

УДК 616.711-089.881-089-06(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026153-60>

Рекомендації щодо попередження розвитку післяопераційних ускладнень транспедикулярної фіксації у пацієнтів з патологією хребта

С. Є. Бондаренко, О. О. Барков, В. О. Туляков

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

Innovations in spinal surgery have improved technical precision and perioperative efficiency, however, the issue of postoperative complications arising from the use of transpedicular screw fixation (TF) remains a concern. Objective. To develop an algorithmic protocol for reducing the likelihood of postoperative complications in patients undergoing transpedicular screw fixation. Methods. An analysis was conducted of the surgical outcomes of 2,760 patients with degenerative diseases, injuries and deformities of the spine, with radiographic assessment of transpedicular screw (TS) placement, both with and without the use of a 3D navigation system. The patients' laboratory parameters and the results of 62 intraoperative neurophysiological monitoring sessions were studied. Results. An algorithmic scheme was developed to prevent the development of TS complications and improve the quality of care for patients with spinal disorders: preoperative strategic comprehensive planning, intraoperative monitoring and techniques for precise TS placement, postoperative follow-up, prevention complications. An algorithm for action has been defined in cases of suspicion of an incorrectly placed screw or deterioration in neurological status. The core of the prediction and assessment of the likelihood of postoperative complications is an algorithmized scheme for laboratory examination of patients. Its suitability was verified during the surgical treatment of 30 patients. Conclusions. The algorithm-based protocol developed enables a structured assessment of the risk of complications, the planning of surgical treatment taking into account modern technologies, the monitoring of all critical points, the implementation of an individualized approach for each patient, and the integration of spinal navigation and neuromonitoring of the surgical process, which will minimize complications and have a positive impact on patients' condition, the length of their hospital stay, and the quality of treatment outcomes. Key words: spine, thoracic section, lumbar section, transpedicular fixation, complication, prevention, biochemistry, immunology.

Інновації в хірургії хребта підвищили технічну точність і періопераційну ефективність, проте проблема післяопераційних ускладнень через застосування транспедикулярної фіксації (ТФ) залишається актуальною. Мета. Розробити алгоритмізовану схему зниження вірогідності розвитку післяопераційних ускладнень у пацієнтів із використанням транспедикулярної фіксації. Методи. Проведено аналіз результатів операцій 2 760 пацієнтів із дегенеративними захворюваннями, травмами та деформаціями хребта з рентгенологічною оцінкою введення транспедикулярних гвинтів (ТГ), без та з допомогою 3D-навігаційної системи. Вивчено лабораторні показники пацієнтів і результати 62 інтраопераційних нейрофізіологічних моніторингів. Результати. Складено алгоритмізовану схему для попередження розвитку ускладнень ТФ і підвищення якості лікування хворих із захворюваннями хребта: передопераційне стратегічне комплексне планування, інтраопераційний контроль і техніка точного встановлення ТГ, післяопераційне спостереження та профілактика ускладнень. Визначено алгоритм дії за підозри на неправильно встановлений гвинт або погіршення неврологічного статусу. Ядром предикції й оцінки вірогідності розвитку післяопераційних ускладнень є алгоритмізована схема лабораторного обстеження пацієнтів. Її придатність перевірено під час хірургічного лікування 30 хворих. Висновки. Розроблена алгоритмізована схема дозволяє структуровано оцінити ризик ускладнень, запланувати хірургічне лікування з урахування сучасних технологій, проконтролювати усі критичні точки, здійснити індивідуальний підхід до кожного пацієнта й інтеграцію спінальної навігації, нейромоніторинг операційного процесу, що дозволить мінімізувати ускладнення та позитивно впливатиме на стан пацієнтів, тривалість їхнього перебування в стаціонарі, покращення якості результатів лікування.

Ключові слова. Хребет, грудний відділ, поперековий відділ, транспедикулярна фіксація, ускладнення, лабораторні показники

Вступ

Спондилодез із застосуванням транспедикулярної фіксації (ТФ) позиціонується як найбільш часто виконувана в ортопедичній практиці операція, але яка може супроводжуватися ускладненнями, що вимагають повторного втручання [1, 2].

Вагоме місце серед причин неврологічних, судинних, вісцеральних ускладнень і ліквореї займає некоректне проведення транспедикулярних гвинтів (ТГ). Середні величини частоти некоректного проведення ТГ у різних дослідженнях варіюють від 0–2 % до 25–95 % у пацієнтів зі сколіотичною деформацією та близько 4,2 % випадків із дегенеративними захворюваннями хребта [1–3].

У хворих з ускладненнями здебільшого індекс маси тіла $> 25 \text{ кг/м}^2$, гірший початковий загальний стан здоров'я (за шкалою SF-36), порушення попереково-тазового балансу, що спричинювало довше перебування в лікарні, більшу кількість рівнів інструментації ТГ і, як наслідок, призводило до менш сприятливої післяопераційної фронтальної та сагітальної корекції [5]. Н. Е. Goheer і співавт. зазначили, що на кожну одиницю збільшення індексу маси тіла (ІМТ) пацієнта час проведення заднього поперекового спондилодезу подовжувався на 0,84 хв. Водночас, ймовірність ускладнень з боку операційної рани зросла на 19,7 % після заднього спондилодезу на одному рівні [6].

