якої міграції зафіксовано у групі banana (23%), що достовірно перевищувало

показники інших груп ( $p = 0,001$ ). Аналогічна тенденція відзначена щодо клінічно значущої міграції: у групі banana вона становила 23,3%, тоді як в інших групах – не перевищувала 3,3% ( $p = 0,003$ , критерій Fisher).

Частота субсиденції також була найвищою при використанні banana-кейджів (33,3%) і значно нижчою у прямокутних (6,7%) та півмісяцевих (3,3%) конфігураціях ( $p = 0,006$ ).

Показники міжтілового зрощення (fusion) продемонстрували зворотну тенденцію: найвищий рівень досягнуто у групах з півмісяцевими (97%) та прямокутними (93%) кейджами, тоді як у групі banana він становив 73% ( $p = 0,004$ ).

Отримані результати свідчать, що геометрія імплантата суттєво впливає як на стабільність міжтілової фіксації, так і на частоту ускладнень.

Таблиця 7 – Результати аналізу за критерієм Вілкоксона (Wilcoxon Signed-Rank Test)

| Група       | Показник       | n  | W (статистика) | p-значення | Ефект (r) | Інтерпретація                    |
|-------------|----------------|----|----------------|------------|-----------|----------------------------------|
| Прямокутні  | ВАШ (до–після) | 30 | 0              | <0,001*    | 0,62      | Значне зниження болю             |
|             | ODI (до–після) | 30 | 35             | <0,001*    | 0,58      | Суттєве функціональне поліпшення |
| Півмісяцеві | ВАШ (до–після) | 30 | 5              | <0,001*    | 0,60      | Значне зниження болю             |
|             | ODI (до–після) | 30 | 40             | <0,001*    | 0,56      | Суттєве функціональне поліпшення |
| Bullet      | ВАШ (до–після) | 30 | 25             | <0,001*    | 0,52      | Помірно-виражене зниження болю   |
|             | ODI (до–після) | 30 | 60             | <0,001*    | 0,48      | Помірне функціональне поліпшення |
| Banana      | ВАШ (до–після) | 30 | 45             | <0,001*    | 0,46      | Помірне зниження болю            |
|             | ODI (до–після) | 30 | 75             | <0,001*    | 0,44      | Помірне функціональне поліпшення |

Примітка: статистично значущо при  $p < 0,05$

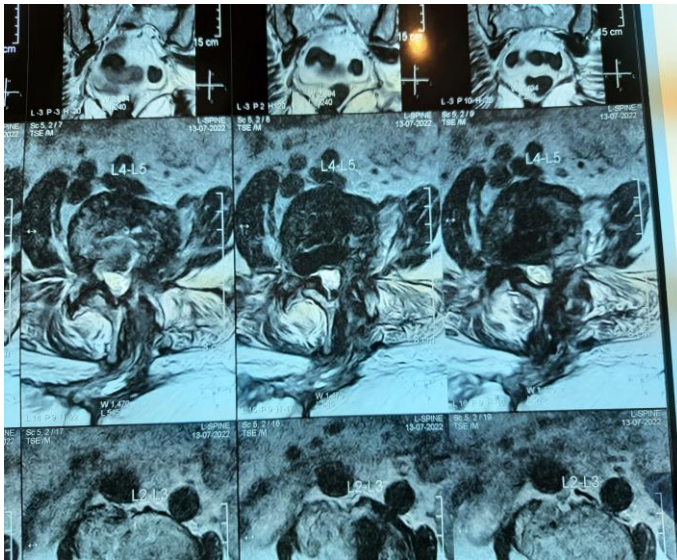


Фото 4 – МРТ ПВХ. Копрородез банановим кейджем на рівні L4-L5. Міграція бананово кейджа з компресією правого корінця L4



Фото 5 – МРТ ПВХ. Копрородез круглим кейджем на рівні L4-L5. Міграція круглого кейджа з компресією дурального мішка

