

Національна академія медичних наук України
Державна установа «Інститут патології хребта та суглобів імені професора
М.І. Ситенка Національної академії медичних наук України»

ПОПОВ АНДРІЙ ІВАНОВИЧ

УДК 616.711-006.03.04:[616.712+617.559]:089

**ХІРУРГІЧНЕ ВІДНОВЛЕННЯ ОПОРНОЇ ФУНКЦІЇ ХРЕБТА
В ПАЦІЄНТІВ ІЗ ПУХЛИННИМИ УРАЖЕННЯМИ ГРУДНОГО
ТА ПОПЕРЕКОВОГО ВІДДІЛІВ**

14.01.21 – травматологія та ортопедія

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора медичних наук



Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державній установі «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І.Ситенка Національної академії медичних наук України».

Науковий консультант: доктор медичних наук, професор
заслужений діяч науки і техніки України
КОРЖ Микола Олексійович
Державна установа «Інститут патології хребта
та суглобів імені професора М.І.Ситенка
Національної академії медичних наук України»,
директор

Офіційні опоненти: доктор медичних наук, професор
ГОЛКА Григорій Григорович
Харківський національний медичний
університет МОЗ України, завідувач
кафедри травматології та ортопедії

доктор медичних наук, професор
СТАШКЕВИЧ Анатолій Трохимович
Державна установа «Інститут травматології та
ортопедії Національної академії медичних наук
України», завідувач відділу хірургії хребта зі
спінальним (нейрохірургічним) центром

доктор медичних наук, професор
ІВЧЕНКО Дмитро Валерійович
КНП «Міська лікарня екстреної та швидкої
медичної допомоги» Запорізької міськради,
директор

Захист відбудеться « 27 » квітня 2021 р. об 11.30 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.607.01 Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка Національної академії медичних наук України» (61024, м. Харків, вул. Пушкінська, 80).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка Національної академії медичних наук України» (61024, м. Харків, вул. Пушкінська, 80).

Автореферат розісланий « 26 » березня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор медичних наук



С.Є.Бондаренко

Актуальність теми. У структурі вертеброгенної патології пухлини хребта є найскладнішою категорією. Хребет є найчастішим місцем метастазування в кістки — виявляють у 71 % хворих на рак (Piccioli A. et al., 2015; Ciftdemir M. et al., 2016). У груднопоперековому відділі хребта метастатичні ураження визначають до 70 % випадків, у поперековому і крижах рідше — 20 % (Lewandrowski K. U. et al., 2011). Одним із найважчих наслідків пухлин хребта є порушення його структурної цілісності, що призводить до втрати опорної функції, болю та нервових розладів (Fisher C. G. et al., 2010; Barzilai O. et al., 2019). У таких випадках реконструктивно-відновні операції дають змогу відновити опороспроможність хребта, здійснити декомпресію нервових структур і знизити інтенсивність болю. Використання транспедикулярних пристроїв забезпечує стабільну фіксацію хребтових рухових сегментів навіть за умов руйнування всіх трьох колон (Попсуйшапка К.О., 2018; Корж М.О., Радченко В.О., 2020) Проте визначення оптимальної довжини заднього спондилодезу в разі паліативного та радикального хірургічного лікування пухлин хребта є досить актуальним питанням. Важливим для пацієнтів із пухлинними ураженнями хребта є контроль у динаміці після хірургічного лікування для виявлення можливого рецидиву захворювання. Але для заміщення резектованих хребців із метою відновлення опорної функції хребта переважно використовують титанові імплантати, які у випадку післяопераційного КТ-обстеження надають ефект збільшення жорсткого випромінювання або розмиття зображення, а на МРТ — артефакт магнітної сприйнятливості (Stradiotti, P. et al., 2009). Ці ефекти не дозволяють визначити стан ділянки, де проведено хірургічне втручання, тому, розробляючи для цього контингенту хворих імплантати, слід приділяти особливу увагу, крім їхньої міцності та біосумісності, здатності не створювати артефактів під час МРТ- і КТ-дослідження.

Класифікації й оціночні шкали, які застосовують сьогодні в клінічній практиці, не визначають повною мірою необхідний обсяг хірургічного втручання для конкретного пацієнта, надаючи лише загальні рекомендації до тактики лікування (Tokuhashi, Y. et al., 2017). Тому актуальним є удосконалення відомих і розроблення новітніх алгоритмічних підходів до лікування пухлин хребта.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з планом науково-дослідних робіт Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка Національної академії медичних наук України» («Оптимізувати діагностику та удосконалити лікування у хворих на первинні пухлинні ураження грудного та поперекового відділів хребта», шифр теми ЦФ.2015.2.НАМНУ, держреєстрація № 0015U003024. Автором запропоновано способи та пристрої для біопсії пухлин хребта залежно від щільності ураження та проведено їхню клінічну апробацію. Ним запропоновано ідею та взято участь у виконанні біомеханічних досліджень з обґрунтування вибору варіантів спондилодезу в разі втрати опорної функції хребта внаслідок пухлинного ураження хребців грудного та поперекового відділів. «Удосконалити

діагностику та хірургічне лікування хворих на гематопоеичні та метастатичні ураження грудного та поперекового відділів хребта», шифр теми ЦФ.2018.2.НАМНУ, держреєстрація № 0118U003213. Автором проаналізовано результати хірургічного лікування пацієнтів із пухлинами хребта, виділено значущі критерії, які впливають на вибір обсягу операції, взято участь у створенні алгоритму вибору хірургічного лікування хворих із новоутвореннями хребта. Запропоновано ідею та взято участь у розробленні імплантатів із вуглець-вуглецевих композитів для спондилодезу).

Мета дослідження: покращити результати хірургічного відновлення опорної функції хребта в пацієнтів із пухлинними ураженнями тіл хребців грудного та поперекового відділів шляхом експериментально-клінічного обґрунтування методик стабілізації й вибору обсягу оперативного лікування на основі визначення статистично значущих клінічних ознак.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз наукової літератури та визначити основні тенденції щодо діагностики та хірургічного лікування пацієнтів із новоутвореннями хребта і втратою його опорної функції.

2. Виконати проспективний аналіз результатів лікування пацієнтів із новоутвореннями хребта та визначити значущі клінічні ознаки, які впливають на вибір хірургічного лікування, спрямованого на відновлення опорної функції хребта.

3. Розробити алгоритм вибору обсягу хірургічного лікування в разі пухлин грудного та поперекового відділів хребта для відновлення його опорної функції.

4. Дослідити напружено-деформований стан системи «хребет – імплантат» за різних варіантів пухлинного ураження хребців грудного та поперекового відділів хребта.

5. Обґрунтувати раціональну схему заднього спондилодезу за умов втрати опороспроможності переднього комплексу грудного та поперекового відділів хребта внаслідок пухлинного ураження.

6. Шляхом експериментального біологічного моделювання вивчити зміни у хребті після використання вуглець-вуглецевого композиту з різними покриттями для міжтілового спондилодезу.

7. Розробити новітні методи хірургічного відновлення опорної функції хребта у пацієнтів з пухлинами тіл грудних і поперекових хребців.

8. Провести клінічну апробацію алгоритму вибору обсягу хірургічного втручання в разі пухлин грудного та поперекового відділів хребта для відновлення його опорної функції з використанням нових розробок.

Об'єкт дослідження – опороспроможність хребта в разі пухлинних уражень тіл грудних і поперекових хребців.

Предмет дослідження – експериментальні біомеханічні моделі, морфологічні зміни кісткової тканини, методики хірургічного відновлення опорної функції хребта в разі неопластичних уражень тіл хребців, імплантати хребта.

Методи дослідження: клінічні; рентгенологічні; комп'ютерно-томографічний, магнітно-резонансне дослідження, біомеханічний, математичне моделювання з використанням методу скінченних елементів; експериментальне моделювання на тваринах; гістологічні; статистичні.

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше встановлено, що ступінь ушкодження тіла хребця, величина локального кіфозу та деформація задньої стінки тіла хребця є важливими морфологічними ознаками, які визначають анатомічні зміни структур хребтового рухового сегмента в разі ураження пухлинним процесом.

Уперше визначені статистично значущі прогностичні критерії та обґрунтовано алгоритм вибору обсягу хірургічного лікування пацієнтів із новоутвореннями хребта зі застосуванням персоналізації діагностичних даних пацієнтів і шляхом математичного моделювання.

Уперше на підставі розроблених математичних моделей за різних варіантів пухлинного ураження хребців грудного та поперекового відділів хребта обґрунтовано ефективність різних видів хірургічного лікування – вертебропластики; комбінованого заднього спондилодезу (один хребець зверху, один знизу з вертебропластикою; два хребця зверху, два знизу; один-два хребця зверху, один-два знизу з використанням кейджа).

Уперше встановлено залежність показань до різних видів хірургічних втручань для відновлення опорної функції хребта від обсягу ураження пухлинним процесом.

Уперше обґрунтовано механічну ефективність транспедикулярних конструкцій із різною кількістю фіксованих хребтових рухових сегментів у разі втрати опороспроможності переднього опорного комплексу грудного та поперекового відділів хребта.

Уперше експериментально на підставі порівняльного гістологічного аналізу доведено вищі остеointегративні властивості у вуглець-вуглецевих імплантатів із піровуглецевим покриттям порівняно з вуглецевими імплантатами без покриття.

Уперше на підставі вивчення поведінки біомеханічних, математичних та експериментально-біологічних моделей розроблені нові типи ендопротезів для міжтілового спондилодезу грудного та поперекового відділів хребта.

Уперше клінічно доведено ефективність застосування розробленої методики пункційної вертебропластики в разі дефекту задньої стінки тіла хребця грудного та поперекового відділів хребта, ураженого пухлинним процесом, а також методики інструментальної фіксації хребтових рухових сегментів кістковим цементом із використанням пункційної вертебропластики.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений алгоритм вибору обсягу хірургічного лікування пухлин хребта застосування дає змогу з високою вірогідністю обрати для пацієнта з новоутворенням хребта відповідний обсяг хірургічного втручання для забезпечення задовільного результату лікування.

Розроблено комбінований ендопротез з вуглець-вуглецевого композиту (патенти № 115715 та № 120318, Україна), що дозволяє покращити результати

лікування хворих на пухлинні ураження грудного та поперекового відділів хребта та контролювати динаміку пухлинного процесу в зоні операції.

Розроблено телескопічний ендопротез з вуглець-вуглецевого композиту (патент № 142816, Україна), що дозволяє покращити результати лікування хворих на пухлинні ураження грудного та поперекового відділів хребта та контролювати динаміку пухлинного процесу у зоні операції.

Запропоновано та удосконалено декілька методик хірургічного лікування пацієнтів з пухлинами грудного та поперекового відділів хребта (патенти №135420 та № 139899, Україна).

Розроблені 3D-моделі грудного та поперекового відділів хребта можуть бути використані в подальших наукових дослідження з вивчення ушкоджень хребта будь-якого генезу.

Удосконалені та розроблені способи і пристрої для пункційної біопсії хребта (патенти № 107095, №107106, та № 97998, Україна) дозволяють отримати біоптат у достатній кількості і якості не залежно від щільності тканини та підвищити діагностичний результат до 96 %.

Використання схеми заднього спондилодезу в разі втрати опороспроможності переднього комплексу грудного та поперекового відділів хребта дає можливість покращити результати хірургічного лікування пацієнтів з пухлинами хребта.

Результати дослідження впроваджено в науковий процес кафедри травматології та ортопедії Харківської медичної академії післядипломної освіти МОЗ України та клінічну практику ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України», Військово-медичного клінічного центру Північного регіону МО України (м. Харків), Навчально-наукового медичного комплексу «Університетська клініка» Національного харківського медичного університету.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійною завершеною науковою працею. Автором обрано напрям роботи, визначені мета і завдання дослідження, проаналізовано стан проблеми. Автором особисто проведено ретроспективний аналіз верифікованих діагнозів і лікування 268 пацієнтів. Ним узагальнено результати клінічних, рентгенологічних, комп'ютерно-томографічних, лабораторних досліджень пацієнтів та експериментальних даних. Визначено анатомічні зміни структур хребтового рухового сегмента в разі ураження пухлинним процесом і основні типи ушкодження хребців. Ним визначено статистично значущі прогностичні критерії та обґрунтовано алгоритм вибору обсягу хірургічного лікування пацієнтів із новоутвореннями хребта. Особисто автором виконані всі пункційні біопсії та хірургічні втручання з проведення пункційної вертебропластики, а також усі хірургічні втручання в пацієнтів групи клінічної апробації та проаналізовано їхні результати. Інтерпретація отриманих результатів належить авторові, ним сформульовано висновки роботи.

