

УДК 616.711.5-001.5-089.22  
УКПШ  
№ держреєстрації 0120U103001  
інв №

Державна установа  
«Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка  
Національної академії медичних наук України»

61024, м. Харків, вул. Пушкінська, 80.  
Тел. (057) 725-14-00

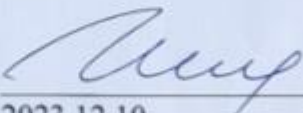
ЗАТВЕРДЖУЮ  
В.о. директора ДУ «ІНХС  
ім. проф. М.І. Ситенка НАМН»  
д-р мед. наук  
С.С. Бондаренко  
2023



**ЗВІТ  
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

**РОЗРОБИТИ ТАКТИКУ РАЦІОНАЛЬНОГО СПОНДИЛОДЕЗУ  
ПРИ ЛІКУВАННІ ПАЦІЄНТІВ ІЗ ПЕРЕЛОМАМИ  
ТІЛ ХРЕБЦІВ ГРУДНОГО ВІДДІЛУ ХРЕБТА  
(остаточний)**

Науковий керівник НДР  
д-р мед. наук, професор

  
В. О. Радченко  
2023.12.10

Нормоконтроль

  
Л. А. Васильцова  
2023.12.10


2023

Рукопис закінчено 4 грудня 2023 р

Результати цієї роботи розглянуті Вченою Радою ДУ «ІНХС»  
протокол від 27 грудня 2023 р. № 11

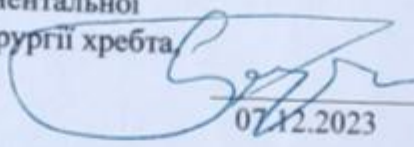


ЗГІДНО З ОРИГІНАЛОМ:  
Нач. відділу кадрів ДУ «ІНХС  
ім. М.І. Ситенка НАМН України»

  
Малышкіна О.І.

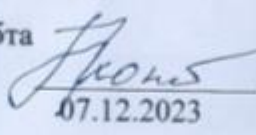
### СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР,  
зав. відділом інструментальної  
та малоінвазивної хірургії хребта,  
д-р мед. наук, проф.



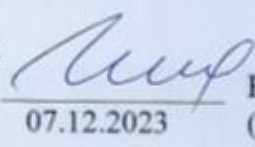
В.О. Радченко  
(реферат; вступ; розділ 6;  
висновки)  
(звільнено 18.10.2023 р.)

Відповідальні виконавці:  
провідний наук. співроб. відділу  
захворювань та пошкоджень хребта  
д-р мед. наук



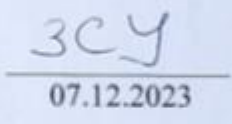
К.О. Попсуйшапка  
(розділи 1; 5; 6; висновки)

провідний наук. співроб. відділу  
захворювань та пошкоджень хребта  
д-р мед. наук



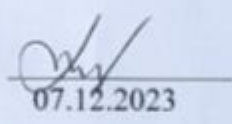
В.А. Колесніченко  
(розділи 1; 5; 6; висновки)

Аспірант



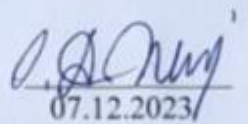
С.О. Тесленко  
(розділи 4; 5.1)

Виконавці:  
Завідуючий відділом захворювань  
та пошкоджень хребта,  
д-р мед. наук



В.О. Куценко  
(розділ 4; 5.1)

Завідувач лабораторії  
ортезування та біоматеріалів,  
канд. мед. наук



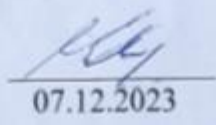
О.А. Диннік  
(підрозділи 2.3.2; 6.1)

Мол. наук. співроб. відділу  
захворювань та пошкоджень хребта



М.П. Болховітін  
(підрозділи 2.1; 2.2)

Наук. співроб. лабораторії  
біомеханіки



М.Ю. Карпінський  
(підрозділи 2.5; 2.6, 3.2)

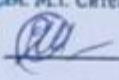
Наук. співроб. лабораторії  
біомеханіки



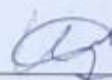
О.Д. Карпінська  
(підрозділи 2.5, 3.1)



ЗГІДНО З ОРІЄНТАЦІЄЮ  
Нач. відділу кадрів ІДУ НАМН  
ІН. М.І. Ситенка НАМН України\*

 Малышкіна О.І.

Мол. наук. співроб. лабораторії  
біомеханіки

  
07.12.2023


І.А. Суббота  
(підрозділи 2.5; 3.1)

Мол. наук. співроб. лабораторії  
біомеханіки

  
07.12.2023

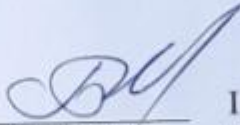
А.В. Ярьсько  
(підрозділи 2.6; 3.2)

Мол. наук. співроб. відділу  
консервативного лікування  
та клінічних випробувань

  
07.12.2023

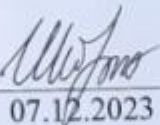
Н.Ю. Притула  
(підрозділи 2.1, 2.3.1)

Зав. відділу консервативного  
лікування та клінічних випробувань,  
д-р мед. наук

  
07.12.2023


І.Ф. Фетодова  
(підрозділи 2.1; 2.4)

Старш. наук. співроб. відділу  
консервативного лікування  
та клінічних випробувань  
канд. мед. наук

  
07.12.2023

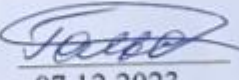
І.В. Корж  
(підрозділи 2.4; 2.7)

Старш. наук. співроб. лабораторії  
ортезування та біоматеріалів

  
07.12.2023

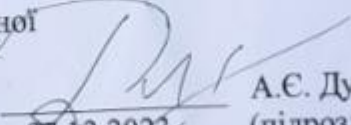
І.Б. Тимченко  
(підрозділ 2.3.2)

Аспірант

  
07.12.2023

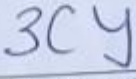
М.Б. Гольбаум  
(підрозділи 1.1; 1.7)

Наук.співроб.відділу інструментальної  
та малоінвазивної хірургії хребта,  
канд. мед. наук

  
07.12.2023

А.С. Духовський  
(підрозділи 2.1; 2.3)


Мол. наук. співроб. відділу  
захворювань та пошкоджень хребта

  
07.12.2023

М.Ю. Гниря  
(підрозділи 1.6; 1.7)

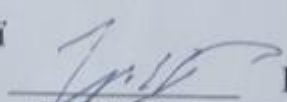


ЗГІДНО З ОРИГІНАЛОМ:  
Нач. відділу кадрів ДУ "ІПХС  
ім. М.І. Ситенка НАМН України"

 Малишкіна О.І.

# НАУКОВО-ДОПОМІЖНИЙ ШТАТ

Інженер I категорії відділу  
інструментальної та малоінвазивної  
хірургії хребта

  
07.12.2023

Н.С. Грудько  
(підрозділ 6.2)



ЗГІДНО З ОРИГІНАЛОМ:  
Нач. відділу кадрів ДУ "ІПХС  
ім. М.І. Ситенка НАМН України"  
  
Малишкіна О.І.

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 218 с., 35 табл., 56 рис., 270 джерел.

ПЕРЕЛОМ ХРЕБЦЯ, ГРУДНИЙ ВІДДІЛ ХРЕБТА, ДЕФОРМАЦІЯ ХРЕБТА ТА ХРЕБТОВОГО КАНАЛУ, ЗАЛИШКОВА ДЕФОРМАЦІЯ ХРЕБТА, РЕКЛІНУЮЧИЙ ОРТЕЗ, ТРАНСПЕДИКУЛЯРНА КОНСТРУКЦІЯ, МІЖХРЕБЦЕВА ОПОРА

Об'єкт дослідження – різні типи переломів хребця грудного відділу хребта з ушкодженням тіла, задніх зв'язочних й кістково-зв'язочних структур.

Мета роботи – покращити результати лікування пацієнтів з травматичними переломами тіл хребців грудного відділу хребта шляхом експериментально-клінічного обґрунтування методів раціонального лікування.

Методи дослідження – наукового аналізу, клінічні, рентгенологічні й рентгенометричні, комп'ютерна томографія, магнітно-резонансна томографія, фізичне й математичне біомеханічне моделювання, статистичний аналіз.

На основі аналізу результатів обстеження 103 пацієнтів з різними типами травматичних переломів грудних хребців виявлені структурні особливості ушкоджень тіл хребців з різним ступенем їх фрагментації та задніх кісткових елементів з деформацією хребта та кісткових границь хребетного каналу, досліджені взаємозв'язки рентгенанатомічних змін переднього й заднього опорних комплексів. Отримані результати комплексних досліджень стали підґрунтям для розробки концепції та методів раціонального лікування даної категорії хворих, що дає можливість застосування диференційованого оперативного й консервативного лікування, ефективного моніторингу у післяопераційному періоді. Розроблено концепцію лікування бойової травми хребта на етапі спеціалізованої медичної допомоги, з урахуванням запропонованих методів раціонального лікування переломів даної локалізації, що є передумовою для покращення якості і підвищення ефективності медичної допомоги в період військового стану військовослужбовцям та людям, які боронять Україну.

Умови одержання звіту: за договором. УкрІНТЕІ, 03150, м. Київ, вул. Антоновича, 180.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	9
Вступ	10
1 Переломи тіл хребців грудного відділу хребта, діагностика та лікування	14
1.1 Епідеміологія переломів тіл хребців грудного відділу хребта	14
1.2 Анатомія та морфологія грудного відділу хребта	17
1.3 Біомеханіка грудного відділу хребта	25
1.4 Класифікація пошкоджень хребта	27
1.5 Клінічний протокол надання медичної допомоги пацієнтам із травмою грудного відділу хребта та спинного мозку	30
1.6 Клінічні прояви та діагностика уражень грудного відділу хребта	41
1.7 Методи візуалізації вибухових переломів грудного відділу хребта	45
1.7.1 Рентгенографія	45
1.7.2 Комп'ютерна томографія	47
1.7.3 Магнітно-резонансна томографія	49
1.8 Лікування пацієнтів із травмою грудного відділу хребта	51
1.9 Експериментальні біомеханічні дослідження ушкоджень грудного відділу хребта	60
2 Матеріал та методи дослідження	64
2.1 Клінічні дослідження	64
2.2 Методи візуалізації переломів грудного відділу хребта	68
2.2.1 Методи променевої діагностики	68
2.2.2 Магнітно-резонансна томографія	72
2.2.3 Рентгенометричні дослідження	73
2.3 Методи лікування пацієнтів з переломами тіл хребців грудного відділу хребта	76
2.3.1 Розподіл пацієнтів по клінічних групах залежно від методу лікування	76

2.3.2	Методика виготовлення ортезів, що реклинують грудний відділ хребта	78
2.3.3	Методи хірургічного лікування	79
2.3.3.1	Особливості ведення хворих до та після хірургічного втручання	79
2.3.3.2	Особливості проведення хірургічних втручань з використанням методів задньої транспедикулярної фіксації	80
2.3.3.3	Особливості виконання комбінованого передньо-заднього спондилодезу на 360°	82
2.3.3.4	Методика встановлення імплантата із заднього доступу за умов триколонної реконструкції хребта	83
2.3.3.5	Особливості проведення хірургічних втручань у разі вогнепальних ушкоджень хребта та спинного мозку	83
2.4	Оцінювання ефективності лікування різних типів травматичних переломів тіл хребців грудного відділу хребта	85
2.5	Матеріал та методи фізичного біомеханічного моделювання перелому Th <sub>VI</sub> хребця	89
2.6	Матеріал та методи дослідження напружено-деформованого стану моделі грудного відділу хребта за різних методів лікування перелому Th <sub>VI</sub> хребця	91
2.7	Статистичні дослідження	97
3	Результати експериментальних досліджень	98
3.1	Результати фізичного біомеханічного моделювання перелому Th <sub>VI</sub> хребця	98
3.1.1	Величина деформації стиску та залишкової деформації відпускання	98
3.1.2	Характеристика величин деформації навантаження та залишкової деформації зразків при різних ступенях руйнування	101
3.1.3	Енергетичні витрати зразків при різних ступенях руйнування грудного хребетно-рухового сегмента	102
3.2	Результати дослідження напружено-деформованого стану моделі грудного відділу хребта за різних методів лікування перелому Th <sub>VI</sub> хребця	105
4	Структурно-функціональний стан грудних хребтових сегментів при різних типах травматичних переломів	116

4.1	Оцінка ушкодження структур хребців грудного відділу хребта при різних типах травматичних переломів за даними рентгенометричних досліджень	116
4.2	Оцінка функціональних наслідків травматичних переломів тіл хребців грудного відділу хребта	124
5	Результати лікування хворих з різними типами переломів хребців грудного відділу хребта	128
5.1	Результати консервативного лікування	128
5.2	Результати лікування пацієнтів із використанням короткої бісегментарної шестишвинтової фіксації	131
5.3	Результати лікування пацієнтів з використанням восьмишвинтової фіксації	137
5.4	Результати лікування пацієнтів з використанням комбінованого передньо-заднього спондилодезу на 360°	149
5.5	Аналіз результатів лікування пацієнтів V групи з використанням триколонної реконструкції хребта із заднього доступу	155
5.6	Порівняльний аналіз методів восьмишвинтової фіксації, комбінованого передньо-заднього спондилодезу на 360° і триколонної реконструкції хребта із заднього доступу в лікуванні травматичних переломів грудного відділу хребта	156
5.7	Вибір методу раціонального лікування травматичних переломів грудного відділу хребта	162
6	Обґрунтування тактики лікування різних типів переломів хребців грудного відділу хребта	169
6.1	Основні принципи лікування пацієнтів з різними типами травматичних переломів грудних хребців	169
6.2	Обґрунтування концепції лікування різних типів вибухових переломів тіл хребців грудного відділу хребта	172
6.3	Концепція лікування переломів хребців грудного відділу хребта, отриманих в результаті бойової травми, на етапі спеціалізованої медичної допомоги (за даними літератури)	175
	Висновки	184
	Перелік посилань	188

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

ДВС – дуговідросткові суглоби;

ДТП – дорожньо-транспортна пригода;

ЗЗК – задній зв'язковий комплекс;

ЗПЗ – задня поздовжня зв'язка;

КТ – комп'ютерна томографія;

МРТ – магнітно-резонансна томографія;

МХД – міжхребцевий диск;

ППЗ – передня поздовжня зв'язка;

РХС – реберно-хребцеві суглоби;

СМ – спинний мозок;

ТХ – тіло хребця;

ХРС – хребетний руховий сегмент;

ABC (airway, breath, circulation) – дихальні шляхи, дихання, кровообіг;

АО / ASIF – Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen – Association for the Study of Internal Fixation;

ASIA – Шкала тяжкості травми спинного мозку;

RMDQ – Roland-Morris Disability Questionnaire - опитувальник Роланда-Морриса;

TLISS – Thoracolumbar Injury Severity Score (система класифікації ушкоджень грудопоперекової ділянки хребта);

VAS – Visual Analogue Scale — візуальна аналогова шкала

## ВСТУП

Актуальність обраної теми перш за все обумовлена зростанням кількості травм, зокрема, тяжких ушкоджень хребта, які потребують хірургічного лікування. Зазвичай тяжкі ушкодження хребта трапляються в умовах політравми і вважаються серйозною проблемою громадської охорони здоров'я через високі показники захворюваності та смертності, а також значний соціально-економічний тягар [1, 2]. Глобальна частота травматичних переломів хребта становить 75,5 випадків на 100 000 осіб, при цьому щорічно у всьому світі реєструється 768 473 нових випадків [3]. Річні витрати на травми хребта у країнах з середнім рівнем доходів оцінюються в 22 мільйони євро, в основному в результаті медичних та соціальних витрат, пов'язаних з тривалою непрацездатністю, а також втратою працездатності через інвалідність [4-6]. Складність лікування переломів хребта, наявність у ряду випадків несприятливих функціональних результатів з погіршенням якості життя обумовлена у тому числі поєднанням переломів хребців з ушкодженням спинного мозку майже у 20 % постраждалих, переважно у нижньошийному та верхньо-середньогрудному відділах хребта [7].

За останні двадцять років кількість переломів хребта збільшилась на 65% з суттєвим зростанням хірургічної активності у лікуванні даної категорії хворих. Найчастішою причиною травм грудного відділу хребта є падіння з висоти та дорожньо-транспортні пригоди. Як зазначають у своєму дослідженні V.T. Ronkilainen з співавторами, з 1998 до 2017 року число випадків хірургічного лікування переломів грудного відділу хребта подвоїлось [8]. У США число операцій з приводу переломів хребців, за винятком кіфопластики та вертебропластики, збільшилося на 461% з 1993 до 2014 року; середній вік пацієнтів, які зазнали хірургічного лікування, збільшився з 42 у 1993 році до 53 у 2015 році; смертність в стаціонарах збільшилась з 1,9 % до 2,5 % [9]. Значне зростання кількості операцій з приводу переломів грудного відділу хребта може відображати збільшення частоти переломів, більшу кількість хірургів, які вважають за краще лікувати переломи хірургічним шляхом, або поєднання того й іншого. Зростання частоти операцій з приводу переломів хребців у поєднанні зі збільшенням лікарняних витрат і смертності означає, що лікування переломів хребців залишається складною проблемою в охороні здоров'я.

За результатами аналізу літератури, з урахуванням найбільш доказових рандомізованих досліджень, відзначено відсутність єдиної думки щодо вибору методу лікування неускладнених вибухових переломів грудного відділу хребта. Звертає на себе увагу той факт, що порівняльні результати хірургічного та консервативного лікування даної категорії хворих представлені в двох рандомізованих дослідженнях з рівнем доказовості 1 або 2, які було опубліковано 20 років тому [10]. Так, за даними дослідження К. Wood et al. [11] у пацієнтів з переломами грудного відділу хребта не було знайдено ніяких відмінностей між хірургічною стабілізацією та неоперативними методами лікування. В дослідженні брали участь 48 пацієнтів зі стабільними вибуховими переломами грудного відділу хребта без неврологічної симптоматики. Оцінювання результатів лікування проводили на основі аналізу даних у заповнених пацієнтами анкетах з інвалідності Rolandand Morris та Oswestry Disability Index, оцінювання болю за допомогою візуально-аналогової шкали під час лікування та протягом декількох років після нього. Також автори виконували рентгенологічне дослідження.

Іншої думки дотримуються J. Siebenga et al. [12], в рандомізованому дослідженні яких представлені дані 34 пацієнтів: 16 з них лікувалися неоперативним методом, а 18 отримали хірургічне лікування. В кінці періоду дослідження (через 4 роки), за результатами аналізу рентгенологічних досліджень встановлено, що локальна та регіональна кіфотична деформація була значно меншою в групі з хірургічним лікуванням. На це вказував і вищий рівень больового синдрому при використанні неоперативних методів лікування. Всі функціональні результати (VAS Pain, VAS SpineScore and RMDQ-24) були краще в групі з хірургічними методами лікування. Також значно більший відсоток пацієнтів після хірургічного лікування повернулося на свої попередні робочі місця.

Спираючись на дані цих двох найбільш доказових досліджень, можна стверджувати, що на сьогоднішній день нема остаточних рекомендацій щодо лікування пацієнтів із неускладненими вибуховими переломами грудного відділу хребта.

Важливим є те, що у літературі найбільш освітлені переломи перехідного, грудопоперекового відділу хребта, до якого, зазвичай, відносяться тільки найнижчі грудні хребці Th<sub>x</sub>, Th<sub>xI</sub>, Th<sub>xII</sub>. Більшість існуючих класифікацій засновані на ознаках форми зруйнованого хребця та геометрії площині ізлому.

Згідно оновленої класифікації AO Spine, враховуючі нові морфологічні модифікатори, все одно травма грудного відділу хребта та поперекового відділу хребта об'єднані до однієї групи ушкоджень та мають однакові рекомендації щодо методу лікування.

Анатомічно грудні хребці входять до складу грудної клітки, завдяки якій навантаження на хребці грудного відділу хребта розподіляється інакше, ніж на інші відділи хребта. Тож і підходи до лікування пацієнтів з переломами грудного та поперекового відділів хребта не є однаковими, але мають свої особливості. Дуже важливою є оцінка можливих подальших патологічних переміщень при навантаженнях, що продовжуються, саме у грудному відділі хребта, який біомеханічно є жорсткішим за поперековий. Точна структурно-функціональна оцінка травми та перебігу післятравматичного періоду переломів грудного відділу хребта має принципове значення, в тому числі у виборі найдоцільнішого методу лікування.

Відсутність єдиної думки щодо лікувальної тактики та відсутність диференційованого підходу щодо ушкоджень грудного відділу хребта призводить до значної кількості тактичних помилок, наслідком яких є стійкий больовий синдром, зростання післятравматичної кіфотичної деформації, розвиток неврологічних ускладнень, що свідчить про наукову актуальність та медико-соціальну значущість обраного напрямку дослідження.

Мета дослідження – покращити результати лікування пацієнтів з травматичними переломами тіл хребців грудного відділу хребта шляхом клініко-рентгенологічного та експериментального обґрунтування методів раціонального лікування.

Завдання дослідження:

- дослідити результати лікування пацієнтів з переломами грудного відділу хребта на основі аналізу наукової фахової літератури;
- визначити структурні ознаки, які супроводжують перелом тіла хребця грудного відділу хребта, та впливають на вибір методу лікування;
- за допомогою фізичної біомеханічної моделі грудного відділу хребта із каркасом грудної клітки визначити особливості деформації Th<sub>VI</sub> хребця, показники залишкової стабільності та деформації стискання за умов основних типів руйнування хребтового рухового сегмента;

– проаналізувати напружено-деформований стан у системі «транспедикулярна конструкція – хребтовий руховий сегмент» залежно від типу ушкодження Th<sub>VI</sub> хребця, кількості фіксованих сегментів, використання міжтілової опори;

– дослідити структурно-функціональний стан хребта до та після лікування переломів тіл хребців з використанням клінічних и рентгенологічних методів;

– ґрунтуючись на результатах теоретичних, клініко-рентгенологічних та експериментальних досліджень, розробити концепцію лікування пацієнтів з переломами тіл хребців грудного відділу хребта різних типів;

– розробити та апробувати методи раціонального лікування пацієнтів з різними типами переломів тіл хребців грудного відділу хребта.

Назви етапів по роках:

2021 рік — Вивчення змін показників сагітального балансу хребта та тазу, що виникають у хворих із поєднаною патологією з боку кульшового суглоба та поперекового відділу хребта.

2022 рік — Вивчення напружено-деформованого стану моделей заднього спонділодезу поперекового відділу хребта, в разі негативних показників сагітального балансу хребта та тазу.

## **1 ПЕРЕЛОМИ ТІЛ ХРЕБЦІВ ГРУДНОГО ВІДДІЛУ ХРЕБТА, ДІАГНОСТИКА ТА ЛІКУВАННЯ**

### **1.1 Епідеміологія переломів тіл хребців грудного відділу хребта**

Перелом хребта — це патологічний стан, який виникає через порушення анатомічної цілісності кісток хребта під дією механічного фактора. Компресійний перелом тіла хребця характеризується ушкодженням кісткових трабекул в межах переднього опорного комплексу. У разі вибухового перелому відбувається порушення цілості і задньої стінки тіла хребця, що призводить до «ретропульсації» [13] кісткових фрагментів, тобто високої ймовірності зміщення фрагментів убік хребетного каналу. Вибуховий перелом визначається як нестабільний перелом хребця.

Зазвичай причиною перелому є зовнішній вплив, а також зменшення щільності кісткової тканини, яке з часом може призвести до прогресування деформації хребта та болю в спині. Іноді перелом може виникнути у онкологічних хворих через метастатичне ураження хребта та прогресуюче його руйнування. Компресійні переломи хребта можуть виникнути у будь-якому віці й у людини будь-якої статі, але в основному такий вид травм чоловіки отримують в чотири рази частіше, ніж жінки [14]. Основними причинами травм хребта є автомобільні аварії, кататравма та спортивні травми. Падіння становить приблизно 60 % травм хребта у пацієнтів у віці 75 років і старше [15].

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), переломи хребта щорічно вражають від 250 000 до 500 000 осіб у всьому світі, завдаючи значних збитків здоров'ю, виробництву та якості життя пацієнтів [16, 17].

Показники частоти переломів хребта варіюють в широких межах в залежності від ступеня економічного розвитку країн, переваг у виборі транспортних засобів, демографічної ситуації в країні, кліматичних особливостей та інших факторів. Так, за даними різних авторів, частота переломів хребта

коливається від 16 до 64 на 100 000 населення [18, 19], від 24 до 90 випадків на 100 000 жителів [20, 21].

Вік розцінюється як важливий предиктор частоти переломів, що впливає через динамічні зміни якості і міцності трабекулярної кістки тіл хребців. Відмічається й потенційна схильність до певних переломів хребта в залежності від статі, що може бути пов'язано з різною щільністю кісток та гормональних впливах [22, 23]. Вивчення статевої динаміки в контексті переломів грудних хребців розглядається як один з вирішальних факторів виявлення основних факторів ризику та оптимізації стратегій профілактики переломів [24-26].

За даними фахівців зі Швейцарії, когорта пацієнтів, що перенесла травматичний перелом хребта, мала середній вік 50 років і порівняно рівномірний розподіл за статтю [27]. Молодший вік постраждалих зареєстровано у дослідженнях зі США (в середньому 43,8 років) [28], Бразилії (в середньому 35,9 років) [29], Китаю [30] та Ірландії (в середньому 32 роки) [31]; за гендерним розподілом частіше страждають чоловіки (співвідношення чоловіки:жінки дорівнює 1,3:1; 2,33:1). Також у групах пацієнтів виявлено порівнянну частоту за локалізацією травматичних переломів хребців [27-31]. Молоді чоловіки більш схильні до високоенергетичних травматичних переломів хребта, тоді як частота переломів, пов'язаних із незначними падіннями на тлі остеопорозу, збільшується з віком [18, 27, 32]. Жінки піддаються порівняно високому ризику остеопоротичних переломів, особливо після 60 років [33]. Пацієнти, які страждають від остеопоротичного перелому хребта, мають значно підвищений відносний ризик отримати повторний перелом протягом короткого періоду часу [34].

У разі переломів грудного відділу хребта за гендерним розподілом відмічається, як правило, дещо вища частота у чоловіків молодших вікових груп (в абсолютних цифрах). Цей факт часто пояснюється вищим рівнем інцидентів, пов'язаних із травмами, та участю в діяльності з вищим ризиком травм серед молодих чоловіків [22, 23, 27, 35-38]. Основною причиною травм грудного відділу хребта є дорожньо-транспортні пригоди з участю автомобілів та мотоциклів, а також

падіння з висоти [29, 39-41]. Основною причиною післятравматичних захворювань хребта є падіння з висоти у бідних країнах, тоді як у високорозвинених західних країнах — дорожньо-транспортні пригоди [32, 40-43].

Частоту переломів тіл хребців шийного, грудного та поперекового відділів хребта різної етіології за локалізацію в динаміці протягом 10 років (січень 2003 р. – грудень 2012 р.) вивчено в роботі S.F. Bigdon з співавторами [27]. За результатами дослідження 8000 гострих переломів (травматичних, остеопоротичних та патологічних) постраждалих віком 16-99 років встановлено, що на переломи хребців грудного відділу хребта припадає 3342 (41,8 %) перелома, з яких високоенергетична травма та остеопороз стали причиною переломів майже з однаковою частотою — у 1410 (17,6 %) та 1492 (18,7 %) випадках відповідно. Патологічні переломи зареєстровані значно рідше — у 440 (5,5 %) спостереженнях [27].

За локалізацією травматичні переломи тіл хребців грудного відділу хребта розподілилися наступним чином. Із загальної кількості 3948 травматичних переломів від  $C_0$  до  $S_1$  хребців найчастіше переломи виникали у нижньогрудному ( $Th_{XI}$  (155; 3,9 %),  $Th_{XII}$  (387; 9,8 %)) та середньогрудному ( $Th_V$  (136; 3,4 %),  $Th_{VI}$  (159; 4,0 %),  $Th_{VII}$  (127; 3,2 %)) відділах. Найрідше переломи реєструвалися у двох верхньогрудних хребцях ( $Th_I$  (45; 1,1 %) та  $Th_{II}$  (41; 1,0 %)) [27].

При ускладнених травмах хребта, пов'язаних як з порушенням цілісності кісткових та зв'язкових структур хребців, так і ушкодженням спинного мозку та/або нервових корінців, які виходять з отворів між сусідніми хребцями з боків, судин та симпатичної нервової системи, виникають системні порушення органів і систем організму постраждалого [44].

Частота травм хребта, ускладнених неврологічними порушеннями, становить близько 40 % для шийного та поперекового відділів, від 15 % до 20 % для грудних сегментів [45-48]. За даними S. Grossman [49], на кожні 10000 осіб 23 мають травми хребта, з яких від 10 % до 15 % ускладнені параплегіями або

квадриплегіями [49-51]. На ушкодження хребта припадає майже 5 % від всіх травм [45].

У багаточентровій базі даних Crash Injury Research and Engineering Network [49] автори здійснили пошук випадків неврологічного дефіциту при дорожньо-транспортних пригодах. Неврологічний дефіцит частіше зустрічався у педіатричному віці (від 0 років до 10 років, 26,7 %) та геріатричному віці (від 70 років до 80 років, 18,4 %). Найвищий ризик неврологічних травм існував у аваріях, у яких спрацювали подушки безпеки та ремінь безпеки не втримав пасажир. Зіткнення на швидкості понад 50 км/год мали значно вищий ризик ушкодження спинного мозку [49]. У країнах з низьким та середнім рівнем доходу травми хребта з неврологічним дефіцитом пов'язані зі значною інвалідністю та зниженням тривалості життя [45, 52].

## 1.2 Анатомія грудного відділу хребта

Грудний (торакальний) відділ хребта — це другий сегмент хребтового стовпа, складається з 12 хребців, розділених міжхребцевими дисками. Разом з грудиною та ребрами грудний відділ хребта утворює грудну клітку. Ця кісткова структура захищає внутрішні органи — серце, легені та стравохід [53-56]. Верхній грудний хребець  $T_1$  з'єднується з  $C_{VII}$  в шийному відділі хребта, а нижній  $T_{XII}$  — з  $L_1$  поперекового відділу.

Хребці грудного відділу хребта утворюють кіфотичну кривизну, яка проходить від  $T_1$  до  $T_{XII}$ , в якій хребет вигинається назовні до задньої частини тіла, залишаючи більше місця для внутрішніх органів. Навпаки, шийний та поперековий відділи хребта мають лордозні вигини [53-56].

Функції грудного відділу хребта ті ж самі, що й у хребтового стовпа: опори, руху та захисту спинного мозку. Також грудний відділ хребта бере участь у формуванні задньої стінки грудної клітки, яка є вмістилищем життєво важливих органів. У зв'язку з цим грудний відділ хребта є малорухливим.

Грудні хребці мають чотири особливості, які відрізняють їх від інших:

- тіло хребця у формі серця;
- наявність напівкруглих граней з боків кожного тіла хребця — вони з'єднуються з голівками ребер;
- остисті відростки довгі та нахилені донизу. Це забезпечує підвищений захист спинного мозку.

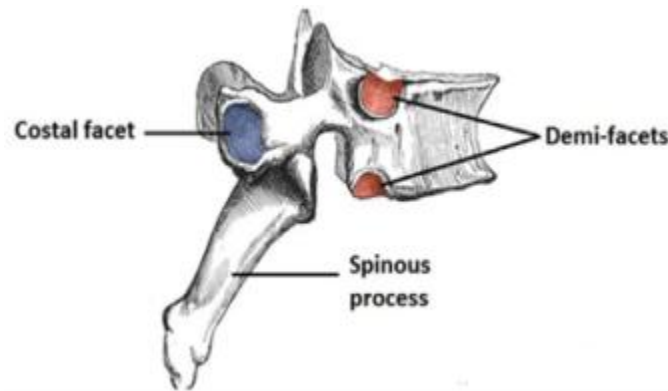


Рисунок 1.1 – Боковий вигляд грудного хребця

Верхня та нижня реберні фасетки розташовані з боків кожного тіла хребця. Вони складаються з заглибин, покритих хрящем, які з'єднуються з голівками ребер. Верхня частина фасетки суглоба членується з голівкою суміжного ребра, а нижня – з голівкою нижньорозташованого (рис. 1.1).

Грудні хребці можна поділити на два типи – типові та унікальні [55].

**Типові грудні хребці від Th<sub>II</sub> до Th<sub>VIII</sub>.** Вони схожі між собою, хоча поступово збільшуються донизу хребта. Типовий грудний хребець складається з:

- тіла хребця, передня частина якого має форму серця. Тіла хребців накладаються один на одного й витримують значну частину напружень і навантажень на хребет, при цьому підтримуючись проміжними міжхребцевими дисками;

- хребетної дуги, яка утворює більшу частину хребетного каналу з боків і ззаду хребців;

- фасеткових суглобів. З кожного боку хребетної дуги в напрямку до спини є одна верхня й одна нижня фасетки, вистелені гладким хрящем, які з'єднуються із суміжними хребцями, утворюючи фасеткові суглоби (рис. 1.2, а). Фасеткові

суглоби між сусідніми грудними хребцями розташовані під кутом  $60^\circ$  до горизонтальної площини і  $20^\circ$  до фронтальної площини, причому верхні фасетки орієнтовані назад, вгору і латерально, а нижні — вперед, вниз і медіально.;

– реберно-хребцеві суглоби (рис. 1.2, б). Завдяки ним хребець з'єднується чи членується з ребром. Реберно-хребцеві суглоби (РХС) включають дві групи синовіальних суглобів, які з'єднують проксимальні кінці ребер з відповідними їм грудними хребцями, формуючи таким чином грудну клітку ззаду.

**Унікальні (або нетипові) грудні хребці —  $Th_1$ ,  $Th_{IX}$ - $Th_{XII}$ .**  $Th_1$  є частиною переходу від шиї до верхньої частини спини, тому має подібні характеристики з шийним відділом хребта в порівнянні з іншою частиною грудного відділу хребта. Його хребетне тіло має більш прямокутну форму і гачкоподібний відросток вгорі з кожного боку. Перше ребро повністю членується з  $Th_1$ , а не з двома хребцями, тому що тіло хребця  $Th_1$  має повну верхню межу, а не напівкруглу.

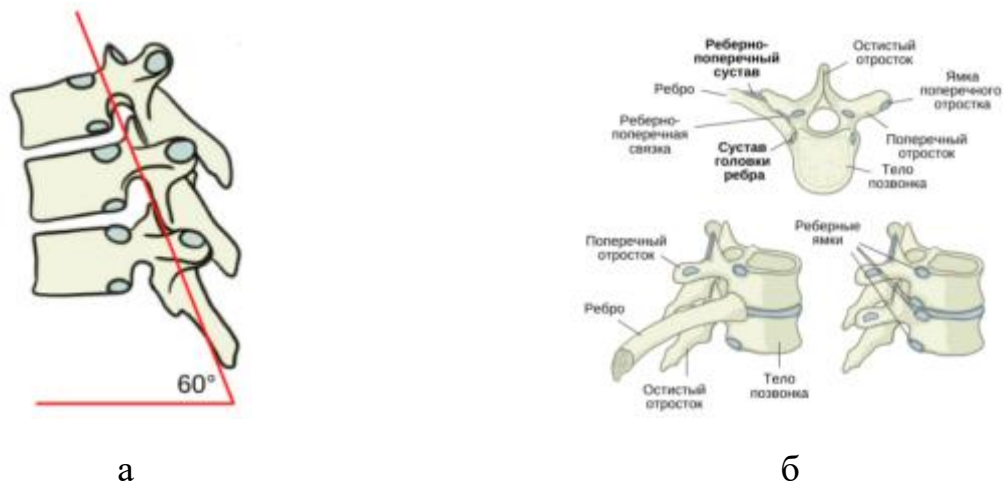


Рисунок 1.2 – Суглоби хребців грудного відділу хребта: а) фасеткові суглоби; б) реберно-хребцеві суглоби

$Th_{IX}$  вважається унікальним грудним хребцем, якщо в його тілі відсутній нижній реберний напівкруглий відросток. У таких випадках тіло  $Th_{IX}$  хребця з'єднується тільки з одним ребром замість двох (дев'яте ребро, але не десяте).

$Th_X$  не має нижньої реберної фасетки, тому його тіло зчленується тільки з одним ребром (десятим). У деяких випадках поперечний відросток  $Th_X$  не має фасетки, якою можна було б сполучитися з ребром.

$T_{XI}$  має тільки одну фасетку з кожного боку хребця для зчленування з головкою ребра. Крім того, у поперечного відростка відсутня грань, яка може сполучатися з ребром.

$T_{XII}$  також має тільки одну фасетку з кожного боку хребця. Як частина переходу до попереку,  $T_{XII}$  має деякі характеристики, які більше схожі на поперекові хребці: більший розмір тіла хребця й менший поперечний відросток, який супроводжується двома іншими відростками (одним з яких є вказує вгору, а інший — вниз) [55].

**Зв'язковий апарат грудного відділу хребта.** Грудний відділ хребта укріплений численними зв'язками. На всій протяжності хребетного стовпа присутні:

- передні й задні подовжні зв'язки — довгі зв'язки, які покривають тіла хребців і міжхребцеві диски;

- жовта зв'язка — з'єднує задні частини замикальних пластинок суміжних хребців;

- міжкостиста зв'язка — з'єднує остисті відростки суміжних хребців;

- надосна зв'язка — з'єднує верхівки суміжних відростків.

- унікальною для грудних хребців є наявність зв'язок, які підтримують реберно-хребцеві суглоби:

- променева зв'язка голівки ребер — віяла назовні від голівки ребра до тіла двох хребців і міжхребцевого диска;

- реберно-поперечна зв'язка — з'єднує шийку ребра й поперечний відросток хребця;

- бічна реберно-поперечна зв'язка — проходить від поперечного відростка хребця до бугорка ребра;

- верхня реберно-поперечна зв'язка — проходить від верхнього краю шийки ребра до поперечного відростка верхнього хребця.

**Міжхребцеві диски грудного відділу хребта.** У хребті 24 міжхребцевих диска, з них 12 розташовані в грудному відділі. Грудні міжхребцеві диски, як

правило, тонше шийних і поперекових дисків, що може сприяти обмеженій рухливості грудного відділу хребта в порівнянні з шийним і поперековим. Іншою відмінною рисою грудних міжхребцевих дисків є те, що всі, крім двох нижніх, стикаються з ребрами.

**Нерви грудного відділі хребта.** Грудний відділ хребта має 12 нервових корінців (від Th<sub>I</sub> до Th<sub>XII</sub>) на кожній стороні хребта, які відгалужуються від спинного мозку і управляють моторними і сенсорними сигналами, головним чином, для верхньої частини спини, грудей і живота.

Кожен грудний спинномозковий нерв названий по розташованому над ним хребцем. Наприклад, нервовий корінець Th<sub>III</sub> проходить між хребцем Th<sub>III</sub> і хребцем Th<sub>IV</sub>. Існує 12 пар корінців грудних спинномозкових нервів (по дві на кожному рівні грудних хребців), починаючи з рівня Th<sub>I</sub>-Th<sub>II</sub> хребців і закінчуючи Th<sub>XII</sub>-L<sub>I</sub>.

Кожен корінець грудного нерва виходить з хребетного каналу через кістковий міжхребцевий отвір. Цей отвір утворено двома сусідніми хребцями, і його розмір і форма можуть трохи змінюватися при русі хребців.

Після відходження від спинного мозку і проходження через отвір корінець спинномозкового грудного нерва розгалужується на два різних нервових пучка, які входять в нерви в передній (черевна гілка) і задній частини (дорсальна гілка) тіла. На рівнях від Th<sub>I</sub> до Th<sub>XI</sub> черевна гілка в кінцевому підсумку стає міжреберним нервом, який проходить по тому ж шляху, що і ребра (особливо між самими внутрішніми міжреберними м'язами, які з'єднують сусідні ребра). На Th<sub>XII</sub> черевна гілка стає підреберним нервом, який проходить під дванадцятим ребром. У проміжках від Th<sub>I</sub> до Th<sub>XII</sub> тильна гілка переходить в м'язи спини, а також забезпечує чутливість шкіри.

Моторні і сенсорні функції, що забезпечуються корінцем грудного нерва, визначаються його хребетним рівнем. Хоча ці функції можуть трохи відрізнятися у людей, зазвичай вони такі:

Th<sub>I</sub> і Th<sub>II</sub> (два верхніх грудних нерва) живляться від нервів, які входять у верхню частину грудної клітки, а також в руку і кисть.

Th<sub>III</sub>, Th<sub>IV</sub> і Th<sub>V</sub> проникають в грудну стінку і допомагають дихати.

Th<sub>VI</sub>, Th<sub>VII</sub> і Th<sub>VIII</sub> можуть проникати в груди і/або вниз в черевну порожнину.

Th<sub>IX</sub>, Th<sub>X</sub>, Th<sub>XI</sub> і Th<sub>XII</sub> можуть проникати в черевну порожнину і/або нижче в спину [56].

**Діапазон рухів грудного відділу хребта.** Хоча грудний відділ хребта менш рухливий, ніж шийний та поперековий, діапазон рухів може значно відрізнятись на його різних рівнях. Більшість рівнів грудного відділу хребта мають обмежені рухи вперед/назад і бокові нахили, але значно більше можливостей для осевого обертання. Ця динаміка по суті перевертається в нижній частині грудного відділу хребта зі збільшеним діапазоном рухів для переміщень вперед/назад і боковими нахилами, але зниженою здатністю до осевого обертання. На рис. 1.3 наведені обсяги рухів в хребті.



Рисунок 1.3 – Обсяг рухів у хребті

Деякі експерти зазначають, що приблизно на рівні T<sub>VII</sub>-T<sub>VIII</sub> хребці поступово стають більш схожими на поперекові хребці за розміром і формою, що

дозволяє змінювати діапазон рухів. Ці зміни в діапазоні рухів стають ще більш вираженими на  $T_x$ - $T_{xI}$  і нижче, тому що на цих рівнях є ребра, які не прикріплені до грудної стінки [57].

У сагітальній площині обсяг згинання та розгинання хребта залежить від відношення висоти міжхребцевого диска до діаметру тіла хребця. У фронтальній площині амплітуда нахилів в сторони залежить як від вищезазначених факторів, так і від напрямку площини, в якій розташовуються поверхні суглобів, утворених відростками дужок хребців. По вертикальній осі обсяг ротаційних рухів залежить від розташування суглобових поверхонь відростків дужок.

Суглоби, поверхні яких розташовуються в площині, яка представляє з себе сегмент кола, забезпечують великий обсяг обертальних рухів [58].

Напрямок рухів лімітується формою суглобових поверхонь, а обсяг їх обмежується суглобовими капсулами і зв'язковим апаратом.