Наявність верхнього інструментованого хребця на вершині кіфозу, передопераційний сагітальний попереково-тазовий дисбаланс і остеопороз були визначені як важливі чинники ризику розвитку ускладнень у пацієнтів із дегенеративним поперековим сколіозом і супутнім грудноперековим кіфозом. Морфологічні характеристики хребта за цього захворювання необхідно враховувати під час планування хірургічного втручання для запобігання потрапляння верхнього інструментованого хребця в ділянку вершини кіфотичної деформації [4–6].

Останні інновації в хірургії хребта підвищили технічну точність і періопераційну ефективність, проте проблема ускладнень у разі оперативних втручання із ТФ залишається актуальною, що обумовило тематику нашого дослідження.

Уважаємо за доцільне проаналізувати наявний у ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» матеріал стосовно проведених оперативних втручання із використанням транспедикулярних конструкцій, а також вивчити причини, які призводять до

ускладнень і небажаних результатів, здійснити систематизацію результатів клінічних і лабораторних досліджень.

Мета: розробити алгоритмізовану методику зниження вірогідності розвитку післяопераційних ускладнень у пацієнтів із використанням транспедикулярної фіксації хребта.

Матеріал і методи

Дослідження проводились на базі клініки патології хребта ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України». Воно було схвалене локальним комітетом з біоетики цієї установи (протокол № 257 від 22.12.2025 р.) та проведене з дотриманням принципів належної клінічної практики (ICH GCP), Гельсінської декларації з прав людини та біомедицини (редакція 1977 р.), а також вимог чинного законодавства України. Усі пацієнти, залучені до дослідження, були належним чином проінформовані про мету, план і умови його проведення та надали письмову інформовану згоду на участь.

Ретроспективно та проспективно проаналізовано результати хірургічних втручання 2 760 осіб за період з 2004 по 2018 роки через дегенеративні захворювання, травматичні ушкодження і деформації грудного та поперекового відділів хребта, і яким було проведено ТФ хребців цієї локалізації. Ревізійні втручання виконано 268 пацієнтам. У 143 вивчено причини ускладнень через транспедикулярні конструкції (ТК) — унаслідок використання транспедикулярних гвинтів (ТГ) чи стрижнів та комбіновані. За допомогою рентгенологічного обстеження (фронтальне, сагітальне), комп'ютерної томографії (КТ), магнітно-резонансної томографії (МРТ) здійснено порівняння точності розташування ТГ у хребцях та проаналізовано кількість ревізійних хірургічних втручання, пов'язаних безпосередньо з некоректним розміщенням гвинтів між I групою пацієнтів із стандартною технікою установки гвинтів (техніка «вільних рук») (2 128 пацієнтів, 12 879 гвинтів), та II групою — використання 3D-навігаційної системи на підставі попередньо виконаної КТ (632 особи, 3 203 гвинтів). Зокрема проаналізовано 62 результати інтраопераційних нейрофізіологічних моніторингів (ІОНМ).

Водночас вивчено показники клініко-лабораторного, біохімічного й імунологічного обстеження крові цих пацієнтів до початку лікування та визначено їхню діагностичну чутливість. Серед них оцінювали: вміст гемоглобіну, загального білірубину (Б), загальних глікопротеї-

нів (ГП), гаптоглобіну (ГГ), С-реактивного білка (СРБ), активності лужної та кислої фосфатази (ЛФ та КФ), аланінамінотрансферази (АЛТ), аспаратамінотрансферази (АСТ), фіброногену (ФГ), (Д-димерів), розчинних фібрин-мономерних комплексів (РФМК), циркулюючих імунних комплексів (ЦІК), визначали активований частковий тромбіновий час (АЧТЧ), фібринолітичну активність (ФА), лейкоцитарну формулу, швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ), вміст і спонтанну міграцію лімфоцитів (LIF).

Результати

Розроблена алгоритмізована методика (рис. 1) дозволила запровадити обґрунтований комплекс заходів для зменшення ризику після- та інтраопераційних ускладнень у пацієнтів, яким проводяться декомпресійно-стабілізувальні втручання на хребті.

Передопераційне стратегічне комплексне планування полягає у визначенні показників до проведення декомпресійно-стабілізуючого хірургічного втручання з використанням ТФ та уточнення чинників ризику для кожного конкретного хворого:

- клініко-діагностичне дослідження — анамнез (дегенеративні захворювання, травми, деформації хребта, пухлини, запалення, остеопороз, попередні втручання); лабораторне (біохімічне) обстеження хворого за алгоритмізованою схемою; оцінювання коморбідного статусу (цукровий діабет, ожиріння, захворювання серцево-судинної системи, гормональна терапія);