Наукові дослідження виконані в Державній установі «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України»: біомеханічні з оцінювання опорної функції хребта за умов видалення 1–3 хребців та

стабілізації за допомогою конструкції з різними схемами введення гвинтів, а також вивчення напружено-деформованого стану у системі «хребет – імплантат» залежно від ступеня пухлинного ураження та типу стабілізації, міцнісних характеристик міжтілових кейджів різних конструкцій із вуглець-вуглецевого композитного матеріалу — в лабораторії біомеханіки за консультативної допомоги наукових співробітників Яреська О.В., Карпінського М.Ю., Карпінської О.Д; експериментальні з моделювання травматичного дефекту в тілі хребця щурів — в експериментально-біологічній клініці за консультативної допомоги наукового співробітника Іванова Г.В.; гістологічні з аналізу біосумісності й остеоінтеграційних властивостей вуглець-вуглецевого композитного матеріалу з піровуглецевим покриттям — у лабораторії морфології сполучної тканини за консультативної допомоги завідуючої к.б.н. Ашукіної Н.О. Математичне та комп'ютерне моделювання ендопротезів для міжтілового спондилодезу проведені на базі центру комп'ютерного моделювання «Тех Зор» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за консультативної допомоги д.техн.н. професора Ткачука М. А., асистента кафедри Веретельника О. В. Створення комп'ютерного алгоритму вибору обсягу хірургічного втручання, ідея якого належить авторові, виконано за допомогою доцента кафедри біофізики та інформаційних технологій Національного фармацевтичного університету к.техн.н. Нессонової М. М. Автор узагальнив отримані результати й обґрунтував висновки дослідження. Участь співавторів відображено в спільних наукових публікаціях.

Апробація результатів дослідження. Результати досліджень оприлюднені на XVII та XVIII з'їздах ортопедів-травматологів України (Київ, 2016; Івано-Франківськ, 2019); Міжнародних медичних конгресах «Впровадження медичних досягнень медичної науки в практику охорони здоров'я України» (Київ, 2015, 2016, 2017); науково-практичній конференції з міжнародною участю «Сучасні дослідження в ортопедії та травматології» наукові читання, присвячені пам'яті академіка О.О.Коржа (Харків, 2017, 2018); XIII, XIV, XV, XVI, XVII Міжнародних симпозиумах малоінвазивної та інструментальної хірургії хребта (Харків, 2016 2017, 2018, 2019, 2020); The 2nd Scientific Meeting of North American Spine Society (NASS), International Society for Minimal Intervention in Spinal Surgery (ISMIS), and Indonesian Spine Society (ISS) – NASSISMIS (Bali, Indonesia, 2018), The 3rd Scientific Meeting of North American Spine Society (NASS) (2019).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 30 наукових праць, із них 20 статей у наукових фахових виданнях, 1 довідково-методичне видання, 7 патентів України, 2 роботи в матеріалах з'їздів.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційне дослідження викладене українською мовою на 393 сторінках. Робота містить вступ, аналітичний огляд літератури, опис матеріалу та методів дослідження, сім розділів результатів власних досліджень, висновки, список 216 використаних джерел літератури, з яких 73 — кирилицею, 143 — латиницею, додатки. Робота проілюстрована 164 рисунками та містить 84 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Матеріал і методи

Клінічні дослідження. У відділенні вертебрології ДУ «ІПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» у період із 2008 по 2017 рік пройшли діагностику та лікування 268 пацієнтів із патологічними ураженнями хребта, яких включено в *ретроспективне дослідження*. Вік хворих становив від 18 до 81 років, із них чоловіків було 137, жінок — 131.

Клінічну апробацію розробленого в процесі виконання роботи алгоритму вибору обсягу хірургічного втручання, комбінованої фіксації хребта з використанням обґрунтованих і створених імплантатів проведено в клініці вертебрології ДУ «ІПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» у період із 2018 по 2020 рік у 37 пацієнтів із пухлинними ураженнями грудного (20 хворих) та поперекового (17) відділів хребта. Серед них було 22 жінки та 15 чоловіків у віці від 23 до 73 років. Середній індекс маси тіла становив 18,5–21,5. Результати лікування оцінено через 3 міс. після операції.

Клінічне обстеження хворих здійснювали за загальновідомими методиками. Враховували скарги, анамнез хвороби і життя хворого, а також результати лабораторних та інструментальних досліджень. Усім пацієнтам виконано рентгенограми усіх відділів хребта в передньо-задній і бічній проекціях, комп'ютерну та магнітно-резонансну томографію. За результатами обстежень оцінювали кількість залучених у патологічний процес хребтових рухових сегментів, поширеність ураження кісткової тканини, наявність і ступінь порушення коркового шару, ступінь деформації хребця та хребта. Контрастування під час виконання КТ дозволяло візуалізувати магістральні судини й оцінити їх співвідношення з тканинами пухлини та м'якотканинного компоненту, а також виявити судини, які живлять пухлину. За допомогою МРТ аналізували стан спинного мозку та його корінців, субдуральних та епідуральних просторів. Для верифікації діагнозу всім пацієнтам виконували пункційну біопсію осередку деструкції з подальшим гістологічним аналізом та встановленням патологоанатомічного діагнозу.

Для створення раціонального алгоритму лікування пацієнтів із втратою опорної функції хребта внаслідок пухлинного ураження тіл грудних і поперекових хребців використані модифіковані діагностичні ознаки та градації ознак: ступінь деформації тіла хребця, стеноз хребтового каналу, величина кіфотичної деформації, дефект задньої стінки тіла хребця.

Оскільки в дослідженні брали участь пацієнти з різним рівнем неврологічної симптоматики, ступінь тяжкості її виражали у відсотках від норми (суб'єктивна оцінка) й аналізували рухову та поверхневу чутливість за шкалою ASIA (об'єктивна). Оцінювали початковий рівень неврологічного стану до та після хірургічного лікування.

Інтенсивність больового синдрому оцінювали за допомогою шкали вербальних оцінок (ШВО). Для усіх груп пацієнтів рекомендована оцінка соматичного стану за шкалою Карновського для визначення можливості проведення оперативного втручання. Для визначення виду хірургічного

втручання (паліативне або радикальне) за метастатичних уражень хребта дуже важливо визначити прогнозовану тривалість життя пацієнтів. Для цього використано переглянута прогностичну оцінку Tokuhashi.

Статистичні методи. З метою визначення найбільш вагомих факторів для створення алгоритму вибору об'єму хірургічного лікування пацієнтів із пухлинами хребта нами обрано математико-статистичний метод – кластерний аналіз. Метод дозволяє розділити множинність досліджуваних об'єктів та ознак на однорідні групи (кластери). А також класифікувати велику кількість інформації, виділяючи при цьому статистично найважливіші ознаки. Виконувалося ретроспективне дослідження. В основу математичної моделі («лінійної» шкали) покладено показники шкали нестабільності SINS, які запропоновано підсилити додатковими ознаками, такими як оцінка неврологічного статусу за шкалою ASIA, вид пухлини, що вимагає паліативного/радикального втручання, ступінь (стадія) епідуральної компресії, величина локального кіфозу, наявність деструкції суміжних хребців. Усі зазначені критерії оцінки враховують на практиці у процесі ухвалення рішення про тактику хірургічного лікування новоутворень хребта, і за експертною оцінкою їм попередньо були присвоєні значення балів. Відповідно до запропонованої системи більшій кількості балів має відповідати більший обсяг хірургічного втручання.

Бальна система, яка враховує 9 показників, була випробувана на виборці з 237 пацієнтів із патологічними змінами в хребті внаслідок новоутворень, які пройшли лікування в клініці ДУ «ПХС ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» у період з 2008 по 2017 рік. Пацієнтів відібрали із загального масиву ретроспективного дослідження (268 пацієнтів) за чотирма типами операцій, які передбачають різний обсяг хірургічного втручання, і, відповідно, розподілили на 4 класи: вертебропластика (V); задній спондилодез: 1 хребець зверху, 1 знизу + вертебропластика (F+V); задній спондилодез: 2 хребця зверху, 2 знизу (F+F); задній спондилодез: 1-2 хребця зверху, 1-2 знизу + кейдж (F+F+K).

Для детальнішого дослідження вибірки пацієнтів, спрямованого на уточнення значущості кожного з показників, які враховують під час формування рішення про обсяг операції, а також на уточнення значущості та сили впливу кожного із можливих значень пояснюючих показників на кожен окремий тип операції провели кластерний аналіз. Оцінювання точності розроблених моделей проведено на підставі таких параметрів. Загальну точність обчислювали як відсоток правильно визначених моделлю операцій усіх типів у загальній кількості спостережень. Точність покриття (producer's accuracy) кожного з класів (типів операцій) оцінювали як відношення кількості правильно визначених типів операцій у певному класі до кількості даних типів операцій у навчальній вибірці. Прогностичну точність (user's accuracy) визначення кожного з типів операцій оцінювали як відношення кількості правильно визначених типів операцій даного типу до загальної кількості операцій цього типу, визначених моделлю. У процесі вибору найкращої моделі зважали на баланс між точністю покриття і прогностичною точністю визначення класів. Для аналізу даних користувалися переважно засобами

програмного пакету STATISTICA 12 (TIBCO Software Inc., USA). Для деяких допоміжних обчислень і побудови графіків використано засоби табличного процесору Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft Corporation, USA).

Експериментальні дослідження. Для вивчення напружено-деформованого стану (НДС) системи «хребет – імплантат» за різних варіантів пухлинного ураження з використанням методу скінченних елементів побудовано математичні моделі блока хребців $T_{IX}-L_{III}$: інтактну та п'ять із деформацією тіла T_{XII} хребця та дегенерацією його губчастої кісткової тканини, які було усунуто шляхом заміни кістковим цементом, встановлення кейджу та транспедикулярної конструкції. А саме: модель типу 1 — без геометричних змін із дегенерацією кісткової тканини тіла T_{XII} хребця, виконано пластику кістковим цементом; 2 — кіфотична деформація хребта з вершиною на T_{XII} на 10° і дефект хребця T_{XII} до 30 %, виконано заміщення дефекту кістковим цементом; модель типу 3 — кіфотична деформація 20° , дефект тіла T_{XII} хребця 40 %, виконано заміщення дефекту кістковим цементом та фіксацію транспедикулярною системою з 4 гвинтів; 4 — кіфотична деформація 30° , дефект хребця T_{XII} 60 %, виконано фіксацію транспедикулярною системою з 8 гвинтів; модель типу 5 — кіфотична деформація 40° , дефект хребця T_{XII} 70 %, виправлено деформацію за допомогою заміни тіла хребця міжтіловою опорою та проведено спондилодез хребців $T_{IX}-L_{II}$ транспедикулярною системою з 8 гвинтів.

За допомогою математичного моделювання НДС системи «хребет – імплантат» за різних варіантів заднього спондилодезу в разі втрати опороспроможності переднього комплексу виконано розрахунок міцності для різних варіантів закріплення системи фіксації хребта за умов резекції хребців L_I, L_{II}, T_{XII} . Для цього створені скінченно-елементні моделі блоку хребців $T_{IX}-L_{III}$ із резектованим 1–3 хребцями, для стабілізації проведено фіксацію за допомогою транспедикулярних конструкцій.

Побудова скінченно-елементних моделей ендопротеза хребця для комбінованого заднього спондилодезу грудного відділу хребта. Створена модель хребта разом із транспедикулярними гвинтами та міжтіловим ендопротезом.

Побудова скінченно-елементних моделей ендопротезів грудного та поперекового хребців із вуглець-вуглецевого композиту для міжтілового спондилодезу. Для дослідження НДС геометричної моделі грудного та поперекового відділів хребта з встановленим ендопротезом із вуглець-вуглецевого композиту було спрощено промодельовані хребці у вигляді кубічних елементів (з чіткою границею розподілу між компактною та губчастою кісткою). Ендопротез моделювали як телескопічну конструкцію, два елемента якої виконані з вуглецю, а простір між ними після встановлення ендопротеза заповнювали наповнювачем — цементом. У процесі дослідження поперекового відділу хребта побудовано 18 розрахункових схем, а грудного — 24. Навантаження здійснювали шляхом прикладання кутових переміщень і сили до верхнього кубічного елемента, у такий спосіб створюючи стискальне та згинальне навантаження на досліджуваний сегмент. Величина повороту дорівнювала 2° , а величина сили — 500 Н.