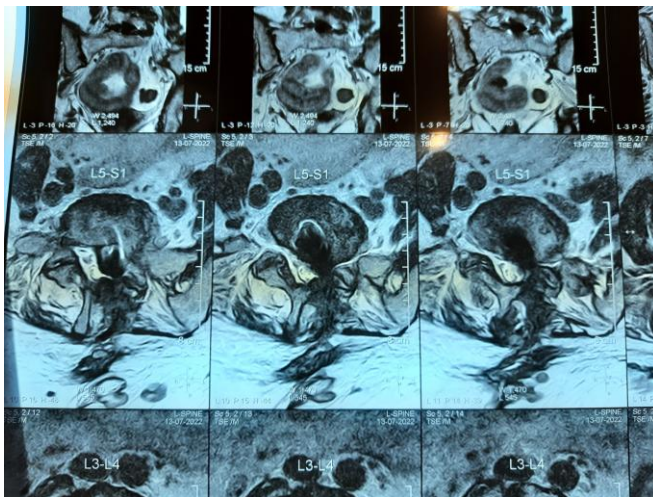
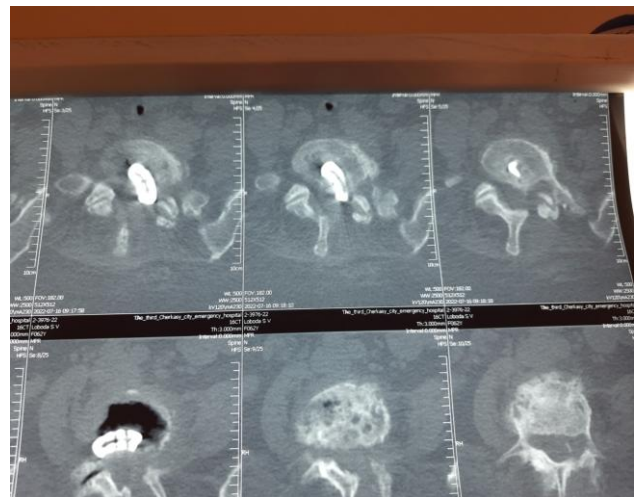


Фото 6–7 – МРТ і КТ ПВХ. Копрородез банановим кейджем на рівні L5-S1. Міграція бананово кейджа з компресією лівого корінця L5



Таблиця 8 – Радіологічні та безпекові результати через 12 місяців

| Група (n=30)         | Будь-яка міграція, n (%) | Клінічно значуща міграція, n (%) | Субсиденція, n (%) | Міжтілове зрощення, n (%) |
|----------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Бананоподібні        | 9 (30%)                  | 7 (23,3%)                        | 10 (33,3%)         | 22 (73%)                  |
| Кулеподібні (Bullet) | 5 (16,7%)                | 1 (3,3%)                         | 4 (13,3%)          | 26 (87%)                  |
| Прямокутні           | 2 (6,7%)                 | 1 (3,3%)                         | 2 (6,7%)           | 28 (93%)                  |
| Півмісяцеві          | 1 (3,3%)                 | 0 (0%)                           | 1 (3,3%)           | 29 (97%)                  |

Примітка: Міжгрупові відмінності:

Будь-яка міграція:  $p = 0,001$

Клінічно значуща міграція:  $p = 0,003$  (критерій Фішера)

Субсиденція:  $p = 0,006$

Міжтілове зрощення:  $p = 0,004$

Таблиця 9 – Статистичні показники міжгрупового аналізу

| Показник                  | $\chi^2$ | p-значення | Cramér's V |
|---------------------------|----------|------------|------------|
| Будь-яка міграція         | 10.62    | 0.0140     | 0.298      |
| Клінічно значуща міграція | 14.77    | 0.0020     | 0.351      |
| Субсиденція               | 13.36    | 0.0039     | 0.334      |
| Міжтілове зрощення        | 8.76     | 0.0326     | 0.270      |

Півмісяцеві та прямокутні кейджі забезпечують кращу первинну стабільність і вищий рівень зрощення, тоді як банана-конфігурація асоціюється з підвищеним ризиком міграції та субсиденції.

Статистичний аналіз підтвердив достовірність виявлених відмінностей.

