

К.С. Курисько^{1,2}, А.Ф. Левицький^{1,2}

Порівняльний аналіз використання 3D-навігації і техніки «вільної руки» у хірургічному лікуванні ідіопатичного сколіозу в дітей

¹Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

²Національна дитяча спеціалізована лікарня «ОХМАТДИТ», м. Київ, Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 2(87): 52-57. doi: 10.15574/PS.2025.2(87).5257

For citation: Kurysko KS, Levytskyi AF. (2025). Comparative analysis of the use of 3D navigation and 'free hand' technique in the surgical treatment of idiopathic scoliosis in children. Paediatric Surgery (Ukraine). 2(87): 52-57. doi: 10.15574/PS.2025.2(87).5257.

Задня корегувальна інструментація хребта та спондилодез за допомогою педікулярних гвинтів є стандартною операцією для корегування ідіопатичного сколіозу. Педікулярні гвинти можуть бути неправильно встановлені навіть найкращими, найдосвідченішими хірургами (у 1,7–15,% випадків). Точність введення гвинтів можна поліпшити за допомогою стандартизованих методів встановлення їх як за технікою «вільної руки», так і за рахунок застосування навігаційних систем.

Мета – визначити переваги використання техніки оптичного поліпшення за допомогою навігації на основі інтраопераційної комп'ютерної томографії (КТ) над технікою «вільної руки» у встановленні педікулярних гвинтів під час оперативного лікування ідіопатичного сколіозу в дітей.

Матеріали і методи. До дослідження залучено 90 пацієнтів із діагнозом ідіопатичного сколіозу грудно-поперекового відділу хребта. Загалом встановлено 2127 педікулярних гвинтів під час оперативного лікування ідіопатичного сколіозу в дітей. До групи А залучено 44 пацієнти, яким встановлено 1059 педікулярних гвинтів із використанням техніки «вільної руки». До групи Б – 46 пацієнтів, яким встановлено 1068 педікулярних гвинтів із використанням 3D-навігації з оптичним підсиленням. Точність розміщення гвинтів оцінено і класифіковано на післяопераційних КТ-знімках за шкалою Gertzbein–Robbins. Проведено порівняння точності і безпеки встановлення педікулярних гвинтів між обома групами.

Результати. Показник точності проведення гвинтів у пацієнтів групи А становив 90,1% і був значно нижчим порівняно з групою Б (96,5%).

Висновки. Інтраопераційна комп'ютерна 3D-навігація порівняно з технікою «вільної руки» має перевагу в коректності розміщення педікулярного гвинта, скорочує час оперативного втручання, що зменшує інтраопераційну кровотечу, знижує кількість неврологічних післяопераційних ускладнень, а також забезпечує безпечність операції шляхом ідентифікації та швидкого видалення неправильно розміщеного гвинта. Підвищення точності встановлення гвинтів дає змогу збільшити спектр хірургічних втручань вищої складності та поліпшити показники корегування деформації хребта при ідіопатичному сколіозі в дітей.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження погоджено локальним етичним комітетом зазначеної установи. На проведення дослідження отримано інформовану згоду пацієнтів.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Ключові слова: ідіопатичний сколіоз, деформація хребта, техніки «вільної руки», педікулярний гвинт, безпека хірургії хребта, задня корегувальна інструментація хребта, 3D-навігація, інтраопераційний нейрофізіологічний нейромоніторинг.

Comparative analysis of the use of 3D navigation and «free hand» technique in the surgical treatment of idiopathic scoliosis in children**K.S. Kurysko^{1,2}, A.F. Levytskyi^{1,2}**¹*Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine*²*National Specialized Children's Hospital «OKHMATDYT», Kyiv, Ukraine*

Posterior instrumentation technique and posterior fusion with pedicle screws is a standard operation for the correction of idiopathic scoliosis. Pedicle screws can be incorrectly placed even by the best, most experienced surgeons (1.7 to 15% of cases). Improving the accuracy of screw insertion can be achieved by using standardized methods of free-hand technique screw insertion and by using navigation systems.

Aim – to determine the benefits of using optical enhancement technique with navigation based on intraoperative computed tomography is more effective than the free-hand technique in the placement of pedicle screws in the surgical treatment of idiopathic scoliosis in children.