Біомеханічні дослідження анатомічних препаратів передбачали визначення стабілізаційних можливостей транспедикулярної фіксації в разі резекції 1–3 хребців. Проведені експериментальні випробування на препаратах хребтових рухових сегментів грудного відділу хребта свині довжиною від хребця Th_{III} до Th_{XII}. Застосовано три групи моделей: з одним резектованим хребцем Th_{VI}, із двома — Th_V–Th_{VI} та з трьома — Th_V–Th_{VII}. На всіх моделях випробувано 4 способи траспедикулярної фіксації: за один хребець вище та нижче 1–3 резектованих; два хребця вище та нижче 1–3 резектованих, три хребця вище та нижче 1–3 резектованих, перший і третій хребці вище та нижче зони резекції. Навантаження здійснювали власноруч, дозуючи зусилля на стиснення хребта по осі за допомогою тензометричного датчика. Вертикальне навантаження підвищували від 100 до 600 Н із кроком 100 Н. За кожної величини навантаження вимірювали показник зміщення нижнього краю хребця над зоною резекції.

У другій серії біомеханічного експерименту досліджено стабілізаційні можливості транспедикулярної фіксації в разі резекції та заміщення одного хребця імплантатами різного діаметра на препаратах грудного відділу хребта свині довжиною від Th_{IV} до Th_{IX} хребця. Відтворено дві групи моделей: з одним резектованим хребцем Th_{VI} і заміною його міжтіловою опорою, виготовленою з вуглець-вуглецевого композиту Ø16 мм и Ø24 мм. Траспедикулярну фіксацію здійснювали у два способи: за два хребця вище та нижче резектованого, за один хребець вище та нижче резектованого з міжтіловою опорою різного діаметру. Міжтілова опора мала додаткове кріплення до траспедикулярної конструкції. Вертикальне стискальне навантаження прикладали до тіла хребця Th_{III}. Навантаження підвищували від 100 до 600 Н із кроком 100 Н.

У третій серії біомеханічного експерименту досліджено міцнісні властивості міжхребцевих імплантатів для заміщення видалених хребців, виготовлених із вуглець-вуглецевого композитного матеріалу. Конструкція складається з двох деталей: втулки у вигляді стакану та пересувного елемента, виконаного у вигляді гвинта або штифта з голівкою. Досліджено чотири типи фіксаторів хребців: різьбове з'єднання гвинта зі стаканом; штифт з опорою на шайби (1, 2 чи 3 шайби); штифт з опорою на шплінт; штифт із закріпленням кістковим цементом. Під час експерименту визначали межу міцності імплантатів. Для цього стискальне навантаження плавно підвищували до моменту їхнього руйнування. Величину навантаження в момент руйнування імплантата вимірювали за допомогою тензометричного датчика SBA-100L, контроль навантаження здійснювали пристроєм реєстрації CAS типу CI-2001A.

Експеримент на тваринах. Оцінювали остеоінтегративні властивості вуглець-вуглецевих імплантатів із піровуглецевим покриттям та без нього. Роботу виконано на 30 білих статевозрілих (віком від 6 до 7 міс. на початок експерименту, маса від 250 до 350 г) лабораторних щурах самцях популяції експериментально-біологічної клініки ДУ «ПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України». Щурів у випадковий спосіб розподілили на дві групи (9 тварин у кожній) та виконали хірургічне втручання з імплантації вуглецевого матеріалу з покриттям або без покриття піровуглецем. Результати вимірювань

представлено як mean \pm SD. Для виявлення впливу терміну після імплантації (15, 30 та 90-а доба) на остеоінтеграцію використаного матеріалу в групі з вуглецевим матеріалом без покриття та у групі з вуглецевим матеріалом з покриттям використано аналіз one-way ANOVA. Для оцінювання якості остеоінтеграції різних вуглецевих матеріалів (з покриттям і без нього) на 15, 30 та 90-у добу використано t-критерій Стьюдента (unpaired t-test).

Гістологічні дослідження. Для верифікації клінічного діагнозу всім пацієнтам (268 осіб групи ретроспективного дослідження, 37 — проспективного) виконували пункційну біопсію та проводили гістологічний аналіз отриманого матеріалу. Крім того, гістологічному дослідженню підлягав поперековий відділ хребта щурів із ділянкою імплантації композитного матеріалу, виділений після виведення тварин із експерименту. Одержаний матеріал (біопсійний та експериментальний) фіксували в забуференому 10 % формаліні, декальцинували в 10 % розчині мурашиної кислоти (після цього обережно видаляли препарувальною голкою імплантат із хребця щурів), зневоднювали у спиртах збільшеної концентрації та суміші парафіну і ксилолу (1:1), заливали в парафін. Структуру клітин та міжклітинної речовини на гістопрепаратах аналізували під світловим мікроскопом «Olympus VX63» (Японія).

Гістоморфометричний аналіз. У місці імплантації вуглецевого імплантата на аксіальних гістологічних зрізах (3 від кожної тварини) оцінювали у відсотках контакт новоутворених тканини (кісткової та сполучної) з імплантатом із використанням програмного забезпечення «CellSens Dimension 1.8.1» (2013) для мікроскопа Olympus VX-63 (2 \times). Під час виконання гістоморфометрії як сполучну вважали сумарно грануляційну, фіброретикулярну та власне сполучну тканини.

Результати досліджень

Ретроспективний аналіз результатів лікування пацієнтів із пухлинами грудного та поперекового відділів хребта.

Визначено, що найчастіше (153 пацієнти) ураженим пухлинним процесом був один хребець: Th_{XII} — 27 (17,6 %); L_{II} — 21 (13,7 %); L_I — 20 (13,1 %); L_{IV} — 17 (11,1 %); L_{III} — 15 (9,8 %); L_V — 15 (9,8 %); Th_{XI} — 12 (7,8 %). На рівні Th_{II} та Th_{VII} хребців ураження виявлені по 1 (0,6 %) пацієнту кожне.

Ураження двох хребців зафіксовано у 43 пацієнтів. Найчастіше на рівні Th_{XII} (12 (27,9 %)) і L_I, L_{IV}, L_V (по 10 (23,2 %)). Серед них суміжні хребці були уражені в 37 пацієнтів.

Патологічні зміни в трьох хребцях визначено у 23 пацієнтів. Найчастіше локалізацією новоутворення був Th_{XII} хребець — 8 (34,8 %) людей.

У решти 49 хворих зміни у хребті мали дифузний характер і зачіпали від чотирьох хребців до всього хребта. Найчастішою локалізацією патологічного процесу і в цій групі виявився Th_{XII} хребець — 13 (26,5 %) пацієнтів, L_{III} — 10 (20,4 %).

Таким чином, незважаючи на кількість утягнених у патологічний процес хребців (1, 2, 3 або 4 та більше), найчастіше новоутворення виявляли в Th_{XII}

хребці — загалом 60 (22,4 %) випадків. Тому під час створення математичних моделей для вивчення особливостей навантаження системи «імплантат – хребет» у наступних розділах роботи ми зосередилися саме на ньому.

Для визначення нозології неопластичного процесу в тілах хребців проаналізовано матеріал пункційної біопсії. У результаті виконання біопсії з використанням розроблених способів і пристроїв біоптат було отримано у 268 хворих. У 2 % пункційна біопсія була неефективною, оскільки отримано недостатню кількість матеріалу. Ще у 3 % патогістологічний висновок був у вигляді опису. Цим пацієнтам (5 %) виконано повторну біопсію осередку ураження, після чого в 0,5 % випадків діагноз не встановлено.

Згідно з даними результатів додаткових методів дослідження (онкомаркерів, біохімічних, імунологічних та інструментальних) та патогістологічних досліджень за період з 2010 по 2017 рік верифіковані пухлини хребта, наведені в табл. 1, 2.

Таблиця 1

Розподіл пацієнтів за первинними пухлинами хребта за класифікацією ВООЗ (2013)

Нозологія	Кількість пацієнтів
Плазмоклітинна мієлома (мієломна хвороба)	35
Гемангіома	23
Еозинофільна гранульома	10
Злоякісна лімфома	9
Гігантоклітинна пухлина	8
Злоякісна гігантоклітинна пухлина	6
Аневризмальна кісткова кіста	6
Кавернозна гемангіома	5
Хордома	5
Фібозна дисплазія	4
Остеобластома	4
Фібросаркома	4
Хондросаркома	3
Остеоїдна остеома	3
Остеогенна саркома	2
Остеохондрома	2
Ангіосаркома	2
Саркома Юїнга	1
Поліморфоклітинна саркома	1
Злоякісна фіброзна гістіоцитома	1
Гангліонейрома	1
Неврома	1
Усього:	135

У результаті пункційної біопсії осередків ураження хребців у 99,5 % пацієнтів патогістологічно підтверджено діагноз.

Розподіл пацієнтів за вторинними (метастатичними) ураженнями хребта (за класифікацією ВООЗ, 2013)

Захворювання, які спричинили метастатичні ураження хребта	Кількість пацієнтів
Низькодиференційований рак	28
Недиференційований рак	26
Аденокарцинома	24
Рак молочної залози	14
Світлоклітинний нирковий рак	13
Плоскоклітинний рак	11
Темноклітинний рак	5
Рак щитовидної залози	4
Семінома	1
Злоякісна хемодиктома	1
Меланобластома	1
Дрібноклітинний рак	1
Усього:	129

Встановлено, що найчастішими злоякісними первинними ураженнями хребта є плазмноклітинна міелома та злоякісна лімфома, а доброякісними — гемангіома й еозинофільна гранульома. Поодинокими були випадки хондросаркоми, остеосаркоми та фібросаркоми, при цьому осередок ураження поширювався на один або два хребця. Метастазування в тіла хребців виявлено у 74 (28 %) пацієнтів і найчастіше за умов низькодиференційованого раку та аденокарциноми.

У 4 хворих патологічні зміни (літична диструкція та потологічний перелом) були пов'язані з іншими патологічними змінами у хребті: це був ехінококоз – 2 пацієнти, хвороба Педжета – 2.

Для створення раціонального алгоритму лікування пацієнтів із втратою опорної функції хребта внаслідок пухлинного ураження тіл грудних і поперекових хребців за даними рентгенологічного, КТ- і МРТ-досліджень розглянуто особливості ушкодження анатомічних структур хребтового рухового сегмента, їхній взаємозв'язок і визначено фактори, які можуть впливати на вибір методу хірургічного лікування. У дослідження включено 264 пацієнти з патологічними змінами у хребті (особи з хворобою Педжета та ехінококозом виключені з дослідження).

Без деформації тіла хребця, що супроводжується кістковим набряком, було 39 (14,8 %) пацієнтів. Ушкодження тіла хребця без деструкції інших анатомічних структур виявлено в 168 (63,6 %) хворих, деформацію тіла хребця з ушкодженням дужок і суглобів — у 52 (19,7 %); ушкодження заднього опорного комплексу — 5 (1,9 %). Нечисленна група пацієнтів, лише з ушкодженням заднього опорного комплексу – 5 (1,9 %) була також виключена з дослідження. Визначено 5 типів ушкоджень хребців: I — без деформації,

супроводжується кістковим набряком та візуалізується на МРТ, II — ушкодження тіла хребця до 30 % без або з невеликим дефектом задньої стінки або, III — ушкодження тіла хребця понад 30 %, але менше ніж 60 % із дефектом задньої стінки, IV — ушкодження понад 60 % і деформацією задньої стінки, V — деформація тіла хребця з ушкодженням дужок і суглобів.

У результаті аналізу особливостей ушкодження анатомічних структур хребтового рухового сегмента та клінічних ознак виділено основні, які можуть впливати на вибір методу лікування: величина локального кіфозу; локалізація уражень; біль у спині; вид пухлини; тип ураження; кісткове ураження (літичне чи остеобластичне); стеноз хребтового каналу; неврологічна симптоматика. Зазначені критерії були використані для розроблення алгоритму вибору обсягу хірургічного лікування для відновлення опороспроможності грудного та поперекового відділів хребта за умов пухлинних уражень.