Згинання обмежується: жовтими; міжкостистими; надкостистими; міжпоперечними зв'язками; задньою поздовжньою зв'язкою; заднім півкільцем фіброзного кільця.

Розгинання обмежується: передньою поздовжньою зв'язкою; переднім півкільцем фіброзного кільця; зближенням суглобових, остистих відростків і дужок хребця.

Нахили в бік обмежуються: поздовжніми зв'язками (передньою і задньою); боковими панелями фіброзного кільця; жовтою зв'язкою (з опуклого боку); міжпоперечними зв'язками; суглобовими капсулами.

Ротаційні руху обмежуються: фіброзним кільцем; капсулами міжхребцевих суглобів.

Міжхребцевий диск при вентральному згинанні піддається найбільшій деформації в задній своїй частині, яка значно випинається в просвіт хребетного каналу; при протилежному русі диск деформується в передній частині, випинаючись нижче передньої поздовжньої зв'язки; вентральне згинання супроводжується збільшенням діаметра міжхребцевих отворів; дорсальне

згинання зменшує діаметр міжхребцевих отворів, підсилюючи тиск на спинномозкові корінці. Тому при дискових випадіннях вентральне згинання підсилює болі, а дорсальне згинання їх знижує (при радикулярних синдромах ці рухи роблять зворотну дію).

Обсяг рухів хребта залежить від: просторового розташування площин суглобів, утворених відростками дужок хребців; висоти і еластичності міжхребцевих дисків. Величина нахилу тіл хребців прямо пропорційна квадрату висоти міжхребцевого диска і обернено пропорційна квадрату площі поперечного перерізу тіла хребця. Висота міжхребцевих дисків є змінною величиною і залежить від різних факторів. Вирішальний вплив на висоту міжхребцевого диска робить стан пульпозного ядра, яке в свою чергу залежить від рівня вмісту рідини в ядрі.

У грудному відділі хребта співвідношення висоти міжхребцевих дисків до площі поперечного перерізу тіл хребців менш вигідно, ніж в шийному відділі; поверхні тіл хребців плоскі, а не опуклі, що значно обмежує рухливість тіл хребців відносно один одного; розташування суглобових поверхонь відростків дужок у фронтальній площині ускладнює, крім того, ротаційні рухи.

У грудному відділі хребта можливі лише невеликі руху в сагітальній площині (згинання та розгинання). У місці переходу грудного відділу в поперековий суглобові відростки змінюють своє розташування: суглобові поверхні їх переходять з фронтальної площини в сагітальну.

При ротації хребта ребра і бічні поверхні тіл хребців з поперечними відростками слідує за хребтом, повертаючись навколо вертикальної осі як одне ціле.

За даними метааналізу, проведеному S.L. Borkowsky [59] було визначено, що передбачуваний сегментарний діапазон рухів грудного відділу хребта в сукупності становив від  $1,9^\circ$  до  $3,8^\circ$  при згинанні-розгинанні, від  $2,1^\circ$  до  $4,4^\circ$  при бічному згинанні і від  $2,4^\circ$  до  $5,2^\circ$  при осьовому обертанні. Суми об'єднаних значень діапазону руху (від  $Th_I$  до  $Th_{XII}$ ) становили  $28^\circ$  при згинанні-розгинанні,  $36^\circ$  при бічному вигині і  $45^\circ$  при осьовому обертанні.

### 1.3 Біомеханіка грудного відділу хребта

Основна частина даних з біомеханіки грудного відділу хребта отримана в результаті досліджень *in vitro* через труднощі в проведенні вимірювань *in vivo*. Такі експериментальні дані лежать в основі фізичних або математичних біомеханічних моделей, що використовуються для прогнозування взаємодії реакції на навантаження на певні тканини хребта, хоча ці реакції можуть відрізнятися від їх природного виникнення у живих людей.

Фізіологічний діапазон рухів хребта демонструє біфазну нелінійну поведінку зміщення навантаження, що характеризується нейтральною зоною та еластичною зоною. Нейтральна зона - це діапазон міжхребцевих рухів, у межах якого фізіологічні рухи хребта реалізуються з мінімальним внутрішнім опором, і, відповідно, з мінімальними зусиллями. М. М. Panjabi описав це як зону високої гнучкості. Еластична зона визначається як діапазон міжхребцевих рухів від кінця нейтральної зони до фізіологічної межі рухів і є результатом внутрішнього опору різних м'якотканинних структур (зв'язки, сухожилля тощо) і мускулатури [57, 60]. Це зона високої жорсткості [60]. Нейтральна зона представляє важливе функціональне вимірювання стабільності хребта, і на неї можуть впливати м'язова слабкість, травма, дегенеративні зміни, а також використання хірургічного інструментарія та конструкцій. Зміцнення м'язової сили та витривалості, формування остеофітів і хірургічна фіксація / кістковий спондилодез супроводжуються зменшенням нейтральної зони до нормального фізіологічного діапазону [60].

Грудна клітка підвищує стабільність грудного відділу хребта у всіх площинах руху, насамперед при осьовому обертанні та переважно у верхній половині грудної клітки, зменшуючи діапазон рухів грудного відділу хребта, нейтральну зону та внутрішньодисковий тиск, одночасно збільшуючи жорсткість еластичної зони, опір стиску, а в нейтральному положенні внутрішньодисковий тиск. Зокрема, було встановлено, що реберно-стернальне з'єднання є основним

стабілізатором і важливим визначальним фактором для кінематики всього грудного відділу хребта, тоді як реберно-поперечні та реберно-хребцеві суглоби переважно зміцнюють стабільність окремих сегментів грудного відділу хребта, але не змінюють кінематику грудного відділу [61].

Грудний відділ хребта є середнім відділом спинального комплексу. З'єднуючи шийні і поперекові рухові сегменти, грудний відділ хребта повинен забезпечувати високу стабільність щодо контрольованого м'язами сагітального балансу хребта за допомогою м'язів, що випрямляють хребет, і м'язів живота, оптимальної передачі сили від верхньої частини тіла до нижніх відділів хребта, а також достатню гнучкість у виконанні тривимірних рухів. Тоді як міжсегментна стабільність шийного та поперекового відділів хребта в основному визначається прилеглою мускулатурою, грудні сегменти в основному стабілізуються додатковими кістковими та зв'язковими структурами грудної клітки [62].

В хребтовому стовпі пасивна підсистема стабілізації рухових сегментів складається в основному з тіл хребців, міжхребцевих дисків дуговідростчастих суглобів та суглобових капсул, зв'язок хребта та пасивної напруги м'язово-сухожильних одиниць. Пасивна підсистема як стабілізатор рухів хребта найбільшим чином проявляється в еластичній зоні (тобто, в кінцеву фазу руху) [57, 60].

Активна підсистема системи стабілізації хребта складається з м'язів та сухожилів хребта. Підсистеми активного та нейронного контролю насамперед відповідають за стабільність хребта в нейтральній зоні, де пасивний опір руху мінімальний [57, 60].

В грудному відділі хребта існує ще один фактор пасивної стабілізації рухових сегментів — грудна клітка. Вона є захисним бар'єром для будь-якої травматичної дії в передньому або бокових напрямках. Грудна клітка створює додаткову жорсткість й міцність хребта, чим забезпечує підвищення резистентності до зміщення елементів хребтового сегмента під час дії травмуючого агента [57, 63]. Такі анатомо-біомеханічні особливості грудного

відділу хребта сприяють переважанню високоенергетичних переломів грудних хребців. Ефект жорсткості грудної клітки подвійний і складається з:

- додаткових елементів пасивної стабілізації хребтових сегментів, які створюються за рахунок зв'язкових структур реберно-хребцевих суглобів;
- інерційного ефекту грудної клітки: ребра й грудина збільшують поперечні розміри грудного відділу хребта зі збільшенням моменту інерції жорсткості хребтових сегментів під час дії зовнішніх сил ротації, що забезпечує додаткову міцність і здатність гасіння енергії травмуючого агента.

Інерційний ефект грудної клітки розглядається як більш важливий у підвищенні стабільності грудного відділу хребта [57].

Експериментальне видалення грудної клітки більше впливало на нейтральну зону та жорсткість нейтральної зони, ніж на діапазон рухів та жорсткість еластичної зони. Дані зміни нейтральної та еластичної зон є основними параметрами, що сприяють дестабілізації грудного відділу хребта. Отже, грудна клітка і грудний відділ хребта утворюють біомеханічну цілість, яку не слід розділяти [61]. Отримані результати дозволяють розглядати грудну клітку як четвертий стовп хребта в грудному відділі [63-65].

#### 1.4 Біомеханіка ушкоджень грудного відділу хребта

Хребет здатний витримувати великий тиск (ушкодження хребта зазвичай не розвиваються при прискореннях нижче 20–25 G), а конструкція дуги в хребцях забезпечує значний опір зсуву вперед [66, 67]. Однак зі збільшенням бічної швидкості тулуба сили зсуву збільшуються пропорційно та інтенсивніше, ніж інші сили, що діють на хребет [67]. Сили стиснення також збільшуються зі збільшенням швидкості, і, отже, коли комбінація бічних зсувів і сил стиснення занадто велика, щоб хребець не міг витримати, можуть виникнути переломи ніжки, замикальної пластинки, поперечного або остистого відростка, фасетки або тіла хребця [68]. Тяжкість цих переломів залежатиме від структурної стабільності

перелому, тобто від того, чи порушена цілісність кісток і зв'язок, що дозволяє здійснювати вільний рух.

Особливо важливим ми вважаємо факт щодо здатності хребта, що залишається, сприймати й розподіляти гравітаційні навантаження навіть при стабільному переломі. Нестабільні переломи передбачають патологічний рух у місці перелому, що потенціє ушкодження спинного мозку або порушення його кровопостачання з розвитком больового синдрому та/або неврологічної симптоматики. Неврологічний дефіцит присутній у від 10 % до 30 % усіх ушкоджень хребта [69, 70]. Як правило, ступінь неврологічного ураження корелює зі ступенем травми хребта.

Осьові компресійні навантаження, залежно від величини доданої травмуючої сили, зазвичай викликають стиснення елементів хребця, розрив зв'язок та суглобових капсул або переломи. Клиноподібний компресійний перелом виникає у разі комбінації згинального моменту та компресійного навантаження, що розмозжує передню частину хребця за формою клина.

Вибухові переломи зазвичай пов'язані з високоенергетичною травмою і найчастіше виявляються між  $Th_V$  й  $Th_{VIII}$ , а також у грудопоперековому переході [71]. Вони характеризуються розмозженням передньої та середньої частин тіла хребця. За станом задніх елементів визначається стабільність або нестабільність перелому. Зміщення задніх елементів і/або тіла хребця, а також вивих або підвивих дуговідросткових суглобів визначають нестабільний вибуховий перелом [71]. У той час як вибухові переломи становлять лише 15% ушкоджень хребта, частота неврологічного дефіциту у пацієнтів з вибуховими переломами може досягати від 50 % до 60 % [72].

Травматичний перелом хребця відбувається за умов короткочасної дії травмуючої сили значної величини, що було встановлено за результатами експериментальних досліджень на анатомічному препараті [57] та на тривимірній пороеластичній кінцево-елементній моделі [73]. Також було встановлено, що тиск

у драглистому ядрі міжхребцевого диска залежить від величини сили, а не від тривалості ударного навантаження [73].

За даними експериментальних досліджень виявлені місця ініціації відмови системи «хребтовий сегмент  $T_{H_{XII}}-L_1$ » під час динамічних вертикальних навантажень. Іншими словами, експериментально був досліджений механізм вибухового перелому за умов імітації осьового удару. На початкових етапах ударних навантажень елементи хребця  $T_{H_{XII}}$  демонстрували вібраційний рух. При максимальному стисканні внаслідок підвищення внутрішньодискового тиску обидві — верхня і нижня — замикальні пластинки випиналися у бік губчастої кістки тіл хребців. Центральні частини замикальних пластинок, прилеглі до драглистого ядра, зазнавали найбільшого навантаження, і локалізована концентрація напруг розвивалася відповідно в центральних частинах губчастої кістки. Внаслідок цього відбуваються мікропереломи замикальних пластинок з проникненням матеріалу драглистого ядра в губчасту кістку тіла хребця, чинячи на неї додатковий тиск і вичавлюючи жир і кістковий мозок з губчастої кістки. Коли матеріал драглистого ядра надходить у тіло хребця швидше, ніж витісняється жир та кістковий мозок, губчаста кістка тіла хребця може прорватися через замикальні пластинки, а також через передній та задній кортикальний шар тіла хребця. В останньому випадку раптовий макроперелом може призвести до проникнення кісткових фрагментів тіла хребця у хребетний канал з ретропульсацією фрагмента [72]. Однак інші автори вважають, що початковий перелом відбувається в тілі хребця, і це призводить до викиду губчастої кістки та кісткового мозку в спинномозковий канал. Подальше стиснення моделі хребця супроводжується розтріскуванням замикальних пластинок [74]. М. Hongo et al. виявили суттєве підвищення значень деформації стиснення та розтягування в основі ніжки  $T_{H_X}$ ,  $L_1$  та  $L_{IV}$ , що вказує на основу ніжки хребця як на місце початку вибухового перелому [75].

Згинально-дистракційні переломи грудопоперекового відділу хребта зазвичай є результатом сильного згинання вперед, що спричиняє distraкційне

ушкодження (розрив) задніх елементів хребця. Також можливі переломи, коли передня частина тіла хребця мінімально стиснута, і є поперечний перелом через задні елементи хребця і задню частину тіла хребця [76].

### 1.5 Класифікація ушкоджень хребта

Грудний відділ хребта з точки зору біомеханіки підрозділяється на ригідний верхньогрудний відділ ( $Th_I-Th_X$ ) та перехідний грудопоперековий відділ ( $Th_X-L_{II}$ ), за яким слідує гнучкий поперековий відділ ( $L_{III}-L_V$ ). Окремі автори виділяють проксимальний відділ ( $Th_I-Th_{IV}$ ), середньогрудний ( $Th_V-Th_{VIII}$ ) та нижньогрудний ( $Th_{IX}-Th_{XII}$ ) відділи хребта [77-79].

Для ригідного грудного відділу хребта необхідні більші зусилля для утворення перелому або вивиху. Звуження хребетного каналу у цій ділянці призводить до високої частоти ураження спинного мозку [80]. Грудопоперековий відділ ( $Th_X-L_{II}$ ) являє собою перехідну зону від жорстких грудних сегментів до рухливого поперекового відділу хребта, що робить його більш уразливим до біомеханічних навантажень і, відповідно, супроводжується найчастішою травматизацією у цій переходній ділянці [81].

Залежно від ступеня травматизації елементів хребетного рухового сегмента ушкодження хребта поділяють на:

- забій хребта;
- частковий або повний розрив капсульно-зв'язкового апарата хребетного рухового сегмента;
- розрив міжхребцевого диска;
- вивих хребця;
- переломовивих хребця;
- перелом хребця.

Травма двох і більше суміжних хребців і міжхребцевих дисків відноситься до множинних ушкоджень хребетного стовпа. Травма двох і більше не суміжних

хребців і міжхребцевих дисків розцінюється як багаторівнева. Множинні переломи хребців на одному рівні при поєднанні з множинними переломами на іншому називають множинними багаторівневими ушкодженнями хребта. Ушкодження двох або трьох сусідніх хребців змінюють обсяг хірургічного втручання в зоні травмування, впливатиме на способи фіксації і змінювати варіанти доступу [82, 83].

Існує багато класифікацій переломів грудних хребців, як окремих, так і включених в загальну класифікацію пошкоджень хребта. Класифікаційні схеми засновані на морфології пошкодженого хребця, механізмі травм або цілісності колон хребта. Практичне значення класифікацій, в кінцевому рахунку, полягає в тому, щоб не тільки дати в руки клініцисту метод оцінки стабільності пошкодженого хребта відразу після травми, а й прогнозувати її можливий віддалений результат.

Фактор локалізації займає центральне місце як ключовий фактор, що визначає характеристики перелому, розкриваючи нюанси просторового розподілу пошкоджень у грудному відділі хребта. Складна анатомічна архітектура хребта надає різні біомеханічні профілі різним ділянкам, впливаючи на характер та тяжкість переломів [84, 85]. Повне розуміння цього розподілу полегшує індивідуальне втручання та прогнозування потенційних ускладнень.

Першим кроком до успішного лікування травматичних ушкоджень по праву можна вважати оптимальну класифікацію переломів, тобто таку класифікацію, яка стала б вичерпним керівництвом, що дозволяє хірургу правильно вибрати методику оперативної стабілізації перелому хребта. Перша спроба класифікувати переломи грудопоперекового відділу хребта була зроблена в 1929 році [86]. У 1963 році Holdsworth [87] запропонував двоколонну теорію стабільності хребта. У 1978 році White і Panjabi ввели термін клінічна нестабільність, під яким малася на увазі нездатність хребта в умовах фізіологічних навантажень зберігати нормальні взаємини між окремими

сегментами при відсутності гострого або хронічного неврологічного дефіциту, деформацій або больового синдрому.

Триколонна теорія стабільності хребта була запропонована в 1983 році Francis Denis [88]. До існуючої двоколонної моделі Holdsworth він додав третю, середню колону хребетного стовпа. Відповідно до теорії Denis, передня колона хребта включає передню поздовжню зв'язку (ППЗ) і передню половину тіл хребців з відповідними їй порціями міжхребцевих дисків (рис. 1.4, а). Середня колона включає задні відділи тіл хребців з відповідними порціями міжхребцевих дисків і задню поздовжню зв'язку (ЗПЗ) (рис. 1.4, б). Задня колона складається з дуг хребців, дуговідросткових суглобів і заднього зв'язкового комплексу (ЗЗК), що включає надостисті і міжостисті зв'язки, жовті зв'язки і капсули дуговідросткових суглобів (рис. 1.4, в). Важливість виділення середньої колони виявилася очевидною, оскільки для того, щоб в межах того чи іншого сегмента хребта відбулася деформація, поряд з пошкодженням передньої або задньої колони повинна бути зруйнована і середня колона. У разі пошкодження середньої колони або двох-трьох колон хребта пошкодження вважається нестабільним і вимагає обов'язкової стабілізації. Denis визначив, що стабільність хребта ґрунтується на цілісності двох з трьох колон хребта [89].

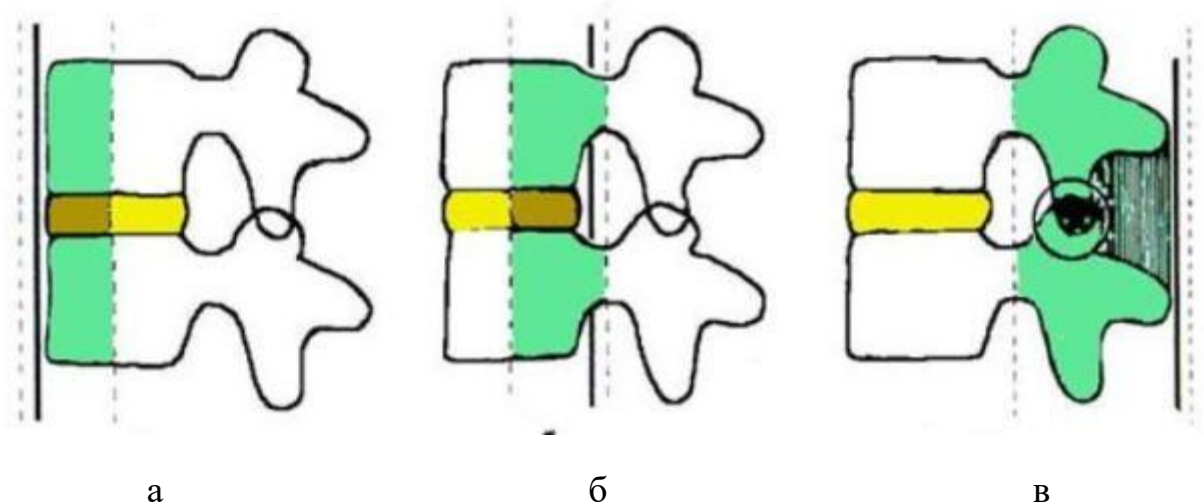


Рисунок 1.4 – Триколонна біомеханічна концепція ушкоджень хребтового сегмента за F. Denis, 1983 [88]. Хребтові колони: а) передня; б) середня; в) задня  
У класифікації F. Denis пошкодження хребта розділені на чотири групи:

- компресійні переломи, які характеризуються руйнуванням в результаті надмірного стиснення передньої колони хребта;
- вибухові переломи, які характеризуються руйнуванням передньої і задньої колон хребта під дією аксіально спрямованої сили;
- флексійно-дистракційні пошкодження, характеризуються порушенням цілісності задньої і середньої колон хребта;
- переломовивих хребців, що характеризуються порушенням цілісності всіх трьох колон хребта [88, 89].

Ця класифікація пройшла перевірку часом завдяки своїй простоті та практичній цінності. Так, відповідно до цієї класифікації, більшість пошкоджень передньої колони і зараз лікують консервативно методом імобілізації, а практично всі переломи хребта з недостатністю трьох колон стабілізують хірургічно.

Двоколонні пошкодження хребта до теперішнього часу продовжують залишатися предметом суперечок, однак при цьому більшість хірургів згодні з тим, що за умови наявності неврологічного дефіциту і вираженої деформації хребта, ці переломи підлягають хірургічній стабілізації.

У 1989 році Magerl et al. [90] представили класифікацію пошкоджень хребта, яка отримала найменування класифікації АО / ASIF (Arbeitsgemeinschaft fur Osteosynthesenfragen — Association for the Study of Internal Fixation), або просто класифікації АО.

Ця класифікаційна система була заснована на аналізі 10-річного досвіду лікування 1445 переломів грудопоперекового відділу хребта і включала в себе три основних типи переломів: компресійні переломи (тип А), дистракційні (тип В) та ротаційні пошкодження (тип С) (рис. 1.5). Згідно з тяжкістю конкретних пошкоджень кожен з типів підрозділяється на підтипи. Таким чином, ця досить докладна класифікаційна система виділяє 53 типи ушкоджень хребта, де пошкодження типу А1 є найбільш простими, а С3 — найбільш важкими ушкодженнями.

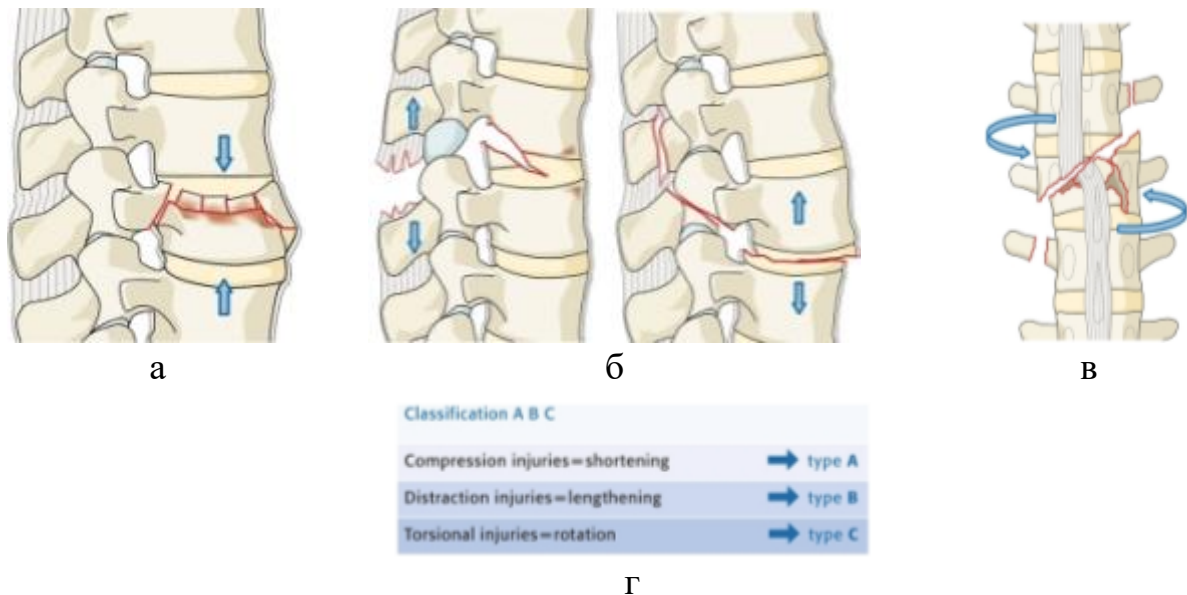


Рисунок 1.5 – характеристики трьох типів травм хребта: а) тип А, компресійне ушкодження передньої колони; б) тип В, двоколонна травма з заднім або переднім поперечним розривом; в) тип С, двоколонна травма з ротацією; г) класифікація А В С [91]

Пошкодження типу «А» спостерігаються при компресійному механізмі травми, коли виникають стабільні компресійні клиноподібні переломи (А1), стабільні і нестабільні осколкові переломи (А2) і нестабільні вибухові (А3) переломи тіл хребців.

Пошкодження типу «В» формуються при поєднанні компресії з насильницькою дистракцією (розривом) передніх або задніх відділів хребтового сегмента; виникають згинальні або розгинальні переломовивихи, які можуть супроводжуватися здавленням спинного мозку.

Пошкодження типу «С» виникають при поєднанні насильницького скручування (ротації) з компресією і дистракцією елементів хребця. Ці найважчі ушкодження хребта супроводжуються руйнуванням всіх трьох стовпів хребта і різним ступенем (від С1 до С3) деформації хребетного каналу.

Наступною стала запропонована в 1994 році McCormack et al. так звана load-sharing класифікація. Ця класифікація була розроблена на основі аналізу даних про неспроможність лікування переломів грудопоперекового відділу хребта методом короткосегментарного заднього спондилодезу в умовах транспедикулярної стабілізації хребта. Відповідно до цієї класифікації, всі

переломи поділяються залежно від ступеня руйнування тіла хребця, взаєморозташування кісткових фрагментів і наявності деформації. Кожен перелом таким чином оцінюється за допомогою бальної системи від 3 до 9 балів, більш високе значення відповідає більш високій тяжкості перелому. Переломи, які оцінені за цією класифікацією в 7 балів і вище, характеризуються більш високим ризиком неспроможності короткоsegmentарної стабілізації, якщо така буде виконана [92].

Алгоритм діагностики та лікування, запропонований McCormack et al. для спрощення прийняття рішення про тактику хірургічного лікування перелому, дозволяє прийняти рішення про те, коли можна обмежитися тільки заднім короткоsegmentарним спондилодезом, а коли його необхідно доповнювати передньою стабілізацією хребта, і навпаки [92]. Практична ефективність даної класифікації була підтверджена у відповідних біомеханічних дослідженнях *in vitro*.

Berge E. E. [93] запровадив концепцію четвертої колони. Відповідно до того, грудина і ребра є додатковою опорою стабільності грудного відділу хребта. Він стверджував, що «незалежно від того, наскільки мінімальним може бути клиноподібний перелом грудного відділу хребта, існує ймовірність нестабільності, якщо є супутнє зміщення грудини». В подальшому концепцію четвертої колони підтримали інші вчені [63-65, 93].

Четверта колона грудного відділу хребта включає грудину та ребра, та їх внесок у стабільність грудного відділу хребта був продемонстрований при біомеханічному аналізі [94-96]. Незважаючи на це, досі недостатньо даних щодо впливу поєднаних пошкоджень грудної клітки на травми грудного відділу хребта [97].

Переломи грудини, як і переломи будь-якої локалізації, можуть виникати за прямим і непрямим механізмами. Цікаво, що при переломах грудного відділу хребта повідомлялося про непрямі переломи грудини [93, 99, 100]. На підставі цих повідомлень можна припустити, що перелом грудини може бути

опосередкованим внаслідок distraкції, компресії з гіперзгинанням та перерозгинанням грудного відділу хребта. Отже, при розробці даної класифікації пошкодження четвертої колони враховується з двох точок зору: по-перше, як модифікатор, що вказує на потенційну нестабільність при прямому механізмі травми і, по-друге, через непрямий механізм. Непрямі механізми перелому груднини характеризуються загальною передумовою - недостатністю задньої колони. Таким чином, грудина може діяти як натяжна стрічка, що стабілізує грудний відділ хребта. Теорію натягу груднини можна підтвердити тим фактом, що після переломів груднини [101] та звільнення груднини від ребер [102] спостерігалось 40 % зниження стабільності грудного відділу хребта.

Нестабільність четвертої колони може бути представлена переломами зі зміщенням тіла груднини та рукоятки. Крім того, не слід ігнорувати послідовні множинні переломи ребер та розхитування грудної клітки. Існує кілька варіантів таких ушкоджень, наприклад, поєднання переломів груднини з переломами ребер або множинні двосторонні переломи ребер у місцях прикріплення до груднини [103].

У 2005 році дослідницька група з вивчення травми хребта (Spine Trauma Study Group) в якості нової класифікаційної системи запропонувала власну Шкалу тяжкості травм груднопоперекового відділу хребта (Thoracolumbar Injury Severity Score (TLIS)). Ця система ґрунтується на трьох основних характеристиках будь-якого з ушкоджень:

- морфологія ушкодження;
- цілісність ЗЗК;
- неврологічний статус.

Залежно від морфології пошкодження компресійним переломам в цій системі присвоюється 1 бал, вибуховим переломам і компресійним переломам з деформаціями у фронтальній площині більше  $15^\circ$  — 2 бали, пошкодженням внаслідок зсуву і ротаційним пошкодженням — 3 бали, і, нарешті, вважається найбільш нестабільним distraкційним пошкодженням — 4 бали [104].

Оцінка неврологічного статусу передбачає виділення п'яти наступних категорій: інтактний неврологічний статус — 0 балів, травма корінців спинного мозку і повний анатомічний розрив спинного мозку — по 2 бали, неповний анатомічний розрив спинного мозку і синдром кінського хвоста — по 3 бали.

Оцінка цілісності заднього зв'язкового комплексу проводиться клінічно на підставі виявлення пальпуемого збільшення висоти міжостистого проміжку, рентгенологічно шляхом виявлення перелому остистого відростка або за допомогою оцінки стану ЗЗК за даними магнітно-резонансної томографії (МРТ). Пацієнти з інтактним заднім зв'язковим комплексом отримують 0 балів, з невизначеним ступенем пошкодження заднього зв'язкового комплексу — 2 бали і при підтверженому розриві заднього зв'язкового комплексу (ЗЗК) — 3 бали. При багаторівневих пошкодженнях оцінюється найбільш тяжке ушкодження. При виникненні пошкоджень на одному і тому ж рівні внаслідок дії різних механізмів травми кінцева оцінка являє собою суму балів, що відповідають кожному з встановлених механізмів травми [105].

Загальна оцінка за шкалою TLICS відображає тяжкість ушкодження в цілому і допомагає визначити оптимальну тактику лікування. Пацієнтів з показниками 3 бали і нижче лікують консервативно. Пацієнтам з показником 5 балів і вище показана хірургічна стабілізація. Нарешті, показник в 4 бали відносить пацієнта в невизначену категорію, лікування таких пацієнтів залежатиме від переваг хірурга [106]. Клінічні дослідження показали, що надійність шкали TLICS порівнянна з такими загальновизнаними класифікаціями як Denis і AO [107, 108].

З урахуванням класифікацій F. Denis [88] і F. Magerl [90], а також, беручи до уваги ступінь кутової деформації хребтового стовпа, ступінь звуження хребетного каналу і ступінь зміщення хребців, визначають алгоритм хірургічної тактики при переломах хребців. Основними факторами, що впливають на обсяг хірургічного лікування, є:

– кількість ушкоджених колон хребетного стовпа;

– ступінь зміщення хребців один відносно одного (при зміщенні більше 25 % — необхідна стабілізація);

– ступінь клиноподібної деформації переднього відділу тіла зламаного хребця: у разі зниженні висоти тіла більше 50 %, або більше 40° (визначається при порівнянні з висотою тіла вище розташованого хребця);

– звуження передньо-заднього діаметру хребетного каналу більше 30 % [70, 106,108].

Згідно з «Клінічним протоколом надання медичної допомоги хворим з травмою грудного та поперекового відділів хребта та спинного мозку» (Додаток до наказу МОЗ № 317 від 13-06-2008) розрізняють чотири основних види переломів грудного відділу хребта:

а) **Компресійні переломи** (при надмірному згинанні або розгинанні, ушкодження переднього стовпа хребта при інтактності середньої колони хребта, переломи звичайно стабільні, неврологічний дефіцит буває рідко, найбільш частий тип ушкоджень):

1) тип А (ушкоджені обидві замикальні пластинки);

2) тип В (переломи охоплюють тільки верхню замикальну пластинку);

3) тип С (переломи охоплюють тільки нижню замикальну пластинку);

4) тип D (ушкодження замикальних пластинок відсутні).

б) **Вибухові (уламкові) переломи тіл хребців** (роздроблено-клиноподібні, при впливі руйнуючої сили уздовж осі хребта у комбінації із флексією або ротацією, головна відмінність від компресійних переломів – ушкодження серединної колони):

1) тип А (ушкоджені обидві замикальні пластинки);

2) тип В (переломи охоплюють тільки верхню замикальну пластинку);

3) тип С (переломи охоплюють тільки нижню замикальну пластинку);

4) тип D (вибуховий перелом, комбінований з ротацією, що проявляється бічним зсувом тіл або бічним нахилом);

5) тип E (вибуховий перелом з асиметрією компресії тіла хребця).

*Підставою для діагностування вибухового перелому є:*

- зменшення висоти задньої частини тіла хребця;
- роздроблення тіла хребця;
- ретропульсія кісткових уламків, зміщення зв'язок, фрагментів міжхребцевого диску в хребетний канал;
- ушкодження дуг хребців;
- збільшення міждужкового простору.

**в) Переломи за типом ременя безпеки** (розтягання задніх структур і розрив задньої й середньої колон хребетного стовпа при збереженій передній):

- 1) тип А (діагностується при наявності ушкодження кісткових структур на одному рівні);
- 2) тип В (при ушкодженні тільки зв'язкового апарату на одному рівні);
- 3) тип С (ушкодження кісткових структур на двох рівнях);
- 4) тип D (ушкодження зв'язкових структур на двох рівнях).

Наступні ушкодження розглядаються як нестабільні.

**г) Переломовивихи** (характеризуються руйнуванням трьох колон хребта, найбільш часто пов'язані з ушкодженням спинного мозку і неврологічними порушеннями):

- 1) тип А (ушкодження внаслідок впливу комбінованих флексійно-ротаційних сил);
- 2) тип В (виникає під дією сил зсуву, які діють в горизонтальній площині, травма проявляється анте- або ретроспондилолістезом. На КТ є ротація верхнього тіла, залежно від напрямку прикладеної сили. При ушкодженні задньої дуги невральні елементи можуть бути спонтанно компресовані, що проявляється мінімальним неврологічним дефіцитом);
- 3) тип С (двосторонній вивих суглобових відростків внаслідок механізму флексії-розтягання. Він нагадує "ушкодження ременя безпеки", однак характеризується наявністю ушкоджень передньої

колони, що супроводжується ушкодженням диска або переднього краю тіла хребця).

Нестабільними варто вважати лише ті види травм, які супроводжуються ризиком значного зсуву й (або) неврологічних розладів. Щодо хребців грудного відділу хребта:

- стабільні — при клиноподібних компресійних переломах тіл і при переломах дужок;

- нестабільні — всі вивихи й переломовивихи хребців, переломи й вивихи суглобових відростків, розриви міжхребцевих дисків і їхнє сполучення з ушкодженням тіл хребців.

Оцінка стабільності ушкоджень хребців грудного відділу хребта відіграє ключову роль у плануванні лікування, проводиться за шкалою White і Panjabi [57] (якщо загальна оцінка становить 5 і більше балів, ушкодження вважаються нестабільними).

За механізмом травми розрізняють:

- А.1. Прямі (виникають при безпосередньому впливі механічної сили, падінні з висоти на ноги або голову).

- А.2. Непрямі (через надмірне згинання або розгинання хребта).

Відносно цілості шкіряних покривів є:

- Б.1. Відкриті ушкодження хребта та спинного мозку (з порушенням цілісності шкірного покриву).

- Б.2. Закриті (без порушення цілісності шкірного покриву).

- Б.3. Відкриті проникаючі пошкодження (при травмуванні твердої мозкової оболонки).

За наявності ушкодження спинного мозку та /або його корінців :

- В.1. Ускладнені.

- В.2. Неускладнені.

Для оцінки функціонального стану ураженого хребта важливим є ступінь зсуву хребців, ступінь кутової деформації, ступінь звуження хребетного каналу.

## 1.6 Клінічні прояви та діагностика уражень грудного відділу хребта

Найчастіше відбуваються компресійні переломи тіл грудних хребців, особливо в нижньому грудному відділі — де менш рухливі грудні сегменти переходять в більш рухливий поперековий відділ хребта. Причини уражень: підняття важких предметів; падіння з висоти на ноги, сідниці, голову; при різкому згинанні або розгинанні хребта при нахилах; надмірне раптове напруження м'язів, що прикріплюються до остистих або поперечних відростків, внаслідок прямої травми; автомобільні аварії.

Клінічна картина переломів грудного відділу хребта залежить від локалізації, виду травмування, вікових та індивідуальних особливостей хворого, у разі ускладнених переломів — ступеня та темпу розвитку компресії спинного мозку. Клінічна симптоматика стабільних та нестабільних вибухових переломів може суттєво відрізнитися.

Переломи типу А (компресійні переломи) є в основному стабільними. Тому основною скаргою таких пацієнтів є місцевий біль, як правило, помірний. Пацієнти здатні перебувати у вертикальному положенні, самостійно пересуватися. Нестабільні ушкодження супроводжуються вираженим больовим синдромом зі зниженням рухливості хворих. Значна клиноподібна деформація тіла хребця може зумовлювати локальний кіфоз, що виявляється під час пальпації. набряк м'яких тканин спини і підшкірна гематома нехарактерні, оскільки ушкодження структур заднього комплексу можуть не проявлятися травматичними змінами більш поверхнево розташованих м'яких тканин [109, 110].

Для пацієнтів з переломами типу В (дистракційні ушкодження передньої та задньої опорних колон) характерні виражена болючість при пальпації ділянки перелому, набряклість м'яких тканин спини та підшкірна гематома. Найчастіше пальпаторно визначається збільшення міжостистого проміжку або ступінчасте розташування остистих відростків, притаманне вивиху. Локальна кіфотична деформація спостерігається достатньо часто [109, 111].

Клінічна симптоматика у пацієнтів з типом С (травми переднього та заднього опорних комплексів з ротацією) відрізняється значною варіабельністю і переважно визначається вираженою нестабільністю ушкоджень. Характерна локальна болючість у зоні ушкодження, яка зумовлена ушкодженням структур заднього опорного комплексу. Найчастіше інтенсивність больових відчуттів суттєво зростає під час незначних ротаційних рухах навіть у положенні хворого лежачи. Нерідко спостерігається асиметрія болю з переважанням односторонніх больових відчуттів паравертебрально [109-111].

Переломи грудного відділу хребта Th<sub>I</sub>-Th<sub>XII</sub> зустрічають рідше, ніж інших відділів хребта, і у осіб молодого та середнього віку є переважно наслідком високоенергетичних травм [36-39]. Але особливості будови грудного відділу хребта зі звуженим хребетного каналу підвищують ризик виникнення неврологічного дефіциту. Тому клінічне обстеження пацієнтів із травмами грудного відділу необхідно проводити більш ретельно на наявність забоїв, синців, наявності розходження остистих відростків, ознак нестабільності та крепітації грудної клітини, тощо.

Високоенергетичні травми часто несуть ризик ушкодження внутрішніх органів, що є показанням для проведення додаткових досліджень на можливість ураження легень, очеревини, печінки, ушкоджень кровоносних судин тощо [112-115], що передбачає проведення додаткового ретельного обстеження грудної клітки, інших сегментів опорно-рухової системи, у тому числі шийних, поперекових, крижових хребцевих сегментів, внутрішніх органів. В таблиці 1.1 показана частота супутніх ушкоджень при травмах грудного відділу хребта за даними літератури [112-115].

Таблиця 1.1 – Відносна частота супутніх травм при переломах грудних хребців

Супутні травми	Відносна частота
Переломи ребер	від 22 % до 100 %
Переломи грудини	від 2 % до 10 %
Забій легень	від 28 % до 64 %
Пневмо- / гематоторакс	від 11 % до 46 %
Ураження аорти	до 2 %
Черепно-мозкова травма	до 11 %
Травми черевної порожнини	від 4 % до 8 %
Травми кінцівок	до 19 %
Супутні травми хребта	до 25 %

Переломи ребер — це зазвичай не діагностована комбінація з частотою понад 13 %, й суттєво зростає при нестабільних травма грудного відділу. Переломи грудини, пов'язані з переломами грудних хребців, поширені з частотою до 10 %. Супутні пошкодження включають переломів кінцівок (19 %), розсічення або розрив аорти (1,6 %), надаортальних судин та верхньої порожнистої вени, а також середостіння та черевної порожнини (від 3,5 % до 7,7 %) [115, 116]. Супутні пошкодження частіше зустрічаються у постраждалих чоловічої статі з високоенергетичними переломами типу С [117].

Тяжкість стану пацієнта, лікувальну тактику та певною мірою прогноз вибухового перелому визначає тяжкість неврологічної симптоматики. Для уніфікованої оцінки неврологічних порушень використовують Міжнародні стандарти неврологічної класифікації травми спинного мозку (ISNCSCI), які були розроблені Американською асоціацією травми спинного мозку ASIA і зазвичай називаються обстеженням ASIA [118].

Відповідно до обстеження ASIA неврологічний огляд строго стандартизований, проводиться у положенні пацієнта на спині в цефало-каудальній послідовності. За результатами неврологічного тестування встановлюється ступінь ушкодження спинного мозку.

Алгоритм оцінки стану спинного мозку полягає в послідовному визначенні:

- чутливих розладів праворуч і ліворуч при тестуванні відповідних ключових точок чутливості для C<sub>II</sub>-S<sub>IV-V</sub> дерматомів;
- змін у руховій сфері праворуч і ліворуч на основі ключових моторних тестів п'яти специфічних груп м'язів верхніх кінцівок і п'яти специфічних груп м'язів нижніх кінцівок, які представляють основні шийні та поперекові міотому;
- аноректального обстеження. Таке обстеження дозволяє визначити рівень і ступінь (повне або неповне) ушкодження спинного мозку [118].

Нестабільні переломи грудних хребців, як правило, супроводжуються високим ризиком неврологічного дефіциту, особливо при травмах типу В і С згідно з класифікацією AO Spine. Неврологічний дефіцит зустрічається більш ніж у третини пацієнтів (33,5 %). З них у 18,8 % визначено ушкодження Frankel A, по 3,4% — Frankel B та Frankel C, у 5,9 % — Frankel D [114]. Супутні неспинальні травми суттєво впливають на результат пацієнтів з травматичними переломами хребта [115]. Ці пов'язані травми мають більший вплив на смертність, ніж самі переломи грудного відділу хребта [119].