Materials and methods. The study included 90 patients with a diagnosis of idiopathic scoliosis of the thoracolumbar spine. A total of 2127 pedicle screws were inserted during the surgical treatment of idiopathic scoliosis in children. The group A included 44 patients, who received 1059 pedicle screws using the «free-hand» technique. The group B included 46 patients, who received 1068 pedicle screws using 3D-navigation with optical amplification. The accuracy of screw placement was assessed on postoperative CT scans using the Gertzbein–Robbins scale. We compared the accuracy and safety of pedicle screw placement between the both groups.

Results. The group A's rate of 90.1% was significantly lower than that of the group B's 96.5%.

Conclusions. Intraoperative computer 3D-navigation compared to the «free-hand» technique has the advantage of correctness and safety of pedicle screw placement, shortens surgical time, reduce intraoperative bleeding, the number of neurological postoperative complications, and also ensure the safety of the operation by identifying and quickly removing an incorrectly placed screw. Increasing the accuracy of screw placement allows for an increase in the range of surgical interventions of higher complexity and improving the correction rates of spinal deformities in idiopathic scoliosis in children.

The research was carried out in accordance with the principles of the Helsinki Declaration. The study protocol was approved by the Local Ethics Committee for all participants. The informed consent of the patients was obtained for the study.

The authors declare no conflict of interest.

Keywords: idiopathic scoliosis, spinal deformity, «free hand» technique, pedicle screw, spinal surgery safety, posterior instrumentation, 3D navigation, intraoperative neurophysiological monitoring.

Вступ

Задня корегувальна інструментація хребта та спондилодез за допомогою педікулярних гвинтів є стандартною операцією для корегування ідіопатичного сколіозу. Високотехнологічні підходи разом із застосуванням сучасних імплантів та інструментарію забезпечують ефективну корекцію. Слід зазначити, що імплантація гвинтів у пацієнтів з ідіопатичним сколіозом є досить непростою і небезпечною процедурою [11,12,15]. Близьке розташування багатьох життєво важливих нервових і судинних структур та варіабельність морфології ніжки хребця ускладнюють точну імплантацію [6,13]. При ідіопатичному сколіозі в міру деформації хребта ніжки стають диспластичними, звужуються в грудному відділі хребта, а проєкційні точки місця введення змінюються за ротації хребта на вершині деформації [12].

Педікулярні гвинти можуть бути неправильно встановлені навіть найкращими, найдосвідченішими хірургами, і попередні дослідження свідчать, що це відбувається у 1,7–15,0% випадків [5,9,16].

Точність введення гвинтів може поліпшити за допомогою стандартизованих методів встановлення їх як за технікою «вільної руки», так і за рахунок застосування навігаційних систем [13].

Однак результати деяких досліджень вказують, що в пацієнтів із помірним ідіопатичним сколіозом використання 3D-навігації на основі комп'ютерної томографії (КТ) не має переваг. За наявності відповідного хірургічного досвіду техніка «вільної руки» є безпечною, ефективною і з такою ж точною, як і використання 3D-навігації [2,3,4,18].

За даними інших авторів, інтраопераційна комп'ютерна навігація може підвищити точність і безпечність імплантації педікулярного гвинта, а також безпечність операції шляхом пошуку і швидкого видалення або перегляду потенційно ризикованих гвинтів. Тобто системи навігації, побудовані на тривимірному флюороскопічному зображенні, мають значно вищу точність розміщення педікулярного гвинта порівняно зі звичайними методами встановлення їх за технікою «вільної руки» та 2D-флюороскопічного контролю [1,14,19].

Отже, думки різних авторів є неоднозначними, що потребують подальшого дослідження.

Мета дослідження – визначити переваги використання техніки оптичного поліпшення за допомогою навігації на основі інтраопераційної КТ над технікою «вільної руки» у встановленні педікулярних гвинтів за оперативного лікування ідіопатичного сколіозу в дітей.