Розроблення алгоритму вибору обсягу хірургічного втручання в разі пухлин грудного та поперекового відділів хребта. У процесі апробації «лінійної» бальної шкали найліпші показники точності визначення обсягу операції отримано в разі застосування правил із такими пороговими значеннями балів: менше 10 балів — V; від 10 до 13 балів — F+V; від 14 до 16 балів — F+F; понад 16 балів — F+F+K. Досягнута якість визначення обсягу операції показала абсолютну кількість правильно та помилково визначених випадків у чотирьох розглянутих класах. Таким чином, обсяг операції правильно визначено для 171 пацієнта з 237, що відповідає 72,15 % загальної точності шкали. Проте при цьому точність покриття класів для трьох типів операцій не перевищувала і двох третин, а задовільну точність покриття (78,7 %) отримано лише для найменших за обсягом операцій — вертебропластики. Цілковот нездовільною в разі застосування цієї шкали виявилася прогностична точність для операцій F+V і F+F. Із метою підвищення точності визначення типу операції (необхідного обсягу хірургічного втручання) проведено додаткове дослідження наявних даних, на першому етапі якого виявлено існування в загальній вибірці пацієнтів двох підгруп (кластерів). Застосування методу K-середніх дозволило виявити два кластери пацієнтів, які досить схожі між собою за такими критеріями, як наявність деструкції суміжних хребців, тип кісткового ураження, вид і локалізація пухлини. При цьому різниця між кластерами проявляється за обсягом хірургічного втручання, ступенем ураження хребця, епідуральної компресії та локального кіфозу, а також за неврологічною симптоматикою. Перший кластер склали 115 осіб із дещо вищими значеннями зазначених критеріїв оцінювання, що свідчить про їх важчий стан і, відповідно, потребувало більшого обсягу хірургічного втручання порівняно з 122 особами, які потрапили до другого кластеру.

Визначені закономірності дозволили відшукати найінформативнішу комбінацію критеріїв оцінки, за якими відбувається розподіл загальної вибірки пацієнтів на два кластери. Відповідно до нього до першого кластеру слід відносити пацієнтів, в яких ступінь ураження хребця відповідає колапсу на рівні понад 60 % чи колапсу тіла хребця із деструкцією заднього опорного комплексу, або, якщо колапс становить не більше ніж 60 %, за ступеня

епідуральної компресії (стенозу хребтового каналу) 2-ї чи 3-ї стадії. Зокрема, усі випадки, коли проведено вертебропластику, належали до другого кластеру. У першому кластері опинилися пацієнти, яким виконано операції більшого обсягу. Таким чином, на підставі дерева рішень для визначення кластеру пацієнта можна сформулювати алгоритм, за яким призначають операції, що потребують найменшого обсягу втручання (тобто вертебропластика). Показаннями для таких операцій є стеноз хребтового каналу на стадіях 0 чи 1, коли ураження хребця супроводжується колапсом тіла на рівні не більше ніж 60 %. У першому кластері були визначені критерії, які чинять вагомий і статистично значущий вплив на приналежність пацієнта до одного з трьох класів. Це — неврологічна симптоматика, оцінена за шкалою ASIA, ступінь ураження хребця, ступінь епідуральної компресії (стадія стенозу хребтового каналу), вид пухлини, що обумовлює радикальне чи паліативне втручання. Встановлено, що в разі вибору операції F+F найбільшу вагу має неврологічна симптоматика з порушеннями рухової функції легкого ступеня та збереженням нормальної чутливості (тобто оцінка D за шкалою ASIA). Також операції F+F найчастіше виконують у разі новоутворень хребта, які обумовлюють паліативне втручання, водночас види пухлин, які потребують радикального втручання, більше асоційовані з типом операції F+F+K. Загалом, ухвалюючи рішення про виконання операції найбільшого обсягу (F+F+K), найбільшу вагу має тяжкість неврологічних проявів, які мають бути на рівні від виражених порушень рухових функцій до повної відсутності рухової та чутливої функції (A, B, C за шкалою ASIA), і вид пухлини, за якого потрібне радикальне втручання. Важливими, але з дещо меншою вагою, у випадку операцій F+F і F+F+K є тяжкий ступінь ураження хребця (4 чи 5-й) і стеноз хребтового каналу (ступінь епідуральної компресії) 2-ї чи 3-ї стадії. Для вибору операції F+V найбільшу вагу має ступінь ураження хребця, коли колапс тіла або відсутній, або не перевищує 60 %, потім — відсутність неврологічних порушень (E за шкалою ASIA), стеноз хребтового каналу 1-ї чи 0-ї стадії.

Для визначення рекомендованого типу операції отримано математичну модель для конкретного пацієнта, у процесі застосування якої правильно визначено тип операції для 89 пацієнтів зі 115, що відповідає 77,4 % загальної точності. Для класу операцій F+V адекватно встановлено 17 із 18 наявних у виборці випадків, що відображує відмінну точність покриття цього класу (94,4 %), хоча прогностична точність для цих операцій становить 68 %, бо за сукупністю ознак 8 випадків операцій F+F+K моделлю помилково було віднесено до класу F+V. При цьому розроблена модель показала достатньо високу прогностичну точність для визначення операцій F+F (83,7 %) і операцій F+F+K (76,6 %).

В якості альтернативи моделі класифікаційних функцій для визначення обсягу хірургічного втручання для пацієнтів першого кластеру можна запропонувати алгоритм на основі дерева рішень, у якому тип операції обирається на підставі послідовних відповідей «так» чи «ні» на низку питань про певні характеристики стану пацієнта. На вхід процедури побудови дерева рішень ми подавали визначені чотири предикторні ознаки: неврологічна

симптоматика за шкалою ASIA, ступінь ураження хребця, ступінь епідуральної компресії, вид пухлини. У результаті отримано алгоритм (рис. 1), за яким операції F+F+K треба призначати в разі найбільшої вираженості рухових і чутливих спінальних порушень, що відповідають оцінками А, В чи С за шкалою ASIA, або, у випадку відсутності неврологічної симптоматики (Е за шкалою ASIA), видів пухлин, які обумовлюють виконання радикального втручання.

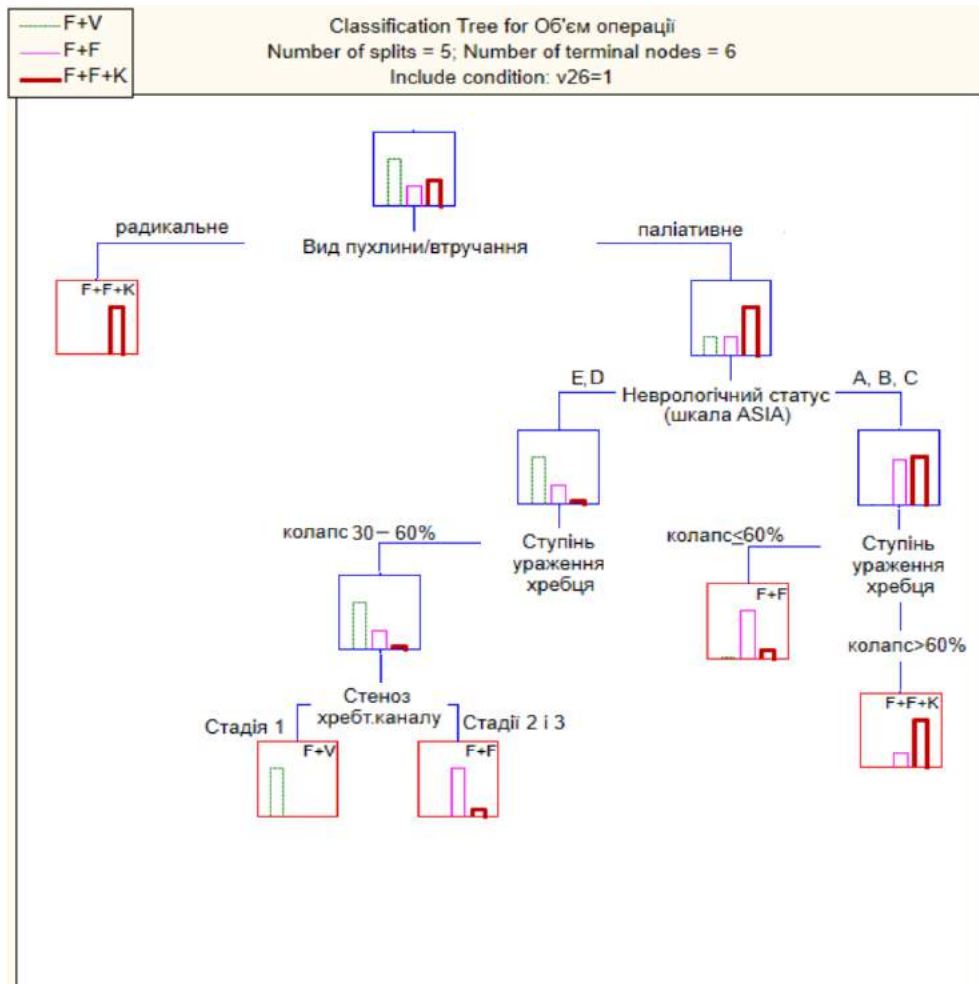


Рис. 1. Дерево рішень для вибору обсягу хірургічного втручання у першому кластері пацієнтів.

У процесі застосування цієї математичної моделі правильно визначено тип операції для 97 пацієнтів зі 115, що відповідає 84,3 % загальної точності. Загалом на досліджуваній вибірці пацієнтів модель дерева рішень на класі операцій F+F показала таку ж саму точність, як і модель класифікаційних функцій, маючи при цьому вищу прогностичну точність для типу операцій F+V і кращі показники покриття і прогностичної точності для типу операцій F+F+K.

Узагальнюючи проведені дослідження, ми запропонували два альтернативних алгоритми (моделі) визначення типу операції в разі новоутворень хребта. В обох моделях формування рішення про проведення вертебропластики (обсяг операції V) відбувається на підставі ступеня тяжкості ураження хребця і стенозу хребтового каналу. Вертебропластику рекомендують

в разі уражень хребця без колапсу тіла або з колапсом не більше ніж 60 % об'єму тіла хребця, ступеня епідуральної компресії стадій 0 чи 1. Вибір між операціями більшого обсягу здійснюється у двох альтернативних алгоритмах різним чином.

За першим алгоритм (рис. 2) для вибору одного з типів операцій (F+V, F+F чи F+F+K) необхідно обчислити значення трьох класифікаційних функцій і надати перевагу тому типу операції, для якого отримане максимальне значення класифікаційної функції. Загальна точність визначення типу операції в цьому випадку становить 89 %, а покриття і прогностична точність для кожного з типів операцій мають відмінні, добрі та задовільні рівні.

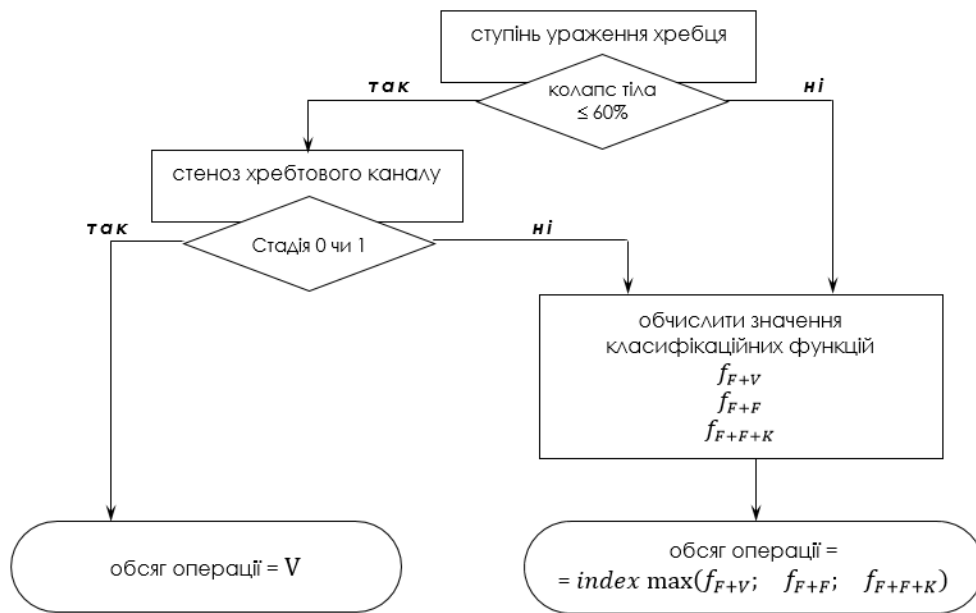


Рис. 2. Алгоритм визначення обсягу хірургічного втручання за допомогою ансамблю моделей, що включає обчислення класифікаційних функцій.