Клінічна картина у пацієнтів з травматичними ураженнями грудного відділу хребта та спинного мозку (СМ) змінюється з часом від моменту травми до декількох років.

Гострий період (від 2 до 3 діб). Клінічні прояви різного ступеня уражень СМ можуть бути схожими в цьому періоді внаслідок того, що клінічна картина обумовлена спинальним шоком.

Ранній період (з 4 доби до від 2 до 3 тижнів). У цьому періоді, як і в гострому, при пошкодженнях СМ різного ступеня може спостерігатись синдром повного порушення провідності спинного мозку, який обумовлений спинальним шоком, порушеннями крово- та ліквородинаміки, набряком і набуханням СМ.

Проміжний період (протікає від 2 до 3 місяців). На початку даного періоду (від 5 до 6 тижнів після пошкодження) зникають явища спинального шоку, набряку СМ та виявляється дійсний характер та об'єм пошкодження — забій

спинного мозку, часткове або повне порушення неврологічних функцій нижче рівня ураження.

Пізній період (від 3 місяців до 3 років після травми), спостерігається відновлення функцій СМ, виражене різною мірою в залежності від важкості його пошкодження (відновлення функцій СМ може відбуватись від 5 до 10 років після травми). У цьому періоді можливий розвиток віддаленого обтяження неврологічної симптоматики, який обумовлений розвитком рубцевого процесу, кістоутворенням, розвитком посттравматичної сирингомії, прогресуванням кіфотичної деформації хребта, явищами нестабільності із пізньою компресією спинного мозку.

## 1.7 Методи візуалізації вибухових переломів грудного відділу хребта

### 1.7.1 Рентгенографія

Оцінка рентгенологічних ознак, як і клінічної симптоматики, суттєво залежить від типу перелому грудного відділу хребта (типи А, В, С) і, відповідно, від головної особливості — стабільний цей перелом або нестабільний.

Якісні структурні ознаки ушкодження кісткової тканини краще за все візуалізуються при застосуванні методів променевої діагностики. Класичними методами променевої діагностики переломів є оглядова рентгенографія у двох проекціях (передньо-задній та боковій) та комп'ютерна томографія з виконанням парасагітальних й аксіальних сканів та 3D реконструкція ділянки перелому.

Основними рентгенологічними та КТ-ознаками вибухових переломів грудного відділу хребта для передньої опорної колони: перелом тіла хребця у сагітальній площині, клиновідна деформація передніх відділів тіла хребця; для задньої опорної колони: ураження задніх елементів хребця, величина міжпозвоночної відстані, звуження хребетного каналу [120-123].

Для переломів типу А, які зазвичай стабільні, основними якісними рентгенологічними ознаками є: фрагментація тіла хребця, зменшення висоти задньої стінки тіла хребця при її переломі та зміщенні фрагментів у хребтовий канал. Пролабування відбувається лише дорзально, а не краніально. Ротація уламків не спостерігається. У разі ушкодження пластинки дуги лінія перелому завжди проходить вертикально. Можливе незначне збільшення вертикальної відстані між остистими відростками. Зміщення в горизонтальній площині при ушкодженнях типу А не спостерігається [109, 120].

Травми грудного відділу хребта типу В відрізняє значний діапазон рентгенологічних ознак, найхарактернішим з яких є наявність симетричного ураження заднього опорного комплексу, підвивиху або вивиху, який завжди двобічний. Майже завжди спостерігається збільшення відстані між остистими відростками. Наявність та величина кіфотичної деформації є варіабельною. Досить характерним є сагітальне зміщення хребців, частіше вперед і значно рідше назад. Лінія перелому елементів заднього опорного комплексу проходить, на відміну від ушкоджень типу А, в горизонтальній або косій площині. Характерними є осколкові переломи замикальних пластинок, які при ушкодженнях В3 трапляються практично в усіх випадках. При комбінації типу В з осколковим переломом тіла хребця кісткові фрагменти можуть зміщуватися в хребтовий канал не лише дорзально, а і краніально, зрідка — каудально. За наявності великого кісткового фрагмента характерне його обертання. У такому разі на томограмах видно, що поверхня, яка містить задню частину замикальної пластинки, обернена до тіла хребця [109, 121].

Для ушкоджень типу С рентгенологічна картина завжди супроводжується значними кістково-травматичними ушкодженнями. Поряд з морфологічними змінами, що визначаються типами А або В, характерна наявність ротаційного компонента, який виявляється розбіжністю ліній, що проходять крізь остисті відростки вище та нижче за рівень травми, наявністю однобічного підвивиху або

вивиху. Однобічний перелом поперечних відростків та/або ребер завжди свідчить про наявність ротаційного компонента [109, 120-122].

На рентгенограмі у передньо-задній проекції вимірюють міжпедиккулярну відстань, яка збільшується при вибухових переломах, та міжкостисту відстань, яка збільшується при травмі заднього зв'язкового комплексу. Результати вимірювань вказують у міліметрах або у відсотках щодо сусідніх інтактних рівнів. Що стосується міжкостистої відстані, відхилення до 7 мм вважаються нормою [123].

На бічних рентгенограмах визначають два основні параметри: вимірюються втрата висоти переднього відділу тіла хребця та величина кіфотичної деформації. Однак слід пам'ятати, що клиноподібна деформація тіла хребця не завжди є рентгенанатомічною ознакою перелому. У нормі у дорослих може спостерігатися клиноподібна деформація тіл хребців від T<sub>I</sub> до L<sub>II</sub> (пік на T<sub>VII</sub>) [124]. У безсимптомних дорослих ця величина може досягати 10° [125], тоді як інші автори розширюють цю межу до від 20° до 25° [126].

Локальний кіфоз — найпоширеніша деформація, що спостерігається при переломах грудного відділу хребта і в грудопоперековому переході. Існує кілька способів кількісної оцінки кута локального кіфозу хребців, який найчастіше вимірюється як кут між дотичною до верхньої та нижньої замикальних пластинок ушкодженого хребця [122, 126].

### 1.7.2 Комп'ютерна томографія

В даний час у протоколі обстеження пацієнтів з політравмою та травмою хребта КТ розглядається як стартовий метод візуалізації високоенергетичної травми не тільки за наявності болю в спині, а й за її відсутності як метод виключення переломів кісток та пов'язаних з ними торакоабдомінальних ушкоджень. У пацієнтів з політравмою виявлення перелому хребця в одному сегменті хребта є показанням для сканування всього хребетного стовпа за допомогою КТ, оскільки до 20 % цих пацієнтів мають несуміжні переломи хребців [127].

Комп'ютерна томографія також показана у випадках низькоенергетичної травми при нормальних рентгенограмах, якщо спостерігаються відповідні клінічні симптоми. При виявленні перелому на рентгенограмах у пацієнтів після низькоенергетичної травми рекомендується виконати КТ, що охоплює щонайменше два хребці вище та нижче місця перелому. Розширення локалізації обстеження пов'язане з добре відомими фактами недооцінки тяжкості переломів, насамперед нестабільних, при інтерпретації рентгенограм, а також хибної діагностики вибухових переломів як передніх компресійних переломів [128]. Таким чином, для планування хірургічного втручання оцінки морфології перелому з використанням лише одних рентгенограм недостатньо; додаткове комп'ютерне сканування є обов'язковим для точної класифікації переломів та прийняття рішення щодо лікування [129]. Чутливість КТ для зображення переломів грудного відділу хребта та грудопоперекового переходу коливається в межах від 95 % до 100 % [130].

Вимірювання розмірів хребетного каналу на КТ-сканах точніші порівняно з рентгенометрією оглядових спондилограм. Співвідношення сагітального та поперечного діаметрів каналу, загальна площа поперечного перерізу каналу та відсоток стенозу каналу вважаються найбільш значущими параметрами для прогнозування пошкодження спинного мозку [131].

Порівняння параметрів хребетного каналу проводиться з такими до пошкодження, розрахованими за неушкодженими рівнями вище та нижче зламаного хребця. Показано, що співвідношення сагітального та поперечного діаметрів на рівні травми достовірно знижується у хворих з неврологічним дефіцитом, головним чином за рахунок збільшення міжпедикулярного поперечного діаметра, що призводить до більш еліпсоподібної форми хребетного каналу. Стеноз хребетного каналу менше 40 % спостерігається у більшості пацієнтів із неврологічними симптомами. У той самий час слід зазначити, що ступінь звуження каналу, за якою розвиваються неврологічні порушення, варіює

залежно від локалізації і становить  $\geq 35$  % лише на рівні  $T_{XI}-T_{XII}$   $\geq 45$  % лише на рівні  $L_I$  і  $\geq 55$  % лише на рівні  $L_{III}$  і нижче [132].

При переломовивихах на КТ-сканах вимірюють ступінь трансляції тіла хребця. Зміщення хребця більше 3,5 мм пов'язане з пошкодженням заднього зв'язкового комплексу [123].

### 1.7.3 Магнітно-резонансна томографія

Хоча неврологічний статус зазвичай оцінюється клінічно, рекомендується використовувати МРТ для визначення топіки та ступеня ушкодження спинного мозку. З радіологічної точки зору медулярні ураження діляться на три типи на основі T2-зважених зображень:

- I тип — являє собою крововилив у СМ, показує початкову гіпоінтенсивність сигналу на МРТ-сканах і означає поганий прогноз для функціонального відновлення;

- II тип — є набряк спинного мозку, має початкову гіперінтенсивність сигналу і очікується кращий прогноз;

- III тип — відзначається змішана картина, яка розцінюється як забій або невеликий центральний крововилив, оточений набряком, і має проміжний прогноз [133].

МРТ також може кількісно оцінити рівень анатомічного ушкодження спинного мозку. Набряк спинного мозку, обмежений одним хребетним руховим сегментом або меншим обсягом, має набагато кращий прогноз для неврологічного відновлення, ніж більш поширені зміни [134].

У підгострому післятравматичному періоді у багатьох пацієнтів спостерігається внутрішня фіксація ушкодженого сегмента хребта металевою конструкцією, і клінічні питання частіше пов'язані з післяопераційною інфекцією, післяопераційною кровотечею та причиною висхідного неврологічного дефіциту або болю. Артефакти металоконструкцій традиційно обмежували інформацію, доступну за допомогою МРТ у цій ситуації. Однак ретельний вибір способу

нейровізуалізації з використанням послідовностей швидкого спін-відлуння, збору даних з коротким тау-інверсійним відновленням та високою пропускнуою здатністю зазвичай може забезпечити відмінні зображення, особливо якщо під час операції використовувалася фіксація титановими пристроями. У підгострому післятравматичному періоді менш важливо візуалізувати весь хребет, і зазвичай досить прицільних сагітальних T1-, T2-зважених та аксіальних зображень високої роздільної здатності ділянки пошкодження [135, 136].

На МРТ спостерігається спектр змін гостро пошкодженого спинного мозку від струсу мозку, невидимого при візуалізації, через набряк мозку, геморагічне забиття та гематому СМ до повного анатомічного дефекту спинного мозку. Радіологічна та патологічна кореляція використання МРТ при травмі СМ підтверджується дослідженнями на тваринах та патологоанатомічними дослідженнями. Це забезпечує хорошу доказову основу використання нейровізуалізації з метою клінічної діагностики ступеня ушкодження СМ [137].

Клінічні проблеми, що виникають у підгострому періоді (зазвичай через від 2 до 6 тижнів після гострої травми), включають погіршення неврологічного стану та інфекцію. Біль частіше носить нейропатичний характер та оцінюється клінічно, а не методами візуалізації [135].

Поява гематоми спинного мозку на МРТ, тяжкість максимальної компресії СМ та тривалість його набряку значною мірою пов'язані з найгіршими довгостроковими показниками функціонального відновлення та є важливими факторами при плануванні невідкладної неврологічної та нейрохірургічної допомоги [134].

МРТ є необхідним та достовірним методом візуалізації ушкодження при підозрі на порушення цілості заднього зв'язкового комплексу навіть за відсутності неврологічного дефіциту, оскільки наявність розриву ЗЗК є показанням до хірургічного лікування. Точність МРТ-візуалізації вища при виявленні

ушкоджень надостної зв'язки і жовтої зв'язки і трохи нижче при ушкодженні міжостистої зв'язки і капсули дуговідросткових суглобів [138].

### 1.8 Лікування пацієнтів з травмою грудного відділу хребта

На ранньому догоспітальному та госпітальному етапах лікування хворих з травмами грудного відділу хребта передбачає в основному загальні лікувальні заходи в лікуванні хребетно-спинномозкових травм.

Лікування починають на догоспітальному етапі, основне завдання якого — не погіршити стан хворого під час його транспортування в стаціонар. Догоспітальна допомога включає збереження або нормалізацію життєво важливих функцій (дихання, гемодинаміки), фіксацію хребта, введення нейропротекторів (метилпреднізолон).

Надання допомоги хворим у гострому періоді хвороби: нормалізація дихання й гемодинаміки, катетеризація сечового міхура й центральної вени, симптоматичне лікування (за алгоритмом ABC — airway, breath, circulation — дихальні шляхи, дихання, кровообіг).

Протипоказаннями до операції є: шок, поєднані ушкодження, які необхідно швидко ліквідувати.

а) Основні завдання хірургічного лікування пацієнтів із травмою хребта:

- 1) декомпресія спинного мозку і його корінців;
- 2) стабілізація хребта з метою ранньої імобілізації й прискорення утворення кісткової мозолі;
- 3) створення умов для проведення ранньої реабілітації пацієнта;
- 4) профілактика розвитку пізньої деформації в зоні перелому;
- 5) профілактика розвитку больового синдрому.

б) Показання до хірургічного втручання:

- 1) деформація хребетного каналу, виявлена під час рентгенологічного обстеження, КТ або МРТ, що може свідчити про компресію СМ або звуження хребетного каналу на 30 % і більше;
- 2) наявність кісткових або м'якотканинних фрагментів у спинномозковому каналі;
- 3) часткова або повна блокада лікворних шляхів;
- 4) прогресування дисфункції СМ;
- 5) нестабільність хребетно-рухового сегмента, що створює небезпеку наростання неврологічної симптоматики.

Алгоритм показань до вибору методів лікування травми хребта і спинного мозку залежно від стабільності перелому й наявності неврологічного дефіциту:

а) без неврологічного дефіциту:

- 1) стабільний перелом — хірургічне втручання не потрібне. Показана тораколюмбосакральна зовнішня фіксація;
- 2) нестабільний перелом — показана задня стабілізація.

б) Із частковим неврологічним дефіцитом:

- 1) стабільний перелом. Показане виконання ламінектомії, у разі наявності кіфотичної деформації — у поєднанні із задньою стабілізацією;
- 2) нестабільний перелом. Показана передня декомпресія спинного мозку із видаленням тіла хребця або його частини із виконанням спондилодеза кістковим трансплантатом або керамічними, титановими протезами і додатковою передньою або задньою фіксацією.

в) З вираженим неврологічним дефіцитом — показана ламінектомія із задньою стабілізацією для переведення пацієнта у вертикальне положення у ранньому післяопераційному періоді для проведення ранньої реабілітації пацієнта.

Хірургічні доступи визначаються характером пошкодження хребта і спинного мозку. При ушкодженні тіл використовуються передні, передньо-бокові доступи, при ушкодженні дуг, суглобових відростків — задні, задньо-бокові доступи, при наявності гематом (суб-, епідуральних та інтрамедулярних) застосовуються задні або комбіновані доступи, залежно від локалізації кісткових ушкоджень. Операція завжди завершується стабілізацією хребта (внутрішньою й зовнішньою). Основний принцип лікування стиснення спинного мозку — рання відкрита або закрита його декомпресія з подальшою надійною стабілізацією ушкодженого сегмента хребта.

Абсолютними показаннями для хірургічного втручання є ушкодження дурального мішка, що виявляється при мієлографії, КТ чи МРТ, переломи хребців з ушкодженнями дужок, уламкові переломи тіл хребців із заднім зміщенням уламків у хребетний канал; велика секвестрована грижа міжхребцевого диска.

Критеріями ефективності та очікуваними результатами лікування є покращення стану пацієнта, певний регрес неврологічної симптоматики, стабільність ушкодженого відділу хребта за клінічною симптоматикою та даними контрольних обстежень методами променевої діагностики — функціональної спондилографії та КТ.

**Хірургічна тактика лікування переломів грудного відділу хребта.** За даними огляду літератури було визначено, що більшість переломів хребців виникає у перехідному грудо-поперековом відділі хребта. Звісно, що і кількість публікацій та рекомендацій з лікування хребетно-спинальних травм відносяться до цього відділу хребта. Більш того, рекомендації щодо лікування переломів грудного відділу не відрізняються від рекомендацій лікування поперекового та грудо-поперекового відділів хребта. Але, як було розглянуто вище, біомеханіка та будова грудного відділу хребта відрізняється від більш рухливих поперекових відділів.

Додаткову стабілізацію грудних сегментів забезпечує задній кістковий комплекс — анатомо-біомеханічна структура, що є частиною концепції

чотириколонної стабільності грудного відділу хребта [92]. Пластинки у грудному відділі хребта короткі, товсті та широкі. Грудні пластинки та остисті відростки спрямовані назад і вниз, перекриваючи один одного, як черепиця [139]. На відміну від поперекового відділу хребта, кісткова «складна» геометрія, що спостерігається ззаду в грудній клітці, є інтегрованою структурою, яка протидіє надмірним рухам. На підтвердження цього обґрунтування було проведено біомеханічні дослідження ролі задніх елементів у грудному відділі хребта. Існуючі дані вказують на те, що послідовна резекція заднього кісткового комплексу призвела до прогресивного збільшення рухів у всіх площинах руху [94, 140].

В дослідженні, яке виконали німецькі дослідники [141], проведено аналіз методів та показань до хірургічного лікування травм грудного відділу хребта. Як було визначено дослідниками, історично склалося так, що травми грудного відділу хребта й грудної клітки лікувалися переважно неоперативно [142], навіть переломи з неврологічними ознаками [143]. Хоча було доведено, що нестабільні переломи типів В і С, переломи з травмами спинного мозку мають кращий прогноз після хірургічного лікування [144, 145].

Переломи типів А2 та А3 також можуть лікуватися хірургічно, але неоперативний метод є часто виправданим [146, 147]. Консервативне лікування включає в себе фізіотерапевтичну іммобілізацію, ізометричне укріплення м'язів спини та медикаментозне зменшення больового синдрому, але згідно останнім дослідженням недоведена достатня ефективність консервативного лікування переломів грудного відділу хребта [148, 149]. Хоча вибір методу лікування насамперед залежить від конкретного пацієнта та хірурга.

Згідно літературних даних, показанням до хірургічного лікування травм грудного відділу хребта є наявність неврологічних розладів, нестабільність та злоякісні пухлини [85, 150].

Відкрита травма хребта та неврологічний дефіцит, пов'язаний з переломами, є абсолютним показанням до хірургічного втручання. Вище ми

давали загальні ознаки стабільних та нестабільних переломів хребта за А. White та М. Panjabi. Для грудного відділу хребта відповідно класифікації АО травми типів В й С вважаються нестабільними [151], щодо перелому А, то ці переломи викликають суперечки у хірургів. Деякі автори вважають переломи А4 — це переломи повні розривні, вважають нестабільними, інші аргументують тим, що такі переломи можуть бути як стабільними, так і нестабільними [147]. Відносними показаннями до хірургічного лікування, за даними авторів, є будь яка зміна кута сагітальної нижне-верхньої кінцевої пластини більше 15-20° та/ або кут сколіозу більше 10°, ушкодження більше 30 % тіла хребця відповідно класифікації розподілу навантажень McCormack et al. [92], виражений стеноз хребетного каналу або ураження міжхребцевого диска.

**Стабілізація грудного відділу хребта.** З біомеханічної точки зору, довгосегментна інструментація, що простягається щонайменше на два рівні над та під переломом хребця, значно ефективніше іmobilізує пошкоджений сегмент, ніж конструкції з короткосегментною інструментацією [152, 153]. Довго сегментна інструментація грудного відділу хребта забезпечує зменшення розгинання / згинання на 90 %, однак, нещодавній аналіз кінцевих елементів показує, що стабілізації короткого сегмента цілком може бути достатньо для фізіологічного навантаження [154, 155].

За даними В. С. Lazaro et al. [156] конструкції з короткими сегментами досягають більшої стабілізації за рахунок додаткового використання коротких транспедикулярних гвинтів у місці перелому фрагментованого хребця, при тому стабільність покращується за рахунок додаткового використання поперечних зв'язків (поперечин). Це веде до збільшення стабілізації на 25 % у порівнянні з просто мостоподібними конструкціями, хоча повна біомеханічна стабільність довгосегментних інструментацій не досягається [157-161]. Але за даними М. Waqar et al. [162] при використанні тільки коротких мостоподібних конструкцій спостерігається більше рецидивів кіфозних деформацій. Деякі автори [163], визначили, що при лікуванні травм грудної клітини не має помітної

різниці у функціональних результатах між довгою та короткою інструментальними фіксаціями. За даними M. Vassal [164] і U.J. Spiegl et al. [165], треба враховувати, що травми грудного відділу хребта часто супроводжуються травмою грудної клітини, і такі переломи більш нестабільні, ніж суто травми хребта. Тому при одночасній травмі хребта та грудної клітини показані довгі інструментації [162, 163, 165].

Діаметр педикулярних гвинтів для інструментації грудних хребців менший, ніж для аналогічних операцій поперекового відділу. За даними деяких авторів мінімальний діаметр гвинтів становив від 3,0 мм до 3,5 мм на рівні Th<sub>VI</sub> [166, 167], в інших дослідженнях вказується найменший діаметр гвинтів 4,5 мм на рівні Th<sub>IV</sub> [168]. Такі розбіжності можуть призвести до збільшення частоти ускладнень в лікуванні, таких як збільшення числа зміщень гвинтів [169]. За даними A. Gonzalvo et al., частота зміщення транспедикулярних гвинтів становить 33 % для діаметра ніжки менше 55 мм та 11 % при діаметрі ніжки від 5 мм до 7 мм [170]. Рекомендується індивідуальний підбір гвинтів, але не менше 5 мм і кутовими, розташування гвинтів рекомендується якомога ближче до кортикального шару кістки [160, 171]. При невеликих розмірах хребта в грудному відділі рекомендують використовувати парapedикулярні гвинти [144-172].

При дослідженнях на трупах, транспедикулярні гвинти показують від 15 до 50 % випадків неправильного розміщення, такого як порушення кортикального шару ніжки [173], але ситуація значно покращується при використанні комп'ютерної навігації [173-175].

Для визначення оптимального проведення транспедикулярних гвинтів група американських вчених [176, 177] за даними томографічних досліджень 120 грудних хребців Th<sub>I</sub>-Th<sub>XII</sub> були анатомічно сегментовані та надруковані на 3D принтері. Записували діаметри і відстань ніжок від середини верхньої фасетки до вентральної пластинки. Гвинти вводилися від руки, орієнтуючись тільки на задні орієнтири. Хребетні моделі були коронарно розрізані та обстежені на наявність медіальних або бічних порушень стовбура після установки гвинта. При

використанні стандартних контрольних точок заднього елемента для інструментарію порушень стінки ніжки не виявлено. Дослідники пропонують цей метод прототипування моделі хребця для хірургічного навчання, а також для планування складних клінічних прикладів [178, 179].

При неврологічному дефіциті при ушкодженнях грудного відділу хребта для запобігання паралічів рекомендується проведення прямої декомпресії хребетного каналу шляхом ламінектомії з задньою стабілізацією [151].

В ретроспективному огляді D. A. Gattozzi et al. проаналізували лікування переломів верхньогрудного відділу (Th<sub>I</sub>-Th<sub>VI</sub>), який є складним через унікальні біомеханічні та фізіологічні характеристики. Зазвичай ці травми супроводжуються множинними супутніми травмами та важкими ушкодженнями спинного мозку [179]. Дослідження показало, що хірургічна стабілізація переломів грудної клітки показала позитивні результати, включаючи більш швидку мобілізацію та коротші періоди госпіталізації та реабілітації [180]. Хоча було багато ранніх та пізніх ускладнень через характер політравматичних ушкоджень, не було серйозних судинних пошкоджень або післяопераційного неврологічного дефіциту внаслідок декомпресії або інструментації після операції. Отримані дані підтвердили дані інших дослідників [181, 182].

За даними ретроспективного аналізу A. Dru et al. [183] було проведено огляд 28 хірургічно пролікованих пацієнтів з переломами грудного відділу хребта. Оцінку неврологічного стану визначали за ASIA. Пацієнтів з поганою неврологічною оцінкою (A-C) було 25 %, інші мали більш високі оцінки (D, E). Всім пацієнтам проводили задню фіксацію транспедикулярними конструкціями для стабілізації. П'ятдесят відсотків пацієнтів із травмою спинного мозку C або D покращили 1 або більше ступенів ASIA. Не було периопераційних ускладнень. Дослідники зазначають, що розташування перелому не корелює значною мірою з перед- або післяопераційним неврологічним статусом. Рання задня стабілізація зберегла неврологічну функцію, при цьому неврологічне відновлення відбулося у частини осіб.

**Хірургічне лікування. Одноетапна та двоетапна задня-передня стабілізація.** Передній доступ до хребців грудного відділу використовується давно, особливо при вибухових переломах. Переваги переднього доступу полягають у захисті задніх м'язів, прямій декомпресії передніх структур нервового імпульсу та біомеханічно ефективної стабілізації. Зазвичай такий доступ показаний тільки для Th<sub>v</sub>-Th<sub>vi</sub> хребців. Для рівнів вище значно зростає частота ускладнень.

При розгляді показань до задньо-переднього доступу переломів грудної клітини виникає питання про переваги одноетапного перед двоетапним підходом. За даними Verheyden et al. [184], середній час одноетапної операції становив 210 хвилин, а двоетапної — 240 хвилин. За даними інших авторів [185, 186] час одноетапних операцій в середньому становив 157 хвилин, а двоетапних від 185 [187] до  $(230 \pm 78)$  хвилин [188].

Останнє дослідження торкнулося порівняння у ефективності одно чи двоетапної хірургії грудного відділу хребта при лікуванні нетривалого грудного спінального стенозу — рідкого захворювання, але складного клінічно для вертебологів [189]. Вивчали результати лікування пацієнтів, яким було проведена торакальна декомпресія на двох сегментах з двома доступами. Пацієнтам виконували задню та кругову декомпресії в одноетапній хірургії, задню та кругову декомпресії в двоетапній хірургії; задню декомпресію в одно та двоетапній хірургії. Спостереження за пацієнтами проводили від 1,5 до 6 років. За результатами досліджень було визначено, що задня декомпресія за допомогою ламінектомії в одну операцію з двома розрізами може досягти задовільних клінічних результатів. Поетапне хірургічне втручання, включаючи процедури кругової та задньої декомпресії, рекомендується пацієнтам з переважно передньою компресією.

В останні роки розвиток отримали методи малоінвазивної хірургії, зміни торкнулися і хірургії грудного відділу хребта. Грижі диска, деформації, інфекції, пухлини, вроджені захворювання та травми лікуються ендоскопічною технікою.

У літературі переваги перед відкритою торакотомією полягають у збільшенні видимості та скороченні: часу відновлення, крововтрати, витрат, рівня інфекції та післяопераційної захворюваності. Деякі недоліки: вибіркова інтубація, значна крива навчання, технічні труднощі в роботі з дуже маленькими дітьми, відновлення твердої мозкової оболонки та обладнання. Хоча переваги, очевидні і існує виражений ступінь ентузіазму, автори обережно стверджують, що торакоскопія вже є певною альтернативою традиційній торакотомії [190].

У більш пізніх оглядах результатів ендоскопічних операцій хребта автори все більше наводять приклади успішних втручань [191]. Автори відмічають, що торакоскопічна хірургія в багатьох випадках є альтернативою традиційній відкритій хірургії. Трансдіафрагмальний доступ уможливив ендоскопічне лікування багатьох процесів грудопоперекового переходу, що розширило спектр терапевтичних показань. До них відносяться лікування переломів і деформацій, а також реконструкція пошкоджених сегментів хребта і декомпресія хребетного каналу при будь-яких етіологічних процесах, якщо розташування ураження сприятливе для передньобокowego доступу. Гарні клінічні результати торакоскопічної хірургії підтверджуються зростаючим досвідом, відображеним у великій кількості статей. Ступінь ускладнень при торакоскопічній хірургії в порівнянні з відкритою операцією, має переваги в меншій болючості доступу і подальшому одужанні пацієнта [192, 193].

Черезшкірний доступ для дорсальної стабілізації грудних хребців використовується доволі широко. За даними J. Rillig et al. [193] після черезшкірного доступу було зареєстровано біля 4 % ускладнень тоді як при відкритих доступах ускладнення сягали 24 %. Ускладнення, які вимагали повторних втручань частіше зустрічалися при відкритих доступах.

Аналогічні результати були отримані при проведенні аналізу результатів лікування 491 пацієнтів (рівень перелому від Th<sub>I</sub> до L<sub>V</sub>) з неврологічним статусом від А до С [194]. У 91,4 % усіх пацієнтів після стабілізації дорсальної ділянки після травматичного перелому хребта під час перебування в лікарні жодних

ускладнень не виникало. Рівень ускладнень склав 14,8 % від 42 пацієнтів, якщо був використаний відкритий хірургічний підхід, і був значно меншим — 5,3 % при черезшкірному хірургічному доступі. Післяопераційне перебування в лікарні також було значно скорочено при використанні черезшкірного хірургічного підходу. Згідно з поточним дослідженням, черезшкірна дорсальна стабілізація хребта також може бути безпечно використана у випадках травм і не обмежується дегенеративною хірургією хребта.

На нашу думку, більшість досліджень заснована на визначенні результатів лікування з використанням певного методу, ставлячи за головне анатомію й обсяг руйнації хребта, без урахування структур, які залишились неушкодженими і можуть зберігати певну рівновагу (стабільність). Саме визначення порушення стабільності хребта є ключем щодо довжини інструментації.

### 1.9 Експериментальні біомеханічні дослідження ушкоджень грудного відділу хребта

Експериментальними біомеханічними роботами було доведено, що можна відновити скомпроментований хребтовий канал у пацієнтів із вибуховими переломами. Встановлено, що комбінована компресія з дистракцією призводить до розширення хребтового каналу та міжхребцевих отворів [195]. Ще в 1978 році А. А. White і М. Panjabi сформулювали органну модель хребта, в якій розглядали його як єдину напівжорстку стабільну конструкцію. За наявності деформації хребта на її верхню частину діє сила тяжіння  $F_g$ , направлена вертикально вниз, та згинальна, направлена в увігнутий бік деформації. Сумарний вектор цих сил завжди направлений вертикально вниз і в бік увігнутості деформації. За умов стабільності системи на вершину деформації діє сила  $F_3$ , направлена з боку випуклості. Конструкція є стабільною лише тоді, коли сума векторів сил дорівнює нулю. Вони встановили, що діюча на хребет сила тяжіння  $F_g$  і згинальна сила  $F_f$  мають різні значення за різних величин деформації. У разі незначної деформації значення згинальних сил значно перебільшують показник гравітації. Зі збільшенням

деформації значення гравітації починає зростати, критичною є величина деформації понад  $53^\circ$  [57].

В інституті ім. проф. М. І. Ситенка було створено біомеханічну фізичну модель компресійного перелому і встановлено, що загальна міцність тіл хребців у разі повторних навантажень може не змінюватись або збільшуватись, що залежить від наявності остеопорозу, віку, статі тощо. Автори встановили, що наявність остаточної деформації на рівні ушкодженого хребця компенсується зменшенням грудного кіфозу та збільшенням поперекового лордозу [196, 197].

Виявлено експериментальні роботи, присвячені порівнянню довгої та короткої інструментації. Довгі конструкції найкраще застосовувати для лікування грудних і грудопоперекових переломів, а коротка фіксація має переваги в разі поперекових. Цілісність передньої опори визначає ризик сагітального ушкодження та можливість формування кіфозу на грудопоперековому переході. Розуміння і використання фундаментальних біомеханічних принципів необхідні для того, щоб зробити конструкцію надійною [198].

Застосування поперечної стяжки, доданої до задньої фіксації короткого сегмента, підвищує жорсткість і зменшує рухомість під час осьового навантаження, але не відновлює базової стійкості моделі. Шестигвинтова задня фіксація також виявилася недостатньою для відновлення стабільності під час згинання в разі вибухового перелому тіла хребця на рівні грудопоперекового відділу хребта, проте вона надає змоги досягти базової стабільності під час бокового згинання, а поперечні стяжки забезпечують ще більшу жорсткість [199].

V. Bartanusz зі співавт. [200] виконали біомеханічний аналіз методик передньо-задньої та задньої короткої й довгої фіксацій і не виявили суттєвої переваги комбінованих передньо-задніх конструкцій. Лише в разі використання багаторівневої задньої інструментальної фіксації з передньою опорою вдалося забезпечити підвищену стабільність.

В експерименті на свіжозамороженому поперековому відділі хребта б свиней моделювали вибуховий перелом і стабілізували його за допомогою короткої конструкції з або без додаткових гвинтів на рівні ушкодження. Модель випробували на згинання, розтягнення, бокове вигинання та кручення. Доведено, що

використання проміжних гвинтів забезпечувало менший діапазон рухів у разі всіх видів навантаження, тобто значно збільшувало жорсткість фіксації короткоосegmentарної конструкції [201].

Фахівці здійснили експериментальне дослідження [202], у якому вивчали передню та задню фіксації. Вони довели, що задня і комбінована передня та задня фіксації надають жорсткішу конструкцію, ніж передня фіксація самотійно, але цей результат дещо залежить від ступеня ушкодження хребта. Значення доданої стабільності, що забезпечується інструментальними приладами, слід розглядати в контексті якості кістки, супутніх захворювань, деформацій і неврологічного дефіциту, пов'язаних з конкретним випадком.

Таким чином, більшість біомеханічних досліджень виконано на моделях хребта в режимі фіксації та спрямовані вони були на випробування властивостей міцності металевих конструкцій. Порівнювали ефективність різних фіксаторів. Ми не виявили робіт, де вивчали б розподіл внутрішніх напружень за різних методів стабілізації хребта, в яких ділянках конструкцій концентруються найбільші напруження і як вони змінюються враз збільшення/зменшення кількості гвинтів або додавання міжхрецевої опори. Не знайдено інформації про внутрішні напруження в пошкодженому хребті на момент травми та в процесі лікування.

У літературі [203, 204] описано принципи побудови різних кінцево-елементних моделей хребта і порівняння їх з експериментальними даними, проте для моделей з варіантами руйнації різних відділів хребта і суміжних дисків таких досліджень мало. Зокрема, наведено результати дослідження *in vitro* механізмів руйнації у випадках грудопоперекових вибухових переломів [205]. Експериментально перевірялися трисегментні блоки хребців Th<sub>VIII</sub>-Th<sub>X</sub>, Th<sub>X</sub>-Th<sub>XII</sub>, Th<sub>XI</sub>-L<sub>I</sub>, Th<sub>XII</sub>-L<sub>II</sub>, для яких була побудована і скінчено-елементна модель. Проте подальшу поведінку моделі (після руйнації) не досліджували. На сьогодні недостатньо вивчено поведінку блоку хребців після руйнування. Неповне розуміння механізмів перерозподілу зусиль призводить до різних трактувань способів фіксації переломів.

Таким чином, класифікації ушкоджень грудного відділу хребта F. Magerl AOSpine Thoracolumbar Spine Injury Classification System, TLICS, розподілу внутрішніх напружень McCormack безумовно є визнаними та поширеними у світі,

вони дозволяють обрати метод лікування, проте мають певні недоліки. Зокрема, класифікація TLICS не враховує ступінь стенозу хребта, від якого залежить тактика хірургічного втручання: критичний рівень стенозу обумовлює видалення кісткового фрагменту, а середній ступінь звуження хребтового каналу може потребувати лише корекції деформації та стабілізації. Також недостатньо вивчено поведінку блоку хребців після ушкодження. Недостатнє розуміння механізмів перерозподілу зусиль призводить до суперечностей щодо способів фіксації переломів.

Таким чином, за результатами аналізу наукової літератури встановлено відсутність єдиної думки щодо застосування різних методів лікування пацієнтів із вибуховими переломами та переломами тіл хребців із distraкцією та ротацією. Виявлено, що використовувані класифікації переломів тіл хребців орієнтовані на оцінювання стану лише ушкоджених структур хребтового рухового сегмента, без урахування особливостей структури неушкоджених компонентів. Під час планування лікувальних заходів поза увагою фахівців залишається величина кіфотичної деформації хребта, недостатньо враховується ступінь морфологічних змін і стенозу хребтового каналу, а також взаємозв'язок між ними. Не вирішено такі питання хірургічної тактики, як необхідність використання міжхребцевої опори, довжина інструментації, виконання кісткової пластики, відновлення просвіту хребтового каналу.

## 2 МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Клінічні дослідження

Матеріал клінічного дослідження - протоколи клініко-рентгенологічного обстеження 103 хворих з травматичними переломами тіл хребців грудного відділу хребта. Середній вік пацієнтів становив 34,3 роки. Чоловіків було 70 (68,0 %), жінок — 33 (32,0 %). Усі хворі заходилися під наглядом у відділенні вертебрології ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені проф. М.І. Ситенка НАМН України».

Критерії включення — неускладнені й ускладнені вибухові переломи та переломи тіл хребців із дистракцією та ротацією грудного відділу хребта. Критерії виключення — остеопоротичні та патологічні переломи тіл хребців грудного відділу хребта.

Дане дослідження проведено відповідно до принципів біоетики, викладених у Гельсінській декларації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людей» та «Загальній декларації про біоетику та права людини (ЮНЕСКО)» та здійснювалось після ухвалення Комітетом з біоетики ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені проф. М.І. Ситенка НАМН України» (протокол № 202 від 13.10.2020).

Клінічний огляд пацієнта проводили за стандартною схемою. При вивченні анамнезу хвороби, зокрема, деталізували механізм травмування: у разі падіння з висоти уточнювали кількість метрів або поверхів; при дорожньо-транспортній пригоді (ДТП) — характер зіткнення (фронтальне, бокове, фронтально-бокове, задге тощо) та місце розташування постраждалого (пішохід, водій транспортного засобу, пасажир переднього чи заднього сидіння). При зборі скарг акцентували увагу хворого на відчуттях відразу після травми: характер болю у хребті, особливості функції кінцівок (наявність парестезій, активних рухів).

У всіх пацієнтів ретельно досліджували ортопедичний статус. Стан

грудного відділу хребта в сагітальній площині оцінювали в положенні постраждалого на боку, з акцентом на наявність деформації хребта та розширення міжостьового проміжку, інтенсивність та локалізацію больових відчуттів при пальпації. Амплітуду активних та пасивних рухів у хребті не досліджували через небезпеку зміщення кісткових фрагментів тіла зламаного хребця з ушкодженням невральних структур.

Для оцінки рівня, ступеня й типу неврологічного дефіциту першорядне значення мали показники змін у чутливій сфері та руховій функції; стан рефлекторної сфери мав додаткове значення [118, 206, 207].

Якщо функцію деяких м'язів визначити не вдавалось через обставини, не пов'язані з травмою грудного відділу хребта (наприклад, перелом кінцівки), цей факт обов'язково вносили до протоколу дослідження. За наявності тяжких супутніх ушкоджень (переломи кінцівок, ушкодження плечового сплетіння, струс або забій головного мозку), які заважали провести неврологічне дослідження, його виконували пізніше.

Стан чутливої сфери визначали за методикою Кігана по 28 дерматомах по лівому та правому боках тулуба й нижніх кінцівок. Реакцію на укол або легке торкання оцінювали за трибальною шкалою:

- 0 — відсутність чутливості;
- 1 — порушення (гіпо-гіперестезія);
- 2 — норма.

Додатково аналізували реакцію на глибокий тиск і м'язово-суглобове відчуття — їхню відсутність, часткове або повне збереження. Стандартно на кінцівках м'язово-суглобове відчуття визначають на першому пальцю нижньої кінцівки з обох боків.

Рухову функцію виявляли по ключових м'язах у десятипарних міотомах [208]. Дослідження виконували в напрямку зверху-вниз. Силу кожного м'яза оцінювали за шестибальною шкалою:

- 0 — відсутність рухів (плегія);

- 1 — візуально або пальпаторно визначають скорочення м'язів;
- 2 — активні рухи, не здатні протидіяти силі гравітації;
- 3 — активні рухи, здатні протистояти силі гравітації;
- 4 — повністю активні рухи, які можуть протистояти помірному опору;
- 5 — помірно активні рухи, які можуть протистояти сильному опору.

Ступінь тяжкості та динаміку неврологічної симптоматики оцінювали відповідно до Міжнародних стандартів неврологічної класифікації травми спинного мозку (International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injured (ISNCSCI)) від Американської асоціації ушкодження спинного мозку (American Spinal Injury Association (ASIA)) та Міжнародного товариства спинного мозку (International Spinal Cord Society (ISCoS)) [118].

У процесі оцінювання м'язової сили максимальна сума балів для 10 сегментів кожного боку дорівнює 50, а з обох боків — 100. Вибір цих міотомів зумовлений тим, що вони найдоступніші для оцінювання в положенні хворого на спині, а також чітко визначені інервацією спинномозковими нервами. Для міотомів, клінічне дослідження яких проблематичне (Th<sub>12</sub>-L<sub>1</sub>, S<sub>12</sub>-v), вважають, що їхня чутливість у відповідних дерматомах еквівалентна до рухової. Додатково визначають функцію зовнішнього сфінктера прямої кишки на основі його скорочення під час пальцевого дослідження. Цей діагностичний тест дозволяє відрізнити повне ушкодження спинного мозку від часткового.

Додатково можливе визначення функції м'язів діафрагми (за рентгенограмою), дельтоподібного м'яза, м'язів передньої черевної стінки, групи згиначів і привідних м'язів стегна, функцію яких оцінюють як відсутню, часткову та повну.

Американська асоціація ушкоджень спинного мозку (American Spinal Cord Injury Association: ASIA) запропонувала шкалу оцінювання ушкоджень спинного мозку, яка складається з п'яти груп (A-E) залежно від чутливої і рухової функції [118]:

– тип А (повне порушення провідності спинного мозку або корінців кінського хвоста) — відсутність чутливої та рухової функції нижче рівня ушкодження;

– тип В (неповне порушення провідності) — відсутність рухів нижче рівня ураження при частковому збереженні чутливої функції;

– тип С (неповне порушення провідності) — наявність рухів нижче рівня ураження менше ніж 3 бали;

– тип D (неповне порушення провідності) — наявність рухів нижче рівня ураження більше ніж 3 бали;

– тип Е (норма) — неврологічна симптоматика відсутня.