- інструментальна діагностика — рентгенографія хребта (фронтальна, сагітальна проєкції) для визначення структурності, величини деформації та її мобільності, ступіня зміщення, нестабільності хребців, висоти тіл хребців і міжхребцевих дисків; КТ-обстеження хребта (індивідуальна анатомія дужки хребців, їхньої довжини та діаметра), визначення інтраканальних та інших вроджених аномалій (діастоматомієлія, спондилоліз, порушення формування та цілісності хребців); МРТ-дослідження (вивчення стану нервових структур та їх компресії, міжхребцевих дисків, м'язів); денситометрія (виявлення остеопорозу для корекції тактики втручання);

- планування хірургічного лікування — вибір довжини фіксації хребців з урахуванням: стабільності сегментів, деформації та її величини, показників сагітального контуру хребта, типу захворювання (дегенеративні, травми, пухлини, деформації). Протяжна інструментація попере-

кового відділу хребта з необхідністю включення кріплення зони L_v–S₁ потребує додаткової фіксації до клубових кісток; урахування мінеральної щільності кісткової тканини (МЩКТ); індивідуальний підбір безпосередньо конструкції: діаметр, довжина та тип ТГ (моно-, поліаксіальні, редуційні), жорсткість стрижнів та їх довжина.

Інтраопераційний контроль та технічна точність встановлення ТГ

На цьому етапі дуже важливе значення має:

- підготовка та візуалізація — розмітка рівня запланованого для операції з використанням інтраопераційної рентгенографії та спінальної навігації; перевірка плану втручання згідно з анатомією пацієнта; встановлення електродів і виконання ІОНМ, креслення базових ліній.

- вибір техніки встановлення ТГ: «вільних рук» (за допомогою визначених точок введення гвинтів за анатомічними орієнтирами) або під контролем 3D-навігаційної системи з дотриманням необхідних умов для уникнення помилок навігації (точна реєстрація точок, урахування відмінностей положення пацієнта під час виконання КТ-дослідження і на операційному столі; контроль положення хворого, його дихальних рухів, зміщення антени на остистому відростку після реєстрації; уникнення ушкоджень відбивального покриття кульок на антені або інструменті;

- робота на віддалених від місця реєстрації сегментах хребта потребує особливого контролю операційної рани для уникнення похибки відображення на моніторі;

- моніторинг ТГ (рентген-контроль, ІОНМ із використанням максимально можливої кількості м'язів);

- зниження ризику ускладнень (асептика/антисептика), контроль крововтрати, попередження ризику неврологічних ушкоджень (нагляд за роботою інструментів поблизу дуральної оболонки та спинномозкових нервів, під час проведення гвинтів і встановлення стрижнів, блокерів).

Післяопераційне спостереження, профілактика та реабілітація

На ранньому та пізньому післяопераційних етапах необхідне виконання контролю з використанням рентгеновських досліджень або КТ-обстеженням для визначення точності розташування ТГ у хребцях, а також формування спондилодезу, визначення стабільності транспедикулярної системи, суміжних сегментів, втрати досягнутої корекції деформації й неврологічного статусу, реабілітаційне лікування.