За другим алгоритмом (рис. 3) для вибору одного з типів операцій (F+V, F+F чи F+F+K) спочатку необхідно оцінити неврологічний статус пацієнта з використанням шкали ASIA. Якщо рухові та чутливі порушення відповідають рівню D, треба схилитися до обсягу операції F+F. Якщо спостерігаються тяжкі порушення рухових і чутливих функцій на рівнях А, В чи С, перевагу слід віддати операції F+F+K. У випадку відсутності неврологічної симптоматики, обираючи один із трьох типів операцій, слід зважати на вид пухлини, ступінь ураження хребця та епідуральної компресії. Загальна точність визначення типу операції в цьому випадку становить 92 %, покриття і прогностична точність для кожного з типів операцій також на досить високому рівні.

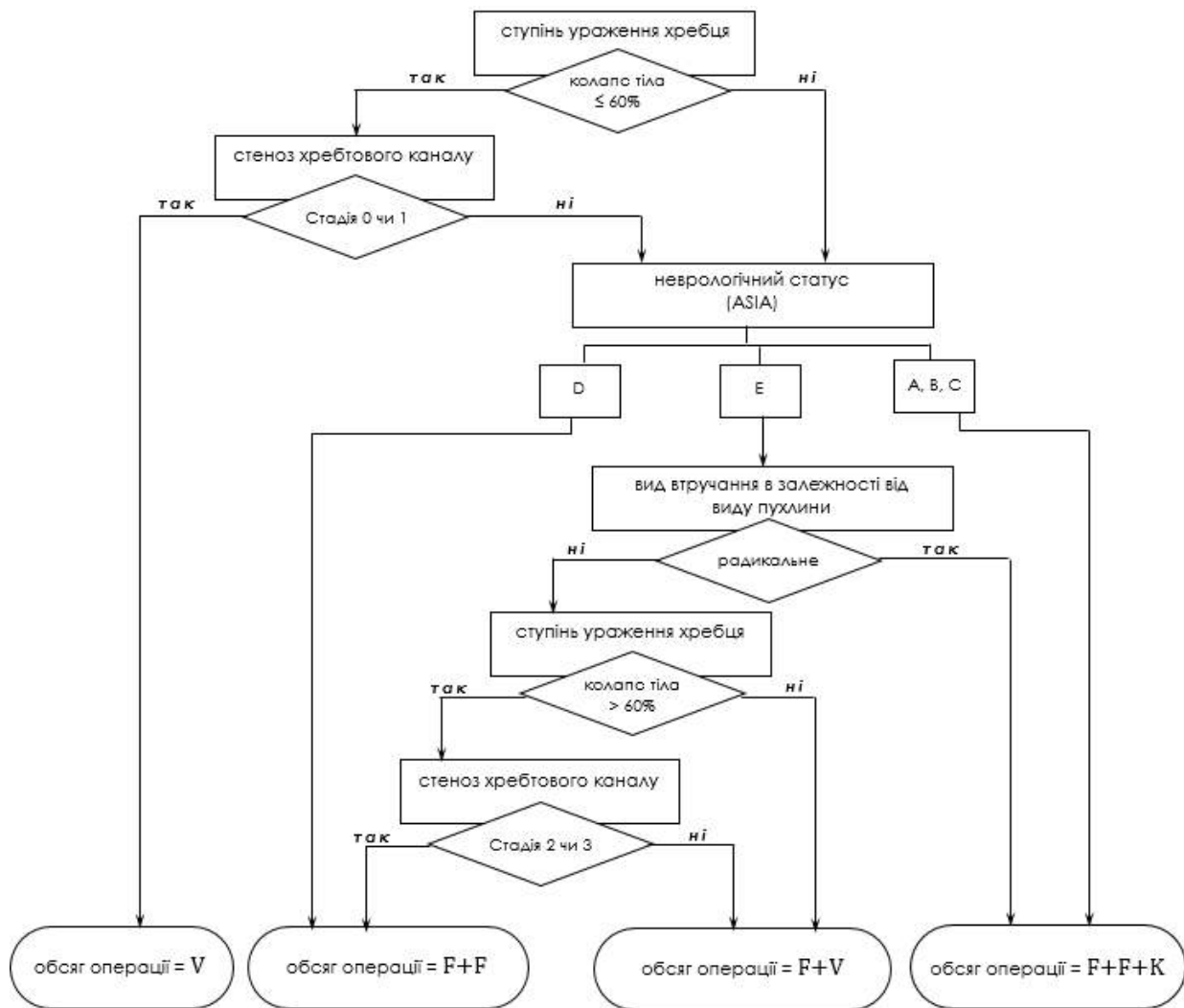


Рис. 3. Алгоритм визначення обсягу хірургічного втручання за допомогою ансамблю моделей на основі дерев класифікації

Результати експериментальних досліджень

Метою експериментальної частини роботи стало обґрунтування довжини фіксації хребтових рухових сегментів після вертебректомії уражених пухлинним процесом хребців, міжтілових імплантатів із вуглець-вуглецевого композитного матеріалу (ВВКМ), методик хірургічного відновлення опорної функції хребта у пацієнтів із пухлинами тіл грудних і поперекових хребців.

Дослідження напружено-деформованого стану системи «хребет – імплантат» за різних варіантів ушкодження тіла хребця Th_{XII} (від 0 до 70 %) та кіфотичної деформації з вершиною на рівні Th_{XII} проведено на розрахункових математичних моделях. Визначено, що патологічне ураження розміром не більш ніж 30 % від об'єму тіла хребця та кіфотична деформація з вершиною на рівні Th_{XII} не більш ніж 10° призводить до порушення опорної функції ураженого хребця, а збільшення дефекту понад 30 % від об'єму тіла та наявність локальної кіфотичної деформації понад 10° негативно впливає на розподіл напружень у прилеглих до нього сегментах. Для кожного типу ушкодження /деформації було підібрано відповідний тип втручання (вертебропластика, вертебропластика + задній спондилодез; задній

спондилодез; задній спондилодез + міжтіловий кейдж), який дає змогу істотно знизити рівень напруженого стану в тілі хребця Th_{XII} , блоці хребців Th_X-Th_{XI} . Доведено, що показаннями до застосування цементної вертебропластики є дефект, розмір якого не перевищує 30 % об'єму тіла хребця. У разі збільшення об'єму дефекту тіла хребця до 60 % і виникнення кіфотичної деформації необхідно виконувати транспедикулярну фіксацією хребта самостійно або у поєднанні з цементною вертебропластикою. За наявності дефекту більш ніж 60 % від об'єму хребця та локальної кіфотичної деформації рекомендовано виконання заднього транспедикулярного спондилодезу в поєднанні з тотальною резекцією хребця та встановленням кейджа.

Дослідження різних варіантів заднього спондилодезу в разі втрати опороспроможності переднього опорного комплексу хребта. Математичне моделювання методом скінчених елементів різних варіантів заднього спондилодезу за умов втрати опороспроможності переднього комплексу грудного та поперекового відділів хребта показали, що максимальне напруження в положенні нахилу назад виникає в разі повної резекції трьох хребців із закріпленням в одне суміжне тіло та становить 415 МПа, що значно перевищує міцність як коркової кістки, так і титану. Мінімальні значення внутрішніх напружень за критерієм Мізеса спостерігали у разі повної резекції одного хребця і закріпленні в трьох суміжних хребцях. Напруження не перевищували 24 МПа, що дає запас міцності більш ніж у 10 разів. Також були визначені зони концентрації напружень.

На фізичній моделі різних варіантів заднього спондилодезу за умов втрати опороспроможності переднього опорного комплексу хребта свині виявлено, що за умов резекції одного хребця у грудному відділі хребта транспедикулярна фіксація за схемами 111x111 (три хребця вище та нижче резектованого), 101x101 та 011x110 (два хребця вище та нижче резектованого) практично однаково ефективна для відновлення опороспроможності, про що свідчить відсутність статистично значущих відмінностей при мінімальному (100 Н) та максимальному (600 Н) навантаженні. У разі резекції двох хребців найменшу величину зміщення хребтових рухових сегментів одержано за умов використання транспедикулярної фіксації за схемою 111xx111. Найгірші результати показала транспедикулярна конструкція, накладена за схемою 001xx100 (один хребець вище та нижче резектованих): за навантажень 500 і 600 Н величина зміщення хребтових рухових сегментів перевищувала 10 мм. У разі резекції трьох хребців грудного відділу хребта стабільна фіксація досягнута в разі транспедикулярної фіксації за схемою 111xxx111, коли за умов різних величин навантаження виникають найменші зміщення хребтових рухових сегментів. Порівняні результати отримані в разі використання схеми фіксації 101xxx101, проте за величини навантаження 600 Н величини переміщення хребтових рухових сегментів перевищували межі діапазону вимірювання. Схема фіксації 001xxx100 виявилась дуже нестабільною та випала з експерименту вже за умов величин навантажень 300 Н.

Моделюючи схеми фіксації хребтових рухових сегментів, ми умовно залишали незаповненими ділянки резекції хребців. Зрозуміло, що в реальних

умовах таке неможливо. Після вертебректомії обов'язково використовують різні імпланти, зокрема, у грудопоперековому відділі переважно встановлюють титанові імпланти, які створюють артефакти під час МРТ- та КТ-дослідження. Ці ефекти не дозволяють визначити стан ділянки, де проведено хірургічне втручання, що є критичним у разі лікування пацієнтів із пухлинними та метастатичними ураженнями хребта. Тому наступні розділи роботи стосувалися розроблення імплантатів із матеріалу, позбавленого цих недоліків — вуглець-вуглецевого композиту з піровуглецевим покриттям.

Обґрунтування *in vivo* використання вуглець-вуглецевого композиту з піровуглецевим покриттям для заміщення дефектів тіл хребців

У роботі подано результати морфологічного дослідження тіл хребців поперекового відділу хребта щурів після імплантації двох видів вуглецевих матеріалів — ВВКМ з піровуглецевим покриттям та без нього. Встановлено ідентичну спрямованість регенерації кістки навколо обох матеріалів. Через 15 діб після імплантації на поверхні обох зразків визначено утворення зрілої грануляційної тканини, яка на більшій території периметру відмежовувала новоутворену кісткову тканину у вигляді дрібнопетлястої сітки грубоволокнистих кісткових трабекул. На цей термін спостереження вміст кісткової тканини по периметру ВВКМ з піровуглецевим покриттям значуще не відрізнявся від показників у групі без покриття. Через 30 діб після операції гістологічно навколо ділянки імплантації обох досліджуваних вуглецевих матеріалів виявлено формування двох типів тканин — грубоволокнистої кісткової та сполучної різного ступеня зрілості. За результатами гістоморфометричного аналізу визначено, що відносний вміст кісткової тканини навколо ВВКМ був статистично значуще меншим в 1,4 раза ($p < 0,001$), ніж у групі, де використано ВВКМ з покриттям. Через 90 діб після встановлення ВВКМ з покриттям визначено прямий контакт із пластинчастою кістковою тканиною (остеоінтеграцію) на $(71,71 \pm 1,56) \%$ поверхні. Цей показник був в 1,4 раза більшим ($p < 0,001$), ніж у випадку використання матеріалу без покриття, де відносна довжина контакту з кісткою дорівнювала $(50,70 \pm 3,67) \%$. Міграцію вуглецевих часточок спостерігали на незначних територіях гістопрепарату без ознак запальної реакції навколо них, що підтверджує біоінертність досліджуваних матеріалів.

Розроблення новітніх методів хірургічного відновлення опорної функції хребта в пацієнтів із пухлинами грудних і поперекових хребців

Під час виконання роботи математично та біомеханічно обґрунтовано два види ендопротезів для резектованих хребців – для заднього комбінованого спондилодезу грудного відділу хребта і міжтілового спондилодезу грудного та поперекового відділів.