Оскільки в дослідженні брали участь пацієнти з різним рівнем неврологічної симптоматики й ушкоджень, ступінь тяжкості неврологічного дефіциту виражали у відсотках від норми (суб'єктивна оцінка) й аналізували рухову та поверхневу чутливість згідно зі шкалою ASIA (об'єктивна оцінка). Оцінювали початковий рівень неврології з моменту травми, до та після хірургічного лікування. Критерій ефективності лікування — різниця показників контрольного терміну спостереження та передопераційних показників. Аналіз тяжкості неврологічної симптоматики у відсотках дозволяв проводити порівняння всередині групи.

За даними неврологічного статусу, превалювали неускладнені вибухові переломи тіла хребця грудного відділу хребта — 67 (65,0 %) спостережень. Відповідно, ускладнені вибухові переломи зареєстровано у 36 (35,0 %) випадках.

Ускладнені ушкодження розподілили на дві підгрупи. Перша мала неврологічну симптоматику у вигляді повного порушення провідності спинного мозку або корінців кінського хвоста типу А — нижньої параплегії, яка виникла безпосередньо в момент травми (зі слів хворого), і не змінювалась в процесі лікування (n=15). Друга група хворих була представлена частковим неврологічним дефіцитом типів В, С, D — неповне порушення провідності, за якої пацієнти після травми частково відчували кінцівки, і в них були рухи, далі, у

процесі хірургічного лікування, відбувався регрес неврологічних порушень до їхнього відновлення (n=24).

Неврологічний статус оцінювався в динаміці: в момент надходження до стаціонару (початковий рівень), перші два тижні та рік після операції. Після виписки хворого дані щодо неврологічних порушень отримувались за можливості в телефонному режимі. Динаміку неврологічної симптоматики оцінювали у відсотках:

- 0 — без змін;
- 1 — регрес неврологічної симптоматики від 0 % до 30 %;
- 2 — відновлення неврологічного дефіциту від 30 % до 70%;
- 3 — відновлення неврологічних порушень більше 70%.

За характером травми серед 103 пацієнтів ізольовані переломи грудних хребців виявлено у 85 (82,5 %) постраждалих; політравму зафіксовано у 15 (14,6 %) випадках (множинні ушкодження — 5 (4,9 %)); поєднана травма — 10 (9,7 %)). Саме наявність політравми визначала важкість загального стану хворих [209]. Усіх пацієнтів із політравмою віднесено до III, IV, V клінічних груп.

Також у 3 (2,9 %) військовослужбових зареєстровано бойову травму з ушкодженням тіл хребців грудного відділу хребта. Під бойовими ушкодженнями хребта ми розуміли такі, що були отримані під час бойових дій на сході України [210]. Серед пацієнтів із бойовими ушкодженнями хребта, які увійшли до наукового дослідження, один мав неускладнений неповний вибуховий перелом тіла хребця, отриманий в результаті дії вибухової хвилі; двоє— ускладнені вогнепальні ушкодження тіла хребця з певною втратою кісткової маси.

## 2.2 Методи візуалізації переломів грудного відділу хребта

### 2.2.1 Методи променевої діагностики

Всім хворим проводили рентгенографію грудного відділу хребта в стандартних (передньозадній та боковій) проекціях в динаміці. У разі консервативного лікування рентгенографію виконували після травми, на

наступний день після ортезування в положенні хворого стоячи, через 1, 3, 6 і 12 міс. після ортезування. У випадках хірургічного лікування рентгенографічне обстеження проводили перед і безпосередньо після хірургічного втручання, а також через 6 і 12 міс. після операції.

Комп'ютерну томографію грудного відділу хребта також виконано всім хворим після травми; в динаміці — 63 (61,2 %) пацієнтам, з яких у 21 (20,3 %) випадку обстеження проведено безпосередньо після операції, у 42 (40,8 %) — у віддаленому післяопераційному періоді під час контрольних оглядів (від 1 до 4 років, у середньому 21,2 міс.).

КТ виконували в різних рентгенологічних центрах на спіральних томографах у чотирьох режимах: оглядове (топограма), аксіальне, спіральне та безперервне динамічне сканування. Стандартизоване дослідження КТ-сканів проводили за допомогою ліцензованої програми Mx View: автономна діагностична станція з комунікаційним інтерфейсом DiCOM 3,0.

На аксіальних та сагітальних КТ-сканах визначали обсяг фрагментації тіла зламаного хребця за класифікацією Mc Cormack [92], наявність ретропульсації кісткового фрагмента (зміщення фрагмента дозад у хребтовий канал) й цілісність задніх кісткових структур (дуг хребців, остистих та суглобових відростків) — рис. 2.1, 2.2.

Тип вибухового перелома у грудному відділі хребта визначали за класифікацією F. Magerl et al. [90], яка є основою класифікації AOSpine Thoracolumbar Spine Injury Classification System (TLICS) [104]. Класифікація F. Magerl et al. відображує шкалу морфологічного ушкодження грудного хребця, за якою визначається ступінь нестабільності хребтового сегмента. Тяжкість травми з точки зору нестабільності виражається її ранжуванням у системі класифікації [90]. У класифікації F. Magerl et al. використана схема класифікації переломів АО, в якій переломи типу А відбуваються під дією сил компресії, переломи типу В — сил дистракції й переломи типу С — сил ротації. Кожен тип перелома має три групи, кожна з яких містить три підгрупи [90].

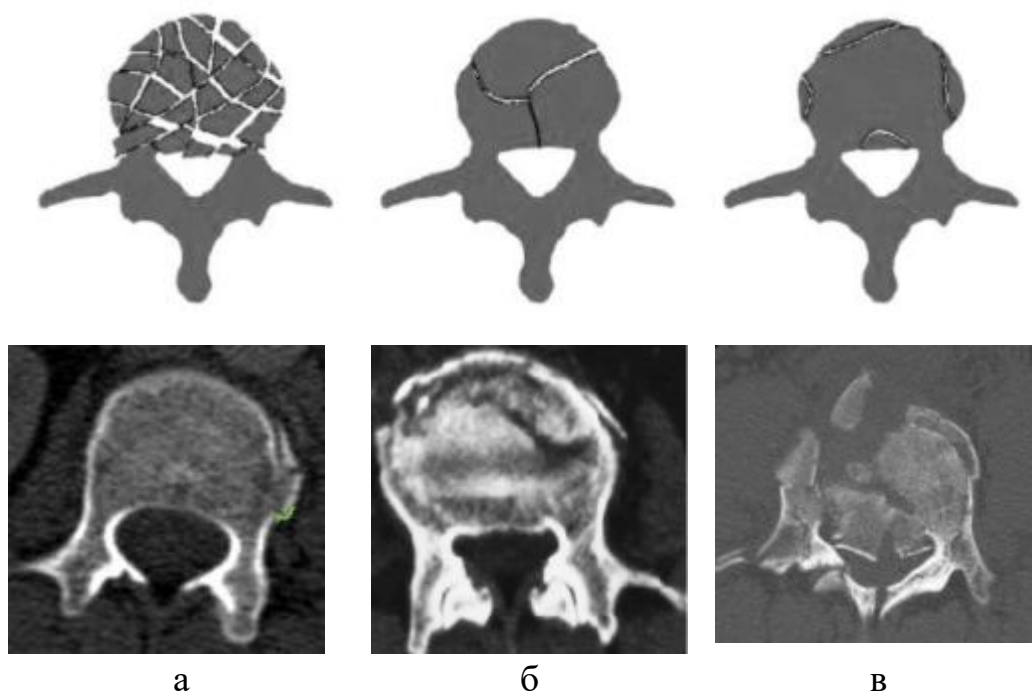


Рисунок 2.1 – Визначення ступеня фрагментації тіла хребця схематично за F. Fusini et al. [211] (зверху) та на аксіальних КТ-сканах (внизу): а) крайовий фрагмент, що включає замикальну пластинку хребця; б) вибуховий перелом без значного роздроблення та зміщення; в) фрагментація кісткових уламків зі зміщенням й ретропульсацією.

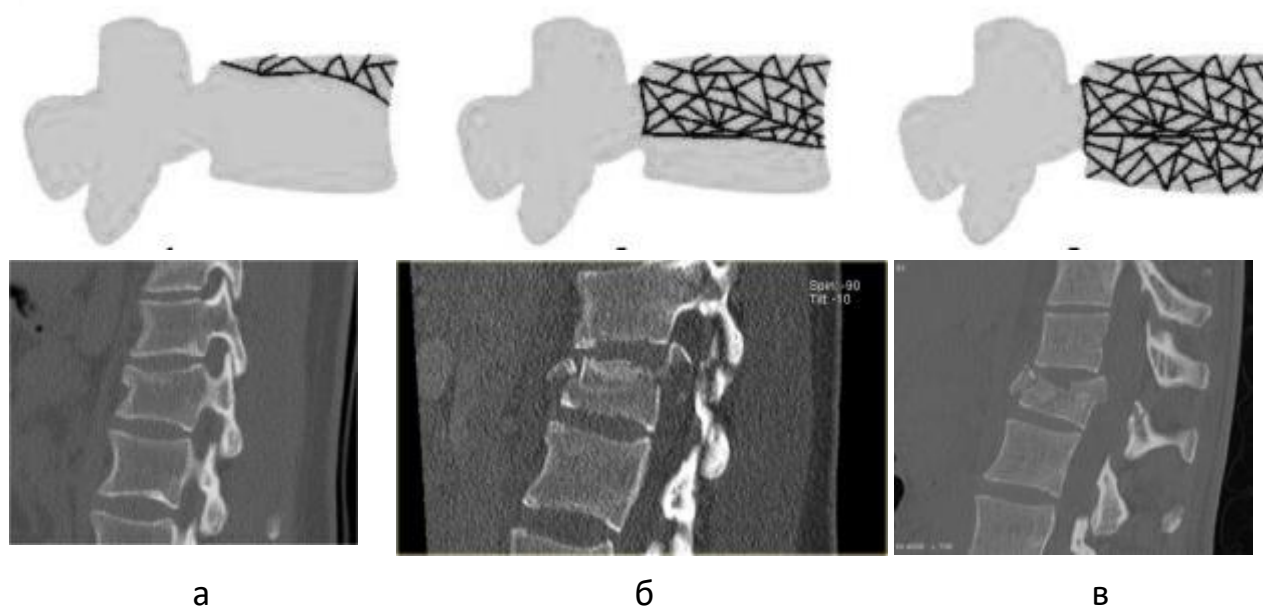


Рисунок 2.2 – Визначення ступеня фрагментації тіла хребця за класифікацією Mc Cormack [92] схематично за F. Fusini et al. [211] (зверху) та на сагітальних КТ-сканах (внизу): а) незначне ушкодження, менше  $1/3$  тіла хребця; б) ушкодження  $2/3$  тіла хребця; в) ушкодження всього тіла хребця

Для переломів типу А визначаються групи:

- А1 — компресійний перелом;
- А2 — осколковий перелом;
- А3 — вибуховий перелом.

У групі А3 виділяють:

- А3.1 — неповний вибуховий перелом (рис. 2.1, а; 2.2, а);
- А3.2 — осколково-вибуховий перелом (рис. 2.1, б; 2.2, б);
- А3.3 — повний вибуховий перелом (рис. 2.1, в; 2.2, в) [90, 109].

Переломи типу В підрозділяються на:

- В1 — травми з переважанням ушкодження заднього зв'язкового комплексу (В1.1 — у поєднанні з поперечним розривом диска; В1.2 — у поєднанні з переломом хребця типа А),

- В2 — травми з переважним ушкодженням кісткових структур заднього опорного комплексу (В2.1 — з переломом двох опорних колон; В2.2 — у поєднанні з поперечним розривом диска; В2.3 — у поєднанні з переломом хребця типа А) [90, 109].

Ураження типу С:

- С1 — тип А з ротацією (С1.1 — ротаційний компресійний перелом; С1.2 — ротаційний осколково-вибуховий перелом; С1.3 — ротаційний повний вибуховий перелом),

- С2 — тип В з ротацією (С2.1 — В1 з ротацією; С2.2 — В2 з ротацією; С3-В3 з ротацією),

- С3 — ротаційно-зсувні ушкодження [90, 109].

На нашому матеріалі за класифікацією F. Magerl et al. [90] найчастіше виявлено неповний вибуховий перелом типу А3.1 — 41 (39,8 %) випадок. Майже з однаковою частотою спостерігалися осколково-вибуховий перелом типу А3.2 й переломи типів АВ — 22 (21,4 %) і 20 (19,4 %) хворих відповідно. Найрідшими були спостереження з вибуховим перелом тіла хребця грудного відділу хребта з distraкцією типу С1.3 — 7 (6,8 %) — табл. 2.1.

Таблиця 2.1 — Розподіл хворих за морфологією вибухових переломів тіл хребців грудного відділу хребта за класифікацією F. Magerl et al. [90]

Морфологія ушкодження	Кількість хворих
A3.1	41 (39,8 %)
A3.2	22 (21,4 %)
A3.3	13 (12,6 %)
B1.2	8 (7,7 %)
B2.3	12 (11,7 %)
C1.3	7 (6,8 %)
Всього	103 (100,0 %)

### 2.2.2 Магнітно-резонансна томографія

МРТ виконано 88 (85,4 %) пацієнтам у передопераційному періоді з метою дослідження стану м'якотканинних структур грудних хребтових сегментів — міжхребцевих дисків, зв'язок і спинного мозку.

За стандартизованим протоколом МРТ здійснювали у сагітальній площині у T1- та T2-зважених режимах з пригніченням жиру. Залежно від виявленої патології та можливості хворого перебувати протягом часу в нерухомому положенні обстеження проводили в аксіальній та фронтальній площинах.

У T1-зваженому режимі МРТ-сигнал є гіперінтенсивним від рідинних середовищ, що дає змогу реєструвати ушкодження твердої мозкової оболонки з ліквореєю. (рис. 2.3, а). Гіперінтенсивність МРТ-сигналу у T2-зваженому режимі фіксується від міжхребцевих дисків, зв'язок та спинного мозку, що дозволяє виявляти набряк диска та розриви його фіброзного кільця, наявність фрагментів міжхребцевого диску у хребтовому каналі, комбінацію розриву диска та передньої поздовжньої зв'язки, а також оцінювати цілісність спинного мозку та його оболонок (рис. 2.3, б).



Рисунок 2.3 – МРТ грудного відділу хребта: а) Т1-зважений режим; перелом типу А3.3 тіла Th<sub>XII</sub> хребця з ретропульсацією заднього фрагменту, ушкодженням задніх відділів твердої мозкової оболонки й лікворреєю; б) Т2-зважений режим: перелом А3.3 тіла Th<sub>IV</sub> хребця з ретропульсацією заднього фрагменту й кутовим кіфозом 9°.

### 2.2.3 Рентгенометричні дослідження

Рентгенометричні дослідження включали дослідження:

- кута кіфотичної деформації за методом Cobb;
- відсотка;
- ступеня компресії переднього відділу тіла зламаного хребця;
- сагітальний діаметр хребетного каналу;
- параметрів сагітального хребетно-тазового балансу.

**Кут кіфотичної деформації за методом Cobb** [212] (рис. 2.4, а) з уніфікацією проведення верхньої лінії за Кеупан [131] визначали на бокових грудних спондилограмах, які виконувалися за можливістю у положенні стоячи. Наразі не існує стандарту проведення верхньої лінії по верхній замикальній пластинці хребця, розташованого над зламаним хребцем. Однак архітектура цієї пластинки може збільшити варіативність вимірювань за рахунок гребеня, розташованого на її (пластинці) задній частині, що викривляє звичайно плоску

поверхню тіла хребця (рис. 2.4, В). О. Кейнан et al. [131] пропонують в таких випадках проводити лінію паралельно плоскій поверхні тіла з ігноруванням гребеня верхньої замикальної пластини.

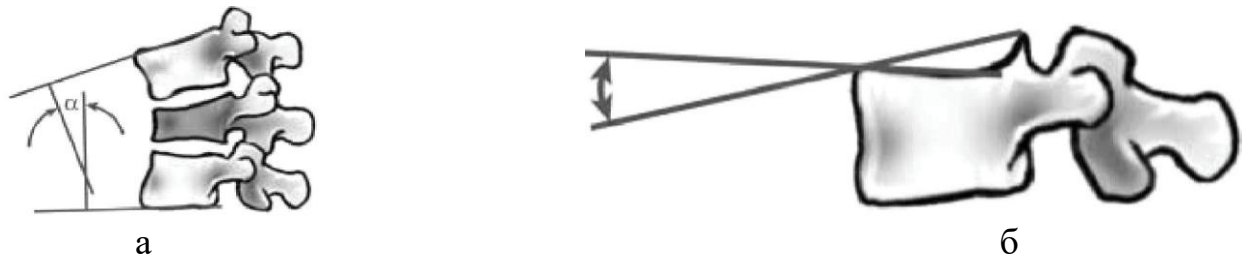


Рисунок 2.4 – Вимірювання кута за методом Cobb [212] (а) з уніфікацією проведення верхньої лінії за Кейнан (б) [131]

Вимірювання здійснювалися до операції і через 6 і 12 міс. після хірургічного лікування. Різниця у величині кифотичної деформації у віддаленому післяопераційному періоді (6 і 12 міс. після хірургічного втручання) свідчила про втрату корекції кифотичної деформації;

**Відсоток** компресії переднього відділу тіла зламаного хребця на бокових рентгенограмах грудного відділу хребта — вказує на ступінь недостатності передньої колони через компресію пошкодженого хребця порівняно з суміжними [131] (рис. 2.5), яка обчислюється за формулою:

$$\frac{[(V1 + V3)/ 2 - V2]/(V1 + V3)/2,}{(2.1) [131],}$$

де V1 — висота переднього краю хребця вище ушкодженого;

V2 — висота переднього краю ушкодженого хребця;

V3 — висота переднього краю хребця нижче ушкодженого.

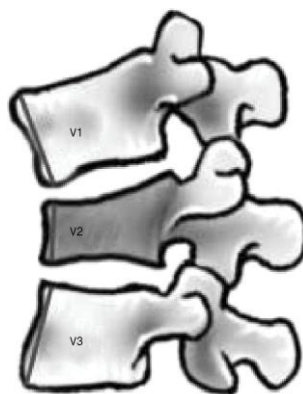


Рисунок 2.5 – Методика вимірювання відсотка компресії переднього відділу тіла зламаного хребця за Кейнан [131]

Величина даного показника понад 50 % може свідчити про прогностично несприятливий результат консервативного лікування [213]. Ступінь компресії тіла хребця обчислено за такою методикою: висота компресії передньої частини тіла хребця досягається співвідношенням між вертикальною висотою найбільше стиснутої ділянки ушкодженого тіла хребця та вертикальною висотою задньої частини тіла хребця;

**Ступінь компресії** тіла пошкодженого хребця на бокових грудних спондилограмах:

$$V_2 / V_4 \times 100\% \quad (2.2) [131],$$

де  $V_2$  — висота переднього відділу тіла ушкодженого хребця,

$V_4$  — висота заднього відділу тіла ушкодженого хребця.

Ступінь компресії тіла ушкодженого хребця прямо пов'язана зі ступенем фрагментації тіла хребця, яке визначають за допомогою КТ. Ступінь компресії тіла хребця характеризує зниження або відновлення його висоти до та після лікування. Ступінь фрагментації відображає особливість і обсяг ушкодження тіла хребця. Обидві величини подають у відсотках і їх слід розглядати разом;

**Сагітальний діаметр** хребетного каналу на аксіальних КТ-сканах визначали за методикою T. Isomi з співавт. [214], згідно з якою порівняльні вимірювання виконують на рівні неушкодженого й ушкодженого хребців на однаковому томографічному зрізі (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Вимірювання сагітального діаметру хребетного каналу на аксіальних КТ-сканах неушкодженого (а) й ушкодженого (б) грудного хребців за методикою T. Isomi з співавт. [214]

Для зменшення погрішності вимірювання аксіальне сканування виконували з нахилом, урахуваючи величину лордозу або кіфозу.

Сагітальний діаметр хребетного каналу (СД) розраховували у відсотках за формулою:

$$\text{СД} = \text{СДУ} / \text{СДН} \times 100\% \quad (2.3)$$

де СДУ — сагітальний діаметр хребетного каналу на рівні ушкодженого хребця (мм);  
СДН — сагітальний діаметр хребетного каналу на рівні неушкодженого хребця (мм).

## 2.3 Методи лікування пацієнтів з переломами тіл хребців грудного відділу хребта

2.3.1 Розподіл пацієнтів по клінічних групах залежно від методу лікування  
Залежно від методу лікування пацієнти склали 5 клінічних груп, з яких одна група містила хворих, які отримали консервативне лікування (контрольна група), та 4 групи з різними варіантами хірургічного лікування:

- I — контрольна; група консервативного лікування (n=14; 13,6 %);
- II — група хірургічного лікування з використанням короткої шестигвинтової транспедикулярної фіксації (n=14; 13,6 %);
- III — група хірургічного лікування, в якій перелом фіксували восьмигвинтовою конструкцією (n=50; 48,5 %);
- IV — група хірургічного лікування з використанням комбінованого передньо-заднього спондилодезу на 360° (n=20; 19,4 %);
- V — група хірургічного лікування, в якій виконано триколонну реконструкцію хребта із заднього доступу (n=5; 4,9 %).

Згідно з цим розподілом пацієнтів, в групі I, де хворі отримували консервативне лікування, у всіх 14 осіб відмічено неповний вибуховий перелом типу А3.1. У групі II з короткою задньою транспедикулярною фіксацією 11 пацієнтів мали неповний вибуховий перелом (А3.1) і 3 — осколково-вибуховий (А3.2). У групі III з використанням восьмигвинтової фіксації відмічено найбільш варіативну картину. Зокрема, неповний вибуховий (А3.1) і осколково-вибуховий

перелом (A3.2) визначено більш ніж у половини пацієнтів (n=26), повний вибуховий (A3.3) — у 6, вибухові переломи тіла хребця з distraкцією (B1.2 й B.2.3) — у 13, ротаційний вибуховий перелом (C1.3) — у 5. У групі, де використаний комбінований передньо-задній спондилодез на 360°, хворі розподілились так: осколково-вибуховий перелом типу A3.2 — 8, повний вибуховий перелом типу A3.3 — 5, переломи типів B і C — 7. У групі хворих із триколонною реконструкцією хребта із заднього доступу виявлено такі морфологічні ознаки ушкоджень: повний вибуховий перелом — 2 пацієнти, з distraкцією — 2, з ротацією — 1.

Як відмічалось вище, в цілому по загальній групі зі 103 пацієнтами неускладнені вибухові переломи відмічалися у 67 (65,0 %) спостережень; ускладнені — у 36 (35,0 %) випадках. Відповідно, в клінічних групах зареєстровано такий розподіл хворих залежно від наявності неврологічної симптоматики: у I і II — усі ушкодження були неускладненими; у III зафіксовано 28 випадків неускладнених травм хребта і 22 — ускладнених; у IV — 11 і 9 відповідно; у V — усі ушкодження виявилися ускладненими (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Діаграма розподілу спостережень з ускладненими та неускладненими вибуховими переломами грудного відділу хребта в різних клінічних групах

Результати консервативного лікування оцінювали через 3 міс. після травми і у віддаленому періоді — через рік і більше після ушкодження. Результати

хірургічного лікування оцінювали безпосередньо після операції, протягом перших двох тижнів і у віддаленому післяопераційному періоді від одного до чотирьох років (середній термін спостереження склав 21,2 міс.).

### 2.3.2 Методика виготовлення ортезів, що реклинують грудний відділ хребта

У перші дні після травми виконували оптичне сканування тулуба пацієнта в положенні стоячи або лежачі залежно від загального й ортопедичного статусу постраждалого. Для сканування використовували мобільний пристрій Structure Sensor. Моделювали тулуб за допомогою комп'ютерної програми (рис. 2.8, а). За 3D-моделлю тулубу на верстаті з обчислювально-програмним управлінням виготовляли з пінополіуретану модель ортезу. Ортез формувався по моделі методом термовакуумформовки із термопластичного матеріалу поліетилен марки PE-500 виробництва німецької фірми.

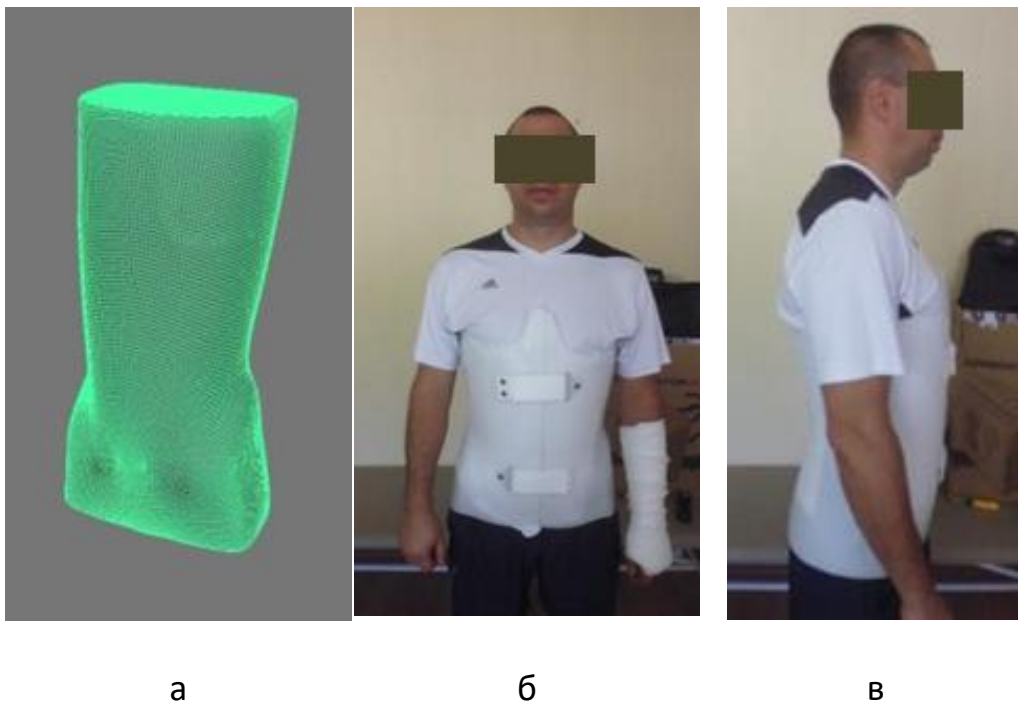


Рисунок 2.8 – 3D-модель тулубу (а); зовнішній вигляд хворого в ортезі (б, в)

### 2.3.3 Методи хірургічного лікування

#### 2.3.3.1 Особливості ведення хворих до та після хірургічного втручання

При надходженні хворого в клініку здійснювали загальноприйняте клінічне й

інструментальне обстеження, яке включало в тому числі дослідження загального, ортопедичного статусу хворого, оцінку вибухового перелому тіла грудного відділу із застосуванням рентгенологічних, рентгенометричних методів та МРТ, лабораторне обстеження з проведенням клінічного та біохімічного аналізів крові, коагулограми.

Оскільки ДУ «ІПХС ім. проф. М.І.Ситенка НАМНУ» не є багатoproфільною лікарнею, хворі надходили з інших медичних закладів міста Харкова та України. Тому лише 3 пацієнтам із частковою неврологічною симптоматикою хірургічні втручання виконані в термін 12 год. після травми. Більшість операцій проведено в плановому порядку через від 2 до 3 доби після повного обстеження під комбінованою анестезією з використанням ендотрахеального та внутрішньовенного наркозу. Для зменшення інтра- та післяопераційної крововтрати внутрішньовенно вводили транексамову кислоту в дозі 10 мг/кг під час і через 6 год після хірургічного втручання [215].

Після трансдіафрагмального доступу здійснювали пасивне й активне дренажування плевральної порожнини й активне — заочеревинного простору. Після передньобокowego заочеревинного доступу здійснювали активне дренажування заочеревинного простору, після заднього спондилодезу — післяопераційної рани.

У післяопераційному періоді за наявності остаточного больового синдрому в хребті застосовували фізіотерапію та голкорексотерапію. Хворих з неускладненими вибуховими переломами мобілізували на наступну добу після операції. Пацієнтам з неврологічною симптоматикою в ранньому післяопераційному періоді застосовували лікувальну гімнастику, розроблення рухів у суглобах нижніх кінцівок. Проводили профілактику нейрогенних контрактур суглобів шляхом використання ортопедичних шин. Із фізіотерапевтичних засобів використовували електростимуляцію м'язів нижніх кінцівок. Серед медикаментозних методів лікування застосовували судинну, гормональну, нейропротекторну терапію. Через тиждень після хірургічного

втручання хворих дозовано переводили у вертикальне положення в ліжку (сидячі).

Усім пацієнтам після операції та протягом перших 5 діб проводили інструментальний і лабораторний моніторинг показників крові та стану всіх органів і систем організму. Протягом перших від 3 до 5 діб досліджували такі показники крові, як рівень гемоглобіну, кількість еритроцитів, гематокрит.

Контролювали кількість крові, що відходила по дренажах, які видаляли, якщо за одну добу її об'єм був меншим за 50 мл. За наявності факторів ризику або ознак можливого виникнення тромбозу глибоких вен кінцівок використовували гепарин у дозі від 2500 до 5000 МО чотири рази на добу протягом від 5 до 7 днів [215]. Після повної мобілізації хворого, а також виявлення ознак первинного загоєння ран пацієнта виписували на амбулаторне лікування.

#### 2.3.3.2 Особливості проведення хірургічних втручань з використанням методів задньої транспедикулярної фіксації

У положенні хворого на животі виконують розріз шкіри по ходу остистих відростків хребців грудного відділу хребта, які планують включити в зону інструментації. Розріз шкіри слід виконувати на один рівень вище передбачуваного міста інструментації, враховуючи орієнтацію дуг хребців. Пошарово розсікають шкіру, підшкірну клітковину, від остистих відростків відділяють паравертебральні м'язи. Слід уважно здійснювати скелетування, щоб не пошкодити мозкових оболонок кістковими відламками дуг хребців. Гемостаз виконують за допомогою коагуляції та тугої тампонади вологими серветками. У рану встановлюють ретрактори, анатомічно ідентифікують і виділяють дуги хребців, суглобові та поперечні відростки. Для доступу до хребетного каналу застосовують ламінектомію. Спочатку видаляють остисті відростки, а після, за допомогою пістолетних кусачок, — дуги хребців, дуговідросткові суглоби та зв'язки.

Після проведення хірургічного доступу до задніх відділів тіл хребців у дуги хребців встановлюють транспедикулярні гвинти за методикою «вільних рук»

(free-hand technique), яку було описано S. Suk зі співавт. [216]. Суть цієї методики полягає в наступному. На рівнях, які планують зафіксувати металевою конструкцією, виконують фасетектомію так, щоб виділити основу верхнього суглобового відростка, на якій відповідно до анатомічних орієнтирів корінь дуги хребця. Слід зауважити, що в грудному відділі хребта розташування проекції дуг хребців є варіабельним залежно від їх локалізації у верхньо- ( $Th_{VI}$ ), середньо- ( $Th_{VII}$ – $Th_{IX}$ ) та нижньогрудній ( $Th_{X}$ – $Th_{XII}$ ) ділянці.

У поперековому відділі хребта зона проекції дуги розташована на перетині двох ліній, одна з яких проходить через центр поперечного відростка, а друга — по зовнішньому краю нижнього суглобового відростка хребця, розташованого вище.

Після визначення місця введення гвинта за допомогою спеціального шила в дузі хребця формують канал для проведення гвинта. Під час формування каналу за допомогою провідника постійно перевіряють хід каналу, визначаючи його кісткові межі. Після створення каналу вимірюють його довжину, визначаючи розмір гвинта. За допомогою мітчика у створеному каналі нарізають різьбу, повторно перевіряють цілісність дуги та вводять гвинт.

Після встановлення транспедикулярних гвинтів їх з'єднують заздалегідь вигнутими коригувальними стержнями, які фіксують до них спеціальними гайками. Після виконання коригувального маневру виконують кісткову пластику, встановлюють поперечні фіксатори, стабілізують систему. Після хірургічних маніпуляцій установлюють активні дренажі та рану пошарово зашивають.

### 2.3.3.3 Особливості виконання комбінованого передньо-заднього спондилодезу на $360^\circ$

У разі комбінованого передньозаднього спондилодезу перший етап хірургічного втручання завжди розпочинається із заднього доступу, що передбачає встановлення транспедикулярних конструкцій. Залежно від клінічної ситуації можлива довга восьмигвинтова фіксація або коротка — шестигвинтова.

В обох варіантах ушкоджений хребець не долучається до інструментації. У разі використання шестигвинтової фіксації слід надто уважно зважати на положення транспедикулярних гвинтів: вони мають бути розташовані в компактній кістковій тканині та обов'язково використовувати поперечне стягування.

Для виконання переднього спондилодезу, а саме передньо-бокової корпоректомії, з метою видалення кісткового фрагмента з хребетного каналу та встановлення імплантатів, виконували тораколюмбофренотомію. Уперше цей доступ використаний Hodgson в 1955 році [217, 218]. Даний доступ застосовують для хірургічних втручань на вентральних відділах хребців Th<sub>XII</sub>–L<sub>I</sub>. У положенні хворого на півбоці виконують розріз шкіри по ходу X ребра по бічній поверхні тулуба, далі розріз переходить на передню поверхню та закінчується на рівні між пупком і лобковим симфізом. Пошарово розсікають підшкірну клітковину, передній зубчастий і широкий м'язи спини. Виділяють і резектують ребро. Реберну дугу відділяють шляхом пересічення реберного хряща видаленого ребра. Далі виділяють за допомогою тупих распаторів зовнішній косий м'яз і розсікають його. Далі ретельно виділяють і розсікають внутрішній косий і поперечний м'язи, після чого візуалізують позачеревинний жир. Далі розсікають парієтальну плевру і розтинають плевральну порожнину. Після цього тупо діафрагму відсепаровують і розсікають, намагаючись не розтягти очеревину, додатково розсікають ніжку діафрагми. У рану встановлюють розширювач, легені колабують і за допомогою захисників зміщують краніально, а органи черевної порожнини — вентрально.

Поперековий м'яз відсепаровують від тіл хребців, намагаючись не ушкодити судини, які розташовані під ним. Після ідентифікації викривлення по бічній поверхні хребців мобілізують і, після попереднього перев'язування, пересікають сегментарні судини та виконують основний етап хірургічного втручання. Після його завершення реберну дугу підшивають до місця її кріплення та відновлюють цілісність діафрагми. У плевральну порожнину встановлюють

дренаж Бюлау, рану пошарово зашивають. За необхідності додатково дрениують ретроперитонеальний простір.

#### 2.3.3.4 Методика встановлення імплантата із заднього доступу за умов триколонної реконструкції хребта

У положенні хворого на животі після встановлення транспедикулярної конструкції виконують широку ламінектомію. Обов'язково резектують нижні дуговідросткові відростки і частину дуг вище розміщеного хребця. Саме така широка ламінектомія забезпечує доступ до верхньозаднього фрагмента тіла хребця. Після ламінектомії знаходять корінь дуги і за допомогою кусачок резектують його до рівня тіла хребця. Обов'язково оглядають оболонки спинного мозку, у разі їхнього ушкодження виконують пластику. Далі мобілізують нервові структури і за допомогою долота та кусачок видаляють задньоверхній фрагмент тіла хребця. Усувають залишки тіла хребця і два суміжні міжхребцеві диски. У разі необхідності резектують тіло з іншої сторони. Між хребцями формують кісткове ложе, встановлюючи в нього міжхребцевий імплантат. Далі здійснюють монтаж транспедикулярної конструкції і завершують операцію у звичайному режимі.

#### 2.3.3.5 Особливості проведення хірургічних втручань у разі вогнепальних ушкоджень хребта та спинного мозку

Основним хірургічним втручанням за умов вогнепального ушкодження грудного відділу хребта є ламінектомія.

Вибір розрізу значною мірою обумовлений локалізацією вогнепальної рани. Якщо вона розташована поблизу хребта, виконували дугоподібний розріз із висіченням країв рани, що дозволяє одночасно виконати доступ до хребта й обробити рановий канал. У випадках значного віддалення рани від лінії остистих відростків доводилося виконувати хірургічну обробку рани, а ламінектомію робили з окремого розрізу. Проводили необхідне висічення країв рани і

нежиттєздатних ділянок м'язів, обривків апоневрозу, видалення чужорідних тіл. У пізні терміни після поранення за наявності інфікованої рани доступ до хребта здійснювали на відстані від 5 до 6 см від неї, в ділянці, де шкіра не ушкоджена.

Скелетування відростків і дужок виконували з використанням ножиць, без распаторів, щоб уникнути вторинного ушкодження спинного мозку зламаними дугами. Обсяг ламінектомії визначався протяжністю ушкодження твердої мозкової оболонки (ТМО) і може бути: щадним (без резекції суглобових відростків); розширеним (видалення більше 2-3 дужок або від 1 до 2 з резекцією суглобових відростків); економним (геміламінектомія зі збереженням або без збереження остистого відростка).

Тверду мозкову оболонку розкривали через її дефект або по середній лінії і брали на держалки. Потім оглядали підоболонкові простори спинного мозку з метою виявлення та видалення кісткових відламків і металевих чужорідних тіл. Усі маніпуляції на спинному мозку та його оболонках виконували з використанням мікрохірургічної техніки й інструментарію. Видаляли всі чужорідні тіла, згустки крові, відмивали мозковий детрит. Цілість ТМО відновлювали безперервним швом, за необхідності виконували пластику, використовуючи апоневроз м'язів спини, широкої фасції стегна. Для уточнення локалізації чужорідного тіла виконували рентгенографію хребта на операційному столі або використовували ЕОП. Металеві чужорідні тіла, що проникли в спинний мозок, видаляли через рановий канал, якщо вони розташовувалися близько до поверхні спинного мозку. Чужорідні тіла, що глибоко упровадилися в тіло хребця, не викликали симптомів здавлювання або інфікування, зазвичай, не видаляли. У випадку виконання операції в пізні терміни після поранення видалення металевих чужорідних тіл виявлялося можливим лише після розтину сполучнотканинної капсули, яка утворилася навколо них.

Епідуральні дренажні трубки укладали для припливно-відточного дренивання, яке проводили охолодженим до від 4°C до 5°C ізотонічним розчином з додаванням антибіотиків. Після гемостазу рану зашивали пошарово. Адекватна

хірургічна обробка рани в поєднанні з антибіотикотерапією здебільшого дозволяє зашити рану суцільно, встановивши припливно-відточну систему дренивання. У післяопераційному періоді всім хворим рекомендовано промивання рани антисептиками і антибіотикотерапія. Тривалість дренивання від 4 до 5 діб.

Фрагментація тіла хребця в разі вогнепальних ушкоджень характеризується відцентровою екструзією фрагментів із проникненням їх у превертебральні тканини або хребетний канал. За таких умов виконували первинно стабілізуючі операції з використанням восьмигвинтової фіксації.

#### 2.4 Оцінювання ефективності лікування різних типів травматичних переломів тіл хребців грудного відділу хребта

Ступінь регресу неврологічної симптоматики у 67 (65,0 %) постраждалих з ускладненими вибуховими переломами тіл грудних хребців оцінювали за 4-х бальною шкалою від 0 (відсутність змін у неврологічному статусі) до 3 (регрес неврологічної симптоматики більше 70 %; розділ 2.1).

Рівень соціальної адаптації у післятравматичному періоді оцінювали за відповідною шкалою, яка містить характер післяопераційного болю (ПоБ) та обсяг відновлення післяопераційної працездатності (ПоПр) [219] (табл. 2.2).

Якість відновлення рентгенанатомічних структур ушкодженого грудного сегмента залежно від типу вибухового перелома у післяопераційному періоді в динаміці оцінювали за наступними рентгенологічними ознаками та їх градаціями (табл. 2.3).

Оцінювання характеру регенерації тіла ушкодженого хребця та якості спондилодезу проводили за результатами клінічного й рентгенологічного дослідження. Основне значення мали рентгенологічні дані, перш за все інформація з КТ-обстеження.

На КТ-сканах виявляли ознаки зрощення тіла хребця, положення і стабільність імплантата, наявність зон остеолізу навколо нього та в зоні спондилодезу.

Таблиця 2.2. – Шкала соціальної адаптації хворих після спондилодезу [219]

Післяопераційний біль (ПоБ)	Післяопераційна працездатність (ПоПр)
ПоБ-1 — біль відсутній	ПоПр-1 — повне повернення до праці
ПоБ-2 — періодичний біль без необхідності в медикаментозному лікуванні	ПоПр-2 — можливість повернення до попередньої роботи, але з деякими обмеженнями
ПоБ-3 — помірний біль з періодичним прийомом ліків без впливу на працю і життєдіяльність	ПоПр-3 — неможливість повернення до попередньої роботи, але можливість працювати повний день на легшій
ПоБ-4 — помірний або тяжкий біль з частим прийомом ліків без впливу на працю і життєдіяльність	ПоПр-4 — неможливість повернення до попередньої роботи, неможливість працювати повний день на легшій роботі
ПоБ-5 — біль високої інтенсивності з постійним прийомом знеболювальних препаратів.	ПоПр-5 — повна інвалідність

Характер регенерації тіла хребця оцінювали за ознаками:

- регенерація тіла хребця, що привела до відновлення його структури з наявністю дефектів у центральній частині;
- регенерація тіла хребця, що привела до відновлення його структури без дефектів у центральній частині;

Таблиця 2.3 – Рентгенологічні ознаки та їх градації для оцінювання якості відновлення анатомічних структур ушкодженого грудного сегмента

Ознака	Градація ознаки	
Характер ушкодження тіла хребця	0	компресійний перелом
	1	неповний вибуховий перелом з фрагментацією тіла до 30 %
	2	осколково-вибуховий перелом з фрагментацією тіла до 50 %
	3	повний вибуховий перелом

Ушкодження задніх структур грудного сегмента	0 1 2	без ушкодження ушкодження заднього зв'язкового комплексу ушкодження заднього кістково-зв'язкового комплексу
Стеноз хребетного каналу	0 1 2 3	відсутній < 30 % сагітального розміру хребетного каналу від 31 % до 70 % сагітального розміру хребетного каналу > 71 % сагітального розміру хребетного каналу (абсолютний критичний стеноз)
Ступінь відновлення діаметру хребетного каналу	0 1 2 3	< 5 % (не відновився або відновився мінімально) < 10 % (незначне відновлення) < 30 % (на третину) > 30 % або повне відновлення
Величина кіфотичної деформації після травми	0 1 2 3	від 0° до 12° від 3° до 21° від 22° до 30° > 30°
Ступінь хірургічної корекції кіфотичної деформації	0 1 2 3	від 0° до 8° від 9° до 15° від 16° до 21° > 21°
Величина втрати післяопераційної корекції кіфотичної деформації	0 1 2 3	від 0° до 2° від 3° до 5° від 5° до 10° > 10°

– регенерація тіла хребця з наявністю періостального регенерату з виявленням утворення містка між тілами хребців уздовж передньої і поздовжньої зв'язок (рис. 2.9, а).