- **Будь-яка міграція:**  $\chi^2 = 10,62$ ;  $p = 0,0140$ ; Cramér's V = 0,298 – помірний ефект.
- **Клінічно значуща міграція:**  $\chi^2 = 14,77$ ;  $p = 0,0020$ ; Cramér's V = 0,351 – помірний–виражений ефект (найбільший серед досліджуваних показників).
- **Субсиденція:**  $\chi^2 = 13,36$ ;  $p = 0,0039$ ; Cramér's V = 0,334 – помірний ефект.
- **Міжтілове зрощення:**  $\chi^2 = 8,76$ ;  $p = 0,0326$ ; Cramér's V = 0,270 – помірний ефект.

Таким чином, форма кейджа має статистично значущий та клінічно релевантний вплив на частоту міграції, субсиденції та формування міжтілового зрощення. Найбільш виражений вплив геометрії імплантата спостерігається щодо клінічно значущої міграції.

## ОБГОВОРЕННЯ

У даному дослідженні продемонстровано, що геометрія міжтілового кейджа є незалежним фактором, який впливає як на клінічні, так і на радіологічні результати хірургічного лікування дегенеративної патології поперекового відділу хребта. Незважаючи на те, що всі типи кейджів забезпечили статистично значуще зменшення болю та покращення функціонального стану, міжгруповий аналіз виявив помірний розмір ефекту для  $\Delta$ VAS ( $\eta^2 = 0,12$ ) та  $\Delta$ ODI ( $\eta^2 = 0,08$ ), що підтверджує клінічну релевантність форми імплантата.

Найбільш виражені відмінності спостерігалися у радіологічних показниках, зокрема щодо клінічно значущої міграції (Cramér's V = 0,351), що відповідає помірно–вираженому ефекту. Це свідчить про те, що механічні властивості

конструкції безпосередньо транслуються у клінічний результат.

Півмісяцеві та прямокутні кейджі характеризуються більшою площею контакту з замикальними пластинками тіл хребців, що сприяє:

- рівномірнішому розподілу осьового навантаження,
- зниженню локального пікового тиску,
- мінімізації ризику субсиденції.

Натомість банана-конфігурація має більш локалізовану зону контакту, що може створювати концентрацію напружень, особливо в умовах зниженої мінеральної щільності кісткової тканини. Це узгоджується з вищою частотою субсиденції (33,3%) у цій групі.

Банана-кейджі, встановлені ексцентрично або з латералізацією, можуть зміщувати центр навантаження відносно середньої сагітальної площини, що:

- збільшує згинальний момент,
- підвищує навантаження на задні елементи,
- створює передумови для мікрорухів у зоні імплантації.

Це потенційно пояснює підвищену частоту клінічно значущої міграції (23,3%).

Півмісяцеві та прямокутні конструкції забезпечують більш центральне розташування та симетричний розподіл навантаження, що підвищує первинну стабільність.

Банана-кейджі мають перевагу в можливості відновлення сегментарного лордозу завдяки своїй клиноподібній конфігурації. Проте корекція лордозу супроводжується:

- перерозподілом навантаження на передні відділи тіл хребців,
- підвищенням компресійного тиску на замикальні пластинки.

У випадках вираженої нестабільності або значного зниження висоти диска це може призводити до механічної декомпенсації.

Таким чином, потенційна перевага в корекції профілю повинна співвідноситися з ризиком ускладнень.

Формування міжтілового зрощення залежить від:

- стабільності мікрооточення,
- адекватного механічного навантаження,
- площі контакту трансплантата з кістковою тканиною.

Півмісяцеві кейджі продемонстрували найвищий рівень зрощення (97%), що, ймовірно, пов'язано з поєднанням стабільності та оптимального навантаження на зону остеоінтеграції.