Розроблення ендопротеза тіла хребця для заднього комбінованого спондилодезу грудного відділу хребта. У результаті математичного моделювання створено систему для стабілізації грудного відділу хребта, яка складається з титанової конструкції й ендопротеза хребця, максимально виконаного з ВВКМ (деякі необхідні елементи (різьба і т.п.) зробити з цього матеріалу неможливо, тому вони залишилися титановими). Під час

проектування імплантата було запропоновано конструкторське рішення (а саме, закріплення імплантата на транспедикулярній системі), яке дозволяє вирішити питання його фіксації в хребті і, відповідно, спрощує проведення операції. На транспедикулярні гвинти в розробленій конструкції допустимі еквівалентні навантаження в середньому дорівнювали 600 МПа, а найбільше значення напружень становить 163 МПа. На підставі біомеханічного дослідження на фізичних моделях нового імплантата доведено, що для транспедикулярної фіксації кращою є схема з 8 гвинтами, які встановлюють попарно у 2 верхніх і 2 нижніх хребці від зони резекції. Це дає змогу досягти статистично значуще ($p = 0,001$) меншу величину зміщення хребтових рухових сегментів, ніж у разі проведення гвинтів лише в одному верхньому та одному нижньому хребці. Крім того, проведено порівняльний аналіз схем кріплення за умов використання імплантатів різного діаметра — 16 та 24 мм. За різних величин навантаження (від 100 до 600 Н) визначено найкращу якість фіксації в разі використання восьмигвинтової конструкції та імплантата більшого діаметра. Тож доведено, що збільшення діаметра міжтілової опори сприятиме якості фіксації, тобто зменшенню рухомості хребтових рухових сегментів.

Результати експериментальних досліджень стали підґрунтям для розроблення комбінованого ендопротеза з ВВКМ (пат. 115715 UA, 120318 UA), використання його дало змогу покращити результати лікування хворих на пухлинні ураження грудного та поперекового відділів хребта та контролювати динаміку пухлинного процесу в зоні операції.

Розроблення ендопротеза з вуглець-вуглецевого композиту тіл грудного та поперекового відділів хребта для міжтілового спондилодезу. Біомеханічно на побудованих математичних моделях грудного та поперекового відділів хребта обґрунтовано телескопічний ендопротез тіла хребця. За результатами отриманих чисельних значень і полів розподілу компонент напружено-деформованого стану в елементах досліджуваних систем доведено, що використання запропонованого ендопротеза, виготовленого з ВВКМ дозволяє досягти стабілізації відповідного сегмента хребта. Після цього було створено експериментальні моделі вуглець-вуглецевих імплантатів і випробувано їх на стенді для біомеханічних досліджень. За результатами експериментів найгіршими виявилися конструкції з різьбовим з'єднанням, зразки зі шплінтом витримували втричі більші навантаження до руйнування. І хоча різьбові конструкції вважаються доволі міцними, особливості матеріалу (вуглецю) не відповідають вимогам, які надають різьбовим з'єднанням. Вуглецеві матеріали доволі крихкі, тому і конструкції зі шплінтом також виявилися недосконалими. Конструкції із шайбами розширення показали себе доволі непогано, але збільшення висоти розширення імплантата призводило до зменшення міцності конструкції і, як наслідок, зменшення здатності витримувати навантаження. Цілісні конструкції виявилися найвитривалішими, а додаткова міцність за рахунок використання цементу перетворила їх у монолітні надміцні вироби.

На підставі отриманих результатів математичного моделювання та біомеханічних випробувань експериментальних конструкцій створено телескопічний ендопротез тіла хребця, який містить два розсувні між собою в

осьовому напрямку несучі блоки, на торцях яких виготовлені шипоподібні фіксатори. Один із несучих блоків, наприклад розташований нижче, виготовляють у вигляді стакану з суцільною внутрішньою порожниною, а інший блок — у вигляді стрижня, зовнішня форма якого аналогічна внутрішній порожнині стакану. Стрижень встановлюється в стакані у такий спосіб, що між його нижнім торцем і дном стакану утворюється певний проміжок. У бічній частині стакану в зоні розташування цього проміжку виготовлений крізний отвір зі встановленою в ньому знімною трубкою для нагнітання під тиском у рідинному стані речовини (кісткового цементу), яка швидко твердне. Обидва несучі блоки виготовлені з пористого вуглець-вуглецевого композитного матеріалу з величиною пор від 150 до 250 мкм і загальною величиною пор від 5 до 12 % (пат. 142816 UA).

Спосіб пункційної вертебропластики ушкоджених тіл хребців. Пункційна вертебропластика є малоінвазивною методикою лікування патологічно змінених тіл хребців шляхом їхнього насичення речовиною, унаслідок твердіння якої підвищується опороспроможність хребців. Але у разі руйнування або незначної міцності задньої стінки реконструйованого хребця можливо поширення консолідуючої хребець речовини за його межі, що спричинює руйнування хребтового каналу з тяжкими наслідками. Це обмежує використання цієї малоінвазивної методики. Тому ми запропонували спосіб пункційної вертебропластики ушкоджених тіл хребців, заснований на виконанні заднього доступу до них і дискретному введенні під тиском і рентгенологічним контролем у декілька етапів розрахункового об'єму речовини, яка консолідує хребець, наприклад кісткового цементу, з подальшою витримкою часу для її затвердіння. На першому етапі консолідації тіла хребця визначають патологічний стан його задньої стінки й у випадку її неспроможності формують із речовини вертикальну перегородку у фронтальній площині, розташовану на відстані від задньої стінки хребця, що дорівнює 0,4-0,5 см від усієї його довжини в сагітальному напрямку. Із затвердінням перегородки протягом 0,5-3,0 хв здійснюють на наступних етапах поступову консолідацію решти тіла хребця від передньої стінки (пат. 13542 UA).

Клінічну апробацію алгоритму вибору обсягу хірургічного втручання в разі пухлин грудного та поперекового відділів хребта з використанням розроблених способів та пристроїв проведено у групі з 37 пацієнтів. За патоморфологічною класифікацією первинних пухлин і пухлиноподібних уражень ВООЗ пацієнти розподілилися так: остеїд-остеома та остеобластома – 1; гемангіома – 8; гігантоклітинна пухлина – 5; аневризмальна кісткова кіста – 1; хондросаркома – 1; мієломна хвороба – 9; плазмоцитома – 1; фібросаркома – 1; рак молочної залози – 1; низькодиференційований рак – 4; світлоклітинний нирковоклітинний рак – 2; недиференційований рак – 1; плоскоклітинний рак – 2. Розподіл пацієнтів за рівнем ураження, балами за шкалою ASIA, компресії спинного мозку за Bilsky, ступенем ураження хребця та хірургічним лікуванням залежно від виду пухлини наведено у табл. 3. На основі даних, які наведено в табл. 3 з використанням розробленого алгоритму вибору обсягу хірургічного

лікування при пухлинах хребта визначено об'єм хірургічного втручання для відновлення опорної функції хребта: «V» — 19; «F + V» — 4; «F + F» — 6; «F + F + K» — 8.

Таблиця 3

Розподіл пацієнтів за рівнем ураження, балами за шкалою ASIA, компресії спинного мозку за Bilsky, ступенем ураження хребця та хірургічним лікуванням

Рівень ушкодження	Хірургічне лікування залежно від виду пухлини		Показники шкал											Ступінь ураження хребця					
			Bilsky						ASIA										
			P	R	0	1a	1b	1c	2	3	A	B	C	D	E	1	2	3	4
Th _I –Th _{II}																			
Th _{III} –Th _X	9	1	6	1		2	1				1	2	7	4	3	2	1		
Th _{XI} –L _I	14	3	7	2	1	3	3	1	1	2	2	2	10	6	5	3			2
L _{II} –L _V	7	3	4	2		3	1			2	1	1	6	4	2	2	1		2
Усього (n = 37)	30	7	17	5	1	8	5	1	1	4	4	5	23	14	10	7	2		4

Оцінювали результати хірургічного лікування пухлин хребта в найближчий післяопераційний період за такими показниками: наявність ускладнень, динаміка неврологічних порушень і больового синдрому. За даними неврологічних проявів за шкалою ASIA до лікування з групи А 1 пацієнт залишився без змін; група В — 2 пацієнти із 4 перейшли до групи С, 2 залишилися без змін; група С — 2 пацієнти із 4 перейшли до групи D, 2 — без змін; група D — 4 пацієнти із 5 перейшли до групи E, 1 залишився без змін; група E — в усіх випадках залишилася без неврологічних розладів у 23 пацієнтів. Таким чином, виявлено більшу позитивну динаміку усунення неврологічних розладів у пацієнтів групи D (80 %), а у групах В, С — лише в 50 % випадків. У пацієнтів групи А неврологічна симптоматика залишилася без змін.

Інтенсивність больового синдрому оцінювали за допомогою шкали вербальних (словесних) оцінок (ШВО). Визначено у 91,9 % пацієнтів позитивну динаміку у вигляді зміни інтенсивності больового синдрому, лише в 3 пацієнтів (8,1 %) біль залишився без змін. Встановлено, що більшість — 34 (91,9 %) пацієнти — відчули зміну характеру больового синдрому, а саме його зниження під час навантаження.

Враховуючи, що після операції позитивний ефект зменшення неврологічних порушень відзначений у 80 % пацієнтів з явищами компресійної радикулопатії та синдромом парапарезу, 91,9 % пацієнтів відчули зменшення больового синдрому. Це, на нашу думку, пов'язано з відновленням опорної функції хребта та декомпресією нервових структур. Завдяки зменшенню больового синдрому, регресії неврологічної симптоматики та відновленню

опорної функції хребта нам вдалося покращити якість життя пацієнтів і підготувати їх до подальшого лікування в спеціалізованих онкологічних закладах.

На контрольний огляд через 3 міс. з'явилися 32 пацієнти: після пункційної вертебропластики — 17; вертебропластики, поєднаної зі заднім спондилодезом — 6; задньої декомпресії та заднього спондилодезу — 3; заднього спондилодезу з використанням міжтілового імплантата — 6. У групі з використанням транспедикулярної фіксації та вертебропластики негативної динаміки не виявлено.

У групі з використанням транспедикулярної фіксації в одного пацієнта з вторинними змінами у хребті зафіксовано наростання кіфотичної деформації та на КТ-дослідженні виявлено літичну деструкцію тіл хребців, в яких проведено транспедикулярні гвинти. У зв'язку з неспроможністю металоспондилодезу в пацієнта посилювався больовий синдром у вертикальному положенні до 4 балів за ШВО та збільшилася неврологічна симптоматика з D → C за шкалою ASIA.

У четвертій групі з використанням міжтілового імплантата також у одного пацієнта з діагнозом «гігантоклітинна пухлина» виявили негативну динаміку. За даними КТ-дослідження у місці проведеного оперативного втручання відбувся рецидив пухлини зі стенозом хребтового каналу та, як наслідок, наростання неврологічної симптоматики з D → C за шкалою ASIA.

ВИСНОВКИ

1. За результатами аналізу наукової літератури встановлено, що не існує єдиного підходу до відновлення опорної функції хребта в разі розвитку пухлинних уражень у ньому. Класифікації й оціночні шкали, які застосовують сьогодні в клінічній практиці, не визначають повною мірою, який саме обсяг хірургічного втручання необхідно проводити у конкретного пацієнта, надаючи лише загальні рекомендації до тактики лікування. Необхідним також залишається розроблення нових, а також удосконалення наявних способів і конструкцій для стабілізації хребта за умов втрати опороспроможності через ураження неопластичним процесом тіл хребців.

2. На підставі ретроспективного аналізу результатів лікування й особливостей ушкоджень анатомічних структур хребтового рухового сегмента пацієнтів із новоутвореннями хребта встановлені важливі клініко-морфологічні ознаки, які обумовлюють порушення опорної функції хребта та вибір обсягу хірургічного лікування: величина локального кіфозу, локалізація уражень, біль, вид пухлини, тип ушкодження хребця, кісткове ураження (літичне або остеобластичне), стеноз хребтового каналу, неврологічна симптоматика. Класифіковано п'ять типів ушкоджень хребців пухлинним процесом

3. Розроблено алгоритм вибору обсягу хірургічного втручання залежно від особливості ураження пухлинним процесом грудних і поперекових хребців із метою відновлення опорної функції хребта.