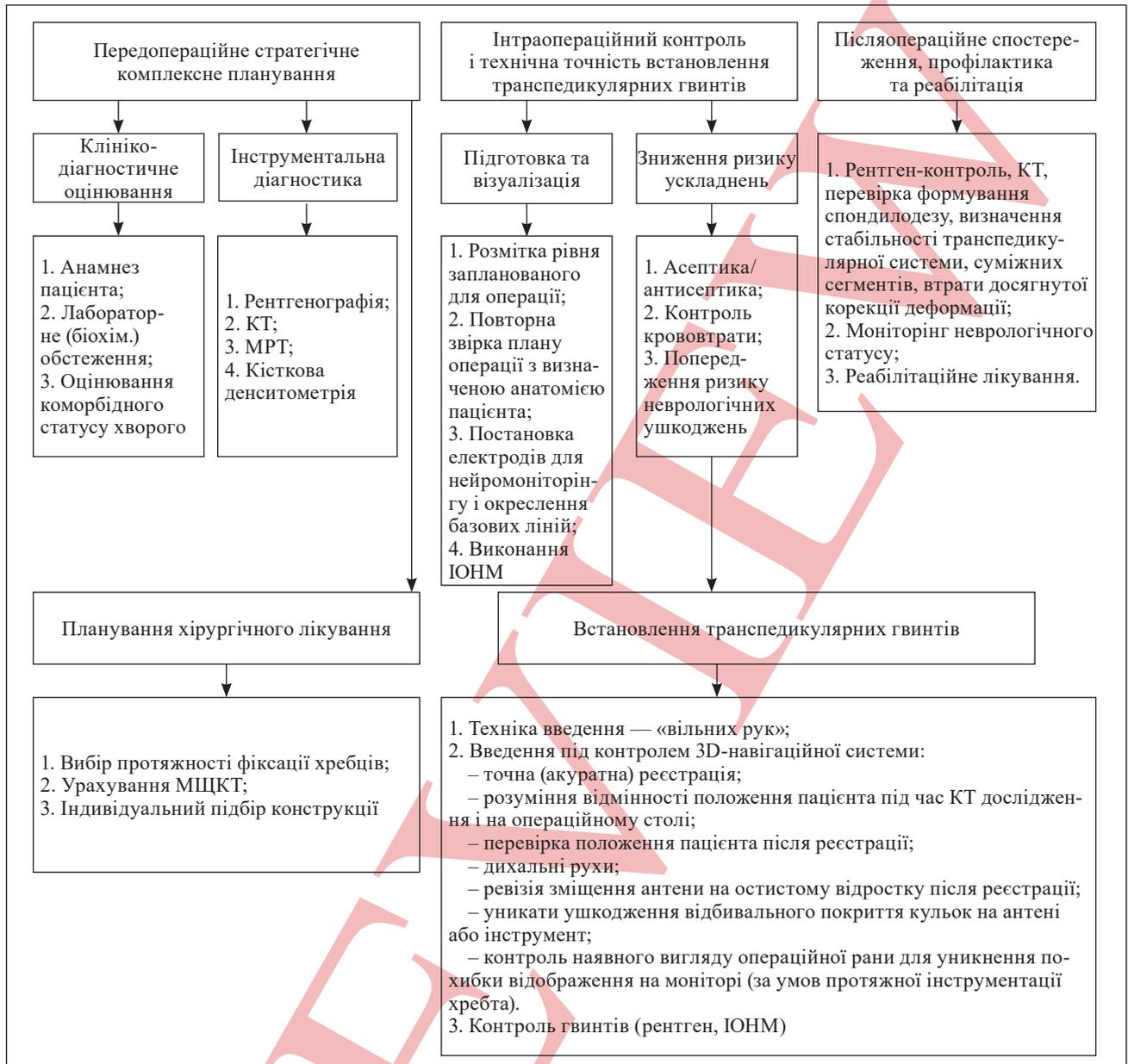


Рис. 1. Алгоритмізована методика для попередження розвитку післяопераційних ускладнень за умов транспедикулярної фіксації хребців

Загальна схема дій в разі підозри на неправильно встановлений гвинт або погіршення неврологічного статусу під час операції та після втручання наведена на рисунку 2.

Показами для повторного оперативного втручання є некоректне проведення гвинтів, яке призводить до значного болювого синдрому, неврологічного дефіциту, виявлення інфекційного процесу. Технічно це дуже складні операції з невизначеним і негарантованим результатом. Передопераційне, внутрішньоопераційне, а також післяопераційне спостереження таких пацієнтів важче, ніж хворих із первинними операціями.

У цих випадках першочерговим є передопераційне планування. Процес прийняття рішення повинен розв'язувати питання обсягу та виду повторної операції, необхідність і протяжність фіксації сегментів хребта, корекцію сагітального балансу, тип остеотомії хребта та її розташування.

За інтраопераційної підозри на некоректне позиціонування ТГ необхідно терміново виконати 2 рентгенограми у фронтальній та сагітальній проекціях, а також нейромоніторинг. За результатами потрібно вирішувати питання про повторне встановлення гвинта. Можливо водночас провести гвинт за кірковою траєкторією, якщо він був