Таблиця 10 – Клініко-радіологічні показання до вибору форми міжтілового кейджа (на основі отриманих результатів)

| Критерій                                      | Прямокутний         | Круглий (Bullet)    | Banana (lordotic)   | Півмісяцевий         |
|-----------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Рівень ураження                               | L4–L5, L5–S1        | L4–L5               | L4–L5, L5–S1        | Переважно L5–S1      |
| Сегментарна нестабільність                    | Помірна             | Мінімальна          | Помірна–виражена    | Помірна              |
| Сагітальне зміщення                           | ≤ 4 мм              | < 3 мм              | > 4 мм              | ≤ 4 мм               |
| Кутова рухливість                             | ≤ 10°               | ≤ 8°                | > 10°               | ≤ 10°                |
| Висота диска                                  | Збережена/помірно ↓ | Збережена           | Значно ↓ (>50%)     | Помірно ↓            |
| Потреба в корекції лордозу                    | Мінімальна          | Відсутня            | Виражена            | Часткова             |
| Modic-зміни                                   | Тип I–II            | Відсутні або тип I  | Тип I–II (часто)    | Тип I–II             |
| Фасеткова артропатія                          | II–III ст.          | I–II ст.            | III–IV ст.          | II–III ст.           |
| Ризик міграції (з дослідження)                | Низький (6,7%)      | Помірний (16,7%)    | Високий (30%)       | Мінімальний (3,3%)   |
| Ризик субсиденції                             | Низький (6,7%)      | Помірний (13,3%)    | Високий (33,3%)     | Мінімальний (3,3%)   |
| Рівень зрощення (12 міс)                      | 93%                 | 87%                 | 73%                 | 97%                  |
| Клінічний ефект ( $\Delta$ VAS/ $\Delta$ ODI) | Максимальний        | Помірний            | Найменший           | Максимальний         |
| Основна мета імплантації                      | Стабілізація        | Заповнення простору | Відновлення лордозу | Анатомічна адаптація |

Примітка. Показники ризику міграції, субсиденції та рівня зрощення базуються на результатах міжгрупового аналізу ( $\chi^2 = 8,76$ – $14,77$ ;  $p = 0,002$ – $0,033$ ). Розмір ефекту за Cramér's  $V$  становив  $0,27$ – $0,35$ , що відповідає помірного клінічного впливу форми кейджа на віддалені результати лікування.

Banana-конфігурація, попри можливість лордотичної корекції, продемонструвала нижчий рівень fusion (73%), що може бути наслідком мікрорухів або нерівномірного навантаження.

#### Порівняння з літературними даними

Отримані нами результати узгоджуються з сучасними біомеханічними дослідженнями, які демонструють, що збільшення площі контакту імплантанта зменшує ризик субсиденції, оскільки більша поверхня контакту з ендплатою дозволяє рівномірніше розподілити осьове навантаження, зменшуючи пік контактних напружень та ризик просідання імплантанта [22]; ексцентричне або асиметричне розташування кейджа підвищує стрес у контакті «імплант–кістка» та згинальні навантаження, що може сприяти міграції та субсиденції, особливо при обмеженій площі контакту [23]; збільшена лордотична конфігурація кейджа впливає на розподіл напружень та кінематичні параметри сегмента, зокрема на зміну діапазону руху та міжтілове тиск [24].

Водночас наше дослідження додає клінічний вимір до біомеханічних моделей, підтверджуючи, що геометрія імплантанта має безпосередній вплив на

віддалені клінічні результати, зокрема на частоту міграції, субсиденції та рівень зрощення.

На основі отриманих нами результатів можна сформулювати такі практичні рекомендації:

- при помірній нестабільності та збереженій висоті диска доцільні прямокутні або півмісяцеві кейджі;
- при мінімальній нестабільності можливе застосування круглих (bullet) конструкцій;
- banana-кейджі слід застосовувати обмежено – переважно у випадках необхідності значної корекції сагітального профілю, з урахуванням підвищеного ризику механічних ускладнень.

Таким чином, вибір форми імплантанта повинен бути індивідуалізованим та базуватися на комплексній оцінці біомеханічних параметрів сегмента.

#### ВИСНОВКИ

1. Форма міжтілового кейджа є статистично та клінічно значущим чинником, що впливає на стабільність сегмента та формування зрощення.