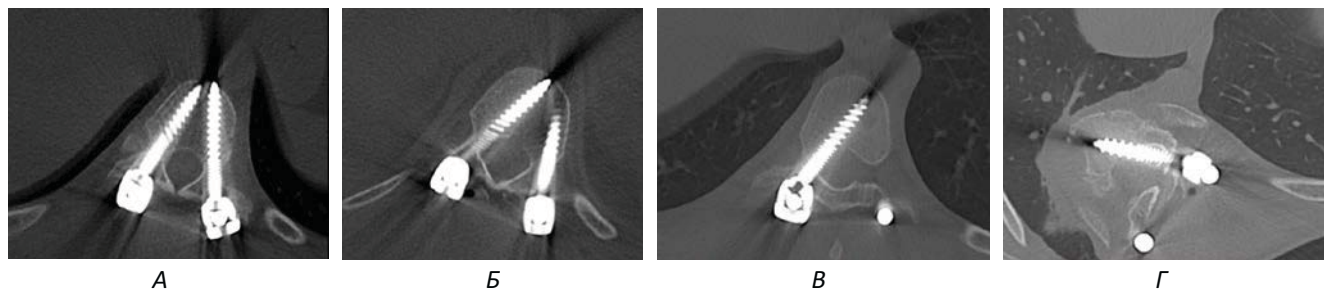


Рис. 1. Точність розміщення гвинтів на післяопераційних КТ-знімках за шкалою Gertzbein–Robbins: А – ступінь 0, Б – ступінь 1, В – ступінь 2, Г – ступінь 3

Матеріали і методи дослідження

До дослідження залучено пацієнтів із діагнозом ідіопатичного сколіозу грудно-поперекового відділу хребта, яких лікували у відділенні ортопедії та травматології Національної дитячої спеціалізованої лікарні «ОХМАТДИТ», м. Київ, за період 2019–2024 рр.

Критерії залучення: вік від 10 до 18 років, основний діагноз – ідіопатичний сколіоз грудно-поперекового відділу хребта.

Критерії вилучення: неврологічний дефіцит, неврологічні порушення, вік від 18 років.

До дослідження залучено 90 пацієнтів, яким загалом встановлено 2127 педікулярних гвинтів за оперативного лікування ідіопатичного сколіозу в дітей. До групи А увійшло 44 пацієнти, яким встановлено 1059 педікулярних гвинтів із використанням техніки «вільної руки», (Free hand technique – техніка «вільної руки»), що популяризована Y.J. Kim та співавт. [7,8]. До групи Б – 46 пацієнтів, яким встановлено 1068 педікулярних гвинтів із використанням навігаційної системи (StealthStation TM) на основі 3D-зображень, отриманих за допомогою багатовимірної хірургічної системи зображення O-arm® (Medtronic) з оптичним підсиленням.

Дві групи не різнилися за віком, статтю або ступенем деформації. Середній кут деформації основної дуги становив $71,7 \pm 13,9^\circ$, середній вік пацієнтів – $14,6 \pm 1,35$ року, серед пацієнтів була 81 дівчина і 9 хлопців. Пацієнти не мали неврологічного дефіциту до оперативного втручання.

Положення педікулярного гвинта в групі А повинно оцінено за результатами рентгенографії у двох взаємоперпендикулярних площинах (C-arm), а в групі Б – оцінено за допомогою інтраопераційних 3D-зображень, отриманих за допомогою O-arm. Точність розміщення гвинтів після хірургічного втручання оцінено та класифіковано на післяопераційних КТ-знімках за шкалою Gertzbein-Robbins [18]. Порівняно точність і безпечність встановлення педікулярних гвинтів між обома групами.

Усі хірургічні втручання виконано із застосуванням інтраопераційного нейрофізіологічного моніторингу. Хірургічне втручання проведено одним і тим самим хірургом.

Встановлення гвинтів за допомогою техніки «вільної руки». Положення пацієнта – на операційному столі на животі з валиками під передніми остями клубових кісток, грудною кліткою, колінами і стопами. Розріз виконували по середній лінії вздовж остистих відростків, скелетували задні елементи хребців, визначали місце введення гвинта та його напрямок за допомогою стандартних анатомічних орієнтирів. Пробійником намічали вхід розгортки, яку використовували для формування каналу через корінь дуги в тіло хребця. За допомогою мітчика нарізали різьблення відповідного діаметра. Кожний крок формування кісткового каналу контролювали зондом (медіальна, латеральна, каудальна, дистальна стінки та дно повинні бути кістковими). Після встановлення гвинтів виконували рентгенографічний контроль за допомогою флюороскопу в двох проекціях. Встановлювали стрижні, корегували деформацію.