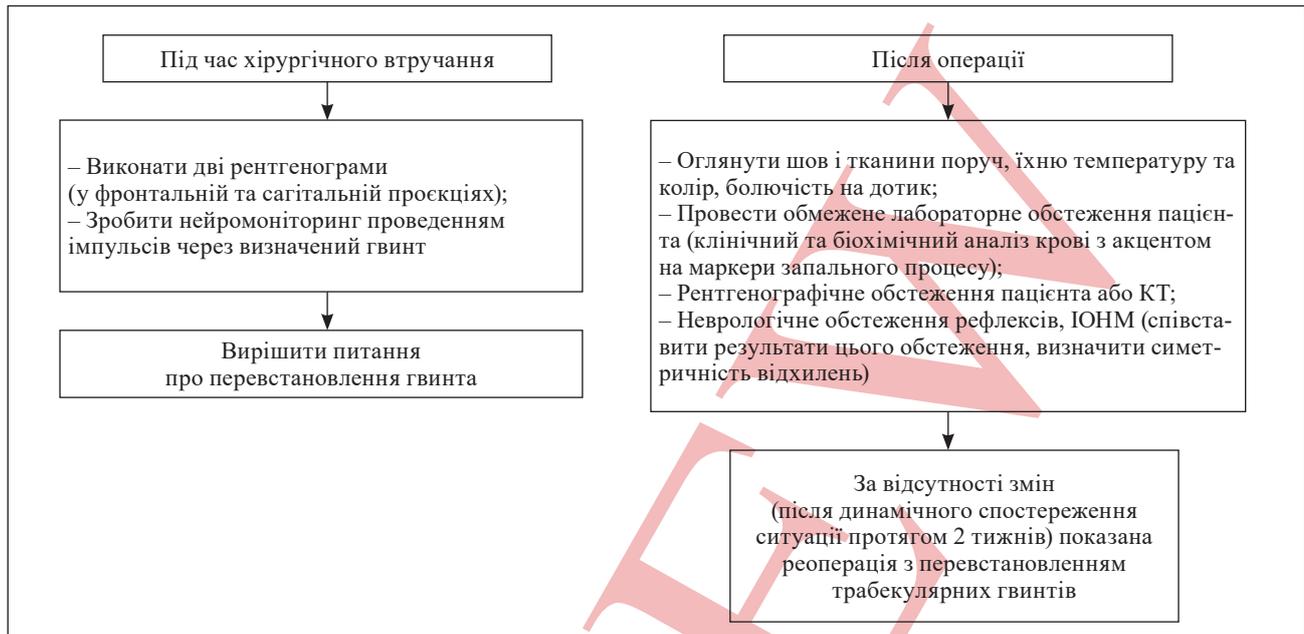


Рис. 2. Алгоритм дії за підозри на неправильно встановлений гвинт або зниження неврологічного статусу під час операції з ТФ хребта

встановлений за транспедикулярною траєкторією і навпаки.

У разі виникнення підозри на некоректне позиціонування ТГ після закінчення операції, дії лікаря залежать від терміну появи проблеми. Скарги пацієнтів на біль, зміни неврологічного статусу через онеміння в певному дерматомі, якщо це через кілька годин або дів після операції, можуть виникнути через можливий розвиток локального набряку тканин. При цьому необхідно оглянути шов та прилеглі тканини, оцінити їхню температуру та колір, болючість на дотик. Далі потрібно провести обмежене лабораторне обстеження пацієнта — клінічний і біохімічний аналіз крові з акцентом на маркери запального процесу — білки гострої фази, вміст ГП, СК. Паралельно виконати рентгенографічне обстеження або КТ, а також детальне неврологічне, здійснити ЮНМ.

Якщо протягом двох тижнів спостереження зміни статусу пацієнта відсутні, показана ревзія із перевстановленням ТГ. Показом для повторного оперативного втручання є і виявлення інфекційного процесу. При цьому можливе видалення всієї ТК.

Для ілюстрації ефективності алгоритмізованої методики обстеження хворих наводимо приклад.

Клінічний приклад

Пацієнтка 64 роки, діагноз: постменопаузальний остеопороз (рання хірургічна менопауза з 42 р.), множинні патологічні переломи тіл грудного та поперекового відділів хребта (рис. 3, а).

До хірургічного лікування, яке було виконане хворій 20.02.2020 р., здійснили клініко-діагностичне обстеження. Незважаючи на коморбідний статус, було проведено корекцію деформації хребта ТК на рівні Th_{X-S_1} , алокістковий спондилодез. Під час післяопераційного спостереження, за місяць зафіксовано нестабільність ТК та формування суміжної деформації хребта, що відзначено на контрольних рентгенограмах (рис. 3, б). Виявлено втрату досягнутої корекції деформації, що спричинило дестабілізацію транспедикулярної системи. Зазначені фактори призвели до ревізійного втручання з приводу коректного проведення ТГ, а саме — подовження інструментації хребта до хребця Th_{III} ТК на рівні Th_{III-S_1} (рис. 3, в).

Обговорення

У науковій літературі підкреслюється, що після виконання спондилодезу за рахунок ТФ, здебільшого виникають такі ускладнення — залишковий біль оперованого сегмента або невропатичний біль. Останнє є одним із можливих ускладнень після втручання на хребті із використанням ТФ і може призвести до суттєвого погіршення якості життя. Відомо, що неврологічні ускладнення через компресію нервів у поперековому відділі хребта за умов виконання декompресійно-стабілізуючих втручань не у всіх приводять до повного одужання [7]. Тривалий нейропатичний біль після спондилодезу зазвичай