Оцінюючи задній спондилодез, звертали увагу на наявність зрощення в дуговідросткових суглобах завдяки формуванню кісткових «містків» між ділянками суглобових відростків (рис. 2.9, б) — дуговідростковий артродез. Також реєстрували величину середньої втрати корекції кіфотичної деформації, наявність втрати корекції та переломів гвинтів.

У разі використання міжхребцевої опори оцінювали її заповнюваність кістковою тканиною, щільність останньої, наявність ділянок без кісткової тканини з «вакуум-феноменом» (рис. 2.9, в).

У пацієнтів з наявністю болю у хребті під час оцінки рентгенограм та КТ-сканів оперованої ділянки грудного відділу хребта звертали увагу на рентгенологічні ознаки незрощення або формування псевдоартрозу у зоні спондилодезу. До таких рентгенологічних ознак відносились: втрата післяопераційної фіксації хребта (перелом імплантата й гвинтів, міграція гвинтів, зона остеолізу навколо елементів, що фіксують зону перелому), прогресування деформації хребта зі збільшенням кута післятравматичного кіфозу) [214].

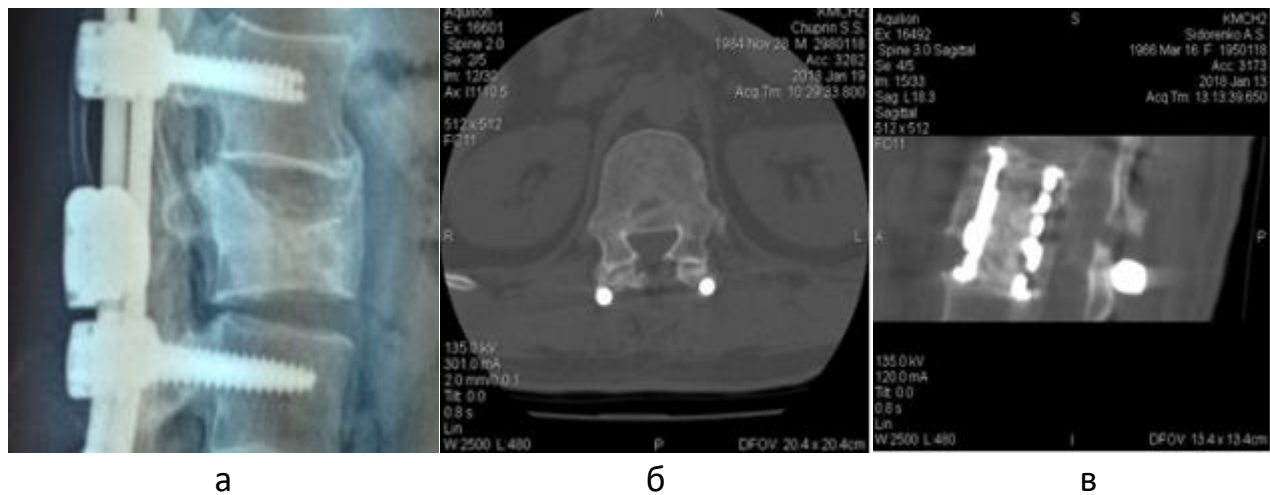


Рисунок 2.9 – Рентгенограма та КТ-скани хворих з ознаками регенерації по передньому контуру тіл хребців (а), заднього (б) і переднього (в) спондилодезу

## 2.5 Матеріал та методи фізичного біомеханічного моделювання перелому Th<sub>VI</sub> хребця

Експериментальне дослідження пружних властивостей хребетного стовпа за наявності вибухового перелому хребця Th<sub>VI</sub> з використанням методу фізичного біомеханічного моделювання було проведено у лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України». Було досліджено 5 анатомічних препаратів хребтів свиней з грудною кліткою та повністю збереженими міжхребцевими дисками й зв'язковими структурами (рис. 2.10).

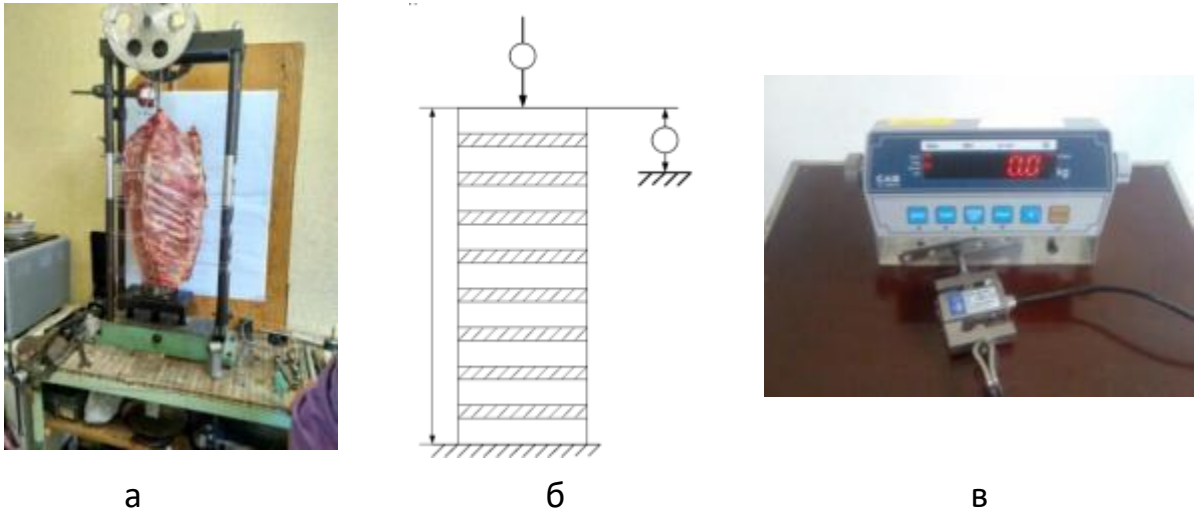


Рисунок 2.10 – Експериментальне дослідження: а) модель на стенді для біомеханічних досліджень; б) схема експерименту; в) пристрій для реєстрації величини навантаження з тензометричним датчиком

На кожному з препаратів моделювали вибухові переломи хребця Th<sub>VI</sub> (за класифікацією F. Magerl et al. [90]) шляхом послідовного руйнування структур грудного сегмента [220, 221] (рис. 2.11) з вимірюванням відповідних ступенів руйнування.

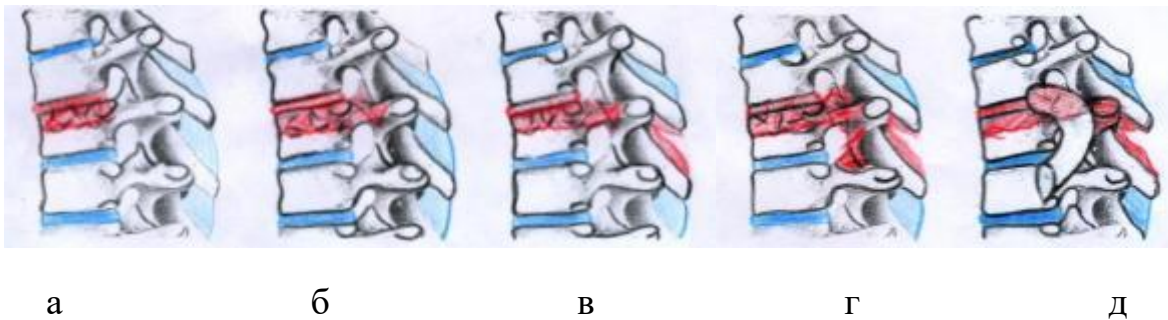


Рисунок 2.11 – Ступені руйнування грудного сегмента: а) 50 % ТХ + 1 МХД; б) 50% ТХ + 1 МХД + 2 дуги; в) 50% ТХ + 1 МХД + 2 дуги + ЗЗК; г) 50 % ТХ + 1 МХД + 2 дуги + ЗЗК + ДВС; д) 50 % ТХ + 1 МХД + 2 дуги + ЗЗК + ДВС + ребра

Величину деформації вимірювали за допомогою мікрометра годинникового типу. Величину навантаження фіксували за допомогою тензометричного датчика SBA-100L, контроль навантаження здійснювали пристроєм реєстрації типу CAS CI-2001A (рис. 2.10, в).

На кожному з етапів руйнування всі зразки піддавали стискаючому навантаженню 200 Н, що відповідає масі верхньої частини тіла людини [57], і вимірювали величину деформації хребтового стовпа, а після зняття навантаження — величину залишкової деформації препаратів.

Зовнішні сили при деформації пружного тіла виконують роботу. При цьому енергія, витрачена на деформацію хребетного стовпа, накопичується в матеріалі тканин, з якого він складається, у вигляді їхньої внутрішньої напруги. Якщо внутрішню енергію недеформованого пружного тіла прийняти за нуль, то в цьому випадку вся енергія, яка прикладена щодо нього зовні, виконуватиме роботу, спрямовану деформацію цього тіла.

Розраховувати величину роботи, яку втрачали на деформацію препаратів при стисканні, можна за формулою [78]:

$$A_{\text{стискання}} = F \frac{(\Delta l)^2}{2}, \quad (2.4)$$

де  $F$  — сила, яку прикладали для стиснення зразка (200 Н),

$\Delta l$  — величина стиснення зразка (м).

Величину роботи внутрішніх сил, яку здійснює препарат для відновлення своєї довжини після зняття навантаження, розраховували за такою формулою:

$$A_{\text{відновлення}} = F \frac{(l_n - l_0)^2}{2}, \quad (2.5)$$

де  $l_n$  — величина до якої опустився зразок зі збільшенням навантаження;

$l_0$  — величина залишкової деформації зразка після зняття навантаження.

Втрату енергії (роботи) розраховували у відсотках, як:

$$A_{\text{витрати}} = 100 - \frac{A_{\text{відновлення}}}{A_{\text{стискання}}} \times 100. \quad (2.6)$$

Для опрацювання отриманих експериментальних даних проводили статистичний аналіз. Розраховували середні ( $M$ ) значення та його стандартне відхилення ( $SD$ ), а також мінімальні та максимальні значення параметрів. Порівняння параметрів між ступенями руйнування проводили за допомогою

однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) з апостеріорним тестом Дункана. Порівняння між двома станами кожного із зразків проводили за допомогою Т-тесту для парних вибірок. Аналіз виконували у програмі IBM Statistic SPSS 20.0 [222].

2.6 Матеріал та методи дослідження напружено-деформованого стану моделі грудного відділу хребта за різних методів лікування перелому Th<sub>VI</sub> хребця

В лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів була розроблена базова кінцево-елементна модель хребта [223, 224], яка була доповнена грудною кліткою. Зовнішній вид моделі представлено на рис. 2.12.

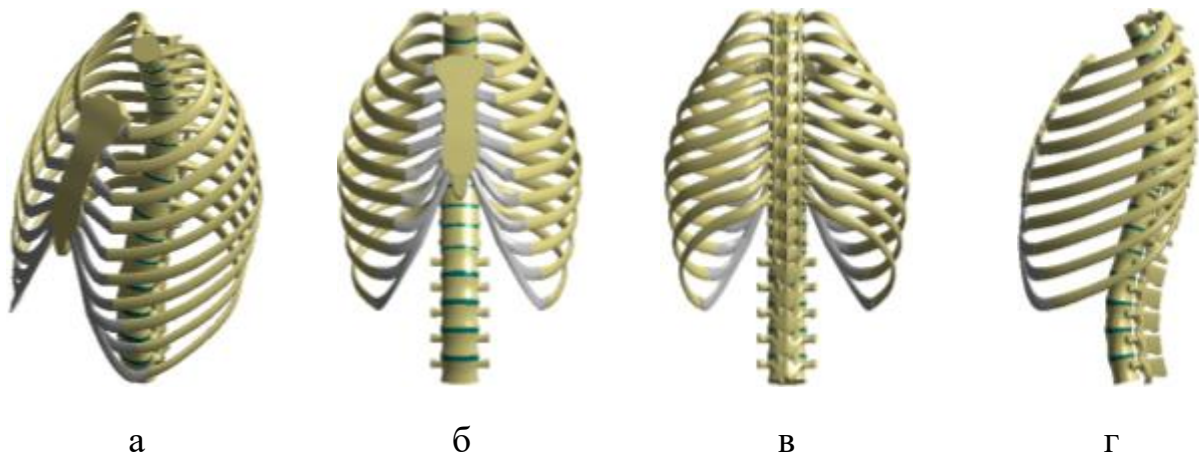


Рисунок 2.12 – Модель хребта з грудною кліткою в нормі: а) загальний вид; б) вид спереду; в) вид ззаду; г) вид в сагітальній площині

Модель містила кісткові елементи: хребці Th<sub>I</sub>-L<sub>V</sub>, ребра та грудину, які склалися з кортикальної та губчастої кісткових тканин, а також м'якотканинні елементи: міжхребцеві диски, суглобові та реберні хрящі.

На основі базової моделі були розроблені моделі з порушенням цілісності хребця Th<sub>VI</sub> різного ступеню та різними варіантами остеосинтезу транспедікулярними конструкціями. На рис. 2.13 представлено модель з руйнуванням тіла хребця Th<sub>VI</sub> до 50%, остеосинтез транспедікулярною конструкцією з 4 гвинтами.

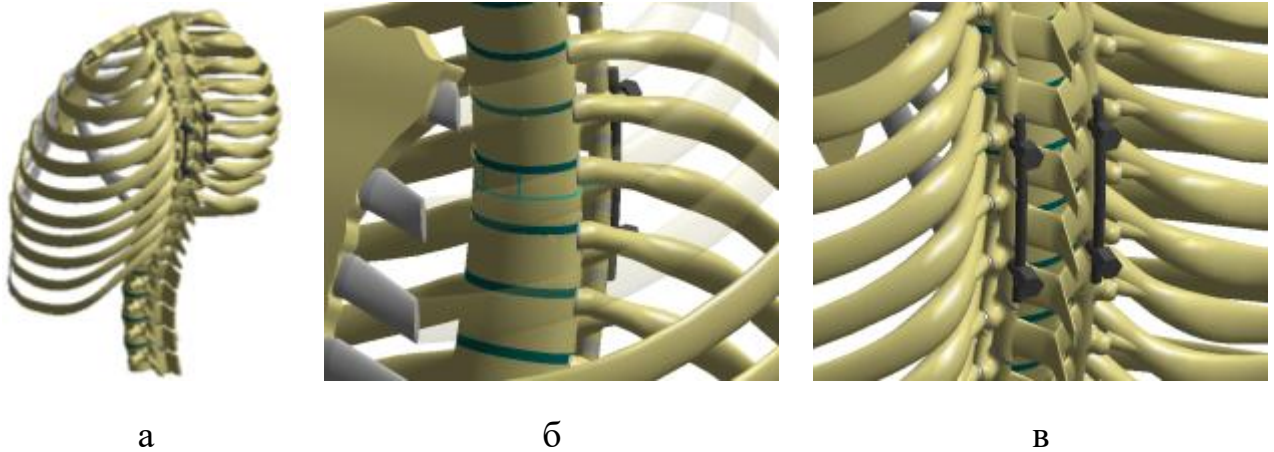


Рисунок 2.13 – Модель хребта з грудною клітиною з руйнуванням тіла хребця Th<sub>6</sub> до 50 %, остеосинтез транспедікулярною конструкцією з 4 гвинтами: а) загальний вид; б) вид руйнувань тіла хребця; в) вид транспедікулярної конструкції

На рис. 2.14 представлено модель з руйнуванням тіла хребця Th<sub>VI</sub> більше 50 %, остеосинтез транспедікулярною конструкцією з 4 гвинтами.

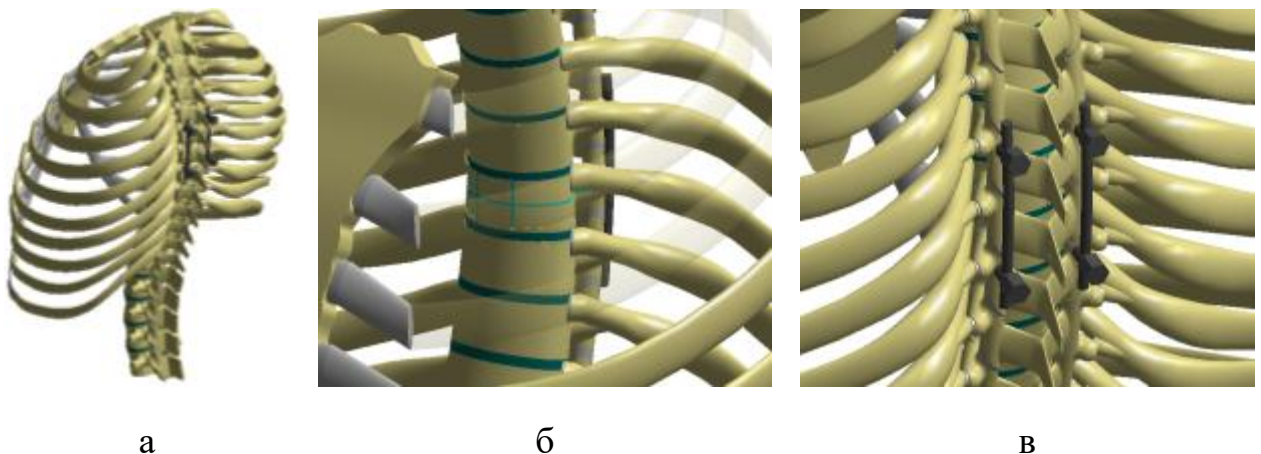


Рисунок 2.14 – Модель хребта з грудною кліткою з руйнуванням тіла хребця Th<sub>VI</sub> більше 50 %, остеосинтез транспедікулярною конструкцією з 4 гвинтами: а) загальний вид; б) вид руйнувань тіла хребця; в) вид транспедікулярної конструкції

Рисунок 2.15 демонструє модель з руйнуванням тіла хребця Th<sub>VI</sub> більше 50 %, остеосинтез транспедікулярною конструкцією з 8 гвинтами.

На рис. 2.16 представлено модель з руйнуванням тіла хребця Th<sub>VI</sub> більше 50 % і заднього опорного комплексу, остеосинтез транспедікулярною конструкцією з 8 гвинтами.

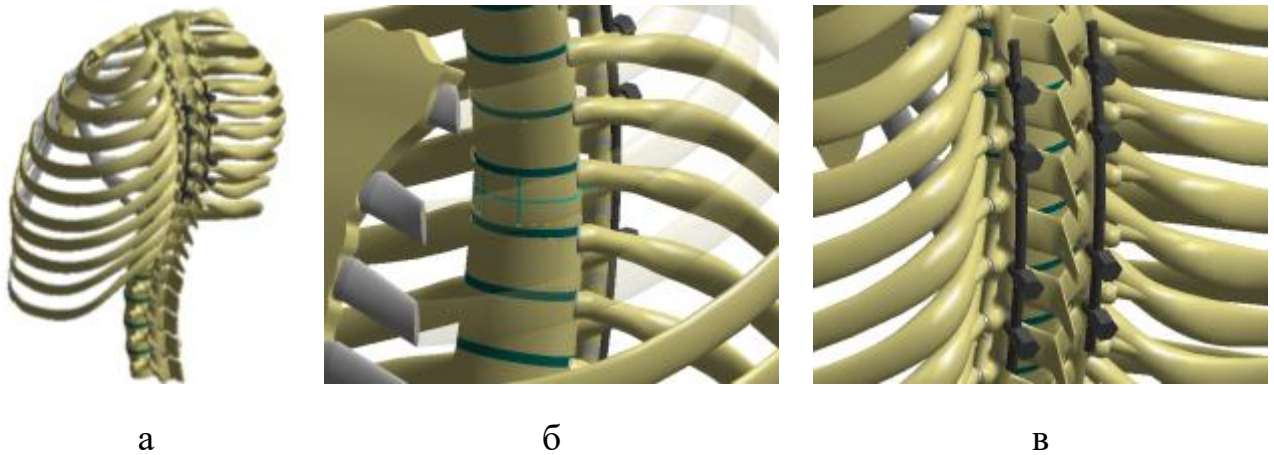


Рисунок 2.15 – Модель хребта з грудною кліткою з руйнуванням тіла хребця  $Th_{VI}$  більше 50 %, остеосинтез транспедікулярною конструкцією з 8 гвинтами: а) загальний вид; б) вид руйнувань тіла хребця; в) вид транспедікулярної конструкції

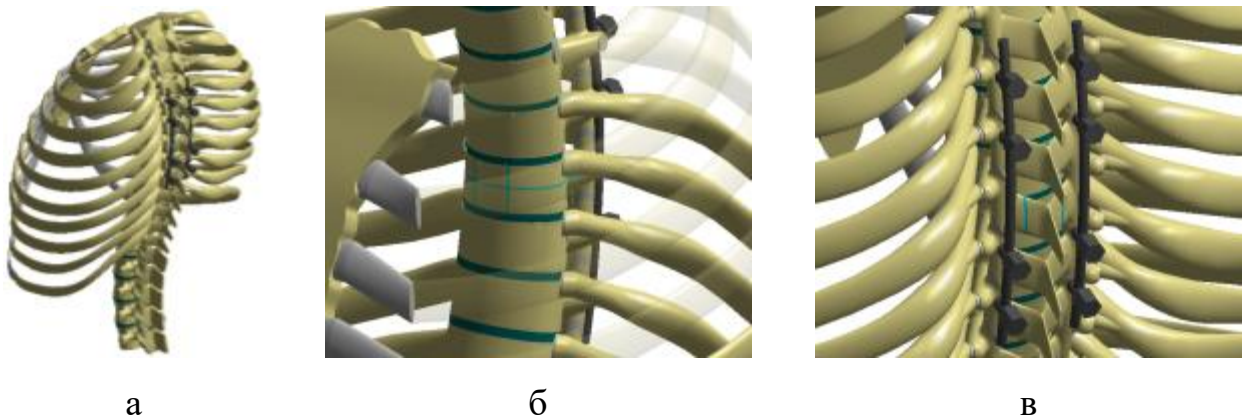


Рисунок 2.16 – Модель хребта з грудною кліткою з руйнуванням тіла хребця  $Th_{VI}$  більше 50 % і заднього опорного комплексу, остеосинтез транспедікулярною конструкцією з 8 гвинтами: а) загальний вид; б) вид руйнувань тіла хребця; в) вид транспедікулярної конструкції

Модель з грудною кліткою з повним руйнуванням переднього і заднього опорних комплексів хребця  $Th_{VI}$ , заміна тіла хребця кейджем, остеосинтез транспедікулярною конструкцією з 8 гвинтами представлено на рис. 2.18.

При моделюванні матеріал вважали однорідним та ізотропним. В якості кінцевого елемента був обраний 10-вузловий тетраедр з квадратичною апроксимацією. Механічні характеристики біологічних тканин обирали за даними літератури [223, 224]. Характеристики штучних матеріалів обирали за даними технічної літератури [225]. Механічні характеристики матеріалів, що використовували в розрахунках, представлені в таблиці 2.4.

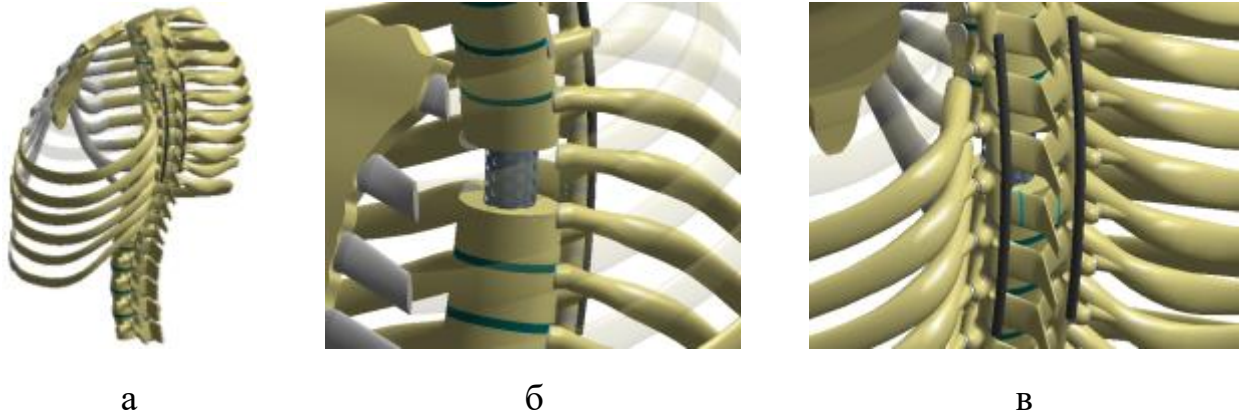


Рисунок 2.17 – Модель хребта з грудною клітиною з повним руйнуванням передного і заднього опорних комплексів хребця Th<sub>VI</sub>, заміна тіла хребця кейджем, остеосинтез транспедікулярною конструкцією з 8 гвинтами: а) загальний вид; б) вид руйнувань тіла хребця; в) вид транспедікулярної конструкції

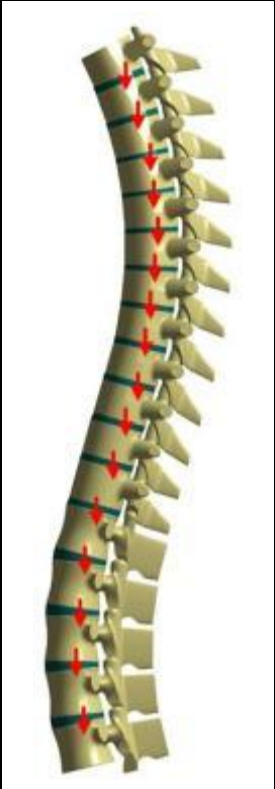
Таблиця 2.4 – Механічні характеристики матеріалів, що використовували при моделюванні

Матеріал	Модуль Юнга (E), МПа	Коефіцієнт Пуассона, $\nu$
Кортикальна кістка	18400	0,30
Губчаста кістка	1040	0,30
Хрящова тканина	5,58	0,45
Міжхребцевий диск	450	0,30
Титан ВТ16	40000	0,36

Кінцево-елементну модель випробували під впливом вертикального навантаження. Навантаження було розподілене пропорційне між хребцями згідно схеми, запропонованої Clin J. et al (2011) [226]. Схему навантаження моделі представлено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Вертикальне навантаження від загальної маси тіла, що прикладено до центрів сили тяжіння хребців на різних рівнях хребта

Хребці	Навантаження від загальної ваги тіла, %	Схема
Th <sub>I</sub>	1.1 + 8 (вага голови)	
Th <sub>II</sub>	1.1	
Th <sub>III</sub>	1.3 + 4 (вага верхніх кінцівок)	

Th <sub>IV</sub>	1.3 + 4 (вага верхніх кінцівок)	
Th <sub>V</sub>	1.3 + 4 (вага верхніх кінцівок)	
Th <sub>VI</sub>	1.3	
Th <sub>VII</sub>	1.4	
Th <sub>VIII</sub>	1.5	
Th <sub>IX</sub>	1.6	
Th <sub>X</sub>	2.0	
Th <sub>XI</sub>	2.1	
Th <sub>XII</sub>	2.5	
Всього	38.5	

При моделюванні до моделі хребта прикладали вертикальне розподілене навантаження величиною 350 Н, що відповідає половині середньої ваги тіла людини. По нижній поверхні тіла нижнього хребця модель мала жорстке закріплення.

Для порівняння величин напружень в різних моделях були обрані контрольні точки, схема розташування яких представлена на рис. 2.18.

При проведенні біомеханічного дослідження вивчали величини напружень в хребцях Th<sub>IV</sub>-Th<sub>VIII</sub>, на які кріпилась транспедікулярна конструкція.

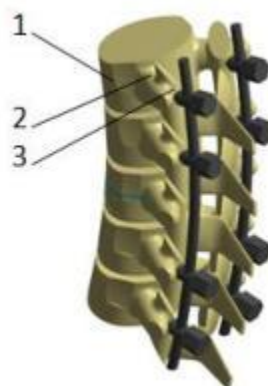


Рисунок 2.18 – Схема розташування контрольних точок: 1— тіло хребця; 2 — ніжка дуги; 3 — зона виходу гвинтів

На кожному хребці реєстрували максимальні величини напружень в трьох зонах:

- 1 — тіло хребця;
- 2 — ніжка дуги;
- 3 — зона входу гвинтів.

Крім того, вивчали максимальні величини напружень на гвинтах та балці транспедікулярної конструкції.

Дослідження напружено-деформованого стану моделей виконували за допомогою методу кінцевих елементів. В якості критерію оцінки напруженого стану моделей використовували напруження за Мізесом. Моделювання виконували за допомогою системи автоматизованого проектування SolidWorks. Розрахунки напружено-деформованого стану моделей виконували за допомогою програмного комплексу CosmosM.

## 2.7 Статистичні дослідження

Дані оброблено статистично. Застосовано методи описової статистики з обчисленням середнього ( $M$ ) та його стандартного відхилення ( $SD$ ), мінімального та максимального значень вибірок. Зважаючи на те, що порівнювали декілька варіантів (вибірок), використовували алгоритми однофакторного дисперсійного аналізу з апостеріорним тестом Дункана.

Розподіл параметрів аналізували за допомогою спряжених таблиць із розрахунком статистики  $\chi^2$  ( $V$  Крамера) та статистичної значущості. Порівняння термінів спостереження проводили за допомогою  $T$ -критерію для парних вибірок, порівняння між групами — за допомогою  $T$ -критерію для незалежних вибірок. Кореляцію ознак проводили за методом непараметричної кореляції  $\tau$ - $b$ -Кендалла (для номінальних даних).

Для обробки клінічних даних також застосовано методи описової статистики, для метричних даних — кореляційний аналіз Пірсона, порівняльний аналіз здійснювали за  $T$ -тестом під час зіставлення двох незалежних вибірок, у процесі порівняння різних періодів спостереження для однієї групи —  $T$ -тест для

парних порівнянь. Дані підготовлені в пакеті MS Excel з подальшою обробкою в пакеті статистичних програм IBM SPSS Advanced Statistics 20.0.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою підтвердження робочої гіпотези щодо збереження певної (залишкової) опороспроможності хребта за умов вибухового перелому тіла хребця грудного відділу хребта проведені експериментальні біомеханічні дослідження. Стан опорної функції хребта досліджено в процесі фізичного біомеханічного моделювання і отримані відповіді на запитання щодо наявності залишкової опороспроможності ушкодженого хребта, а також визначені особливості деформування травмованого хребта залежно від різних умов ушкодження та навантаження.

За результатами математичних методів біомеханічного моделювання обчислені напруження в металевих конструкціях залежно від ступеня ушкодження хребтового рухового сегмента і протяжності інструментації або наявності міжхребцевої опори. Характер розподілу напружень у конструкціях передбачає, що збереження певної опороздатності хребта вможливилює раціональніше визначення протяжності та способу його фіксації.

#### 3.1 Результати фізичного біомеханічного моделювання перелому $Th_{VI}$ хребця

##### 3.1.1 Величини деформації стиску та залишкові деформації відпускання

В результаті проведених експериментальних досліджень було отримано дані про величини деформації стиснення та залишкової деформації препаратів хребетного стовпа при моделюванні вибухових переломів  $Th_{VI}$  різного ступеня. Усі дані були опрацьовані методами описової статистики. У табл. 3.1 наведено дані про максимальну величину деформації стиснення препаратів при навантаженні 200 Н та величина їхньої залишкової деформації після зняття навантаження.

Таблиця 3.1 – Величини деформації стиску та залишкові деформації відпускання

Параметри	Ступінь руйнування				
	Норма	50 %Т+1Д	50 %Т+1Д +2 дуги	50 %Т+1Д +2 дуги +зв'язки	50 %Т+1Д +2 дуги +зв'язки +суглоби
Деформація при навантаженні, мм	0,23±0,03 0,18÷0,27	2,66±0,22 2,30÷2,86	6,53±0,14 6,40÷6,76	7,91±0,23 7,60÷8,20	9,96±0,62 9,40÷1,10
Ст. значущість різниці (ANOVA)	F=752,774; p=0,001				
Залишкова деформація, мм	0,01±0,01 0,00÷0,03	0,21±0,05 0,15÷0,28	3,15±0,14 3,00÷3,30	4,50±0,17 4,20÷4,65	6,31±0,22 6,10÷6,60
Ст. значущість різниці (ANOVA)	F=1780,053; p=0,001				

За результатами аналізу показано, що незруйнований препарат хребта при знятті навантаження відновлює свою довжину практично в повному обсязі. При навантаженні 200 Н деформація в середньому становила  $(0,23 \pm 0,03)$  мм, а при відпусканні залишкова деформація деяких зразків не фіксувалася, а в середньому становила  $(0,01 \pm 0,01)$  мм, що становить 4,3 % від величини деформації під навантаженням.

У разі збільшення руйнувань структур ХРС збільшується і величина стискання зразків, і залишкова деформація. Так, при руйнуванні 50 % тіла хребця та повністю міжхребцевого диска деформація в середньому становила  $(2,66 \pm 0,22)$  мм, залишкова —  $(0,21 \pm 0,05)$  мм, або 7,9 % від величини деформації під навантаженням.

При подальшому руйнуванні ще 2 дуг деформація під навантаженням збільшилася до  $(6,53 \pm 0,14)$  мм, а залишкова становила  $(3,15 \pm 0,14)$  мм. В даному випадку обсяг руйнувань призводить до суттєвої втрати амортизуючих властивостей хребта, залишкова деформація склала 482 % від величини деформації під навантаженням.

Додаткове руйнування зв'язок призводило до того, що препарат хребта під навантаженням скоротився на  $(7,91 \pm 0,23)$  мм, а після зняття навантаження залишкова деформація склала  $(4,50 \pm 0,17)$  мм, або 56,9 %. У цьому випадку можна припустити практично повну втрату амортизуючих властивостей пошкодженого сегмента хребта, а часткове відновлення довжини препарату віднести на рахунок непошкоджених сегментів.

Подальше повне руйнування структур хребця (додатково суглобів) призвело до деформації зразків у середньому до  $(9,96 \pm 0,62)$  мм, а залишкова деформація після зняття навантаження становила  $(6,31 \pm 0,22)$  мм або 63,4 % від величини деформації під навантаженням.

Приєднання руйнування ребер призвело до втрати стабільності хребта в зоні зруйнованого сегмента під дією тяжкості грудної клітки (рис. 3.1), що унеможливило вимірювання величини деформації, як під навантаженням, так і після її зняття.



Рисунок 3.1 – Вигляд препарату на останній стадії експерименту після руйнування ребер

3.1.2 Характеристика величин деформації навантаження та залишкової деформації зразків при різних ступенях руйнування хребтово-рухового сегмента

За даними однофакторного дисперсійного аналізу ступені руйнування ХРС статично значно відрізняються як за величиною деформації навантаження ( $F = 752,774$ ;  $p = 0,001$ ), так і за величиною залишкової деформації ( $F = 1780,053$ ;  $p = 0,001$ ). Причому за даними апостеріорного тесту Дункана (табл. 3.2) ступені руйнування ХРС статично значно ( $\alpha = 0,05$ ) відрізняються одне від одного як за початковою деформацією, так і за залишковою.

Таблиця 3.2 – Результати апостеріорного тесту Дункана (ANOVA)

Ступінь руйнування	Деформація при навантаженні					Залишкова деформація після відпуску				
	Підмножина для $\alpha = 0,05$					Підмножина для $\alpha = 0,05$				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Норма	0,23					0,01				
50 %Т+1Д		2,66					0,21			
50 %Т+1Д+2 дуги			6,54					3,15		
50 %Т+1Д+2 дуги+ зв'язки				7,92					4,50	
50%Т+1Д+2 дуги+ зв'язки+суглоби					9,96					6,31
Статистична значущість у межах підгрупи (p)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

На діаграмі (рис. 3.2) показано збільшення деформації зразків під навантаженням та одночасне збільшення остаточної деформації. За даними, що представлені на діаграмі можна встановити, що навіть руйнування 50 % тіла хребця та диска ХРС збільшується як деформація під навантаженням (в 11,5 разу), так і залишкова (в 21 раз), в порівнянні із непошкодженим ХРС. Кожне наступне руйнування, як показали попередні дані, збільшує деформацію. Додаткові руйнування 2 дуг під час навантаження збільшують деформацію у 2,5 рази (у порівнянні з попереднім). а залишкова деформація збільшується у 15 разів, але

подальше руйнування дає збільшення деформації під час навантаження в 1,2 рази, а залишкова в 1,5 та 1,2 рази, відповідно.

Враховуючи це, можна зробити висновок, що пружні властивості ХРС втрачаються зі збільшенням масштабів руйнування тіла хребця та міжхребцевого диска, а подальші руйнування хоч і збільшують втрату амортизації, але не так швидко.

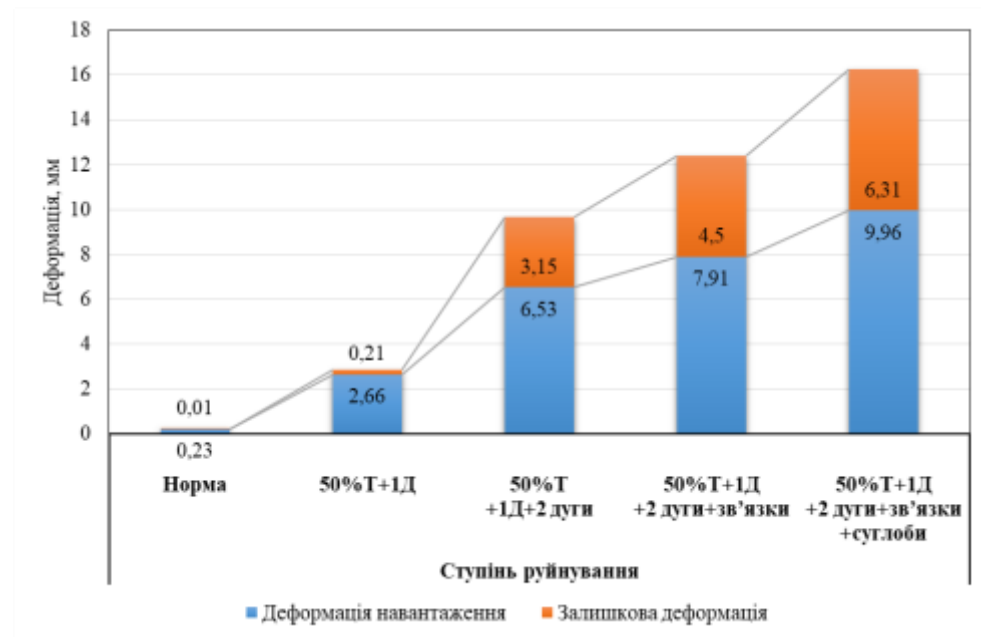


Рисунок 3.2 – Діаграма деформації зразків з різним ступенем руйнування при навантаженні 200 Н та залишкова деформація після відпуску

3.1.3 Енергетичні витрати зразків при різних ступенях руйнування грудного хребетно-рухового сегмента

Під час навантаження хребта та його стиску витрачається енергія, завдяки чому виконується робота спрямована на його деформацію. Ця енергія накопичується в стиснутих тканинах у вигляді внутрішньої напруги матеріалу.

При нормальних пружних властивостях тканин після зняття навантаження хребет повинен витратити накопичену в тканинах енергію для відновлення своїх вихідних розмірів. Розмір деформації залежить від пружних якостей кожного з елементів структури. Тому під час навантаження зразків 200 Н, стискування

зразків відбувається по-різному, і, відповідно, вони по-різному віддають накопичену енергію. Результати аналізу енергетичних витрат зразків при різних ступенях руйнування наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Енергетичні витрати зразків ХРС при різних ступенях руйнування

Параметри	Норма	50 %Т+1Д	50 %Т+1Д +2 дуги	50 %Т+1Д +2 дуги + зв'язки	50 %Т+1Д+ 2 дуги + зв'язки + суглоби	Ст. значущість різниці (ANOVA)
$A_{\text{стискання}}$ , Дж	0,05±0,02 0,03÷0,07	7,12±1,17 5,29÷8,18	42,75±1,95 41,08÷45,75	62,71±3,79 57,76÷67,24	99,51±12,77 88,36÷121,00	t=229,745 p=0,001
$A_{\text{відновлення}}$ , Дж	0,05±0,01 0,03÷0,06	6,03±1,06 4,62÷7,11	11,48±0,42 10,93÷12,00	11,68±0,74 10,89÷12,60	13,47±3,37 10,89÷19,36	t=57,224 p=0,001
Ст. значущість різниці між роботою	t=1,872 p=0,135	t=8,767 p=0,001	t=37,736 p<0,001	t=34,827 p<0,001	t=20,226 p<0,001	
Втрата енергії, %	9,83±9,69 0,00÷20,9 9	15,32±3,46 12,62÷20,02	73,12±1,32 71,68÷74,28	81,36±0,87 79,99÷82,14	86,60±1,54 84,00÷87,75	t=317,462 p=0,001

Результати аналізу показали, що при незруйнованій структурі ХРС різниці між отриманою енергією деформації стискання та внутрішньою енергією, витраченою на відновлення, практично немає (t=1,872; p=0,135), втрата енергії становить в середньому (9,83 ± 9,69) %. При руйнуванні 50 % тіла хребця та міжхребцевого диска вже відбувається значуща (p=0,001) втрата енергії з (7,12 ± 1,17) Дж отриманої до (6,03 ± 1,06) Дж витраченої для відновлення, що становить у середньому (15,32 ± 3,46) %.

Подальше руйнування структур ХРС призводить до лавинного зростання витрат від (73,12 ± 1,32) % до (86,60 ± 1,54) %, зі збільшенням потенційної енергії стиснення через втрату жорсткості зразків та збільшення величини деформації –

від  $(42,72 \pm 1,95)$  Дж до  $(99,51 \pm 12,77)$  Дж при величині енергії відновлення, що практично не змінюється – в межах від 10 до 20 Дж.

На діаграмі розподілу енергій (рис. 3.3) показано, як розподілена потенційна енергія, яку одержують зразки при стисканні, так і відображені витрати енергії під час відновлення розмірів ХРС. На діаграмі (рис. 3.3) можна бачити, що руйнування 50 % тіла хребця та міжхребцевого диска по отриманій та витраченій енергії близькі, хоча й спостерігається зростання величин обох типів енергії.