4. Аналіз НДС системи «хребет – імплантат» виявив, що показаннями до застосування цементної вертебропластики є дефект, розмір якого не перевищує 30 % об'єму тіла хребця. У разі збільшення об'єму дефекту тіла хребця до 60 %

і виникнення кіфотичної деформації необхідно виконувати транспедикулярну фіксацію хребта самостійно або у поєднанні з цементною вертебропластикою. За наявності дефекту більш ніж 60 % від об'єму хребця та локальної кіфотичної деформації рекомендовано виконання заднього транспедикулярного спондилодезу в поєднанні з тотальною резекцією хребця та встановленням кейджа.

5. У результаті математичного моделювання та біомеханічних досліджень на фізичних моделях визначені схеми фіксації, що відновлюють опорну функцію хребта в його ураженій ділянці залежно від поширеності пухлинного процесу та обсягу резекції тіл хребців. Доведено, що в разі резекції одного хребця для відновлення опороспроможності хребтових рухових сегментів достатньо провести закріплення за допомогою конструкції в одне тіло хребця, за резекції двох хребців бажаною є фіксація в трьох тілах, але можливим є також закріплення у двох хребцях із трикратним запасом міцності. За умов вертебротомії трьох хребців відновити опороспроможність можна лише, виконавши фіксацію в трьох або більше суміжних тілах хребців

6. На підставі експериментального біологічного моделювання встановлено, що вуглець-вуглецеві композитні імплантати з покриттям піровуглецем та без нього є біологічно сумісними та не порушують перебіг регенерації кістки. Доведено вищі остеointegraційні якості у вуглець-вуглецевих композитних матеріалів із покриттям піровуглецем.

7. Розроблено новітні ендопротези тіл хребців для грудного та поперекового відділів хребта з вуглець-вуглецевого композиту з піровуглецевим покриттям, які дають змогу контролювати динаміку пухлинного процесу в зоні операції завдяки відсутності артефактів під час КТ-та МРТ-досліджень. У разі використання розроблених ендопротезів напруження у корковій і губчастій кістці суміжних хребців не перевищують граничних меж міцності (160 МПа та 18-22 МПа відповідно).

8. Проведена клінічна апробація довела можливість із високою ймовірністю обрати для пацієнта з новоутворенням хребта відповідний обсяг хірургічного втручання за допомогою розробленого алгоритму та забезпечити задовільний результат лікування з відновленням опорної функції хребта. Встановлено покращення неврологічного статусу у 80 % пацієнтів і зниження інтенсивності больового синдрому в 91,9 %. Результати апробації новітніх методик дають можливість рекомендувати їх для подальшого використання.

ПЕРЕЛІК РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Продан А. И. Биомеханическое обоснование оптимального состава композитного материала для чрезкожной вертебропластики / А. И. Продан, Г. Х. Грунтовский, **А. И. Попов**, М. Ю. Карпинский, Е. Д. Карпинская, И. А. Суббота / Хирургия позвоночника. – 2006. – № 2. — С. 67-74.

Автором запропоновано ідею експериментів, проаналізовано результати, підготовлено статтю до друку.

2. Корж М. О. Динаміка біохімічних та імунохімічних показників у хворих на злоякісні та доброякісні пухлини грудного та поперекового відділів

хребта / М. О. Корж, В. О. Радченко, Ф. С. Леонтьєва, В. О. Куценко, Б. М. Шевцов, **А. І. Попов** // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2017. – № 2 (607). – С. 30-34.

Особистий внесок автора полягає у відборі пацієнтів, хірургічному лікуванні, аналізі результатів, підготуванні статті до друку.

3. Попсуйшапка К. О. Клініко-експериментальні кореляції розвитку залишкової деформації хребта за умов вибухових переломів груднопоперекового відділу / К. О. Попсуйшапка, М. Ю. Карпінський, **А. І. Попов**, І. А. Субота, С. О. Тесленко // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2017. – № 4 (609). – С. 49-56.

Особистий внесок автора полягає в участь у виконанні експерименту, аналізі результатів.

4. Попсуйшапка К. О. Залишкова фіксованість хребтових сегментів при вибухових переломах груднопоперекового відділу хребта / К. О. Попсуйшапка, М. Ю. Карпінський, С. О. Тесленко, О. Д. Карпінська, **А. І. Попов** // Травма. – 2017. – Т. 18, № 4. – С. 46-52.

Особистий внесок автора полягає в участь у виконанні експерименту, аналізі результатів.

5. Радченко В. О. Моделювання варіантів транспедикулярної фіксації грудного відділу хребта при резекції одного-трьох хребців / В. О. Радченко, В. О. Куценко, **А. І. Попов**, М. Ю. Карпінський, О. Д. Карпінська // Травма. – 2017. – Т. 18, № 5. – С. 95–101.

Авторові належить ідея експерименту, розроблення дизайну. Ним взято участь у виконанні біомеханічного тестування, обговоренні результатів. підготовлено статтю до друку.

6. **Попов А. І.** Пункційна біопсія в діагностиці новоутворень грудного та поперекового відділів хребта / **А. І. Попов** // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2018. – № 2 (611). – С. 44-48.

7. Радченко В. О. Моделювання варіантів транспедикулярної фіксації грудного відділу хребта при резекції одного хребців із заміщенням міжтіловою опорою / В. О. Радченко, В. О. Куценко, **А. І. Попов**, М. Ю. Карпінський, О. Д. Карпінська // Літопис травматології та ортопедії. – 2018. – № 1-2 (37-38). – С. 61-66.

Авторові належить ідея експерименту, розроблення дизайну. Ним взято участь у виконанні біомеханічного тестування, обговоренні результатів. підготовлено статтю до друку.

8. Петренко Д. Є. Д. Аналіз результатів хірургічного лікування метастатичних уражень хребта / Д. Є. Петренко, **А. І. Попов**, О. Д. Чекрижев // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2019. – № 2 (615). – С. 74-81.

Автором особисто прооперовано пацієнтів, проаналізовано результати лікування.

9. Корж М. О. Математичне моделювання нового ендопротеза для міжтілового спондилодезу поперекового відділу хребта / М. О. Корж, В. О. Куценко, **А. І. Попов**, О. В. Веретельник, І. Б. Тимченко, М. Ю. Гниря, М. М. Ткачук, М. А. Ткачук // Ортопедия, травматология и протезирование. –

2019. – № 4 (617). – С. 42-49.

Автором запропоновано дизайн ендопротеза, взято участь у створенні моделі, підготовлено статтю до друку.

10. **Popov A.** Histomorphometric evaluation of bone repair after carbon/carbon composite implantation in lumbar vertebrae in rat / **A. Popov**, N. Ashukina, V. Maltseva, I. Gurin, G. Ivanov // Georgian Medical News. – 2019. — No. 11 (296). — P. 117-122.

Автором розроблено дизайн експерименту, взято участь у його виконанні, аналізі результатів, сформульовано висновки.

11. Куценко В. О. Дослідження конструкції заднього спондилодезу при втраті опороздатності опорного комплексу грудного й поперекового відділів хребта / В. О. Куценко, І. Б. Тимченко, **А. І. Попов**, М. О. Корж, В. О. Радченко, Я. М. Гаращенко, М. В. Лисак // Травма. – 2019. – Т. 20, № 2. – С. 85-92.

Автором розроблено дизайн експерименту, взято участь у його виконанні, аналізі результатів, сформульовано висновки, підготовлено статтю до друку.

12. Корж М. О. Використання комп'ютерних технологій при розробці імплантату хребців для заднього спондилодезу у грудному відділі хребта / М. О. Корж, В. О. Куценко, І. Б. Тимченко, **А. І. Попов**, Я. М. Гаращенко, Є. Г. Белий // Травма. – 2019. – Т. 20, № 3. – С. 23-31.

Автором запропоновано дизайн ендопротеза, взято участь у створенні моделі, підготовлено статтю до друку.

13. Корж М. О. Математичне і комп'ютерне моделювання поведінки сегментів поперекового відділу хребта після ендопротезування / М. О. Корж, В. О. Куценко, А. І. Попов, І. Б. Тимченко, О. В. Веретельник М. М. Ткачук, М. А. Ткачук // Травма. – 2019. – Т. 20, № 5. – С. 6-14.

Автором розроблено дизайн експерименту, взято участь у його виконанні, аналізі результатів, сформульовано висновки, підготовлено статтю до друку.

14. Корж Н. А. Обзор оценочных шкал и классификаций метастатических поражений позвоночника, используемых при оперативном лечении / Н. А. Корж, В. А. Куценко, А. В. Перфильев, **А. И. Попов** // Український журнал медицини, біології та спорту. – 2020. – Т. 5, № 5 (27). – С. 35-44.

Автором проведено інформаційний пошук, відібрано шкали для аналізу, виділено основні проблемні питання, підготовлено статтю до друку.

15. **Попов А. І.** Дослідження напружено-деформованого стану системи «хребет-імплантат» при різних варіантах пухлинного ураження / **А. І. Попов**, Д. Є. Петренко, О. В. Ярецько // Український журнал медицини, біології та спорту. – 2020. — Т. 5, № 6. — С. 241–246.

Автором розроблено дизайн експерименту, взято участь у його виконанні, аналізі результатів, сформульовано висновки, підготовлено статтю до друку.

16. Корж М. О. Математичне та комп'ютерне моделювання нового ендопротеза з вуглець-вуглецевого композиту для міжтілового спондилодезу поперекового відділу хребта / М. О. Корж, В. О. Радченко, В. О. Куценко, **А. І. Попов**, О. В. Веретельник, І. Б. Тимченко, М. А. Ткачук, О. В. Перфілієв // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2020. – № 1 (618). – С. 46-53.

Автором запропоновано дизайн ендопротеза, взято участь у створенні

моделі, аналізі результатів дослідження, сформульовано висновки, підготовлено статтю до друку.

17. Радченко В. О. Розроблення алгоритму вибору обсягу хірургічного втручання за умов новоутворень хребта / В. О. Радченко, **А. І. Попов**, Д. Є. Петренко, М. М. Нессонова // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2020. – № 4 (621). – С. 25-31.

Особисто автором відібрано групи пацієнтів, клінічно значущі ознаки, взято участь у створенні алгоритму, проаналізовано результати його використання, підготовлено статтю до друку.

18. Корж М. О. Експериментальні дослідження міцнісних характеристик міжтілових кейджів із вуглець-вуглецевого композитного матеріалу / М. О. Корж, В. О. Куценко, **А. І. Попов**, М. Ю. Карпінський, О. Д. Карпінська, І. А. Субота // Травма. – 2020. – Т. 21, № 1. – С. 49-55.

Автором взято участь в експерименті, обговоренні результатів, сформульовано висновки.

19. Радченко В. О. Хірургічне лікування первинних пухлин хребта / В. О. Радченко, К. О. Попсуйшапка, **А. І. Попов**, О. В. Перфільєв // Медицина невідкладних станів. – 2020. – Т. 16, № 7-8. – С. 96-103.

Автором особисто відібрано та прооперовано хворих, проаналізовано результати, сформульовано висновки.

20. Корж М. О. Основні типи ушкоджень хребців при пухлинах хребта (проспективне дослідження) / М. О. Корж, В. О. Куценко, **А. І. Попов**, О. В. Перфільєв // Український журнал медицини, біології та спорту. – 2021. – Т. 6, № 1. – С. 91-95.

Автором проаналізовано анатомічні особливості хребта пацієнтів із пухлинними ураженнями, визначено типи ушкоджень хребців.

21. Біль у спині. Посібник для сімейних лікарів / [Барков О. О., Костерін С. Б., Піонтковський В. К., **Попов А. І.**, Попсуйшапка К. О., Скіданов А. Г., Федотова І. Ф., Шманько О. П.]; під. ред. М. О. Коржа, В. О. Радченка. – Київ: ТОВ «Бібліотека «Здоров'я України», 2020. – 110 с. – (Серія «Бібліотека «Здоров'я України»).

Автором особисто написано розділ щодо діагностики та хірургічного лікування новоутворень хребта.

22. Пат. 97998 Україна, МПК А61В 17/34 (2006.01), А61В 10/02 (2006.01). Пристрій для біопсії / Радченко В. О., Куценко В. О., **Попов А. І.**, Перфільєв О. В.; заявник і патентовласник ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України». – № u201412336; заявл. 17.11.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7.

Автором розроблено пристрій для біопсії та проведено його клінічну апробацію.

23. Пат. 107095 Україна, МПК А61В 10/02 (2006.01). Пристрій для біопсії м'яких тканин / Радченко В. О., Куценко В. О., **Попов А. І.**, Чернишов О. Г.; заявник і патентовласник ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України». – № u201510352; заявл. 23.10.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10.