Встановлення транспедікулярних гвинтів за допомогою 3D-навігаційної системи. Положення пацієнта – на животі, аналогічно як під час використання техніки «вільної руки». На остистий відросток відповідно до рівня, що потребує використання навігаційної системи, встановлювали навігаційну рамку. Зареєстрували інструменти. Під контролем навігації в 3D-режимі формували канали і транспедікулярно проводили гвинти. Встановлювали стрижні, корегували деформацію. Рентгенологічний контроль проводили за допомогою системи O-arm в 2D і 3D-режимах.

Усім пацієнтам проводили контрольну КТ хребта в післяопераційному періоді на 5–7-му добу. Зіставлення ґрунтувалося на клінічному діагнозі і подібних пропорціях гвинтів, розміщених у грудних і поперекових хребцях в обох групах. Точність розміщення гвинтів оцінювали на післяопераційних

КТ-знімках за шкалою Gertzbein–Robbins. Розташування гвинта в межах кіркового шару дужки хребця класифікували як ступінь 0, якщо гвинт перфорував кірковий шар у межах до 2 мм – ступінь 1, від 2 до 4 мм – ступінь 2, до 6 мм – ступінь 3, а оцінки 0 і 1 вважали точними [18].

Опрацювання отриманих результатів проведено за допомогою пакета статистичної обробки «MedStat». Для оцінювання якісних показників застосовано критерій χ^2 Пірсона, визначення 95% довірчого інтервалу (95% ДІ), метод кутового перетворення Фішера, значення достовірності прийнято $p < 0,001$.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено Локальним етичним комітетом. На проведення дослідження отримано інформовану згоду пацієнтів, батьків/опікунів.

Результати дослідження та їх обговорення

Інтраопераційне повторне проведення гвинтів у групі А становило 25 гвинтів, у групі Б – 14 гвинтів. Потреба в повторній тактильній ревізії інсталяційного каналу за допомогою зонду та повторне проведення педікулярного гвинта були пов'язані з незадовільним розташуванням за даними рентгенографії в групі А, за даними перегляду 3D-зображень у групі Б, а також зі змінами показників інтраопераційного нейрофізіологічного моніторингу в обох групах у вигляді змін амплітуди моторних відповідей із м'язів нижніх кінцівок на боці проведення педікулярного гвинта або ознак подразнення спинного мозку чи корінців за даними електроміографії.

За результатами післяопераційної контрольної КТ у групі А розташування 945 гвинтів віднесено до ступеня 0 (89,24%) (рис. 1А), 9 гвинтів – до ступеня 1 (0,85%) (рис. 1Б), 27 гвинтів – до ступеня 2 (2,55%) (рис. 1В), 78 гвинтів – до ступеня 3 (7,37%) (рис. 1Г). У групі Б точність проведення 973 гвинтів віднесено до ступеня 0 (91,1%), 58 гвинтів – до ступеня 1 (5,43%), 30 гвинтів – до ступеня 2 (2,81%), 7 гвинтів – до ступеня 3 (0,66%).

Показник точності проведення педікулярного гвинта у групі А становив 90,1% (95% ДІ: 88,2–91,8% на рівні значущості $p=0,05$) і був значно нижчим, ніж у групі Б – 96,5% (95% ДІ: 95,4–97,5% на рівні значущості $p=0,05$), (рис. 2).

Відмінність була статистично значущою на рівні $p < 0,001$.