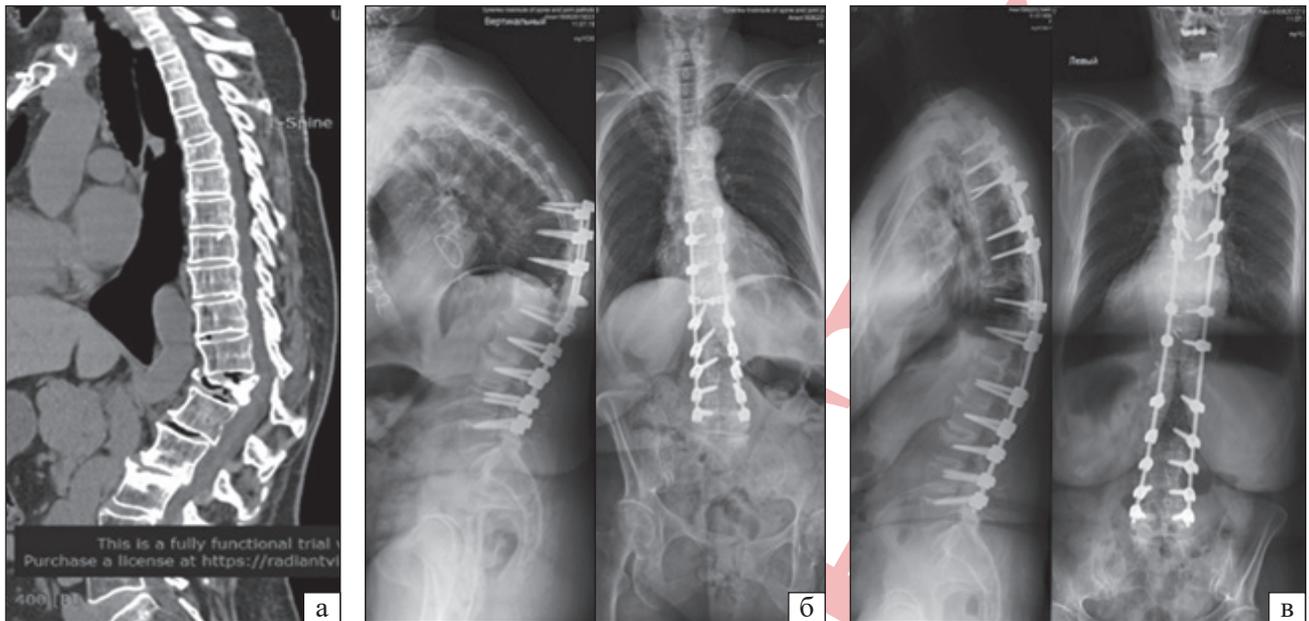


Рис. 3. Фотовідбитки рентгенограм а) до і б) після первинного хірургічного втручання. Через місяць в) ревізія ТК

не зникає після лікування, він залишається після втручання (спричинений порушенням анатомічних взаємовідносин у хребтотно-руховому сегменті) [8]. Як правило, біль виникає ще до операції та залишається й навіть посилюється після. За літературними джерелами такий розвиток больового синдрому спостерігається від 5 до 30 % пацієнтів [9]. У нашому дослідженні частота його виникнення складала 23,9 %.

Крутний момент затягування ТГ під час встановлення систем ТФ відіграє надважливу роль, зазначають S. Nakamura і співавт., акцентуючи увагу на тому, щоб момент під час закручування ТГ корелював із МЦКТ, віком та ІМТ. Це допоможе передбачити жорсткість фіксації та запобігти несправності інструментів під час хірургічного спондилодезу поперекового відділу хребта. Загалом він має знаходитися в межах — із меншого боку він обмежений мінімальними зусиллями, необхідними для виникнення потрібної сили тертя, із більшого він не повинен перевищувати поріг, за яким починається руйнування кісткової тканини [10–11].

Підсумовуючи, зазначимо, що ми можемо рекомендувати використання 3D-навігації під час встановлення ТГ, особливо в разі складних випадків протяжної інструментації щодо стабілізації сколіотичних деформацій. Це збігається із висновками дослідження A. R. Kothari та співавт., які розглядали результати встановлення 259 гвинтів у 21 пацієнта зі сколіозом і виявили, що навігація за допомогою О-дуги знизила частоту

ту медіальних і латеральних (тобто «критичних») порушень встановлення ТГ > 2 мм [12].

У разі відхилень лабораторних даних слід замислитися над можливістю інфікування — глибокого або поверхневого. S. Tummala та співавт. встановили, що за передопераційної колонізації метицилін-резистентним *Staphylococcus aureus* значно підвищується ризик смертності, ранових ускладнень, системних інфекцій, гематологічної захворюваності та гострого ураження нирок після планової операції на поперековому відділі хребта [13].

Створення заднього кістково-пластичного спондилодезу з використанням ТГ забезпечує стабілізацію ураженої ділянки, але водночас порушує нормальні біомеханічні взаємовідносини між хребтотно-руховими сегментами. Це може спричинити або прискорювати розвиток дегенеративних змін у прилеглих сегментах хребта. Патологічні перетворення в суміжних ділянках проявляються зниженням висоти дисків, формуванням гриж, розвитком сколіотичних деформацій, спондилолітезу або стенозу хребтотного каналу [14]. Рентгенологічні ознаки захворювання прилеглої ділянки можуть спостерігатися без клінічних симптомів від 12,2 до 42,6 % випадків, тоді як рентгенологічні зміни з клінічними проявами від 4 до 20 % [15].

Хірург має бути готовим до регулювання супутніх ускладнень (лікворея або масова втрата крові) та вирішити який вид ТГ необ-

хідно використати, щоб сприяти досягненню спондилолізу [16].

Слід зазначити, що за даними багатьох дослідників, зокрема E. Adindu та співавт., пацієнти з метаболічним синдромом стикалися з більш тривалою операцією, довшим перебуванням у лікарні та вищими показниками післяопераційних ускладнень (розриви твердої оболонки, інфекції та повторні втручання) [17].

Останні інновації в хірургії поперекового відділу хребта підвищили технічну точність і періопераційну ефективність без шкоди для пацієнтів [18, 19]. За результатами метааналізу G. Galieri та співавт. виявлено, що інтраопераційна навігація покращила точність інструментів, а доповнена реальність покращила ергономіку роботи [20].

Методологія 2D/3D-реєстрації з візуалізацією доповненої реальності ефективно усуває ключові обмеження поточних парадигм навігації, зберігаючи при цьому високі стандарти точності під час операції. Навігація в доповненій реальності з двота тривимірною реєстрацією є багатообіцяючим технологічним прогресом, який може підвищити точність і ефективність інструментальних процедур для хребта [21].