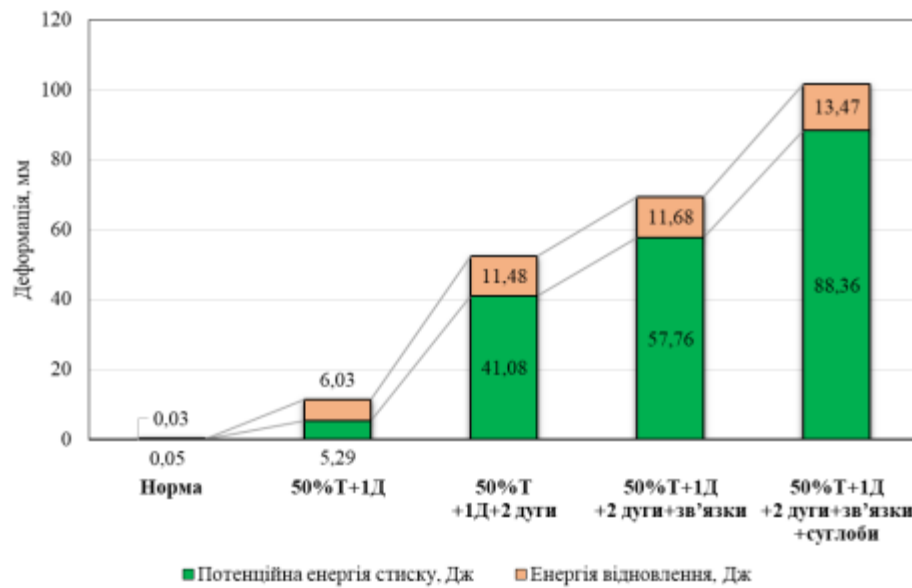


Рисунок 3.3 – Розподіл енергетичних витрат зразками ХРС при різних ступенях руйнування

Різкий енергетичний стрибок спостерігається під час руйнування додатково 2 дуг. Енергія деформації зростає у 8 разів, а енергія відновлення лише вдвічі. Наступні руйнівні зміни призводять до поступового практично лінійного зростання потенційної енергії, але енергія відновлення залишається практично незмінною.

За даними апостеріорного тесту Дункана (табл. 3.4) проаналізовано статистичні зміни енергетичних витрат зразків за різних ступенів руйнування.

За отриманими статистичними даними підтверджено, що з руйнуванні 50 % тіла хребця і диска зразок отримує енергію статистично близьку до нормального зразка, але для відновлення вихідної структури витрачає енергії значно більше.

Таблиця 3.4 – Результати апостеріорного тесту Дункана (ANOVA)

Ступінь руйнування	Потенційна енергія, Дж				Енергія відновлення, Дж		
	Підмножина для $\alpha = 0,05$				Підмножина для $\alpha = 0,05$		
	1	2	3	4	1	2	3
Норма	0,05				0,05		
50 %Т+1Д	7,12					6,03	
50 %Т+1Д+2 дуги		42,75					11,48
50 %Т+1Д+2 дуги+ зв'язки			62,71				11,68
50 %Т+1Д+2 дуги+ зв'язки+суглоби				99,51			13,47
Ст. значущість різниці у межах підгрупи	0,079	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,080

Зі збільшенням ступеня руйнування під час навантаження зразкам передається статистично значуща велика потенційна енергія, через збільшення величини деформації, але енергія відновлення залишається практично незмінною ( $p=0,080$ ), що може свідчити про втрату амортизаційних властивостей.

### 3.2 Результати дослідження напружено-деформованого стану моделі грудного відділу хребта за різних методів лікування перелому Th<sub>VI</sub> хребця

Першим етапом роботи досліджували напружено-деформований стан моделі хребта з грудиною без ушкоджень. Розподіл напружень в кісткових елементах моделі наведено на рис. 3.4.

При навантаженні неушкодженого хребта в зоні Th<sub>IV</sub>-Th<sub>VIII</sub> напруження по хребцях розподіляються досить рівномірно. Так, в тілах хребців напруження мають тенденцію до зростання від 5,6 МПа в хребці Th<sub>IV</sub> до 5,9 МПа в хребцях Th<sub>V</sub> і Th<sub>VI</sub>. Надалі, зміна кривизни хребта та збільшення площі опорної поверхні тал хребців змінює тренд напружень в бік зменшення до 5,1 МПа в тілі хребця Th<sub>VII</sub> та 3,5 МПа — в Th<sub>VIII</sub>.

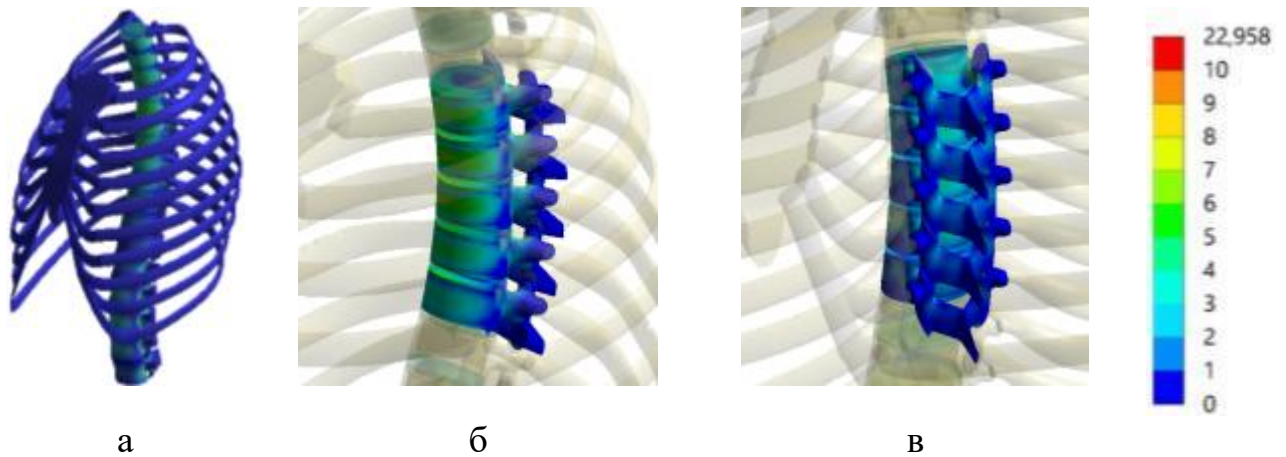


Рисунок 3.4 – Напружено-деформований стан моделі хребта з грудною клітиною в нормі: а) загальний вид; б) вид хребців Th<sub>IV</sub>-Th<sub>VIII</sub> спереду; в) вид хребців Th<sub>IV</sub>-Th<sub>VIII</sub> ззаду

Аналогічні тенденції зміни напружень простежуються в структурних елементах хребців Th<sub>IV</sub>-Th<sub>VIII</sub>. Розподіл напружень в кісткових структурах моделі з руйнуванням тіла хребця до 50 % та транспедікулярною конструкцією з 4 гвинтами наведено на рис. 3.5.

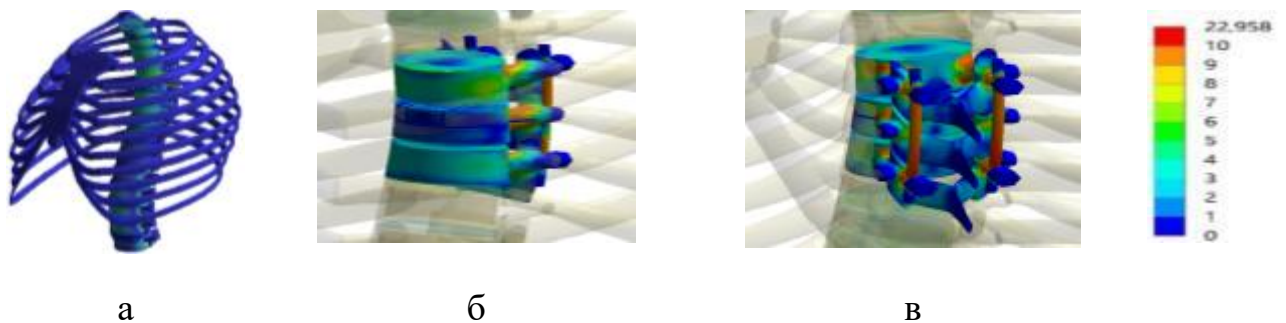


Рисунок 3.5 – Розподіл напружень в кісткових структурах моделі з руйнуванням тіла хребця Th<sub>VI</sub> до 50 % та транспедікулярною конструкцією з 4 гвинтами: а) загальний вид; б) вид хребців Th<sub>IV</sub>-Th<sub>VIII</sub> спереду; в) вид хребців Th<sub>IV</sub>-Th<sub>VIII</sub> ззаду

Руйнування тіла хребця Th<sub>VI</sub> і остеосинтез транспедікулярною конструкцією з кріпленням 4-ма гвинтами на хребцях Th<sub>V</sub> і Th<sub>VII</sub> призводить до підвищення рівня напружень в ніжках дуг саме хребців Th<sub>V</sub> і Th<sub>VII</sub> до величин 22,2 МПа та 15,4 МПа, відповідно. В результаті взаємодії цих хребців через дуговідросткові суглоби з хребцем Th<sub>6</sub> підвищується рівень напружень до 22,0 МПа і в ніжках його дуг. В той же час, наявність транспедікулярної конструкції дозволяє знизити рівень напружень в тілі хребця Th<sub>VI</sub> до 1,6 МПа.

Також, спостерігається зниження величин напружень в тілах хребців  $Th_{IV}$  і  $Th_{VII}$  до позначок 4,8 МПа та 4,2 МПа, відповідно. В тілі хребці  $Th_V$  визначається підвищення величини напружень до 6,9 МПа, що свідчить про те, що саме гвинти розташовані в ньому сприймають на себе основне навантаження. Це підтверджується і зростанням величини напружень навколо точки входу гвинтів в тіло цього хребця до 23,3 МПа. В той же час, навколо гвинтів в хребці  $Th_{VII}$  напруження зростають тільки до позначки 15,2 МПа.

Збільшення обсягу руйнувань тіла хребця  $Th_6$  більше 50 %, при тому ж варіанті остеосинтезу, що і в попередньому випадку, призводить до зміни напружено-деформованого стану моделі, який можна спостерігати на рис. 3.6.

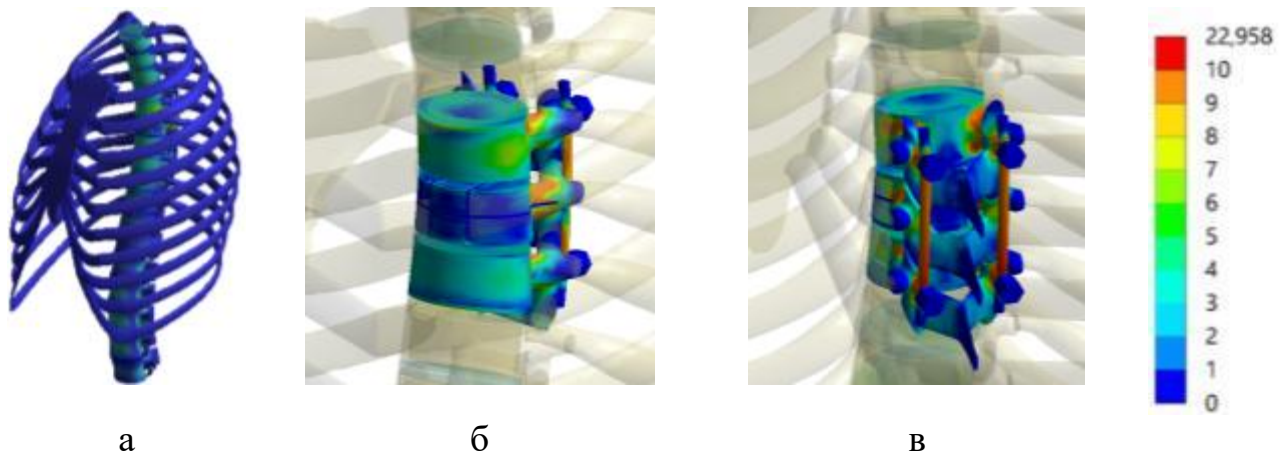


Рисунок 3.6 – Розподіл напружень в кісткових структурах моделі з руйнуванням тіла хребця  $Th_{VI}$  більше 50 % та транспедікулярною конструкцією з 4 гвинтами: а) загальний вид; б) вид хребців  $Th_{IV}$ - $Th_{VIII}$  спереду; в) вид хребців  $Th_{IV}$ - $Th_{VIII}$  ззаду

Як показали результати моделювання, збільшення обсягу руйнування тіла хребця  $Th_6$  при використанні того ж самого способу фіксації викликає мінімальні зміни величин напружень в хребцях моделі. Найбільші зростання рівня напружень визначаються навколо гвинтів в хребці  $Th_V$  — до 25,9 МПа та в хребці  $Th_{VII}$  — до 16,1 МПа, а також в ніжках дуг хребця  $Th_{VII}$  — до 16,4 МПа. В інших контрольних точках зміни рівня напружень незначні.

На рис. 3.7 наведено напружено-деформований стан моделі при подовженні транспедікулярної фіксації на хребці  $Th_{IV}$  і  $Th_{VIII}$  при тому ж обсязі руйнувань тіла хребця  $Th_{VI}$ . Збільшення протяжності транспедікулярної фіксації на хребці  $Th_{IV}$  і

Th<sub>VIII</sub> дозволило різко знизити рівень напружень во всіх структурних елементах хребців Th<sub>V</sub> і Th<sub>VII</sub>. Найбільші зміни торкнулися ніжок дуг хребців, де напруження знизилися до рівня 3,9 МПа та 4,1 МПа, відповідно, а також навколо фіксуючих гвинтів, де напруження впали до позначок 8,5 МПа в хребці Th<sub>V</sub> і 6,8 МПа в хребці Th<sub>VII</sub>. При цьому напруження в ніжках дуг хребця Th<sub>IV</sub> зросли до 11,8 МПа, а в ніжках хребця Th<sub>VIII</sub> — тільки до 4,1 МПа. Напруження навколо гвинтів в тілах хребців Th<sub>IV</sub> і Th<sub>VIII</sub> визначаються на рівні 6,9 МПа та 6,0 МПа, відповідно.

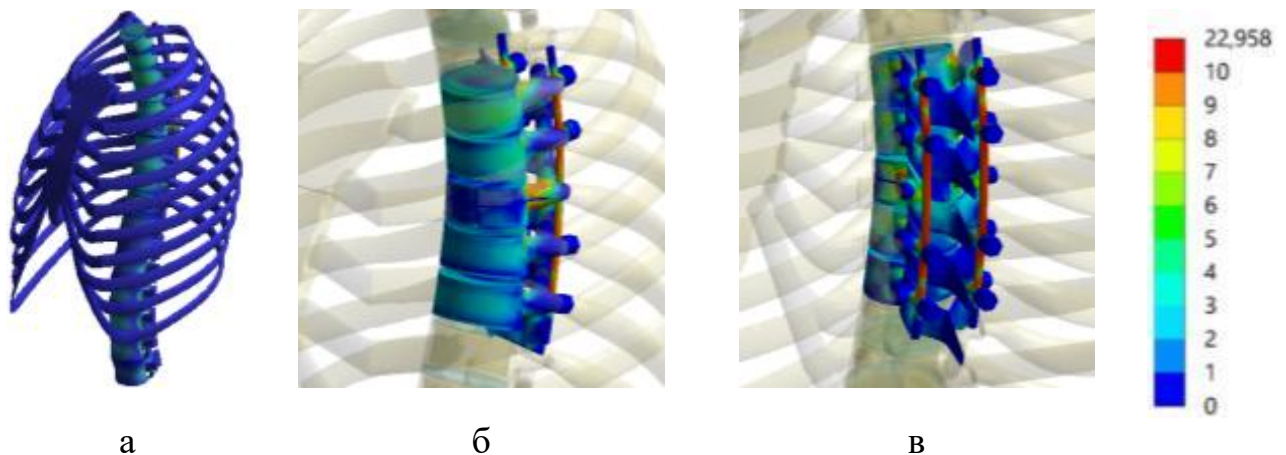


Рисунок 3.7 – Розподіл напружень в кісткових структурах моделі з руйнуванням тіла хребця Th<sub>VI</sub> більше 50 % та транспедікулярною конструкцією з 8 гвинтами: а) загальний вид; б) вид хребців Th<sub>IV</sub>-Th<sub>VIII</sub> спереду; в) вид хребців Th<sub>IV</sub>-Th<sub>VIII</sub> ззаду

Зміни напружено-деформованого стану моделі, які відбуваються при подальшому збільшенні обсягу руйнування хребцевого сегменту Th<sub>VI</sub>, що розповсюджується на його задній опорний комплекс, відображає рисунок 3.8.

Як уже відмічалось раніше, збільшення обсягу руйнувань хребцево-рухового сегмента без зміни способу фіксації призводить до незначних підвищень величин напружень, практично, в усіх кісткових елементах моделі. В даному випадку ця тенденція зберігається. Найбільші зміни відбуваються в ніжках дуг хребців. Так в хребці Th<sub>VIII</sub> спостерігається підвищення рівня напружень до 5,0 МПа, в хребці Th<sub>VII</sub> — до 5,1 МПа, в хребці Th<sub>V</sub> — до 4,5 МПа, в Th<sub>IV</sub> — до 12,3 МПа. Найбільшою ділянкою навантаження, як і на всіх попередніх моделях, є ніжки дуг хребця Th<sub>VI</sub> — 21,2 МПа.

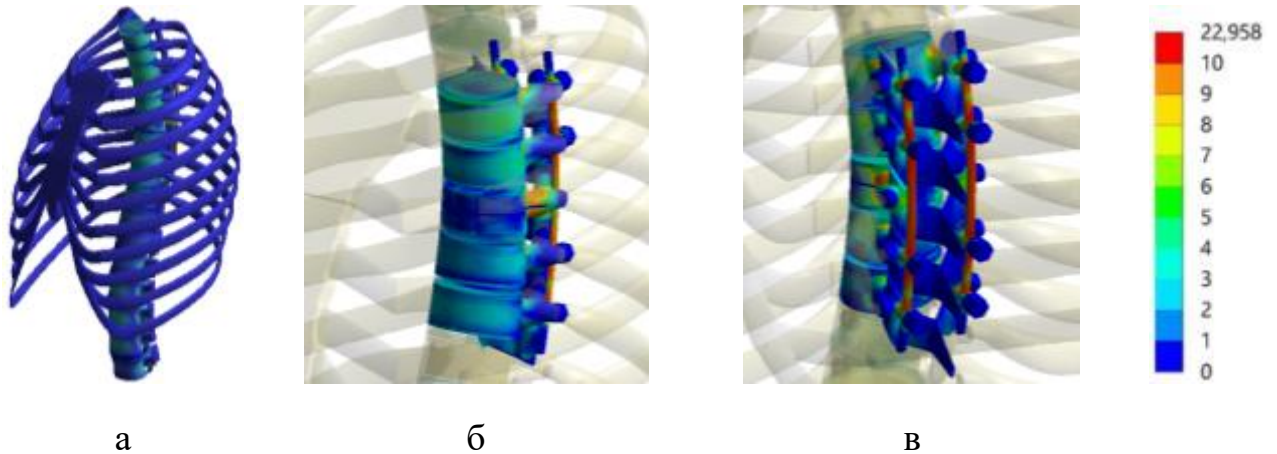


Рисунок 3.8 – Розподіл напружень в кісткових структурах моделі з руйнуванням тіла хребця  $Th_{VI}$  більше 50 % і його заднього опорного комплексу, транспедікулярна конструкція з 8 гвинтами: а) загальний вид; б) вид хребців  $Th_{IV}$ - $Th_{VIII}$  спереду; в) вид хребців  $Th_{IV}$ - $Th_{VIII}$  ззаду

Розглянемо, як впливає на розподіл напружень заміна тіла хребця  $Th_{VI}$  міжтіловим титановим кейджем. Напружено-деформований стан моделі з повним руйнуванням тіла хребця  $Th_{VI}$  і його заднього опорного комплексу, наявністю транспедікулярної конструкції з 8 гвинтами та міжтіловим кейджем представлено на рис. 3.9.

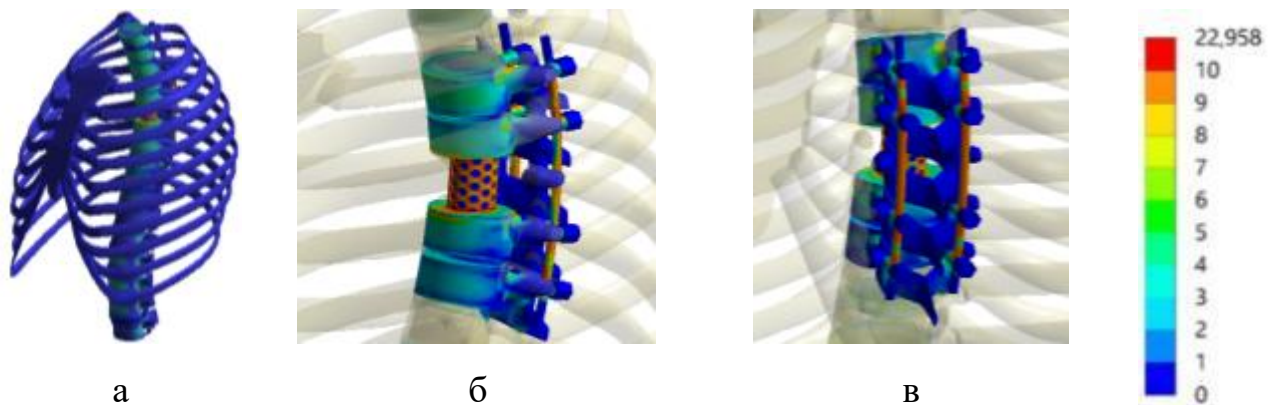


Рисунок 3.9 – Розподіл напружень в кісткових структурах моделі з повним руйнуванням тіла хребця  $Th_{VI}$  і його заднього опорного комплексу, з транспедікулярною конструкцією з 8 гвинтами та міжтіловим кейджем: а) загальний вид; б) вид хребців  $Th_{IV}$ - $Th_{VIII}$  спереду; в) вид хребців  $Th_{IV}$ - $Th_{VIII}$  ззаду

Проведене дослідження показало, що у випадку заміни тіла хребця титановим міжтіловим кейджем, саме кейдж сприймає на себе основні навантаження, про що свідчить високий рівень напружень в ньому — 46,0 МПа. Високий рівень напружень в кейджі, також, обумовлений його конструкцією, яка уявляє собою перфоровану трубку, що забезпечує дуже невелику площу контакту кейджа з тілами хребців, з якими він взаємодіє. Найбільший рівень напружень в кісткових структурах визначається в тілах хребців  $Th_V$  і  $Th_{VII}$ , які є опорою для міжтілового кейджа, але за абсолютними показниками вони не перевищують рівня 8,6 МПа та 9,5 МПа, відповідно. Приблизно на тому ж рівні визначаються напруження в ніжках дуг хребця  $Th_{IV}$ , де вони сягають позначки 9,7 МПа. Доцільно відмітити, що в інших контрольних точках моделі напруження розподіляється досить рівномірно, і визначаються в межах від 3,0 МПа да 5,6 МПа.

Таблиця 3.5 представляє дані про величини напружень в кісткових елементах моделі, в залежності від обсягу руйнування хребця  $Th_{VI}$  і варіанту спондилодезу.

Наочне уявлення про співвідношення величин напружень в кісткових елементах моделі, в залежності від обсягу руйнування хребця  $Th_{VI}$  і варіанту спондилодезу, дозволяє отримати діаграма з рис. 3.10.

Дана діаграма демонструє, що найбільший рівень напружень визначається в ніжках дуг і навколо фіксуючих гвинтів в хребцях  $Th_V$  і  $Th_V$ . При монтажу транспедікулярної конструкції виключно на ці хребці. Поширення транспедікулярної конструкції на хребці  $Th_{IV}$  і  $Th_{VIII}$  дозволяє в значній мірі вирівняти напруження в хребцях на всьому протязі фіксації. Заміна зруйнованого тіла хребця  $Th_{VI}$  міжтіловим титановим кейджем дозволяє вирівняти напруження, практично во всіх структурних елементах хребців  $Th_{IV}$ – $Th_{VIII}$  за рахунок того, що основне навантаження сприймає на себе саме кейдж. Але конструктивні особливості кейджа призводять до виникнення значних напружень в ньому, а також в тілах хребців  $Th_V$  і  $Th_{VII}$ , з якими він безпосередньо контактує. Дана

проблема може бути вирішена шляхом зміни конструкції кейджа, таким чином, щоб збільшити площу його контакту з тілами хребців.

Таблиця 3.5 – Величини максимальних напружень в кісткових елементах моделей

Контрольні точки		Напруження, МПа					
хребець	номер	норма	руйнування тіла хребця <50% 4 гвинта	руйнування тіла хребця >50% 4 гвинта	руйнування тіла хребця >50% 8 гвинтів	руйнування тіла хребця >50% і заднього опорного комплексу, 8 гвинтів	повне руйнування тіла хребця і заднього опорного комплексу 8 гвинтів + кейдж
Th <sub>IV</sub>	1	5,6	4,8	5,2	4,9	5,0	4,6
	2	3,1	4,0	4,0	11,8	12,3	9,7
	3	1,6	2,7	2,8	6,9	7,0	5,6
Th <sub>V</sub>	1	5,9	6,8	6,7	4,0	4,1	8,6
	2	3,1	22,2	22,3	3,9	4,5	3,2
	3	1,6	23,3	25,9	8,5	8,7	3,0
Th <sub>VI</sub>	1	5,9	1,6	1,8	1,7	1,6	46,0
	2	3,7	22,0	22,4	17,0	21,2	
Th <sub>VII</sub>	1	5,1	4,2	4,3	2,8	3,0	9,5
	2	2,5	15,4	16,4	4,1	5,1	3,2
	3	1,4	15,2	16,1	6,8	6,8	4,9
Th <sub>VIII</sub>	1	3,5	4,2	3,4	3,0	3,0	3,0
	2	2,1	3,9	4,0	4,1	5,0	4,5
	3	1,3	1,7	1,7	6,0	6,3	5,1

Останнім етапом роботи визначали зміни напружено-деформованого стану елементів транспедікулярної конструкції в залежності від варіанту її монтажу та обсягу руйнувань хребця Th<sub>VI</sub>. Картину розподілу напружень в різних моделях представлено на рис. 3.11.

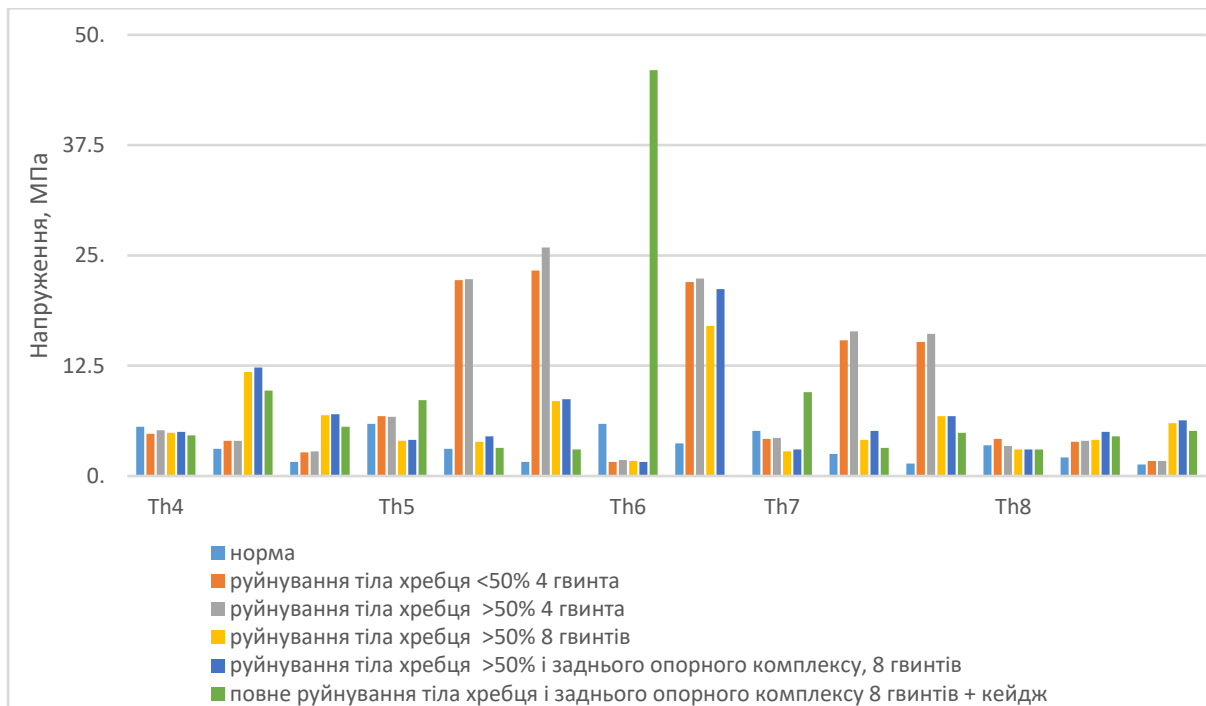


Рисунок 3.10 – Діаграма величин напружень в елементах хребців Th<sub>IV</sub>-Th<sub>VIII</sub> в залежності від обсягу руйнувань та варіанту спондилодезу

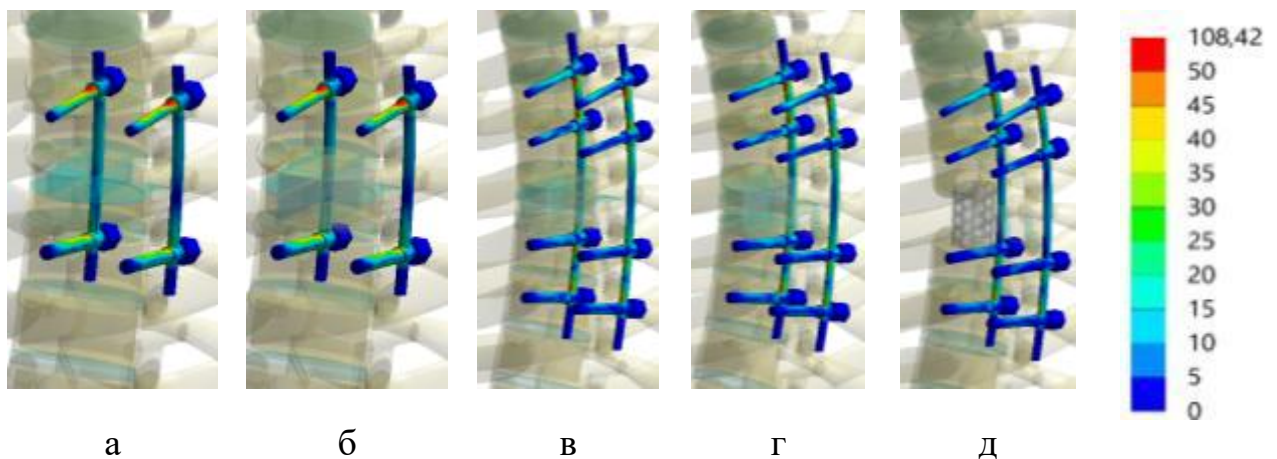


Рисунок 3.11 – Розподіл напружень в елементах транспедікулярної конструкції: а) руйнування тіла хребця Th<sub>VI</sub> < 50 % 4 гвинта; б) руйнування тіла хребця Th<sub>VI</sub> > 50 % 4 гвинта; в) руйнування тіла хребця Th<sub>VI</sub> > 50 % 8 гвинтів; г) руйнування тіла хребця Th<sub>VI</sub> > 50 % і його заднього опорного комплексу, 8 гвинтів; д) повне руйнування тіла хребця Th<sub>VI</sub> і його заднього опорного комплексу 8 гвинтів + кейдж

Проведене математичне моделювання показало, що найбільший рівень напружень виникає на гвинтах в хребця Th<sub>V</sub> і Th<sub>VI</sub> при варіанті монтажу транспедікулярної конструкції саме на ці хребці. Так, при руйнуванні тіла хребця Th<sub>VI</sub> менше 50 % напруження на гвинтах в тілах хребців Th<sub>V</sub> і Th<sub>VI</sub> визначаються

на рівні 78,0 МПа та 55,1 МПа, відповідно. Збільшення обсягу руйнувань тіла хребця  $Th_{VI}$  більше 50 %, при тому ж варіанті монтажу транспедікулярної конструкції, призводить до збільшення рівня напружень в фіксуючих гвинтах в тілах хребців  $Th_V$  і  $Th_{VII}$  до 89,1 МПа та 56,0 МПа, відповідно. Подовження інструментації на хребці  $Th_{IV}$  і  $Th_{VIII}$  дозволяє вирівняти напружень в елементах транспедікулярної конструкції не залежно від обсягу руйнувань хребці  $Th_{VI}$ . Так, при руйнуванні більш ніж 50 % тіла хребця  $Th_6$  напруження на всіх фіксуючих гвинтах визначаються в межах від 10,8 МПа до 11,7 МПа, при додатковому руйнуванні заднього опорного комплексу діапазон напружень трохи розширюється від 10,5 МПа до 13,0 МПа. Заміна тіла хребця  $Th_{VI}$  міжтіловим титановим кейджем ще більше знижує діапазон напружень на гвинтах, де вони визначаються в межах від 7,8 МПа до 10,8 МПа. Напруження в стрижнях визначаються практично однаковими при всіх варіантах монтажу транспедікулярної конструкції, і визначаються в межах від 65,0 МПа до 69,1 МПа. Виняток складає комбінація транспедікулярної конструкції з міжтіловим кейджем. В цьому випадку напруження на стрижнях знижуються до позначки 49,4 МПа. Це ще раз підтверджує висновок, про те, що міжтіловий кейдж бере на себе велику частку навантаження.

Дані про величини напружень в елементах транспедікулярної конструкції, в залежності від варіанту її монтажу та обсягу руйнувань хребця  $Th_{VI}$ , наведено в табл. 3.6.

Діаграма, яка наведена на рис. 3.12 надає наочне уявлення про співвідношення величин напружень на елементах транспедікулярної конструкції, в залежності від варіанту її монтажу та обсягу руйнувань хребця  $Th_{VI}$ .

Як видно на діаграмі, найбільші напруження виникають на фіксуючих гвинтах в хребцях  $Th_V$  і  $Th_{VII}$  при монтажу транспедікулярної конструкції тільки на ці хребці. Подовження довжини інструментації на хребці  $Th_{IV}$  і  $Th_{VIII}$  дозволяє значно знизити рівень напружень на всіх гвинтах транспедікулярної конструкції. На рівень напружень в стрижнях обсяг руйнувань і варіанти монтажу

транспедікулярної конструкції практично не впливають. Тільки заміна тіла хребця  $Th_{VI}$  міжтіловим титановим кейджем перерозподіляє частину навантаження з транспедікулярної конструкції на кейдж, що сприяє зниженню рівня напружень в стрижнях.

Таблиця 3.6 – Величини максимальних напружень в елементах транспедікулярних конструкцій моделей

Контрольні точки		Напруження, МПа				
хребець	елемент	руйнування тіла хребця <50% 4 гвинта	руйнування тіла хребця >50% 4 гвинта	руйнування тіла хребця >50% 8 гвинтів	руйнування тіла хребця >50% і заднього опорного комплексу, 8 гвинтів	повне руйнування тіла хребця і заднього опорного комплексу 8 гвинтів + кейдж
$Th_{IV}$	гвинти	—	—	11,2	12,0	10,8
$Th_V$	гвинти	78	89,1	10,8	10,5	9,6
$Th_{VII}$	гвинти	55,1	56	11,7	12,2	7,8
$Th_{VIII}$	гвинти	—	—	11,4	13,0	8,3
Стрижні		65	66,7	66,5	69,1	49,4

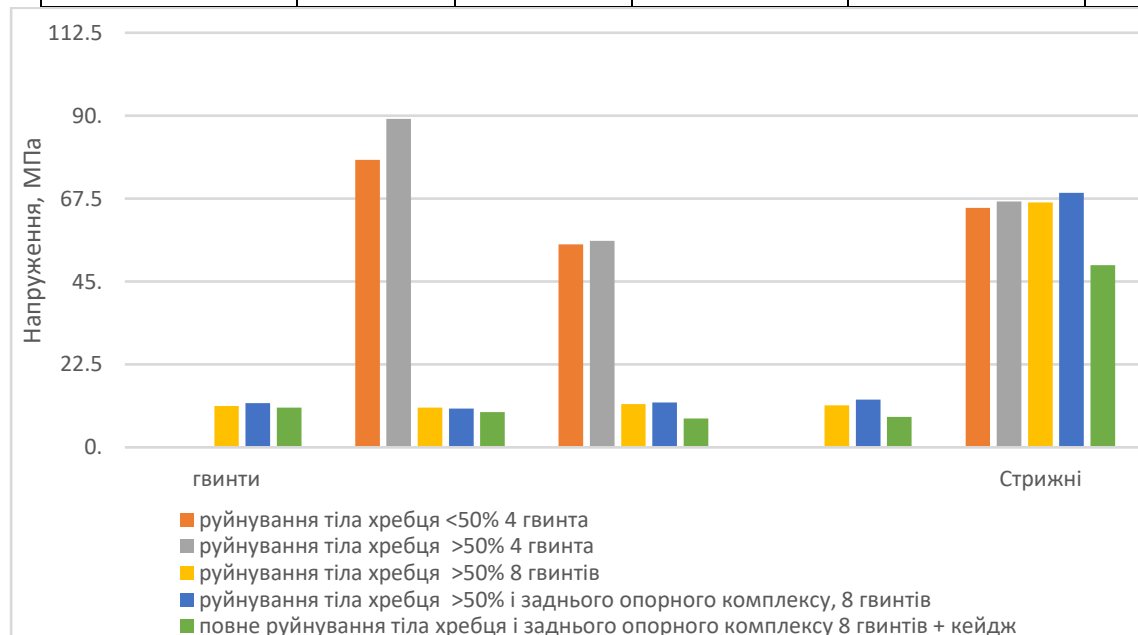


Рисунок 3.12 – Діаграма величин напружень в елементах транспедікулярних конструкцій в залежності від обсягу руйнувань та варіанту остеосинтезу

Таким чином, за даними фізичного біомеханічного моделювання перелому Th<sub>VI</sub> хребця виявлена втрата пружних властивостей хребтового сегмента і хребта в цілому під час руйнування даного сегмента. Порівняно незначна ступінь руйнування (50 % тіла хребця і міжхребцевого диска) супроводжується частковим збереженням пружності з величиною залишкової деформації 4,3 % від ступеня деформації під час навантаження. Подальше руйнування хребтового сегмента призводить до повної втрати і пружності, і здатності до опору навантаженню та подальшому відновленню, про що свідчить кратне збільшення величини залишкової деформації до 48,2 % вже при руйнуванні дуг та зв'язок. Руйнування ребер призводить до втрати стабільності хребта лише на рівні пошкодженого сегмента.

Результати дослідження напружено-деформованого стану моделі грудного відділу хребта за різних методів лікування перелому Th<sub>VI</sub> хребця дозволили встановити, що при використанні задньої транспедікулярної фіксації на рівні Th<sub>V</sub>-Th<sub>VII</sub> хребців найбільший рівень напружень визначається виключно на рівні спондилодезу в ніжках дуг і навколо фіксуючих гвинтів. Поширення транспедікулярної фіксації на хребці Th<sub>IV</sub> і Th<sub>VIII</sub> дозволяє в значній мірі вирівняти напруження на всьому протязі спондилодезу. Додаткова заміна зруйнованого тіла хребця Th<sub>6</sub> міжтіловим титановим кейджем дозволяє вирівняти напруження практично во всіх структурних елементах хребців Th<sub>IV</sub>-Th<sub>VIII</sub> за рахунок того, що основне навантаження сприймає на себе саме кейдж. На рівень напружень в стрижнях обсяг руйнувань і варіанти монтажу транспедікулярної конструкції практично не впливають.

## **4 СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ГРУДНИХ ХРЕБТОВИХ СЕГМЕНТІВ ПРИ РІЗНИХ ТИПАХ ТРАВМАТИЧНИХ ПЕРЕЛОМІВ**

4.1 Оцінка ушкодження структур хребців грудного відділу хребта при різних типах травматичних переломів за даними рентгенометричних досліджень

Першим етапом обґрунтування тактики раціонального лікування пацієнтів з різними типами травматичних переломів тіл хребців грудного відділу хребта є характеристика ушкодження анатомічних структур в залежності від таких рентгенометричних показників, як обсяг ушкодження задніх відділів хребетного сегмента, ступінь фрагментації тіла хребця, величина локальної кіфотичної деформації, ступінь звуження сагітального діаметру хребетного каналу. Також необхідно з'ясувати взаємний вплив даних рентгенометричних показників. Характеристика вказаних вище параметрів переломів тіл хребців грудного відділу хребта та їх градацій представлена в таблиці 2.3.

Принципове значення для вибору методу лікування травматичних переломів тіл хребців грудного відділу хребта (консервативне, хірургічне) має цілісність заднього опорного комплексу. На нашому матеріалі ушкодження тільки тіла хребця зі збереженням задніх структур виявили в 42 (40,8 %) випадках; з травмуванням заднього зв'язкового комплексу — в 49 (47,6 %); заднього кістково-зв'язкового комплексу — в 12 (11,7 %) спостереженнях.

Отже, дослідження взаємозалежності таких рентгенологічних ознак травматичних переломів тіл хребців грудного відділу, як ушкодження структур заднього опорного комплексу та ступінь фрагментації тіл хребців показало відсутність явної зкономірності між збільшенням руйнування тіла травмованого хребця та порушенням цілісності заднього зв'язкового та кістково-зв'язкового комплексу (рис. 4.1).