З точки зору точності розміщення гвинтів за шкалою Gertzbein–Robbins, гвинти, положення яких відповідало ступеню 0 та 1 (що вважаємо розміщеними

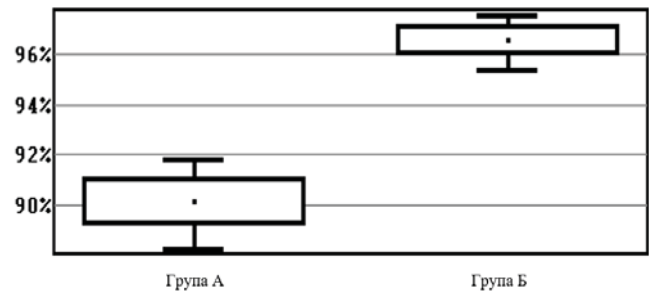


Рис. 2. Інтервальна оцінка показників точності розміщення гвинтів у групах порівняння

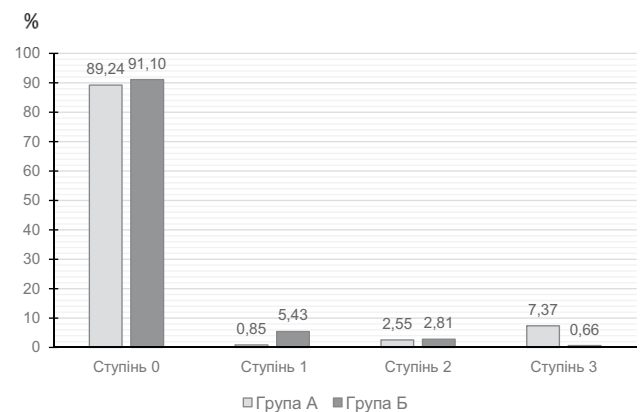


Рис. 3. Розподіл точності розміщення педікулярних гвинтів за шкалою Gertzbein–Robbins у відсотковому співвідношенні

коректно) переважали в групі Б (рис. 3), кількість гвинтів, положення яких відповідало ступеню 2, практично рівнозначно були розміщені в групах А і Б. Більшу кількість неправильно розміщених гвинтів (ступінь 3) виявили в групі А, ці гвинти встановлені з використанням техніки «вільної руки».

Під час хірургічного втручання відзначили зміни показників інтраопераційного нейрофізіологічного моніторингу у вигляді: зниження амплітуди або повне зникнення моторних відповідей із м'язів нижніх кінцівок з одного або обох боків: у групі А – 14 випадків, у групі Б – 9 випадків. Післяопераційний транзиторний неврологічний дефіцит у вигляді нижнього монопарезу та одностороннього порушення больової та пропріоцептивної чутливості в нижніх кінцівках спостерігали в 6 пацієнтів групи А і в 4 пацієнтів групи Б. Регрес неврологічного дефіциту відзначався протягом 2–3 тижнів після оперативного втручання. Ревізієні хірургічні втручання не застосовували в жодній із груп.

На думку авторів, використання навігаційної системи мінімізує променеве навантаження на операційну бригаду, адже опромінення відбувається лише за реєстрації навігаційної рамки, у цей час вся операційна бригада виходить з операційної кімнати та

Original articles. Orthopedics

не отримує радіаційного опромінення. Так, загальне радіаційне опромінення на одного пацієнта, за даними літератури, становить 1071 ± 447 мГр-см за використання 3D-навігації і 391 ± 53 мГр-см – за використання техніки «вільної руки». Ці показники залежать від досвіду і професіоналізму оперуючого хірурга [2,3,10, 18].

Використання навігаційної системи дає змогу за клінічними показаннями мінімізувати скелетування задніх елементів хребта під час хірургічного доступу, тим самим зменшити крововтрату, час на проведення кожного гвинта і час операції в цілому. За даними літератури, результати скорочення часу введення гвинтів у групі комп'ютерної навігації порівняно з показниками в групі під контролем флюорографії відповідають даним літератури [2,3,18]. Так, середній час на встановлення гвинта з використанням 3D-навігації, у т.ч. час для отримання зображення, становить 5,27 хв (діапазон – 0,84–11,76 хв) [10].

Причини, з якими можуть бути пов'язані незадовільні результати роботи з використанням навігаційної системи:

- зміщення навігаційної рамки на остистому відростку після реєстрації;
- зміна положення тіла пацієнта після реєстрації;
- рухливість хребців;
- дихальні рухи;
- пошкодження відбиваючого покриття сфер на навігаційній рамці чи інструменті, потрапляння на них крапель крові.