Автором розроблено пристрій для біопсії та проведено його клінічну апробацію.

24. Пат. 115715 Україна, МПК А61F 2/44 (2006.01). Ендопротез сегмента хребта, переважно грудного його відділу / Радченко В. О., Куценко В. О., **Попов А. І.**, Чернишов О. Г.; заявник і патентовласник ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України». – № u201611198; заявл. 07.11.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8.

Автором розроблено ендопротез сегмента хребта, проведено клінічну апробацію, підготовлено матеріалів для подання на патент.

25. Пат. 120318 Україна, МПК А61F 2/44 (2006.01). Спосіб ендопротезування сегмента хребта, переважно грудного його відділу / Радченко В. О., Куценко В. О., **Попов А. І.**, Чернишов О. Г.; заявник і патентовласник ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України». – № u201704900; заявл. 22.05.2017; опубл. 25.10.2017, Бюл. № 20.

Автором запропоновано спосіб хірургічного лікування сегмента хребта, проведено клінічну апробацію, підготовлено матеріали для подання на патент.

26. Пат. 135420 Україна, МПК А61В 17/56, А61М 5/20 (2006.01). Спосіб пункційної вертебропластики ушкоджених тіл хребців / Куценко В. О., **Попов А. І.**, Перфільєв О. В., Гниря М. Ю.; заявник і патентовласник ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України». – № u201901252; заявл. 07.02.2019; опубл. 25.06.2019, Бюл. № 12.

Автором запропоновано спосіб пункційної вертебропластики ушкоджених тіл хребців, проведено клінічну апробацію, підготовлено матеріали для подання на патент.

27. Пат. 139899 Україна, МПК А61В 17/56 (2006.01) А61В 17/70 (2006.01) А61В 17/88 (2006.01). Транспедикулярний гвинт системи стабілізації хребта при лікуванні ушкоджених його хребців з розповсюдженим остеопорозом і множинними метастатичними ураженнями та з використанням пункційної вертебропластики кістковим цементом / Куценко В. О., **Попов А. І.**, Перфільєв О. В., Гниря М. Ю.; заявник і патентовласник ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України». – № u201907704; заявл. 08.07.2019; опубл. 27.01.2020, Бюл. № 2.

Автором запропоновано транспедикулярний гвинт системи стабілізації хребта, проведено клінічну апробацію, підготовлено матеріали для подання на патент.

28. Пат. 142816 Україна, МПК А61F 2/44 (2006.01) А61В 17/56 (2006.01). Телескопічний ендопротез тіла хребця / Корж М. О., Радченко В. О., **Попов А. І.**, Гурін І. В., Куценко В. О., Диннік О. А., Тимченко І. Б., Кравцов Я. В.; заявник і патентовласник ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України», Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України. – № u202000722; заявл. 25.06.2020; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12.

Авторові належить ідея створення ендопротеза, проведено клінічну

апробацію, підготовлено матеріали для подання на патент.

29. Радченко В. О. Пункційна біопсія у діагностиці первинних новоутворень хребта / В. О. Радченко, В. О. Куценко, **А. І. Попов**, І. Ф. Федотова, О. Г. Чернишов, О. В. Перфільєв : Збірник наукових праць XVII з'їзду ортопедів-травматологів України (Київ, 5-7 жовтня 2016 р.) // МОЗ України, НАМН України, ВГО «Українська асоціація ортопедів-травматологів». – Київ, 2016. – С. 293-294).

Автором виконано хірургічну діагностику хворих, проаналізовано результати, сформульовано висновки, зроблено доповідь на з'їзді.

30. Петренко Д. Є. Концепція NOMS при хірургічному лікуванні метастатичних пухлин хребта / Д. Є. Петренко, **А. І. Попов**, О. Д. Чекрижев, М. І. Волошина, Д. О. Демченко : Збірник наукових праць XVIII з'їзду ортопедів-травматологів України (Івано-Франківськ, 9-11 жовтня 2019 р.) // МОЗ України, НАМН України, ВГО «Українська асоціація ортопедів-травматологів». – Івано-Франківськ, 2019. – С. 119.

Автором виконано хірургічну діагностику хворих, проаналізовано результати, сформульовано висновки.

АНОТАЦІЯ

Попов А.І. Хірургічне відновлення опорної функції хребта в пацієнтів із пухлинними ураженнями грудного та поперекового відділів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора медичних наук за спеціальністю 14.01.21 – травматологія та ортопедія. – Державна установа «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка Національної академії медичних наук України». Харків, 2021.

Роботу присвячено покращенню результатів хірургічного відновлення опорної функції хребта в пацієнтів із пухлинними ураженнями тіл хребців грудного та поперекового відділів шляхом експериментально-клінічного обґрунтування методик стабілізації й вибору обсягу оперативного лікування на основі визначення статистично значущих клінічних ознак.

Встановлено, що ступінь ушкодження тіла хребця, величина локального кіфозу та деформація задньої стінки тіла хребця є важливими морфологічними ознаками, які визначають анатомічні зміни структур хребтового рухового сегмента в разі ураження пухлинним процесом. Визначені статистично значущі прогностичні критерії та розроблено алгоритм вибору обсягу хірургічного лікування пацієнтів із новоутвореннями хребта зі застосуванням персоналізації діагностичних даних пацієнтів і шляхом математичного моделювання

Розроблено ендопротези з вуглець-вуглецевого композиту (пат. 115715, 120318, 142816), для заміщення резектованих хребців грудного та поперекового відділів хребта, які дають змогу контролювати динаміку пухлинного процесу в зоні операції. Запропоновано та удосконалено декілька методик хірургічного лікування пацієнтів з пухлинами грудного та поперекового відділів хребта (пат. 135420, 139899, Україна).

Доведено можливість із високою ймовірністю обрати для пацієнта з новоутворенням хребта відповідний обсяг хірургічного втручання за допомогою розробленого алгоритму та забезпечити задовільний результат лікування з відновленням опорної функції хребта.

Ключові слова: пухлинні ураження хребта, грудний і поперековий відділи хребта, опороспроможність, алгоритм вибору обсягу хірургічного втручання, пункційна вербтеропластика, міжтілові імпланти, вуглець-вуглецевий композитний матеріал, піровуглецеве покриття.

АННОТАЦИЯ

Попов А.И. Хирургическое восстановление опорной функции позвоночника у пациентов с опухолевыми поражениями грудного и поясничного отделов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук по специальности 14.01.21 – травматология и ортопедия. – Государственное учреждение «Институт патологии позвоночника и суставов имени профессора М.И.Ситенко Национальной академии медицинских наук Украины», Харьков, 2021.

Работа посвящена улучшению результатов хирургического восстановления опорной функции позвоночника у пациентов с опухолевыми поражениями тел позвонков грудного и поясничного отделов путем экспериментально-клинического обоснования методик стабилизации и выбора объема оперативного лечения на основе определения статистически значимых клинических признаков.

В ретроспективное исследование включено 268 пациентов с патологическими поражениями позвоночника: 135 — с первичными; 129 — вторичными (метастатическими). У 4 больных с эхинококкозом (2) и болезнью Педжета (2) исключили из исследования. Проанализированы особенности повреждений анатомических структур позвоночного двигательного сегмента. Установлены основные признаки, которые могут влиять на выбор метода хирургического лечения: величина локального кифоза, локализация поражений, боль, вид опухоли, тип повреждения позвонка, костную поражения (литическим или остеобластическими), стеноз позвоночного канала, неврологическая симптоматика. Классифицированы пять типов повреждений позвонков опухолевым процессом: I — без деформации, сопровождается костным отеком и визуализируется на МРТ; II — повреждения тела позвонка до 30 % без повреждения задней стенки или с небольшим дефектом; III — более 30 %, но менее 60 % с нарушением задней стенки; IV — более 60 % с деформацией задней стенки; V — деформация тела позвонка с повреждением дужек и суставов. В исследуемой выборке выполнено четыре типа операций, соответственно, пациентов разделены на 4 класса: вертебропластика «V» — 19; задний спондилодез (1 позвонок сверху, 1 снизу) + вертебропластика «F + V» — 18; задний спондилодез (2 позвонка сверху, 2 снизу) «F + F» — 47; задний спондилодез 1-2 позвонка сверху, 1-2 снизу + кейдж «F + F + K» — 50. Определены статистически значимые прогностические критерии и разработан алгоритм выбора объема хирургического лечения пациентов с новообразованиями позвоночника с применением персонализации диагностических данных пациентов и путем математического моделирования.

На основе результатов экспериментальных биомеханических (на математических и физических моделях) и in-vivo исследований на животных разработаны эндопротезы из углерод-углеродного композита (пат. 115715,

120318, 142816 Украина) для замещения резецированных позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника, использование которых позволяет контролировать динамику опухолевого процесса в зоне операции. Предложены и усовершенствованы несколько методик хирургического лечения пациентов с опухолями грудного и поясничного отделов позвоночника (пат. 135420, 139899, Украина).

Клиническая апробация алгоритма выбора объема хирургического вмешательства у пациентов с опухолями грудного и поясничного отделов позвоночника с использованием разработанных способов и устройств проведена в группе из 37 человек. С использованием разработанного алгоритма выбора объема хирургического лечения при опухолях позвоночника определен объем хирургического вмешательства для восстановления опорной функции позвоночника: «V» — 19; «F + V» — 4; «F + F» — 6; «F + F + K» — 8. Доказана возможность с высокой вероятностью выбрать для пациента с новообразованием позвоночника соответствующий объем хирургического вмешательства с помощью разработанного алгоритма и обеспечить удовлетворительный результат лечения с восстановлением опорной функции позвоночника. Установлено улучшение неврологического статуса у 80 % пациентов и снижение интенсивности болевого синдрома в 91,9 %. Результаты апробации новейших методик дают возможность рекомендовать их для дальнейшего использования.

Ключевые слова: опухолевые поражения позвоночника, грудной и поясничные отделы позвоночника, опороспособность, алгоритм выбора объема хирургического вмешательства, пункционная вербтеропластика, межтеловые имплантаты, углерод-углеродный композитный материал, пироуглеродное покрытие.

SUMMARY

Popov A.I. Surgical restoration of the support function of the spine in patients with thoracic and lumbar tumour lesions. — The manuscript.

Thesis for a doctor's degree of medical sciences by specialty 14.01.21 – Traumatology and Orthopaedics. – Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine. Kharkiv, 2021.

This work is dedicated to improving the results of surgical restoration of the supportive function of the spine in patients with tumour lesions of the thoracic and lumbar vertebral bodies by experimentally and clinically justification of the techniques stabilization and the choice of the volume of operative therapy based on determining the statistically significant clinical features.

We established that the degree of damage of the vertebral body, the size of local kyphosis and deformation of the posterior wall of the vertebral body are important to morphological characters that determine anatomical changes in the structures of the functional spinal unit of tumor involvement. We also determined statistically significant and prognostic criteria and we developed an algorithm of selecting the volume of surgical management in patients with spinal neoplasms using personalization of diagnostic data of patients and mathematical modeling.

Endoprosthesis made of carbon-carbon composites were developed (patents 115715, 120318, 142816) to replace resected vertebrae of the thoracic and lumbar spine, which allow controlling the dynamics of the tumour process in the area of operation. Several methods of surgical management of patients with tumours in the thoracic and lumbar spine have been proposed and improved (patents 135420, 139899, Ukraine).

We have proved that it is possible to choose with a high degree of probability the appropriate volume of surgical interference for a patient with a neoplasm of the spine using the developed algorithm and ensure a satisfactory result of treatment with the restoration of the supportive function of the spine.

Key words: tumorous spinal lesion, thoracic and lumbar spine, supportability, algorithm of selecting an extent of surgical interference, paracentetic vertebroplasty, interbody implants, carbon composite material, pyrocarbon coating.

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ВАШ	–	візуально-аналогова шкала
ВВКМ	–	вуглець-вуглецевий композитний матеріал
КТ	–	комп'ютерна томографія
МРТ	–	магнітно-резонансна томографія
НДС	–	напружено-деформований стан
ШВО	–	шкала вербальних (словесних) оцінок
F+F	–	2 хребця зверху, 2 знизу
F+F+K	–	1-2 хребця зверху, 1-2 знизу + кейдж
F+V	–	1 хребець зверху, 1 знизу + вертебропластика