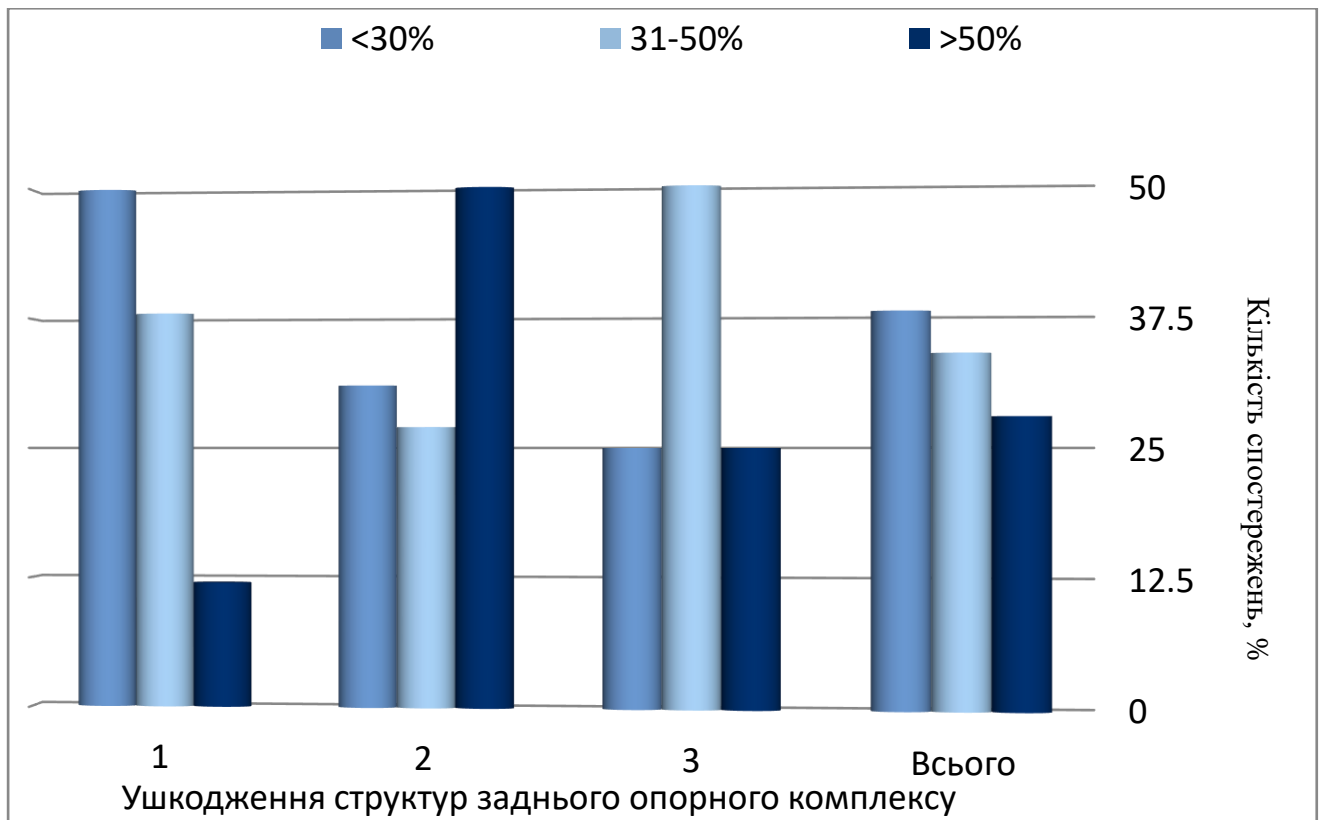


Рисунок 4.1 – Діаграма розподілу травматичних переломів з різним ступенем фрагментації тіла хребця в залежності від ушкодження структур заднього опорного комплексу: 1 — без травмування; 2 — розрив заднього зв'язкового комплексу; 3 □ — руйнування заднього кістково-зв'язкового комплексу

Певну нелогічність отриманих результатів можна пояснити незначною кількістю постраждалих з вибуховим переломом тіла хребця ( $n=12$ ) з руйнуванням заднього кістково-зв'язкового комплексу, чисельність яких після розподілу по 3-х групах з різним ступенем фрагментації тіла скомпрометованого хребця стала статистично невірогідною:  $n=3$ ;  $n=6$ ;  $n=3$  у групах з фрагментацією < 30 %; від 31 % до 50 % та >50 % тіла хребця відповідно.

Слід відмітити, що аналогічна ситуація статистичної невірогідності кількості спостережень після розподілу по відповідних групах простежувалась також і під час дослідження взаємного зв'язку вибухового перелома тіла хребця з такими рентгенологічними параметрами, як величина локального кіфозу (рис. 4.2) та ступінь стенозу хребетного каналу (рис. 4.4).

Збільшення величини локального кіфозу безпосередньо пов'язано зі ступенем руйнування усіх (і передніх, і задніх) структур грудного рухового сегмента. Кількість спостережень величини локального кіфозу, що перевищує  $31^\circ$ , неухильно зростає зі збільшенням ушкоджень тіла хребця та його задніх структур. Якщо у разі перелому тільки тіла хребця зі збереженням цілості заднього опорного комплексу локальний кіфоз  $>31^\circ$  не виявлено в жодному випадку, то з приєднанням розриву задніх зв'язок величина вказаної вище кіфотичної деформації зареєстрована в 4,1 %, а у випадках поєднання переломів тіла й дуг хребців — у 16,7 % (рис. 4.2).

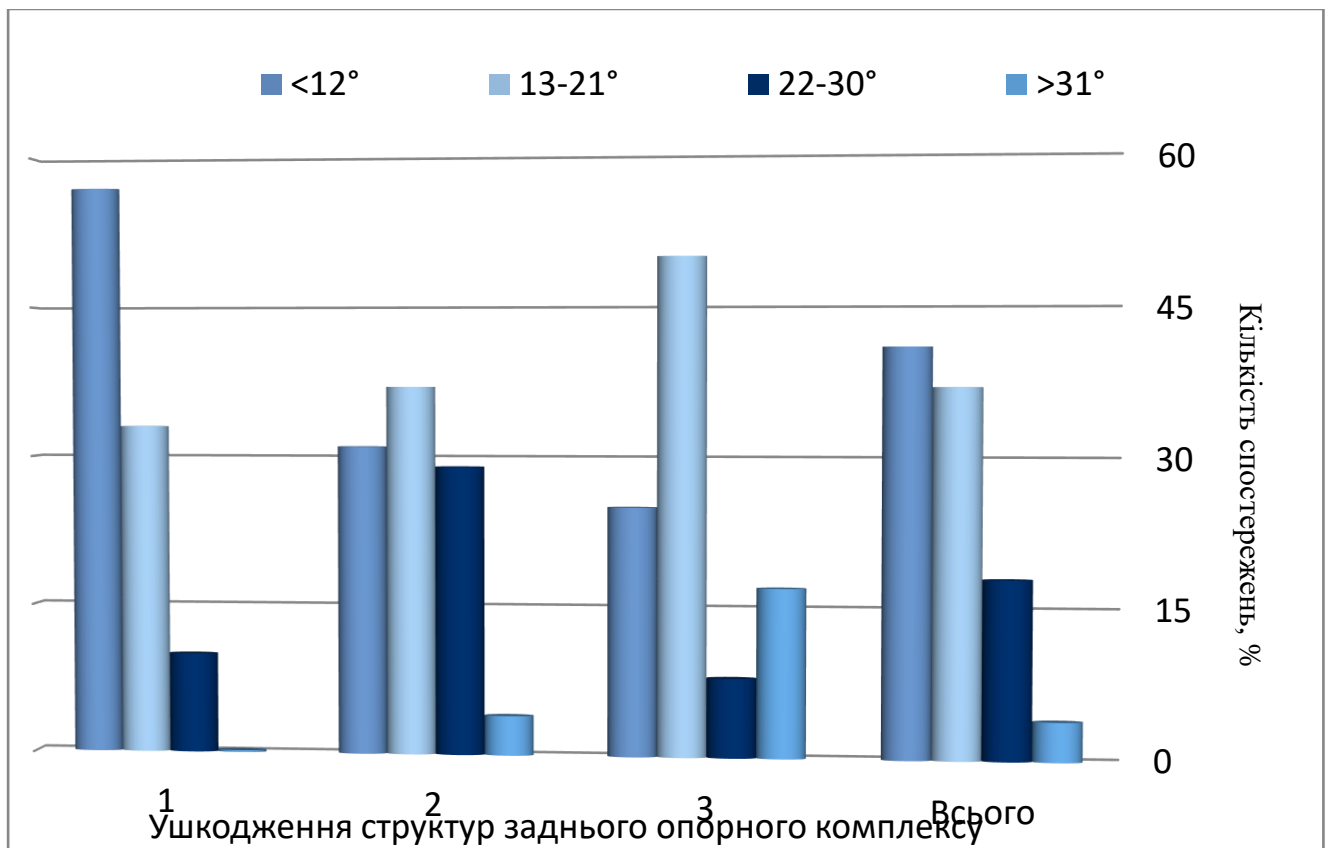


Рисунок 4.2 – Діаграма розподілу травматичних переломів з різною величиною локального кіфозу в залежності від ушкодження структур заднього опорного комплексу: 1 — без травмування; 2 — розрив заднього зв'язкового комплексу; 3 — руйнування заднього кістково-зв'язкового комплексу

Дослідження частоти випадків різних ступенів стенозу хребетного каналу у вивчаємої категорії пацієнтів показало майже рівномірний розподіл таких спостережень (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Діаграма розподілу хворих з переломами тіл грудних хребців за ступенем звуження сагітального діаметру хребетного каналу

Взаємозв'язок ступеня руйнування задніх структур грудного рухового сегмента та ступеня стенозу хребетного каналу на рівні травматичного перелома також не виявив статистично вірогідних закономірностей або чітких тенденцій (рис. 4.4). Цей факт пояснюється не тільки незначною (для статистичних досліджень) кількістю випадків у групі з ушкодженням заднього кістково-зв'язкового комплексу, а й прямою залежністю ступеня звуження сагітального розміру хребетного каналу від наявності й характеру ретропульсації (зміщення заднього фрагмента тіла хребця в порожнину каналу). Адже відомі достатньо чисельні клінічні спостереження у літературних джерелах щодо відсутності анатомічного звуження сагітального діаметру хребетного каналу навіть за умов значної фрагментації тіла зламаного хребця, понад 50 % [227-229].

При дослідженні впливу типу вибухового перелома за класифікацією F. Magerl з співавт. [90] на величину локального кіфозу після травми виявлено чітку тенденцію збільшення кутового кіфозу у міру збільшення руйнування структур грудного хребця. Найбільша кількість спостережень з локальним кіфозом у межах від  $22^{\circ}$  до  $30^{\circ}$  і більше  $31^{\circ}$  припадала на вибухові переломи типу В (дистракційні) та типу С (ротаційні), що цілком впливає з механізму утворення переломів вищевказаних типів під дією сил зсуву та торсійних відповідно. В той же час при переломах типів А.3.1 та А.3.2, що виникають під дією сил компресії і супроводжуються переважно травмуванням тіла хребця, зареєстровано відсутність локального кіфозу у 71,4 % випадків (рис. 4.5).

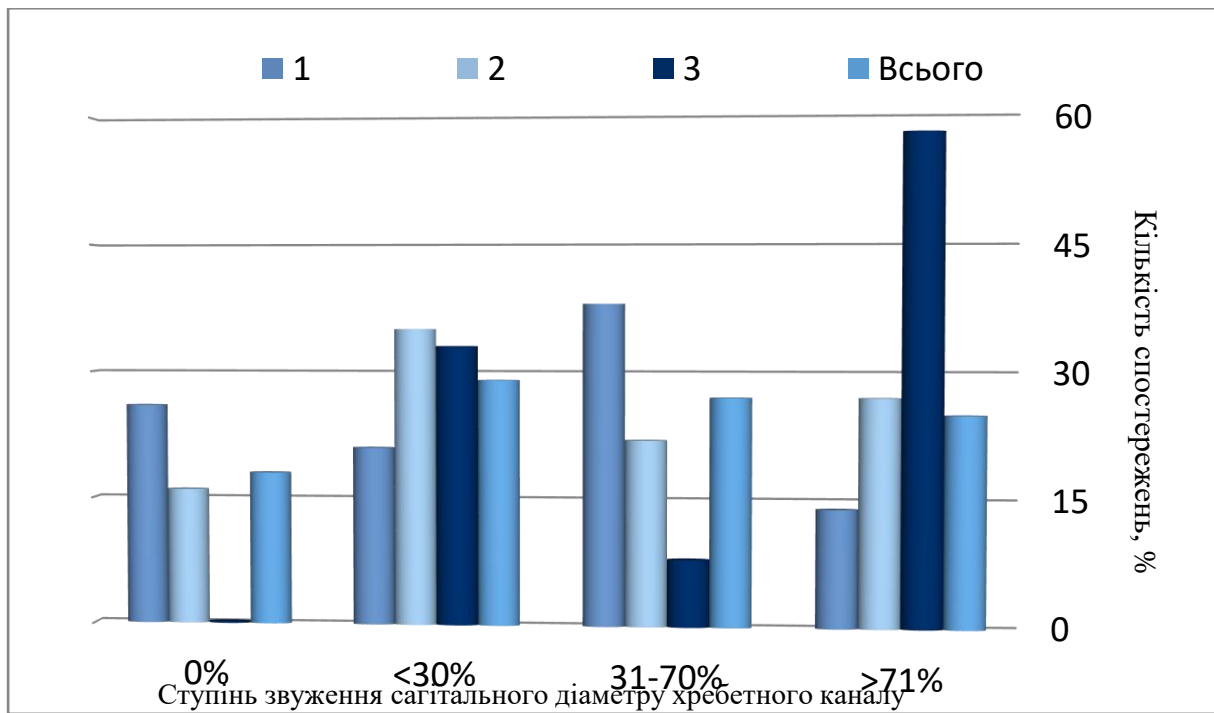


Рисунок 4.4 – Діаграма розподілу переломів з різним ступенем звуження сагітального діаметру хребетного каналу в залежності від ушкодження структур заднього опорного комплексу: 1 — без травмування; 2 — розрив заднього зв'язкового комплексу; 3 — руйнування заднього кістково-зв'язкового комплексу

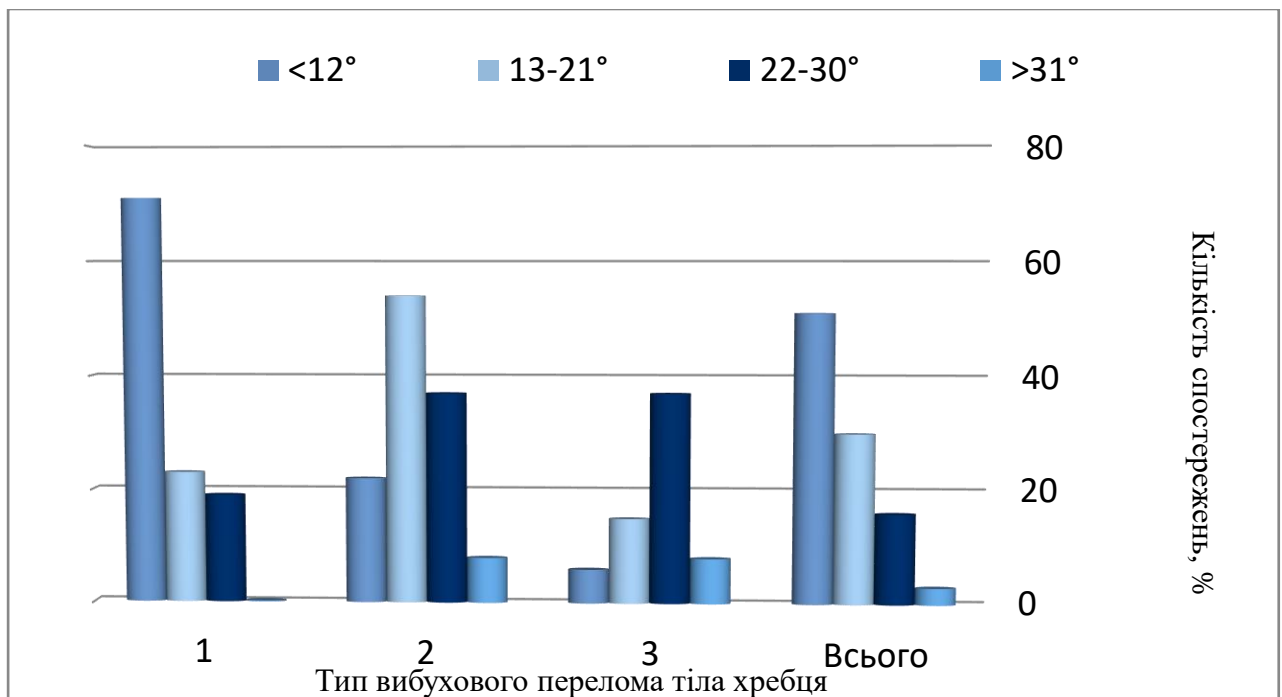


Рисунок 4.5 – Діаграма розподілу типів травматичних переломів грудних хребців за класифікацією F. Magerl [90] за величиною локального кіфозу: 1 — переломи типів А.3.1 й А.3.2; 2 — типу А.3.3; 3 — типів АВ й АС

Зв'язок типів вибухових переломів грудних хребців за класифікацією F. Magerl з співавт. [90] зі ступенем звуження сагітального діаметру хребетного каналу представлений на рисунку 4.6. Як свідчить з даної діаграми, ступінь руйнування грудного хребця певною мірою впливає на травматичне звуження простору хребетного каналу: за умов ушкодження переважно тільки тіла хребця (переломи типів А.3.1 та А.3.2) виявлено відсутність кісткового стенозу або мінімальне звуження (до 30 %) простору хребетного каналу у 34,2 % та 39,5 % випадків, що загалом представляє 73,7 %. І навпаки, максимальна чисельність спостережень з критичним звуженням сагітального розміру хребетного каналу (>71 %) встановлена при вибухових переломах типів В та С (51,6 %) — рис. 4.6.

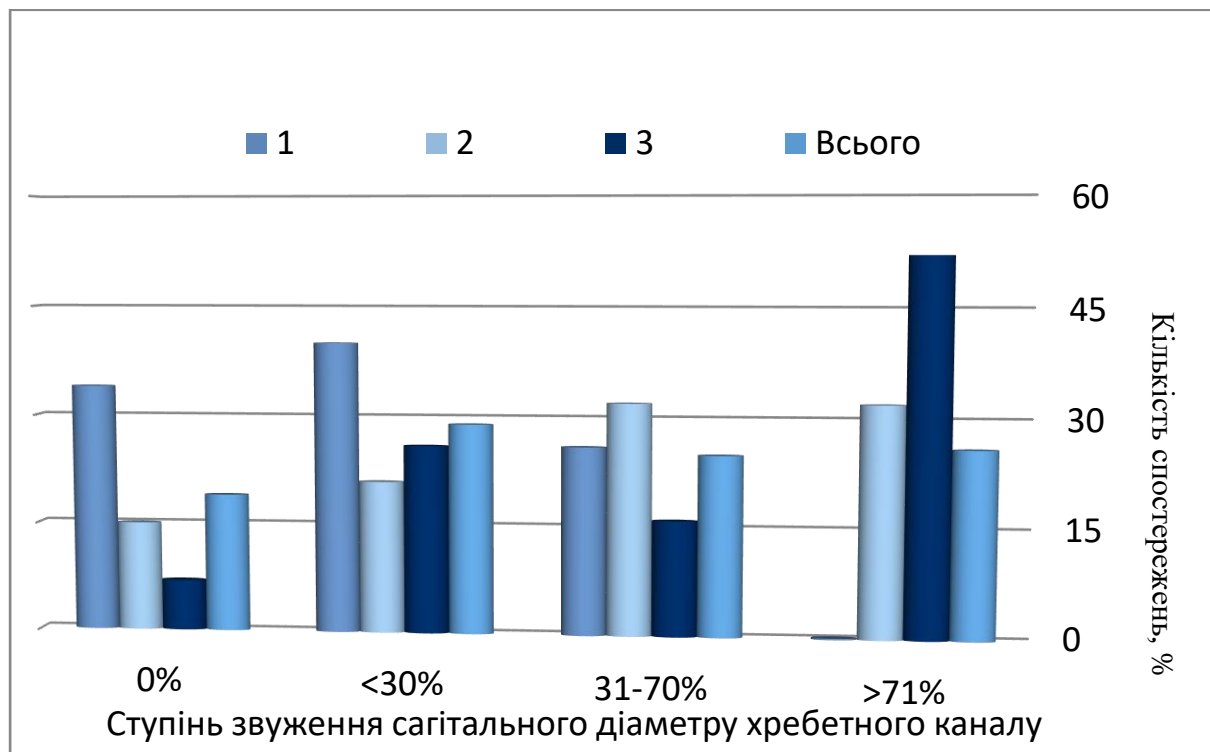


Рисунок 4.6 – Діаграма розподілу типів вибухових переломів грудних хребців за класифікацією F. Magerl з співавт. [90] за ступенем звуження сагітального діаметру хребетного каналу: 1 — переломи типів А.3.1 й А.3.2; 2 — типу А.3.3; 3 — типів АВ й АС

Ступінь звуження сагітального діаметру хребетного каналу також залежала від величини локального кіфозу. Збільшення останнього неухильно призводило до зменшення показника сагітального діаметру каналу (рис. 4.7).

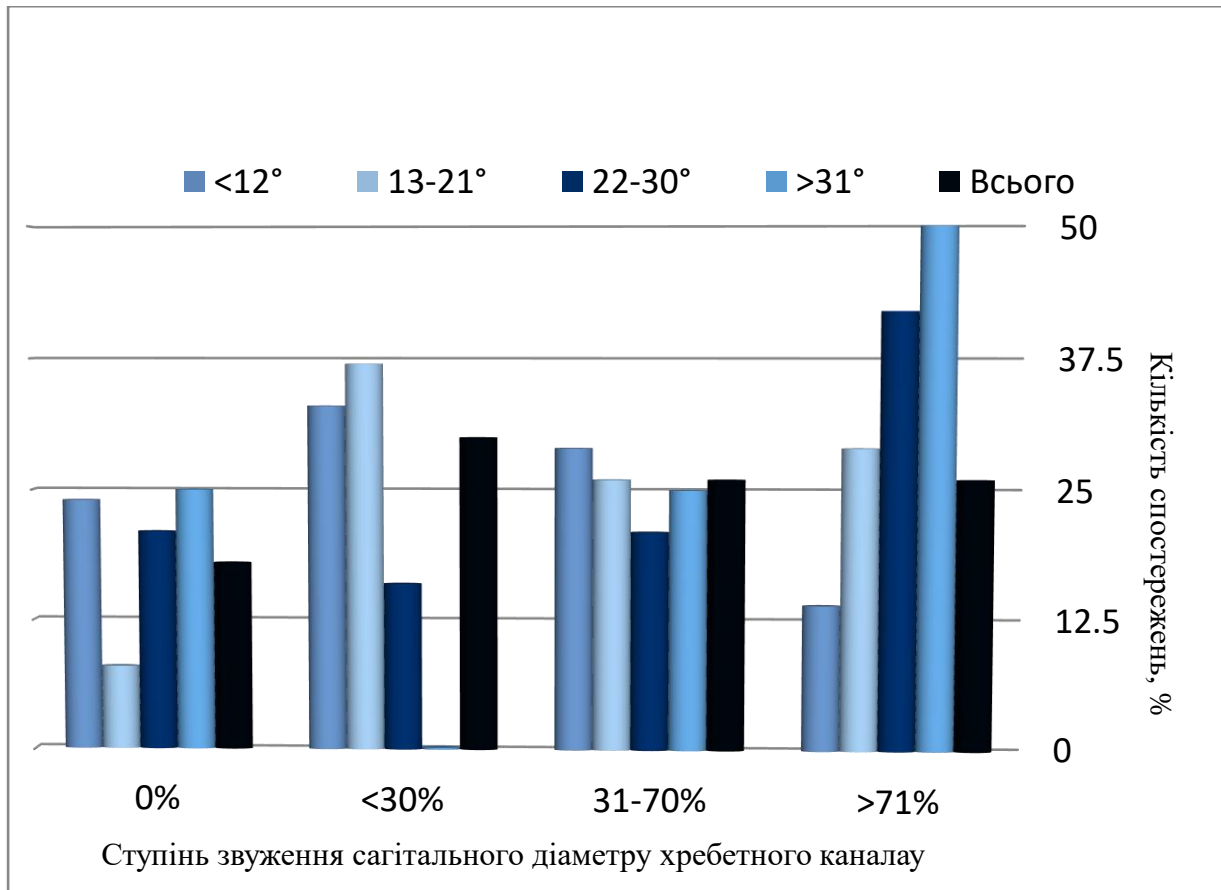


Рисунок 4.7 – Діаграма розподілу ступеня звуження сагітального діаметру хребетного каналу при різних величинах локальної кіфотичної деформації

Характер розподілу ступеня локальної кіфотичної деформації й ступеня звуження сагітального розміру хребетного каналу від ступеня фрагментації тіла ушкодженого хребця (рис. 4.8 та 4.9 відповідно) був аналогічний до взаємозв'язку рентгенологічних параметрів післятравматичної деформації задніх структур грудних хребців з типами вибухових переломів за класифікацією F. Magerl з співавт. [90] (рис. 4.5 та 4.6 відповідно). Така майже ідентичність впливу характеру ушкодження переднього опорного комплексу з руйнуванням всього тіла хребця представляється цілком логічною, так як травмування тіла хребця з його фрагментацією є часткою класифікації типу вибухового перелома. Формування досліджених післятравматичних деформацій в значній мірі залежить від напрямку зміщення кісткових фрагментів тіл хребців, перш за все — у бік хребетного каналу.

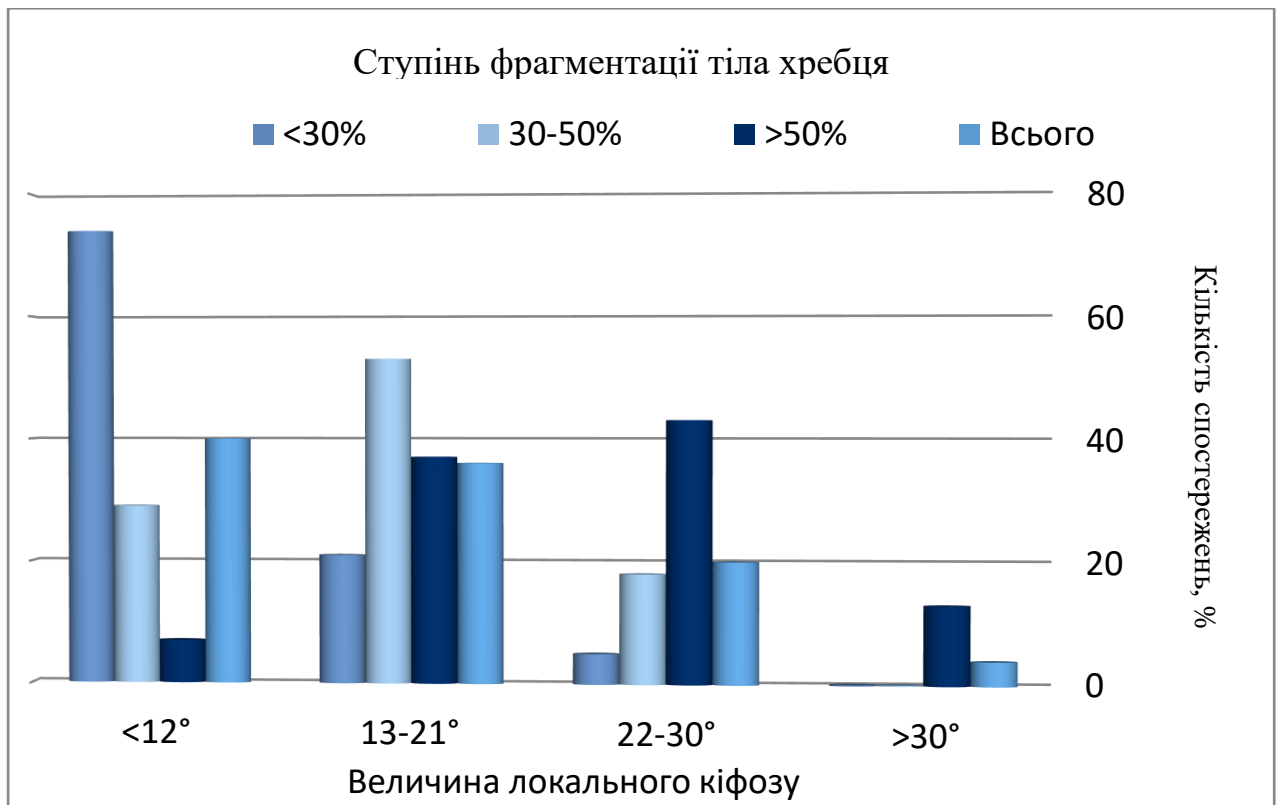


Рисунок 4.8 – Діаграма розподілу величини локального кіфозу за ступенем фрагментації тіла ушкодженого хребця

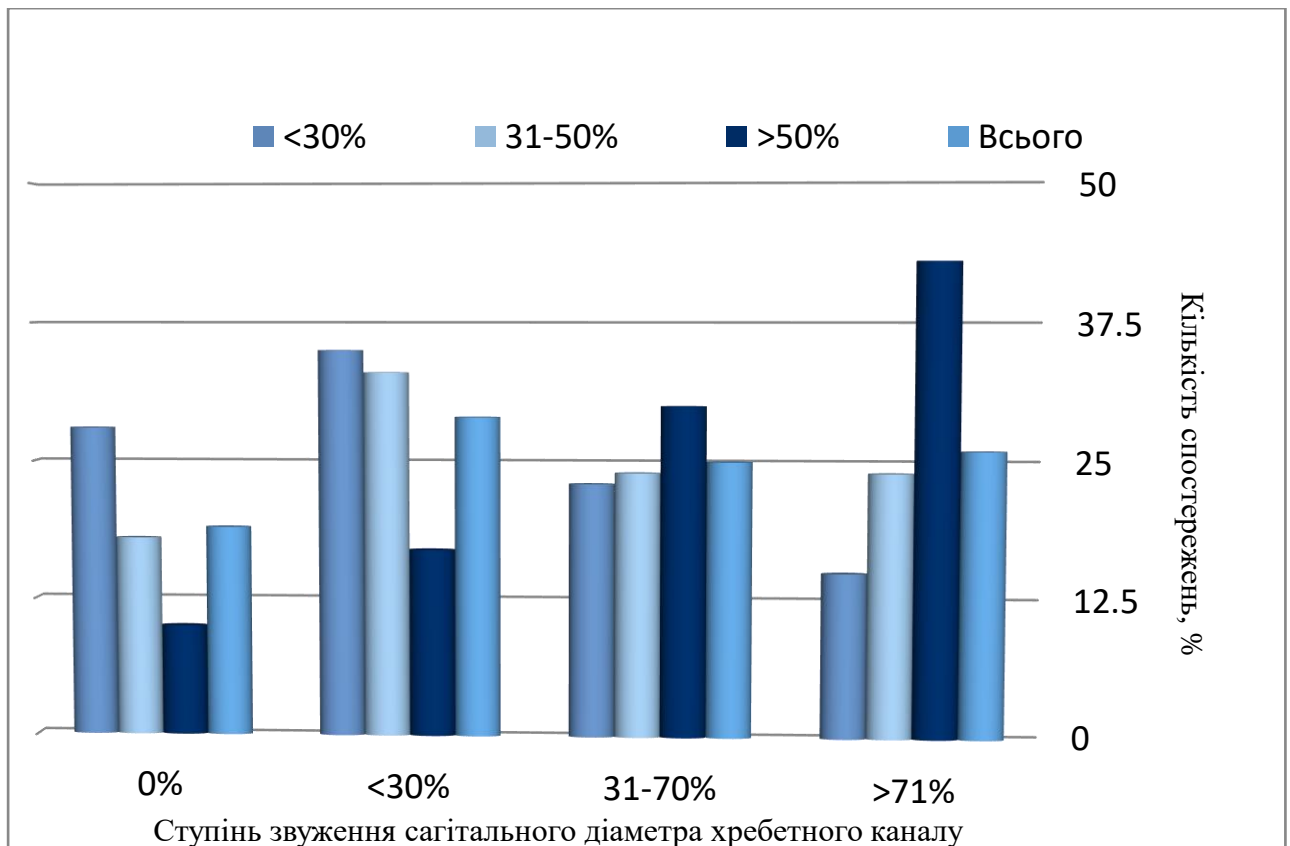


Рисунок 4.9 – Діаграма розподілу ступеня звуження сагітального діаметру хребетного каналу за ступенем фрагментації тіла ушкодженого хребця

Таким чином, результати аналізу проведеного дослідження наявності взаємного зв'язку структурних змін грудних хребців за рентгенометричними даними засвідчив достатньо широку варіабельність типів вибухових переломів, які супроводжуються як травмуванням тільки тіл хребців, так і додатковим ушкодженням задніх структур у вигляді розриву заднього зв'язкового комплексу та руйнування заднього кістково-зв'язкового комплексу з переломом дуг хребців.

Виявлено, що руйнування передніх та задніх структур грудного хребця, тобто тип вибухового перелому АВ та АС суттєво впливає на збільшення величини локального кіфозу та ступінь звуження сагітального діаметру хребетного каналу. В той же час останній показник явно не впливає на післятравматичне звуження кісткових меж хребетного каналу; спинальний стеноз більшою мірою залежить від наявності та напрямку зміщення заднього фрагменту тіла зламаного хребця.

#### 4.2 Оцінка функціональних наслідків травматичних переломів тіл хребців грудного відділу хребта

В попередньому розділі були з'ясовані на основі рентгенометричних досліджень структурні порушення, наявність яких є передумовою для розвитку клінічно значущої ортопедичної та неврологічної симптоматики. Однак загальновідомим є той факт, що не існує кореляцій між рентгенанатомічними змінами, зокрема, у хребетному стовпі та відповідною клінічною симптоматикою. Іншими словами, у постраждалого навіть з рентгенологічним абсолютним кістковим спинальним стенозом може бути відсутньою будь-яка клінічна симптоматика. І навпаки, за умов нормальних рентгенометричних показників у пацієнта може проявлятися розгорнута клінічна картина стенозу хребетного каналу. Отже, поруч з дослідженням рентгенанатомічних показників стану грудного хребця з вибуховим переломом потрібні показники, що віддзеркалюють наявність та ступінь відповідних функціональних порушень.

Наразі розроблено певну кількість класифікацій переломів грудного та грудопоперекового відділів хребта, проте проблема лікування цих переломів досі є предметом дискусій. Жодна класифікація не може описати тяжкість травми з урахуванням усіх неврологічних, клінічних та рентгенологічних характеристик, достатніх для прийняття рішення про обсяг та метод лікування.

Найбільш важливим фактором у виборі методу лікування вибухового перелому (консервативний або хірургічний) є стабільність пошкодженого хребетного сегмента і хребта в цілому. Стабільності хребта після вибухового перелому присвячені численні дослідження, тим не менш, у концепції стабільності все ще немає єдиної думки, оскільки досить складно визначити саме ті параметри та їх критичні значення, які можуть мати важливе значення для визначення стабільності вибухового перелому цієї локалізації. Більшість авторів розцінюють вибуховий перелом грудного та грудопоперекового відділу як нестабільний за наявності наступних ознак: травмування всіх трьох колон хребта, звуження сагітального діаметра хребетного каналу більш ніж на 50 % на аксіальній КТ на рівні пошкодження, зниження висоти тіла зламаного хребця більш ніж на 40%, кутовий кіфоз більше  $30^\circ$  на оглядовій рентгенограмі у бічній проекції та наявність неврологічного дефіциту. Наявність хоча б однієї з цих ознак дозволяє розцінювати такий перелом як нестабільний з подальшим його хірургічним лікуванням.

Однією з найбільш зручних класифікацій вибухових переломів грудного та грудопоперекового відділів хребта є TLICS, яка, крім іншого, враховує неврологічний статус пацієнтів. Класифікація включає три основні ознаки перелому: морфологія ушкодження, цілісність заднього зв'язкового комплексу і вже згадуваний вище неврологічний статус.

Загальна оцінка тяжкості травми розраховується шляхом підсумовування оцінки кожної із трьох основних ознак. Сума балів  $\leq 3$  передбачає консервативне лікування;  $\geq 5$  — хірургічне лікування. Оцінка 4 бали передбачає вибір між хірургічним або консервативним лікуванням.

В таблиці 4.1 представлений розподіл пацієнтів за типами вибухових переломів та показниками TLICS.

Таблиця 4.1 Розподіл пацієнтів за типами травматичних переломів та показниками TLICS

Тип перелому	TLICS, бали			
	від 1 до 3	4	>5	Всього
Стабільний, n; %	14; 13,6 %	—	—	14; 13,6 %
Нестабільний, n; %	4; 3,9 %	19; 18,4 %	66; 64,1 %	89; 86,4 %
Всього, n; %	18; 17,5 %	19; 18,4 %	66; 64,1 %	103; 100 %

Виходячи з даних таблиці 4.1 та сучасних уявлень щодо тактики лікування пацієнтів з різними типами вибухових переломів тіл грудних хребців, було прийняте рішення про:

- консервативне лікування 14 (13,6 %) хворих зі стабільними переломами та показниками TLICS в межах від 1 до 3 балів;
- хірургічне лікування 66 (64,1 %) постраждалих з нестабільними переломами з показником TLICS більше 5 балів.

Метод лікування 4 (3,9 %) пацієнтів з нестабільними переломами з показником TLICS від 1 до 3 балів та 19 (18,4 %) хворих з 4 балами потребував подальшого обговорення.

Особливий інтерес представляють 4 (3,9 %) випадки з нестабільними переломами з показником TLICS від 1 до 3 балів, так як така сума балів свічить про стабільний перелом. Рентгенологічні ознаки, за якими ці переломи були розцінені як нестабільні, представлені в таблиці 4.2.

Таким чином, обґрунтування концепції лікування різних типів вибухових переломів тіл грудних хребців, на наш погляд, необхідно акцентувати на відновлення стабільності задніх структур скомпрометованих хребців, так як нестабільність цих переломів, за результатами наших досліджень та даними літератури, обумовлена у першу чергу порушенням цілості заднього зв'язкового

та зв'язково-кісткового комплексу. Також, у відповідності до висунутої концепції лікування вибухових переломів тіл хребців грудного відділу хребта з урахуванням тієї залишкової опороспроможності скомпрометованого хребцевого сегмента, що зберігається після травми.

Таблиця 4.2 Розподіл випадків нестабільних травматичних переломів тіл грудних хребців з TLICS від 1 до 3 балів

Рентгенологічна ознака за TLICS	Кількість спостережень
Фрагментація тіла хребця $\geq 50$ %	2; 50 %
Локальний кіфоз $\geq 31^\circ$ з фрагментацією тіла хребця $\geq 50$ %	1; 25 %
Звуження сагітального діаметру хребетного каналу $\geq 50$ % з фрагментацією тіла хребця $\geq 50$ %	1; 25 %
Всього	4; 100 %

Для вирішення цієї проблеми необхідні теоретичні біомеханічні дослідження, спрямовані на визначення величини залишкової деформації ХРС при різних ступенях руйнування хребцевого сегмента, а також розподіл напружень в елементах хребців впродовж фіксуючих конструкцій при різних варіантах спондилодезу.

## **5 РЕЗУЛЬТАТИ ЛІКУВАННЯ ХВОРИХ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ПЕРЕЛОМІВ ТІЛ ГРУДНИХ ХРЕБЦІВ**

### **5.1 Результати консервативного лікування**

У контрольній групі хворих (n=14), яким виконано консервативне лікування, усі ушкодження хребта були неускладнені, отримані внаслідок ДТП (n=5) або падіння з висоти (n=9). За морфологією ушкодження у всіх хворих був неповний вибуховий перелом типу А3.1. Слід зазначити, що 4 пацієнтам, включеним у групу І, було запропоновано хірургічне лікування, від якого вони відмовились.

Інтенсивність больового синдрому відразу після травми склала від 7 до 8 балів за шкалою ВАШ. Через 2 тижні лікування інтенсивність болю знизилась до 6 балів. Після ортезування інтенсивність больового синдрому знизилась незначно, від 4 до 5 балів. Лише згодом больовий синдром регресував до 2 балів. Через 3 міс. після лікування у всіх 14 хворих спостерігали повне функціональне відновлення та майже повну відсутність больового синдрому. У однієї пацієнтки з неповним вибуховим переломом, стенозом хребтового каналу до 10 % і величиною кіфотичної деформації 10° після травми, яка далі прогресувала, виявлено хронічний низькоінтенсивний больовий синдром (ВАШ = 3 бали).

Результати консервативного лікування оцінювали через 3 міс. після травми. Динаміка структурних змін в ушкодженому хребтовому сегменті, а саме величина локального кіфозу залежно від сагітального діаметру хребтового каналу представлена в таблиці 5.1.

В групі І рентгенометрична величина сагітального діаметру хребтового каналу в межах норми на протязі лікувального процесу відмічалась у 10 (71 %) пацієнтів. Звуження даної рентгенометричної величини в межах 10 % без клінічної симптоматики спостерігалось, відповідно, у 5 (29 %) випадках. В обох

цих підгрупах через 3 міс. після лікування відмічалось незначне збільшення величини локального кіфозу (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 Величина локального кіфозу залежно від сагітального діаметру хребтового каналу

Сагітальний діаметр хребтового каналу	Локальний кіфоз, град. M ± SD		
	До лікування	Через 3 міс. після лікування	Втрата корекції
Норма n = 10; 71 %	7,9 ± 2,6	13,3 ± 5,9	-5,7 ± 3,3*
< 10 % n = 4; 29 %	8,2 ± 4,4	14,1 ± 5,6	-6,1 ± 5,1*

Примітка: \* —  $p < 0,05$ .

Після лікування середня величина кіфотичної деформації значущо ( $p = 0,05$ ) збільшилася до  $(13,3 \pm 5,9)^\circ$  в підгрупі з нормальними розмірами хребтового каналу — до  $(14,1 \pm 5,6)^\circ$ . Такий результат не можна вважати відмінним, однак він задовольняв пацієнтів. Середня втрата корекції через 3 міс. після лікування ортезом становила  $(-5,7 \pm 3,3)^\circ$  та  $(-6,1 \pm 5,1)^\circ$ . Звертає на себе увагу той факт, що у хворих з найбільшими середніми значеннями втрати корекції від  $(9,6 \pm 2,3)^\circ$  до  $(16,2 \pm 4,3)^\circ$  спостерігали ушкодження заднього зв'язкового комплексу. В той же час у пацієнтів з мінімальною середньою втратою корекції на  $(3,6 \pm 2,0)^\circ$  ушкоджень структур заднього опорного комплексу не встановлено. Отримані результати свідчать, що саме ушкодження заднього зв'язкового комплексу призводить до найбільшої втрати корекції деформації.

Середній показник фрагментації/компресії тіл ушкоджених хребців при первинному обстеженні після травми дорівнював  $(16,9 \pm 10,2) \%$ . Контрольне КТ-дослідження через рік після травми в групі I вдалося виконати лише 4 особам. Після лікування значущих змін фрагментації/компресії тіл хребців не виявлено

( $20,7 \pm 12,6$ ) %. Встановлено відновлення контурів ушкоджених тіл хребців з утворенням кісткової тканини різної щільності (рис. 5.1).