Слід відзначити, що на залежність точності імплантації гвинтів від можливої зміни положення тіла після реєстрації також звертають у своїх роботах і Wiktor Urbanski та Alexander Mason [14,18].

Крім того, встановлено, що положення тіла після встановлення реєстраційної рамки також може змінюватися внаслідок електричної транскраніальної стимуляції та скорочення м'язів під час проведення інтраопераційного нейрофізіологічного моніторингу.

Висновки

Інтраопераційна комп'ютерна 3D-навігація порівняно з технікою «вільної руки» має перевагу в коректності розміщення педікулярного гвинта, скорочує час оперативного втручання, що зменшує інтраопераційну кровотечу, знижує кількість неврологічних післяопераційних ускладнень, а також забезпечує безпечність операції шляхом ідентифікації та швидкого видалення неправильно розміщеного гвинта. Підвищення точності встановлення гвинтів дає змогу збільшити спектр хірургічних втручань вищої складності та поліпшити показники

корекції деформацій хребта при ідіопатичному сколіозі в дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References/Література

1. Baldwin KD, Kadiyala M, Talwar D, Sankar WN, Flynn JJM, Anari JB. (2022, Jan). Does intraoperative CT navigation increase the accuracy of pedicle screw placement in pediatric spinal deformity surgery? A systematic review and meta-analysis. *Spine Deform.* 10(1): 19-29. doi: 10.1007/s43390-021-00385-5. PMID: 34251607.
2. Berlin C, Platz U, Quante M, Thomsen B, Köszegvary M, Halm H. (2020, Aug). Collected data on freehand technique instrumentation and literature comparison on fluoroscopic and CT-assisted navigation. *Orthopade.* 49(8): 724-731. doi: 10.1007/s00132-020-03896-7. PMID: 32112224.
3. Berlin C, Quante M, Thomsen B, Köszegvary M, Platz U, Halm H. (2021, Aug). Intraoperative Radiation Exposure for Patients with Double-Curve Idiopathic Scoliosis in Freehand-Technique in Comparison to Fluoroscopic- and CT-Based Navigation *Z Orthop Unfall.* 159(4): 412-420. Epub 2020 May 4. doi: 10.1055/a-1121-8033. PMID: 32365396.
4. Elmi-Terander A, Burström G, Nachabé R, Fagerlund M, Ståhl F, Charalampidis A et al. (2020, Jan 20). Augmented reality navigation with intraoperative 3D imaging vs fluoroscopy-assisted freehand surgery for spine fixation surgery: a matched-control study comparing accuracy. *Sci Rep.* 10(1): 707. doi: 10.1038/s41598-020-57693-5. PMID: 31959895.
5. Hicks JM, Singla A, Shen FH et al. (2010, May 15). Comparison of pedicle screw fixation in scoliosis surgery: a systematic review. *Spine (Phila Pa 1976).* 35(11): E465-470. PMID: 20473117
6. Joglekar SB, Mehbod AA. (2012, Dec). Surgeon's view of pedicle screw implantation for the monitoring neurophysiologist. *J Clin Neurophysiol.* 29(6): 482-488. doi: 10.1097/WNP.0b013e3182768091. PMID: 23207586.
7. Karapinar L, Erel N, Ozturk H, Altay T, Kaya A. (2008, Feb). Pedicle screw placement with a free hand technique in thoracolumbar spine: is it safe? *J Spinal Disord Tech.* 21(1): 63-67. doi: 10.1097/BSD.0b013e3181453dc6. PMID: 18418139.
8. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, Cho YS, Riew KD. (2004, Feb 1). Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine: is it safe? *Spine (Phila Pa 1976).* 29(3): 333-342; discussion 342. doi: 10.1097/01.brs.0000109983.12113.9b. PMID: 14752359.
9. Kuklo TR, Lenke LG, O'Brien MF et al. (2005, Jan 15). Accuracy and efficiency of thoracic pedicle screws in bends greater than 90 degrees. *Spine (Phila Pa 1976).* 30(2): 222-226. PMID: 15644761.
10. Ledonio CGT, Polly DW, Jr, Jones KE, Zhu HW. (2015). Pedicle Screw Placement Using 3D Navigation: How Long Does it Take?. *The Spine Journal.* 15; 10: 247. doi: 10.1016/j.spinee.2015.07.373. URL: [https://www.thespinejournalonline.com/article/S1529-9430\(15\)01052-9/abstract](https://www.thespinejournalonline.com/article/S1529-9430(15)01052-9/abstract).
11. Levytskyi AF, Burianov OA, Benzar IM, Omelchenko TM, Ovdi MO. (2022). Tactics of surgical treatment of congenital spinal deformities in children. *Paediatric Surgery (Ukraine).* 2(75): 26-30. [Левицький АФ, Бур'янов ОА, Бензар ІМ, Омельченко ТМ, Овдій МО. (2022). Тактика хірургічного лікування вроджених деформацій хребта в дітей. *Хірургія дитячого віку (Україна).* 2(75): 26-30]. doi: 10.15574/PS.2022.75.26.
12. Liljenqvist UR, Link TM, Halm HF. (2000, May 15). Morphometric analysis of thoracic and lumbar vertebrae in idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 25(10): 1247-53. PMID: 10806501.
13. Manbachi A, Cobbald RS, Ginsberg HJ. Guided pedicle screw insertion: techniques and training. *Spine J.* 2014 Jan;14(1):165-79. Epub 2013 Apr 25. doi: 10.1016/j.spinee.2013.03.029. PMID: 23623511.