Висновки

Розроблена алгоритмізована схема дозволяє структуровано оцінити ризик ускладнень, запланувати хірургічне лікування з урахуванням сучасних технологій і знань, а також здійснити контроль усіх критичних точок, індивідуальний підхід до кожного пацієнта, інтеграцію спінальної навігації та нейромоніторингу в операційний процес, що дозволить мінімізувати ускладнення під час проведення транспедикулярної фіксації в пацієнтів із захворюваннями хребта.

Практичне використання розроблених у цій роботі засобів для зменшення розвитку післяопераційних запальних ускладнень після імплантації транспедикулярної конструкції, зокрема із використанням реєстрації відхилень від норми величин передопераційних клініко-лабораторних і біохімічних показників, може допомогти уникнути розвитку ускладнень, що приведе до зменшення важкості стану пацієнтів, тривалості їх перебування в стаціонарі, а також, найбільш важливо — покращення якості результатів лікування.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Автори планують продовжити роботу у напрямку розробки та впровадження у практику ортопедії лікувальних та організаційних заходів по зниженню ускладнень транспедикулярної фіксації під

час лікування дегенеративних захворювань і деформацій грудного та поперекового відділів хребта. Зокрема, нинішня концептуальна праця потребує підтвердження у клінічних умовах.

Інформація про фінансування. Ця робота виконана в межах комплексних тем науково-дослідних робіт ДУ «ПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України»: «Вивчити основні помилки та ускладнення транспедикулярної фіксації в хірургії хребта та розробити заходи їх профілактики та лікування» (прикладна), а також «Удосконалити методи хірургічного лікування хворих з дегенеративно-дистрофічними захворюваннями поперекового відділу хребта з використанням новітніх технологій». Конкретні медичні пристрої, або лікарські препарати не були залучені до нашого дослідження.

Внесок авторів. Бондаренко С. Є. — обґрунтував доцільність дослідження, розробив його концепцію; Барков О. О. — проаналізував джерела літератури та результати власних оперативних втручань; Туляков В. О. — виконав дослідження науково-медичної інформації та брав участь у розробці основних положень статті.

Список літератури

1. Alshameeri, Z. A., Ahmed, E., & Jasani, V. (2020). Clinical outcome of spine surgery complicated by accidental dural tears: Meta-analysis of the literature. *Global spine journal*, 11(3), 400–409. <https://doi.org/10.1177/2192568220914876>
2. Alshameeri, Z. A., & Jasani, V. (2021). Risk factors for accidental dural tears in spinal surgery. *International journal of spine surgery*, 15(3), 536–548. <https://doi.org/10.14444/8082>
3. Sarathy, K., Dhawale, A., Rokade, S., Badve, S., Mandlecha, P., Aroojis, A., Mehta, R., Chaudhary, K., & Nene, A. (2021). Assessment of pedicle screw malposition in uniplanar versus multiplanar spinal deformities in children. *North American spine society journal (NASSJ)*, 5, 100049. <https://doi.org/10.1016/j.xnsj.2021.100049>
4. Pellisé, F., Bayo, M. C., Ruiz de Villa, A., Núñez-Pereira, S., Haddad, S., Barcheni, M., Pizones, J., Valencia, M. R., Obeid, I., Alanay, A., Kleinstueck, F. S., & Mannion, A. F. (2024). The impact of unplanned Reoperation following adult spinal deformity surgery. *Journal of bone and joint surgery*, 106(8), 681–689. <https://doi.org/10.2106/jbjs.23.00242>
5. O'Toole, J. E., Sasso, R. C., Harrop, J. S., Mariscal, G., Chapput, C. D., Arnold, P. M., Witiw, C. D., Jacobs, W. B., & Steinmetz, M. P. (2025). Adverse impact of obesity on lumbar spine fusion, patient-reported outcomes and costs. *Spine*, 50(17), 1208–1218. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000005395>
6. Goheer, H. E., Botros, M., Leggett, A. R., Ramirez, G., Haddas, R., Molinari, R. W., & Puvanesarajah, V. (2025). The impact of obesity on spine surgery operative time: A quantitative analysis. *Global spine journal*, 16(2), 975–984. <https://doi.org/10.1177/21925682251369432>
7. Gao, S., Li, Z., Li, X., Rudd, S., Wang, H., Gao, Z., Ding, W., & Yang, S. (2023). The treatment effect of posterior lumbar fusion surgery on patients suffering from lumbar disc herniation concurrent with peroneal nerve paralysis. *Frontiers in surgery*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.1063528>
8. Cristea, A., Heijnen, B. F., Park, S. W., Krutko, A., Santos, C., Senker, W., Arzoglou, V., & Pereira, P. (2025). Neuropathic pain appears to be the main symptom associated with higher disease burden and lower pain alleviation in degenerative lumbar disease fusion patients. *Brain and spine*, 5, 104224. <https://doi.org/10.1016/j.bas.2025.104224>
9. Cannizzaro, D., Anania, C. D., Safa, A., Zaed, I., Morengi, M., Riva, M., Tomei, M., Pessina, F., Servadei, F., Ortolina, A., & Fornari, M. (2023). Lumbar adjacent segment degeneration after spinal fusion surgery: A systematic review and me-