2. Півмісяцеві та прямокутні кейджи демонструють оптимальний баланс між стабільністю та рівнем зрощення.

3. Вапана-конфігурація забезпечує кращу корекцію лордозу, але асоціюється з підвищеним ризиком міграції та субсиденції.

4. Розроблена клініко-радіологічна система вибору кейджа може підвищити прогнозованість хірургічного результату.

5. Подальші проспективні багатоцентрові дослідження з довгостроковим спостереженням необхідні для підтвердження отриманих даних.

## ЕТИЧНІ НОРМИ

Усі процедури, виконані в дослідженнях за участю людей, відповідали етичним стандартам інституційного та національного дослідницького комітету, а також Гельсінкській декларації 1964 р. та її пізнішим поправкам або відповідним етичним стандартам.

### Інформована згода

Від кожного пацієнта отримана інформована згода.

## ВКЛАД АВТОРІВ

Усі автори зробили істотний внесок у розробку початкової та доопрацьованої версій цієї статті. Вони несуть повну відповідальність за всі аспекти роботи і вирішення питань, пов'язаних з точністю або цілісністю наведеної інформації.

## ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Дослідження не мало спонсорської підтримки.

## КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Hartvigsen J, Hancock MJ, Kongsted A, et al. What low back pain is and why we need to pay attention. *Lancet*. 2018;391(10137):2356–2367. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30480-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30480-X).
- Wu A, March L, Zheng X, et al. Global low back pain prevalence and years lived with disability. *Ann Transl Med*. 2020;8(6):299. <https://doi.org/10.21037/atm.2020.02.175>.
- Kreiner DS, Hwang SW, Easa JE, et al. An evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of lumbar disc herniation with radiculopathy. *Spine J*. 2014;14(1):180–191. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.08.003>.
- Lurie JD, Tosteson TD, Tosteson ANA, Zhao W, Morgan TS, Abdu WA, et al. Surgical versus nonoperative treatment for lumbar disc herniation: eight-year results for the Spine Patient Outcomes Research Trial. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(1):3–16. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000000088>
- Patel T, Farhan M, Hamza DN, Daneshpazhouh M, Al Nahar O, El Serafy A, Hasan AGM, Bnaian L, Ali MH, Sobhi A. Comparative effectiveness of minimally invasive endoscopic discectomy versus conventional surgical techniques for lumbar disc herniation: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Surgery*. 2024;11:12577904. PMID:41181429; PMCID:PMC12577904.
- Arts MP, Brand R, van den Akker ME, Koes BW, Bartels RHMA, Tan WF, Peul WC. Tubular discectomy vs conventional microdiscectomy for the treatment of lumbar disk herniation: 2-year results of a double-blind randomized controlled trial. *Neurosurgery*. 2011;69(1):135–144. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e318214a98c>. PMID:21792119.
- Parker SL, Mendenhall SK, Godil SS, Sivasubramanian P, Cahill K, Ziewacz J, McGirt MJ. Incidence of low back pain after lumbar discectomy for herniated disc and its effect on patient-reported outcomes. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2015;473(6):1987–1994. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4193-1>. PMID:25694267; PMCID:PMC4419014.
- Feng X, Chen J, Li N, et al. Modic changes after lumbar discectomy: systematic review and meta-analysis. *PeerJ*. 2024;12:e17851. <https://doi.org/10.7717/peerj.17851>.
- Dower A, Chatterji R, Swart A, Winder MJ. Surgical management of recurrent lumbar disc herniation and the role of fusion. *Journal of Clinical Neuroscience*. 2016;23:44–50. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2015.04.024>. PMID:26282154.
- Lei F, Luo Y, Wu S, Yang W, Li W, Tian J. Spinal fusion versus repeat discectomy for recurrent lumbar disc herniation: a systematic review and meta-analysis. *World Neurosurgery*. 2023;170:e364–e373.