14. Mason A, Paulsen R, Babuska JM, Rajpal S, Burneikiene S et al. (2014, Feb). The accuracy of pedicle screw placement using intraoperative image guidance systems. *J Neurosurg Spine*. 20(2): 196-203. doi: 10.3171/2013.11.SPINE13413. PMID: 24358998.
15. Mezentsev AO, Petrenko DS, Demchenko DO. (2023). Surgical correction of congenital kyphosis in children. Clinical case. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 1(78): 135-139. [Мезенцев АО, Петренко ДЄ, Демченко ДО. (2023). Хірургічна корекція вродженого кіфозу в дітей. Клінічний випадок. *Хірургія дитячого віку (Україна)*. 1(78): 135-139]. doi: 10.15574/PS.2023.78.135.
16. Samdani AE, Ranade A, Saldanha V, Yondorf MZ. (2010, Feb). Learning curve for placement of thoracic pedicle screws in the deformed spine. *Neurosurgery*. 66(2): 290-294; discussion 294-295. PMID: 20087128.
17. Shi X, Zhang Y, Zhang X, Cui G, Mao K, Wang Z et al. (2012, Dec). Application of intraoperative CT navigation in posterior thoracic pedicle screw placement for scoliosis patients. *Zhong-guo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 26(12): 1415-1419. PMID: 23316627.
18. Urbanski W, Jurasz W, Wolanczyk M, Kulej M, Morasiewicz P, Dragan SL et al. (2018, May).. Increased Radiation but No Benefits in Pedicle Screw Accuracy With Navigation versus a Free-hand Technique in Scoliosis Surgery. *Clin Orthop RelatRes*. 476(5): 1020-1027. PMID: 29432262.
19. Youssef S, McDonnell JM, Wilson KV, Turley L, Cunniffe G, Morris S et al. (2024, Mar).. Accuracy of augmented reality-assisted pedicle screw placement: a systematic review. *Eur Spine J*. 33(3): 974-984. Epub 2024 Jan 4. doi: 10.1007/s00586-023-08094-5. PMID: 38177834

Відомості про авторів:

Левицький Анатолій Феодосійович – д.мед.н., проф., зав. каф. дитячої хірургії НМУ ім. О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, вул. В. Чорновола, 28/1, корпус 11, тел. (044) 236-70-52. <https://orcid.org/0000-0002-4440-2090>.

Курисько Кіра Сергіївна – лікар-ортопед-травматолог дитячий НДСЛ «ОХМАТДИТ»; аспірант каф. дитячої хірургії НМУ ім. О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, м. Київ, вул. В. Чорновола, 28/1, корпус 11, тел. (044) 236-70-52. <https://orcid.org/0009-0000-1245-5799>.

Стаття надійшла до редакції 29.01.2024 р., прийнята до друку 10.06.2025 р.