- ta-analysis. *Journal of neurosurgical sciences*, 67(6). <https://doi.org/10.23736/s0390-5616.22.05891-x>
10. Nakamura, S., Takahashi, T., Inoue, T., Minami, M., Kanematsu, R., Suda, I., Takeuchi, S., Tokunaga, S., & Hanakita, J. (2025). Measurement of Intraoperative insertional torque: Usefulness for prediction of the deviation of pedicle screw insertion in lumbar degenerative diseases. *International journal of spine surgery*, 19(4), 452–458. <https://doi.org/10.14444/8785>
 11. Addevico, F., Morandi, M., Scaglione, M., & Solitro, G. F. (2020). Screw insertion torque as parameter to judge the fixation. Assessment of torque and pull-out strength in different bone densities and screw-pitches. *Clinical biomechanics*, 72, 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.12.004>
 12. Kothari, A. R., Katkade, S. M., Bhilare, P. D., Aiyer, S., Situt, N. V., Hadgaonkar, S. R., Shyam, A., & Sancheti, P. K. (2023). “Critical pedicle wall” breaches analysis in complex spinal deformity using O-arm navigation. *Surgical neurology international*, 14, 306. https://doi.org/10.25259/sni_437_2023
 13. Tummala, S., Haslam, D., Gibbs, D., Alder, J., Chavarria, J., Avramis, I., & Rizkalla, J. (2025). Evaluating the risk of postoperative infection and complications in lumbar spine surgery patients with preoperative methicillin-resistant staphylococcus aureus (MRSA) colonization. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 145(1). <https://doi.org/10.1007/s00402-025-06036-y>
 14. Lopez, I. B., Benzakour, A., Mavrogenis, A., Benzakour, T., Ahmad, A., & Lemée, J. (2022). Robotics in spine surgery: Systematic review of literature. *International orthopaedics*, 47(2), 447–456. <https://doi.org/10.1007/s00264-022-05508-9>
 15. Arim, O., Alshalcy, A., Shakir, M., Agha, O., & Alhamdany, H. (2024). Transpedicular screw fixation in degenerative lumbosacral spine disease surgical outcome. *Georgian medical news*, 34, 117–121. https://www.geomednews.com/Articles/2024/3_2024/117-121.pdf
 16. Khan, B., Mansoor Shah, S., Khan, A., Ali, H., Ullah, A., Ullah, I., Haqqani, U., & Uliqbal, R. (2024). Revision lumbar spine surgeries: An early career neurosurgery experience. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.57371>
 17. Adindu, E., Singh, D., Geck, M., Stokes, J., & Eeric Truumees. (2025). The impact of obesity on postoperative and perioperative outcomes in lumbar spine surgery: A systematic review and meta-analysis. *The spine journal*, 25(6), 1081–1095. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2024.12.006>
 18. Radchenko, V., Barkov, O., & Skidanov, A. (2019). Five years of experience in using of navigation system in spine surgery. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, 0(1), 5–13. <https://doi.org/10.15674/0030-5987201915-13>
 19. Barkov, O., & Karpinska, O. (2025). Analysis of revisional surgical interventions in the thoracic and lumbar spine after transpedicular fixation. *Trauma*, 26(3), 189–196. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.3.26.2025.1019>
 20. Galieri, G., Orlando, V., Altieri, R., Barbarisi, M., Olivi, A., Sabatino, G., & La Rocca, G. (2025). Current trends and future directions in lumbar spine surgery: A review of emerging techniques and evolving management paradigms. *Journal of clinical medicine*, 14(10), 3390. <https://doi.org/10.3390/jcm14103390>
 21. Castillo, J. A., Urreola, G., Kalistratova, V., Le, M., Harris, A. M., Shahzad, H., Massel, D. H., Shepard, N., Cook, C., Lim, R., Khan, S., & Price, R. L. (2025). Augmented reality-guided pedicle screw placement with 2D–3D registration: Proof-of-Concept using 151 cadaveric trajectories. *Global spine journal*. <https://doi.org/10.1177/21925682251387550>

Стаття надійшла до редакції 02.01.2026	Отримано після рецензування 28.01.2026	Прийнято до друку 02.02.2026
---	---	---------------------------------

RECOMMENDATIONS FOR PREVENTING POSTOPERATIVE COMPLICATIONS OF TRANSPEDICULAR SCREW FIXATION IN PATIENTS WITH SPINAL DISORDERS

S. Ye. Bondarenko, O. O. Barkov, V. O. Tuljakov

Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

* Stanislav Bondarenko, MD, DSci in Orthopaedics and Traumatology: bondarenke@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2463-5919>

* Oleksandr Barkov, MD, PhD in Traumatology and Orthopaedics: a.barkov.79@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2161-416X>

* Vladyslav Tuliakov, DSci in Pharmacy: tulakov1967v@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3187-1592>