- <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.12.091>. PMID:36640835.
11. D'Oria S, Giraldi D, Murrone D, Salamone GG, Tomatis A, Colamaria A, Carbone F, Rossitto M, Fanelli V. Minimally invasive transforaminal interbody fusion versus microdiscectomy without fusion for recurrent lumbar disk herniation: a prospective comparative study. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2023;31(18):e873–e881. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-23-00123>. PMID:37561938.
12. Zileli M, Oertel J, Sharif S, et al. WFNS Spine Committee recommendations on lumbar disc herniation. *World Neurosurg X*. 2024;22:100275. <https://doi.org/10.1016/j.wnsx.2024.100275>.
13. Lin GX, He LR, Nan JN, et al. Banana-shaped vs straight cages in TLIF: meta-analysis. *Neurospine*. 2024;21(1):261–272. <https://doi.org/10.14245/ns.2347078.539>.
14. Lee SB, et al. Expandable cages for lumbar interbody fusion: review. *J Clin Med*. 2024;13(10):2889. <https://doi.org/10.3390/jcm13102889>.
15. Mobbs RJ, Phan K, Malham G, Seex K, Rao PJ. Lumbar interbody fusion: techniques, indications and comparison of interbody fusion options including PLIF, TLIF, MI-TLIF, OLIF/ATP, LLIF and ALIF. *Journal of Spine Surgery*. 2015;1(1):2–18. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2414-469X.2015.10.05>. PMID:27683674; PMCID:PMC5039869.
16. Parisien A, Wai EK, Frei H. Subsidence of spinal fusion cages: systematic review. *Int J Spine Surg*. 2022;16(6):1103–1118. <https://doi.org/10.14444/8363>.
17. Levy HA, Pinter ZW, Reed R, Harmer JR, Raftery K, Nathani KR, Katsos K, Bydon M, Fogelson JL, Elder BD, Currier BL, Newell N, Nassr AN, Freedman BA, Karamian BA, Sebastian AS. Transforaminal lumbar interbody fusion subsidence: computed tomography analysis of incidence, associated risk factors, and impact on outcomes. *Journal of Neurosurgery: Spine*. 2024;41(2):268–277. <https://doi.org/10.3171/2024.4.SPINE231007>. PMID:38968624.
18. Andriamifidy HF, Rohde M, Swami P, Liang H, Grande D, Virk S. Influence of placement of lumbar interbody cage on subsidence risk: biomechanical study. *World Neurosurgery*. 2024;174:e297–e304. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.12.118>. PMID:38154684.
19. Ahn Y, Lee U, Kim WK, Keum HJ. Five-year outcomes and predictive factors of transforaminal full-endoscopic lumbar discectomy. *Medicine (Baltimore)*. 2018 Nov;97(48):e13454. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000013454>.
20. Fairbank JC, Pynsent PB. The Oswestry Disability Index. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000 Nov 15;25(22):2940–52; discussion 2952. <https://doi.org/10.1097/00007632-200011150-00017>. PMID: 11074683.
21. Prolo DJ, Oklund SA, Butcher M. Toward uniformity in evaluating results of lumbar spine operations. A paradigm applied to posterior lumbar interbody fusions. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1986 Jul-Aug;11(6):601–6. <https://doi.org/10.1097/00007632-198607000-00012>.
22. Wu J, Feng Q, Yang D, Xu H, Wen W, Xu H, Miao J. Biomechanical evaluation of different sizes of 3D printed cage in lumbar interbody fusion – finite element analysis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023;24:85. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06201-7>.
23. Rastegar S, Arnoux PJ, Wang X, Aubin C-É. Biomechanical analysis of segmental lumbar lordosis and risk of cage subsidence with different cage heights and alternative placements in transforaminal lumbar interbody fusion. *Comput Methods Biomech Biomed Eng*. 2020;23:456–71. <https://doi.org/10.1080/10255842.2020.1737027>.
24. Kim CJ, Son SM, Choi SH, Ryu D, Lee C. Spinal stability analysis of lumbar interbody fusion according to pelvic type and cage angle based on simplified spinal model. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022;10:1002276. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1002276>.

Одержано 03.02.2026

Затверджено до друку 30.02.2026

Опубліковано 30.03.2026