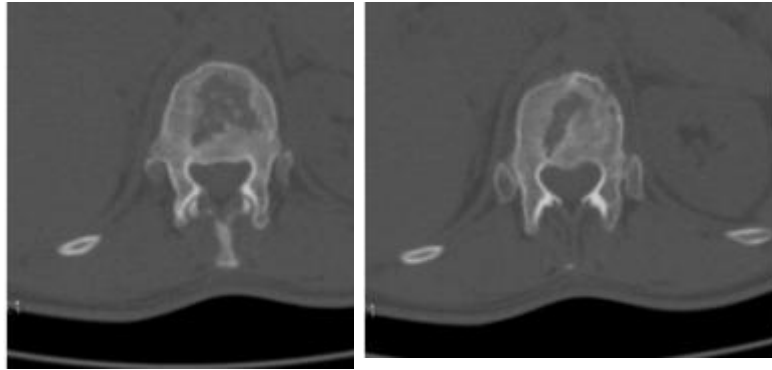


Рисунок 5.1 – Аксіальні КТ-скани пацієнтки О., історія хвороби № 81157, через 1 рік після консервативного лікування вибухового перелому Th<sub>x</sub> хребця

У даному клінічному випадку у центральній частині тіла хребця залишався осередок, заповнений не кістковою, а, імовірно, сполучною або грануляційною тканиною. По передній поверхні тіла хребця спостерігали поодинокі остеофіти. Післятравматичні дегенеративні зміни в ушкодженому хребтовому руховому сегменті були вираженими. У задніх відділах тіла хребця визначено відновлення задньої його стінки з утворенням щільної кісткової тканини (рис. 5.1).

Величини градацій таких досліджених показників соціальної адаптації [219], як рівень післятравматичного болю ПоБ та післятравматичної працездатності ПоПр через 3 міс. після початку лікування представлено в таблиці 5.2.

Аналіз інтенсивності післятравматичного болю як показника соціальної адаптації в групі I показав, що більшість хворих ( $n = 6$ ; 43 %) через 3 міс. після початку консервативного лікування відмічала періодичний біль у хребті, який не потребував прийому ліків. Майже третина пацієнтів ( $n = 4$ ; 29 %) не відчувала больових відчуттів. Троє хворих (21 %) повідомили про помірний біль у хребті, який обумовлював періодичне використання знеболювальних препаратів, але не впливав на життєдіяльність (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 Інтенсивність післятравматичного болю ПоБ та ступінь відновлення післятравматичної працездатності в групі І через 3 міс. після початку лікування

Показник	ПоБ1		ПоБ2		ПоБ3		ПоБ4	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Інтенсивність післятравматичного болю	4	29	6	43	3	21	1	7
Показник	ПоПр1		ПоПр2		ПоПр3		ПоПр4/5	
Відновлення післятравматичної працездатності	6	43	6	43	2	14	—	—

Повне відновлення працездатності у післятравматичному періоді у групі І відбулося у 6 (43 %) випадках; ці пацієнти повернулись на попереднє місце роботи з повним робочим днем відразу по закінченню лікування. Ще у 6 (43 %) спостереженнях зареєстровано повернення до попередньої роботи з деякими обмеженнями, які були усунені через короткий термін. Двоє пацієнтів (14 %) переведені на легшу роботу, але працювали повний робочий день (табл. 5.2).

Таким чином, враховуючи рентгенанатомічні дані щодо ремоделювання структур ушкодженого хребтового сегмента, показників соціальної адаптації у післятравматичному періоді, можна прийти до висновку, що консервативне лікування з використанням жорсткого ортеза, що реклінує, протягом 3 міс. після травми є методом вибору у пацієнтів з вибуховими переломами типу А3.1 без неврологічної симптоматики, стенозу хребтового каналу (можливе асимптомне звуження сагітального діаметру хребтового каналу до 10 %) та ушкодження заднього зв'язкового комплексу.

## 5.2 Результати лікування пацієнтів з використанням задньої транспедикулярної шестигвинтової фіксації

ІІ групу — групу хірургічного лікування з використанням методу задньої транспедикулярної шестигвинтової фіксації, склали 14 пацієнтів з

неускладненими ушкодженнями грудного відділу хребта. Переломи, які виявлено у хворих цієї групи, класифіковано як неповний вибуховий перелом (А3.1) — 11 (79 %) осіб і осколково-вибуховий перелом (А3.2) — 3 (21 %) випадки. Травми на рівні нижньогрудного відділу хребта (Th<sub>XI</sub>–Th<sub>XII</sub>) виявлено в 10 (71 %), верхньо- та середньогрудного (Th<sub>I</sub>–Th<sub>X</sub>) — у 4 (29 %) спостереженнях.

Інтенсивність больового синдрому в зоні перелому у хворих II групи в гострому післятравматичному періоді, як і в групі I, досягала від 7 до 8 балів за шкалою ВАШ. У перші дні після хірургічного стабілізуючого втручання інтенсивність болю знизилась до 3 балів і була пов'язана переважно з больовими відчуттями в ділянці післяопераційної рани. Через від 5 до 7 днів після операції за допомогою медикаментозного протизапального та фізіотерапевтичного лікування больовий синдром практично у всіх хворих повністю регресував.

Параметри морфологічних ознак, які достовірно визначають тяжкість ушкодження хребта, незабаром після травми та через 3 міс. після хірургічного лікування, представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 Морфологічні ознаки ушкоджених хребців до та після шестигвинтової фіксації

Морфологічна ознака	до операції	після операції
Ступінь компресії/фрагментації тіла хребця, %	27,5 ± 17,7	10,4 ± 0,6
Ступінь звуження хребтового каналу, %	17,1 ± 20,2	8,3 ± 8,4 ***
Величина локального кіфозу, град.	27,0 ± 1,4	13,5 ± 0,7 *

Примітка: \* —  $p < 0,05$ ; \*\*\* —  $P < 0,001$ .

Слід зазначити, що хірургічне лікування пацієнтів з неускладненими вибуховими (тип А3.1) та осколково-вибуховими (тип А3.2) переломами тіл хребців грудного відділу хребта, супроводжувалося покращенням параметрів усіх досліджених морфологічних ознак. Середній ступінь компресії/фрагментації тіла хребця до хірургічного втручання дорівнював (27,5 ± 17,7) % від його висоти у

передньому відділі, після операції суттєво, однак статистично не достовірно зменшився та досягав ( $10,4 \pm 0,6$ ) %. Таким чином, у разі використання короткої бісегментарної шестигвинтової фіксації середня величина корекції висоти тіла становила ( $12,3 \pm 9,7$ ) %.

Звертає на себе увагу той факт, що величина післяопераційної корекції клиновидної деформації тіла хребця розрізнялась залежно від локалізації перелому. У верхньо- та середньогрудному відділі хребта (4 хворих) величина компресії/фрагментації після травми дорівнювала ( $22,8 \pm 12,6$ ) %, а після лікування зменшилася до 10,0 %, тобто в середньому на ( $13,4 \pm 11,9$ ) %. У нижньогрудному відділі хребта після травми спостерігали середню ступінь компресії/фрагментації тіла хребця ( $32,0 \pm 11,7$ ) %, яка після операції значущо ( $p < 0,05$ ) зменшилася до ( $17,2 \pm 8,3$ ) %, корекція в середньому становила ( $12,8 \pm 9,7$ ) % (рис. 5.2).



Рисунок 5.2 – Рентгенограми хворого Б., історія хвороби № 87970, з осколково-вибуховим переломом Th<sub>xII</sub> хребця після використання задньої транспедикулярної шестигвинтової конструкції: до (а) та після (б) операції

Клінічний приклад, представлений на рисунку 5.2, є наочним прикладом ефективності хірургічного лікування вибухових переломів грудного відділу хребта, насамперед - в плані суттєвого покращення морфології ушкодженого хребця. У даного пацієнта ступінь компресії/фрагментації тіла хребця до операції 35,6 %, через 3 міс. після шестигвинтової фіксації — 18,8 %, корекція висоти тіла

хребця — 16,8 %. Ретропульсія задньо-верхнього фрагмента тіла Th<sub>XII</sub> хребця обумовила зменшення сагітального діаметру хребтового каналу.

Наступною дослідженою морфологічною ознакою, що визначає тяжкість вибухового перелому хребця, була ступінь звуження сагітального діаметру хребтового каналу, який у всіх хворих виникав через ретропульсію задньо-верхнього краю тіла хребця (рис. 5.2, 5.3).

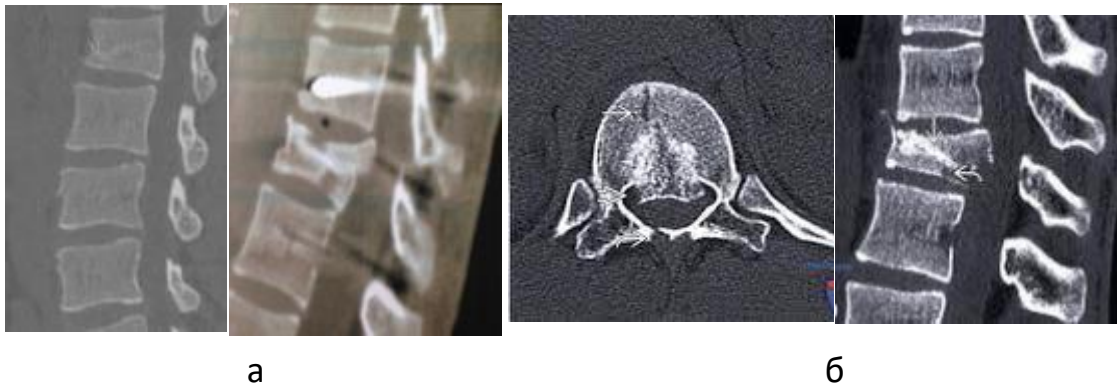


Рисунок 5.3 – Варіанти ретропульсії задньо-верхнього фрагмента тіла хребця з вибуховим переломом типу А 3.1 на КТ-сканах: а) у хворої М., історія хвороби № 92622; б) хворого О., історія хвороби № 93315

Величина сагітального діаметру хребтового каналу після травми характеризувалась значною варіативністю, що можна пояснити різними ступенями фрагментації тіл ушкоджених хребців у пацієнтів з різними типами переломів типу А3. Як вже відмічалось, під нашим наглядом знаходились хворі з переломами типів А3.1 (39,8 %), А3.2 (21,4 %) та А3.3 (12,6 %). Відповідно, наявність ретропульсії задньо-верхнього фрагменту, що спричиняла звуження кісткових меж каналу, також відмічалась не у кожному випадку. Отже, ступінь звуження сагітального діаметру після травми складав  $(17,1 \pm 20,2)$  %. У віддаленому післяопераційному періоді кісткові межі хребтового каналу достовірно розширено ( $p < 0,001$ ) при середньому терміні спостереження 19,4 міс. (табл. 5.3).

П'яти пацієнтам цієї групи КТ виконана безпосередньо після операції: у 2 осіб розміри хребтового каналу не змінились, а у 3 зменшились у межах 5 %. Таким чином, середня величина корекції стенозу хребтового каналу через

тривалий термін завдяки лігаментотаксису та природньому ремоделюванню в групі хворих із короткою бісегментарною шестигвинтовою фіксацією становила  $(8,8 \pm 10,8)$  %.

Під час аналізу такої важливої ознаки, як ступінь стенозу хребтового каналу, дуже важливою є деталізація цих показників. Зокрема, у всіх пацієнтів групи II корені дуг і дуги хребців були неушкодженими, а ступінь руйнування тіла хребця незначною і такою, що включала переважно верхню частину тіла хребця (до 27,6 % висоти тіла хребця). Стеноз хребтового каналу до 10 % площі перетину відзначено в 9 хворих, із них у 5 звуження сагітального діаметру не виявлено. У 2 пацієнтів зі стенозом в межах 10 % після хірургічного втручання повністю відновився просвіт хребтового каналу. Стеноз хребтового каналу від 11 до 50 % зафіксовано у 8 хворих.

У решти хворих зі стенозом хребтового каналу до 30 % виявлено відновлення просвіту хребтового каналу у віддаленому періоді до різних показників (від 20 до 10 %, від 30 до 10 % і т. ін.).

Оцінено співвідношення величини кіфотичної деформації та наявності ушкодження заднього опорного комплексу. Більшість фахівців вважає недоцільним виконувати МРТ хворим із неускладненим ушкодженням хребта. Проте в 7 пацієнтів за допомогою МРТ було визначено ушкодження заднього зв'язкового комплексу. Середня величина кіфотичної деформації у них була  $(14,1 \pm 10,8)^\circ$ . Величина кіфотичної деформації у хворих із ушкодженнями заднього лігаментозного комплексу співпадала з середньою статистичною величиною загалом у групі II.

Результати дослідження функціонального стану пацієнтів з групи II у післяопераційному періоді представлено у таблиці 5.4. Як слідує з цієї таблиці, кількість пацієнтів з відсутністю післяопераційного болю та з повним відновленням працездатності суттєво вища порівняно з групою хворих, які лікувались консервативно. Слід відмітити також всього 1 спостереження (7 %) з градацією ПоБЗ — «помірний біль з періодичним прийомом ліків без впливу на

працю і життєдіяльність» і відсутність випадків з градацією ПоБ4 — «помірний або тяжкий біль з частим прийомом ліків без впливу на працю і життєдіяльність».

Таблиця 5.4 Інтенсивність післятравматичного болю ПоБ та ступінь відновлення післятравматичної працездатності в групі II через 3 міс. після початку лікування

Показник	ПоБ1		ПоБ2		ПоБ3		ПоБ4	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Інтенсивність післятравматичного болю	9	64	4	29	1	7	—	—
Показник	ПоПр1		ПоПр2		ПоПр3		ПоПр4/5	
Відновлення післятравматичної працездатності	10	72	3	21	1	7	—	—

Аналогічні дані отримані при дослідженні стану відновлення післяопераційної працездатності. Як і у випадках з результатами дослідження інтенсивності післяопераційного болю, зареєстровано відсутність пацієнтів II групи з градаціями ПоПр4 й ПоПр5 і лише один випадок (7 %) з градацією ПоПр3 — «неможливість повернення до попередньої роботи, але можливість працювати повний день на легшій» (табл. 5.4).

Таким чином, метод бісегментарної шестигвинтової транспедикулярної фіксації використано в пацієнтів з переломами типів А3.1 і А3.2, в яких корені дуг та дуги хребців були неушкодженими, а ступінь руйнування тіла хребця незначною і включала переважно верхню частину тіла хребця. У ранньому післяопераційному періоді корекція ступеня стенозу хребтового каналу не відбувалась або була незначною. Середня величина корекції стенозу хребтового каналу в цій групі становила 8,8 % і досягала максимуму через рік і більше після повної перебудови кісткової ткани.

За результатами даного дослідження показано, що задня коротка транспедикулярна фіксація є малотравматичним і досить безпечним методом спондилодезу, який дає змогу досягти доброго функціонального результату та активізувати хворого на наступний день після операції.

### 5.3 Результати лікування пацієнтів з використанням восьмигвинтової фіксації

Метод восьмигвинтової фіксації передбачував стабілізацію зони перелома задньою транспедикулярною конструкцією на два хребці вище і на два нижче ділянки ушкодження. З урахуванням кількості пацієнтів, які були включені в групу III, метод восьмигвинтової фіксації виявився найчастіше використовуваним для лікування травматичних переломів тіл хребців грудного відділу хребта.

Розподіл пацієнтів групи III залежно від типу перелому представлено на рисунку 5.4.

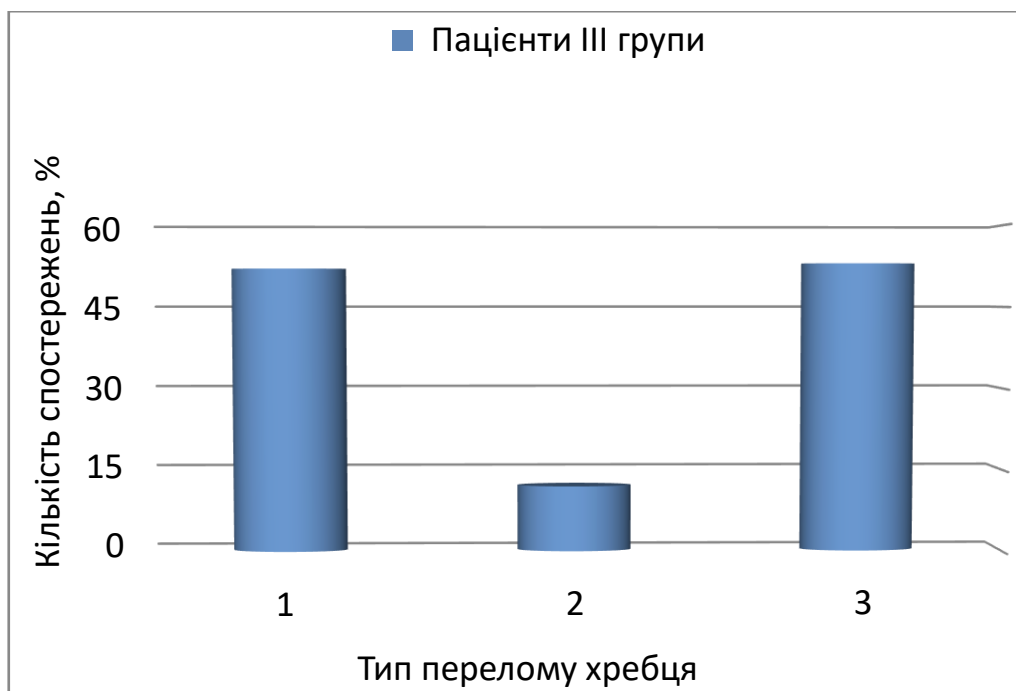


Рисунок 5.4 – Діаграма розподілу пацієнтів групи III залежно від типу перелому (1 — типи А3.1, А3.2; 2 — тип А3.3; 3 — типи АВ, АС)

Як видно з рисунку 5.4, рентгенанатомічна картина типів переломів хребців грудного відділу хребта відмічалась значним поліморфізмом. Однак все ж таки найбільш розповсюдженими були переломи з найменшим (групи А3.1 та А3.2) та найбільшим (групи АВ та АС) руйнуванням.

За клінічними проявами, переважно з урахуванням неврологічної симптоматики, пацієнти розподілились наступним чином згідно з класифікацією неврологічних порушень ASIA (рис. 5.5).

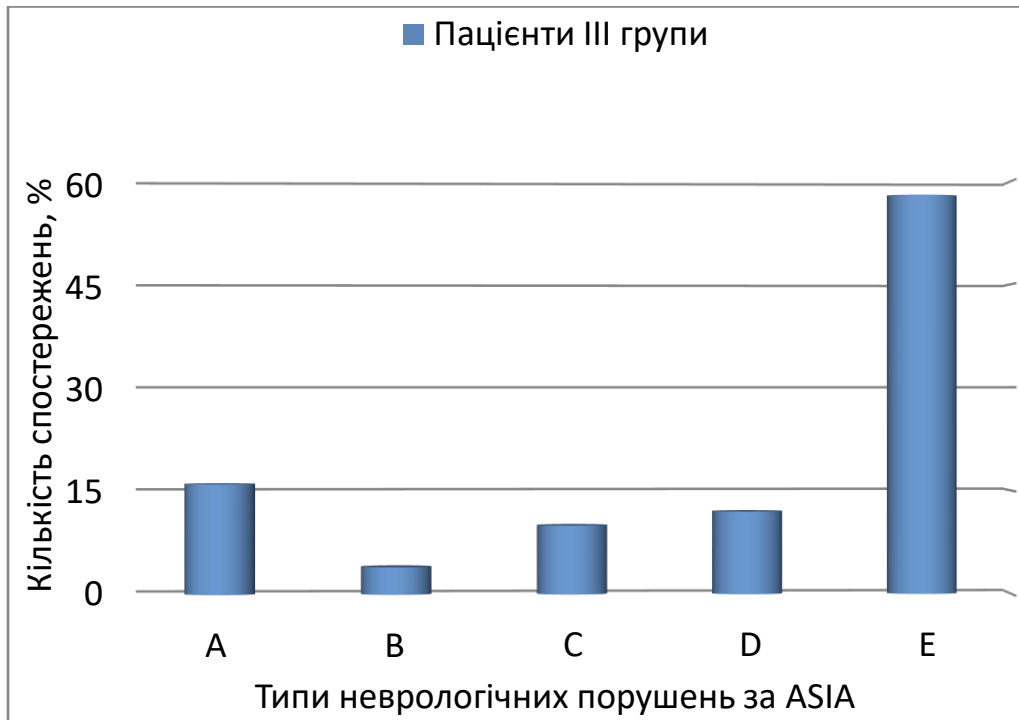


Рисунок 5.5 – Діаграма розподілу пацієнтів III групи залежно від типу неврологічної симптоматики за класифікацією ASIA

При аналізі результатів хірургічного лікування пацієнтів даної групи з метою найбільш вірогідної оцінки досягнутого функціонального відновлення хворих було згруповано у три підгрупи: неускладнені ушкодження з відсутністю неврологічного дефіциту, тип E (n=29; 58 %); ускладнені ушкодження з повним порушенням провідності спинного мозку або його корінців кінського хвоста, тип A (n=8; 16 %); відмічалася нижня параплегія, яка виникла безпосередньо в момент травми (зі слів хворого) і не змінювалась у процесі лікування; ускладнені ушкодження з неповним порушенням провідності спинного мозку, типи B, C, D (n=13; 26 %); зареєстровано часткову неврологічну симптоматику, за якої хворі після травми частково відчували кінцівки, спостерігались активні рухи, у процесі лікування неврологічна симптоматика регресувала.

Слід відмітити, що у підгрупі з ускладненими переломами хребців грудного відділу хребта типу A всі ушкодження локалізувалися на нижньогрудному рівні

Th<sub>VIII</sub>–Th<sub>XII</sub>. Неврологічна симптоматика у даної категорії хворих характеризувалася наступним. Сила м'язів у цих пацієнтів складала 0 балів, розлади чутливої функції проявлялися анестезією з рівня ураження. Зміни поверхневої чутливості супроводжувались порушенням глибинної м'язово-суглобової чутливості. У всіх пацієнтів виявлено порушення функції тазових органів.

У післяопераційному періоді перші 2 тижні, під час перебування у лікарні, не відмічалось динаміки неврологічної симптоматики. Враховуючи тяжкість неврологічного дефіциту і відсутність його регресу, більшість пацієнтів не з'являлись на контрольний огляд. Вдалося обстежувати протягом року лише 1 пацієнта, також з відсутністю позитивної динаміки неврологічної симптоматики. Відмінною рисою цієї підгрупи була наявність структурного стенозу, величина якого варіювала від 10 до 100 % і в середньому дорівнювала ( $71,0 \pm 31,1$ ) % (табл. 5.5). Тяжкість неврологічної симптоматики була пов'язана з первинною травмою спинного мозку та ймовірною наявністю динамічного стенозу.

Таблиця 5.5 Величина стенозу у хворих III групи за типом ASIA

Тип неврологічних порушень за ASIA	Ступінь структурного стенозу хребтового каналу, %		
	до лікування	після операції	12 міс.
	M ± SD		
E (n = 29)	29,4 ± 21,6	26,9 ± 17,	13,8 ± 7,6
B, C, D (n = 13)	60,0 ± 24,	45,0 ± 20,0	20,0 ± 11,9
A (n = 8)	71,0 ± 31,1	60,0 (n = 1)	—

У другій підгрупі пацієнтів типів B, C, D з неповним порушенням провідності спинного мозку з частковою неврологічною симптоматикою після травми частково відчували кінцівки, і в них були активні рухи. В процесі лікування неврологічна симптоматика змінювалась. Саме в цій підгрупі виявлено найбільш поліморфну картину.

У 2 пацієнтів був достатньо грубий неврологічний дефіцит типу В згідно з класифікацією ASIA: відсутність рухів нижче рівня ураження з частковим збереженням чутливої функції, тобто до 90 % втрати неврологічної функції від норми. Загальний показник рухової функції нижніх кінцівок (ASIA) у цих трьох хворих був повністю відсутній і становив від 0 до 2 бали. Кратність неврологічних рухових змін в них була від 4 до 12 одиниць.

У перші 2 тижні після операції відмічено відновлення рухової функції в ступнях, починаючи з фаланг. Середній показник через 2 тижні за шкалою ASIA дорівнював 6,5 балу (від 4 до 8) за максимально можливих 52. Протягом року виявлено позитивну динаміку у вигляді відновлення рухової функції. Найефективніше відновлення відбувалося протягом року — середня кратність відновлення рухової функції склала практично 7 разів. Больова та м'язово-суглобова чутливість були збереженими близько 25 % від норми.

У хворих з неврологічною симптоматикою типу В перед операцією оцінювали поверхневу чутливість за шкалою ASIA. Загальний показник чутливої функції за цією шкалою становив від 12 до 28 балів (норма 56 балів). У перші 2 тижні після операції показники чутливої функції суттєво не змінились (максимально на від 1 до 2 балів).

Таким чином, у пацієнтів з неврологічною симптоматикою типу В за ASIA у результаті хірургічного лікування з використанням восьмигвинтової фіксації на два хребці вище і на два нижче зони ушкодження відновлення рухової функції відбувається протягом першого року. Відновлення чутливої функції має позитивніші початкові зміни, але в подальшому, протягом року, мають менш позитивну неврологічну динаміку.

В усіх хворих з неврологічною симптоматикою, які відразу після травми та протягом першої доби мали рухи в нижніх кінцівках менш ніж 3 бали, і їх неврологічна клініка відповідала за шкалою ASIA типу С (5 пацієнтів), протягом перших трьох діб після травми неврологічна симптоматика, зазвичай, прогресувала. Середній відсотковий неврологічний дефіцит склав 72 % від норми.

У ранньому післяопераційному періоді загальний відсотковий дефіцит був 52 %, а через рік – 6 % від норми (майже повне відновлення функції). За шкалою ASIA показники поверхневої чутливості перед операцією варіювали від 12 до 42 балів, у ранньому післяопераційному періоді в середньому збільшились на 3,2 балу. Через рік після операції показники поверхневої чутливості збільшились на 9,6 балу і склали від 28 до 52 (майже повне відновлення чутливої функції).

Показник рухової функції варіював від 8 до 16 балів, через 2 тижні після операції в середньому збільшився на 4 одиниці, через рік кратність збільшення показників рухової функції склала 5. Тобто хворі через рік після хірургічного втручання мали дуже хороший результат відновлення рухової функції, у трьох із них відмічено практично повне відновлення функції кінцівок.

Наступна неврологічна підгрупа (6 пацієнтів) відповідала за шкалою ASIA типу D — неповне порушення провідності нижче рівня ураження з силою м'язів понад 3 балів. Неврологічна симптоматика була характерною для забою або стусу спинного мозку або кінського хвоста та супроводжувалася незначним зниженням функції м'язів нижніх кінцівок, порушенням функції тазових органів та онімінням в аногенітальній ділянці.

Загальний відсотковий неврологічний дефіцит складав від 20 до 60 %. У 3 пацієнтів неврологічна симптоматика повністю відновила протягом перших двох тижнів. У решти встановлено практично повне або часткове відновлення неврології. Середня кратність відновлення рухової функції в перші два тижні склала 1,2; протягом року — 1,1. Середня кратність відновлення поверхневої чутливості в перші два тижні була 1,1; протягом року — 1,18. Незначна кратність відновлення функції обумовлена не дуже зниженими показниками неврологічної симптоматики після травми. Відновлення рухової функції відбувалось переважно протягом перших двох тижнів, а поверхневої чутливості — протягом року після операції.

Під час обстеження пацієнтів з частковою неврологічною симптоматикою встановлено, що середній розмір хребтового каналу в них становив 60 %. При

цьому в 5 осіб ступінь стенозу хребтового каналу не досягала 50 %, у 6 становила від 50 до 70 % і лише в 3 перевищувала 70 %.

Таким чином, у більшості хворих з частковою неврологічною симптоматикою, де використано метод восьмигвинтової фіксації з ламінектомією, ступінь стенозу була менше 70 %.

Крім того, оцінено розміри хребтового каналу до, після і через 19,4 міс. (середня тривалість спостереження) після хірургічного лікування незважаючи на наявність або відсутність неврологічної симптоматики. Метою аналізу було виявити зміни кісткового фрагмента задньо-верхньої частини тіла хребця. Доступними для аналізу були результати КТ усіх хворих напередодні хірургічного втручання, 17 — безпосередньо після операції, 24 — через рік і більше (середній термін спостереження 19,4 міс.).

Загальна середня ступінь звуження (стенозу) сагітального розміру хребтового каналу в групі хворих, де використано восьмигвинтову фіксацію, склала 44,9 % після травми, після операції — 37,4 %. Відповідно, відновлення просвіту хребтового каналу безпосередньо після операції дорівнювало 7,5 %. Середня ступінь звуження (стенозу) хребтового каналу через рік після хірургічного втручання і більше становив  $(15,8 \pm 11,9)$  %. Відновлення просвіту хребтового каналу протягом тривалого часу завдяки природному ремоделюванню становило в середньому  $(21,6 \pm 21,4)$  %. Таким чином, відновлення просвіту хребтового каналу завдяки лігаментотаксісу та природному ремоделюванню дорівнювало в середньому  $(29,1 \pm 18,7)$  %.

Таким чином, у хворих з ускладненими ушкодженнями у вигляді повного порушення провідності спинного мозку або його корінців типу А — нижньої параплегії, яка виникла безпосередньо в момент травми, неврологічна симптоматика була найтяжчою і в ранньому післяопераційному періоді не змінювалась.

Пацієнти з частковою неврологічною симптоматикою типу В, С, D за шкалою ASIA в разі хірургічного лікування можуть сподіватися на сприятливий

результат. У хворих із тяжчою неврологічною симптоматикою типу В, С найефективніше відновлення рухової і чутливої функції зафіксовано протягом року, а типу D — у перші два тижні після операції з подальшим поступовим відновленням протягом року.

Дослідження еволюції локального кіфозу у періопераційному періоді дозволило встановити наступне. Загальна середня величина кіфотичної деформації після травми склала  $(20,3 \pm 6,4)^\circ$ , після операції значущо ( $p < 0,001$ ) зменшилася до  $(8,1 \pm 2,0)^\circ$ , через рік становила  $(8,6 \pm 1,9)^\circ$  (табл. 5.6). Середня величина корекції кіфотичної деформації дорівнювала  $(12,6 \pm 7,0)^\circ$ , втрати корекції —  $(1,0 \pm 1,7)^\circ$ .

Таблиця 5.6 Величина локальної кіфотичної деформації у групі III

Групи за типами переломів	Терміни спостережень		
	після травми	через 2 тижні п/о	через 12 міс. п/о
	Величина локального кіфозу, град.		
A3.1 та A3.2	$14,2 \pm 4,1$	$3,5 \pm 3,5^{**}$	$4,5 \pm 4,3^{**}$
A3.3	$20,7 \pm 7,9$	$5,1 \pm 4,5^{**}$	$6,7 \pm 2,1^{**}$
AB та AC	$18,1 \pm 8,1$	$3,9 \pm 4,3^{***}$	$4,0 \pm 3,7^{***}$
Група III	$20,3 \pm 6,4$	$8,1 \pm 2,0^{**}$	$8,6 \pm 1,9^{**}$

Примітка: \*\* —  $p < 0,01$ ; \*\*\* —  $p < 0,001$

Ступінь корекції деформації деталізували залежно від морфології ушкодження. У пацієнтів із неповним вибуховим переломом (A 3.1) та неповним осколково-вибуховим переломом (A 3.2) середня величина кіфотичної деформації дорівнювала  $14,2^\circ \pm 4,1^\circ$ , після операції значущо ( $p < 0,001$ ) зменшилася до  $3,5^\circ \pm 3,5^\circ$  (у середньому на  $10,7^\circ \pm 4,7^\circ$ ). Через рік визначено втрату корекції на  $(1,0 \pm 1,3)^\circ$  — до  $(4,5 \pm 4,3)^\circ$  (табл. 5.6).

Середня величина кіфотичної деформації після травми у хворих з повним вибуховим переломом типу A 3.3 становила  $(20,7 \pm 7,9)^\circ$ , після операції значущо

( $p = 0,001$ ) зменшилася до  $(5,1 \pm 4,5)^\circ$ . Середня величина корекції кіфотичної деформації дорівнювала  $(15,6 \pm 7,1)^\circ$ , а її втрати через рік практично не відбулося  $(-1,0 \pm 1,3)^\circ$  — табл. 5.6.

Середня величина кіфотичної деформації після травми в пацієнтів з вибуховим переломом з дистракцією (АВ) та ротацією (АС) становила  $(18,1 \pm 8,8)^\circ$ , після операції значущо зменшилася ( $p < 0,001$ ) до  $(3,9 \pm 4,3)^\circ$ . Величина корекції кіфотичної деформації у цих хворих внаслідок лікування з використанням восьмигвинтової фіксації склала  $(14,1 \pm 9,0)^\circ$  і залишилася майже без змін через рік —  $(3,4 \pm 4,0)^\circ$ .

Аналіз рентгенанатомічних змін у хребтовому руховому сегменті показав, що регенерація губчастої кісткової тканини тіла хребця залежить від морфології ушкодження, зокрема, ступеня компресії/фрагментації тіла хребця, наявності підзв'язкового крововиливу.

У пацієнтів групи III в результаті вивчення величини компресії визначено, що в середньому тіло хребця було зменшеним внаслідок травми на 48,9 % від його початкової висоти. Після хірургічної корекції з використанням восьмигвинтової конструкції висота тіла хребця в середньому була зменшеною на 28,9 % від початкової. Тобто в результаті хірургічного втручання вдалося відновити висоту тіла хребця на 20 % порівняно з показником після травми (табл. 5.7). Слід зазначити, що середня величина відновлення висоти тіла хребця не залежала від наявності неврологічної симптоматики.

Морфологічною ознакою, яка також впливає на регенерацію тіла хребця, є ступінь фрагментації тіла хребця. За характером фрагментації переломи тіл хребців можуть бути багатофрагментарними або мати поодинокі кісткові фрагменти. Характер фрагментації тіла хребця відображається в класифікації вибухових переломів: неповний вибуховий, неповний осколково-вибуховий, повний вибуховий переломи. Відмітимо ще раз, що практично всі переломи тіл хребців, досліджені в роботі, характеризуються наявністю задньо-верхнього кісткового фрагменту тіла хребця. Даний фрагмент може бути різних розмірів і

ступеня зміщення. Наявність, розміри та локалізація цього фрагменту визначають ступінь стенозу хребтового каналу.

Таблиця 5.7 Динаміка структурних змін в ушкоджених хребтових сегментах пацієнтів групи III

Морфологічна ознака	Терміни спостереження	
	до лікування	після лікування
Ступінь компресії тіла хребця	52,2 ± 24,4	28,9 ± 13,6*
Ступінь фрагментації тіла хребця	47,8 ± 14,4	—

Примітка: \* —  $p < 0,05$ ; \*\* —  $p < 0,01$ .

У всіх пацієнтів, яким виконано КТ у віддаленому післяопераційному періоді (середній термін спостереження 19,4 міс.) визначено кісткову перебудову верхньо-заднього фрагмента тіла хребця, який стенозував хребтовий канал. Зазначений фрагмент виконував роль кісткового автотрансплантата. З перебігом часу відмічено його повну перебудову з ремоделюванням хребтового каналу. На момент останнього контрольного огляду з рентгенконтролем відмічено відсутність повної перебудови кісткової тканини тіла хребця.

На нашу думку, на якість формування регенерату впливає і наявність крововиливу, який локалізовано під передньою поздовжньою зв'язкою і в подальшому перетворюється на фібрин-кров'яний згусток, котрий і відіграє важливу роль в утворенні кісткового регенерату. Це відбувається завдяки двом механізмам: по-перше, утворений фібрин виконує механічну функцію в перші години/добу після травми в якості матриці для утримання клітин крові, проникнення малодиференційованих клітин, проростання кровоносних капілярів; по друге, — у фібриновому каркасі утримуються біологічно активні регулятори різних етапів регенерації кістки.

У пацієнтів групи III локалізований під передньою поздовжньою зв'язкою крововилив, який поширювався на два суміжних тіла хребця, за даними МРТ, визначено у 29 осіб (52,7 %).

Утворення регенерату тіла хребця за даними оглядової рентгенографії і КТ в період спостереження понад року вдалося оцінити в 39 пацієнтів.

У результаті аналізу процесу перебігу регенерації тіла хребця виявлено його два варіанти. Перший був пов'язаний з повним відновленням заднього контуру тіла хребця, неповним — переднього, з дефектами в центральній частині — 43 хворих (86 %) (рис. 5.6).

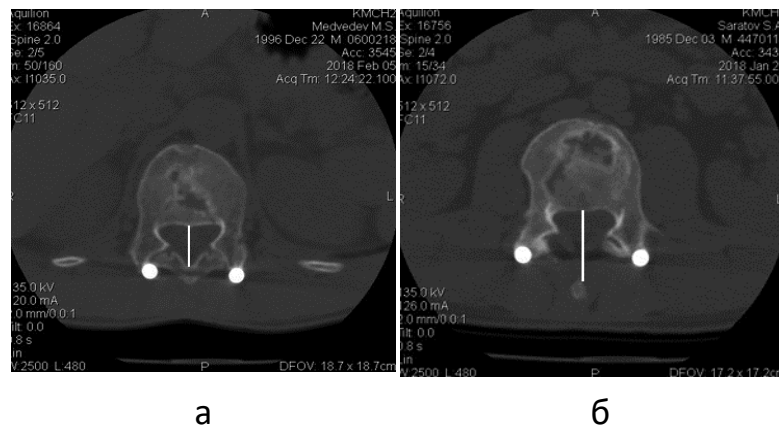


Рисунок 5.6 – Томограми пацієнтів: а) М., історія хвороби № 91518; б) С., історія хвороби № 91420. Д — дефекти центральної частини тіла хребця; Р — щільна регенерація задньої частини; А — рентгенологічні признаки артродезу.

Імовірно, наявність кісткових дефектів на КТ-сканах у центральній частині тіла хребця обумовлена ушкодженням міжхребцевого диска під час травми та проникненням його фрагментів у тіло хребця, що стало причиною уповільнення кісткоутворення. Це припущення підтверджується наявністю дефектів у центральній частині тіла хребця на томограмах усіх пацієнтів, яких лікували методом восьмигвинтової фіксації і в яких виявлено ушкодження міжхребцевого диска. Розміри дефектів варіювали від мінімальних (від 1 до 2 мм) до значних (до 10 мм). По задньому контуру тіла хребця у всіх пацієнтів відмічено утворення кісткової тканини, яка формувала передню стінку хребтового каналу (рис. 5.6). Зміцнення цієї частини тіла хребця за рахунок кісткоутворення забезпечує стабільність хребтового сегмента.

Другий варіант відновлення тіла хребця (7 хворих, 14 %) характеризувався утворенням кісткового зрощення з суміжним хребцем, як за рахунок задньої

частини тіла хребця, так і за рахунок регенерації тіла хребця по передньому контуру.

Утворений між тілами хребців «місток» повторював форму виявленого раніше крововиливу, що підтверджує припущення про його важливу роль у формуванні кісткового регенерату. Проте слід зазначити, що утворення кісткового зрощення між тілами хребців по передньому контуру встановлено лише в 7 (14 %) за даними контрольної рентгенографії, а крововилив за даними МРТ — у 29. Це, скоріше за все, обумовлено тим, що не у всіх випадках крововилив був у подальшому організований у фібрин-кров'яний згусток, а міг просочувати м'які тканини без утворення фібринового каркасу.

За даними рентгенологічного дослідження, у пацієнтів з виявленою регенерацією тіла хребця по передньому контуру середній ступень компресії після травми становив 51 %. Середня величина відновлення тіла хребця після операції дорівнювала 21 % і не зманювалась зі збільшенням періоду спостереження. Це дає змогу стверджувати, що наявність крововиливу в ділянці передньої поздовжньої зв'язки з подальшим утворенням фібрин-кров'яного згустку є сприятливим чинником для формування кісткового регенерату, який стає додатковою ланкою, що разом із заднім спондилодезом створює умови для збереження досягнутої корекції деформації.

Якість спондилодезу оцінювали за наявністю артродезу в ділянці дуговідросткових суглобів, середньою втратою корекції, переломами гвинтів. За першою ознакою, у всіх досліджуваних виявлено артродез дуговідросткових суглобів.

Середня втрата корекції в групі III, де використано восьмигвинтову фіксацію на два хребці вище і на два нижче зони ушкодження, склала  $(1,0 \pm 1,3)^\circ$ . У 2 хворих втрата корекції досягла  $5^\circ$ . Переломи гвинтів (нижніх) у віддаленому післяопераційному періоді спостерігали у 3 пацієнтів (6 %). Таким чином, задній спондилодез був сформований практично у всіх хворих, де застосовано восьмигвинтову фіксацію.

Показники функціонального відновлення пацієнтів III групи у вигляді параметрів соціальної адаптації представлені у таблиці 5.8. З даної таблиці видно, що 52 % пацієнтів повідомляли про періодичний біль у хребті, 26 % — про помірний, який обумовлював прийом знеболювальних ліків. 19 (38 %) пацієнтів повністю повернулись до попередньої роботи на повний робочий день, 20 (40 %) мали деякі обмеження в роботі (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 Інтенсивність післятравматичного болю ПоБ та ступінь відновлення післятравматичної працездатності в групі III через 3 міс. після початку лікування

Показник	ПоБ1		ПоБ2		ПоБ3		ПоБ4	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Інтенсивність післятравматичного болю	11	22	26	52	13	26	—	—
Показник	ПоПр1		ПоПр2		ПоПр3		ПоПр4/5	
Відновлення післятравматичної працездатності	23	46	19	38	8	16	—	—

Таким чином, у групі III використання восьмигвинтової фіксації дозволило досягти кращої корекції локальної кіфотичної деформації практично без втрати корекції у віддаленому післяопераційному періоді, суттєво відновити простір хребтового каналу. Також було відмічено часткове відновлення переднього відділу тіла ушкодженого хребця і, відповідно, нівелювання фрагментації тіла хребця за рахунок репаративної регенерації губчастої кісткової тканини. В той же час параметри функціонального відновлення у пацієнтів групи III були дещо гіршими за аналогічні показники у групі II.

Таким чином, метод восьмигвинтової фіксації забезпечує ефективнішу корекцію деформації та усунення стенозу хребтового каналу порівняно з короткішою шестигвинтовою.

5.4 Результати лікування пацієнтів з використанням комбінованого передньо-заднього спондилодезу на 360°

У VI групі хворих (20 пацієнтів), яким виконано комбінований передньо-задній спондилодез на 360°, виявлено такі типи ушкоджень: неповний осколково-вибуховий перелом типу А3.2 — 4 (20 %), повний вибуховий перелом типу А3.3 — 7 (35 %), вибуховий перелом з дистракцією та ротацією — 9 (45 %) (рис. 5.7).

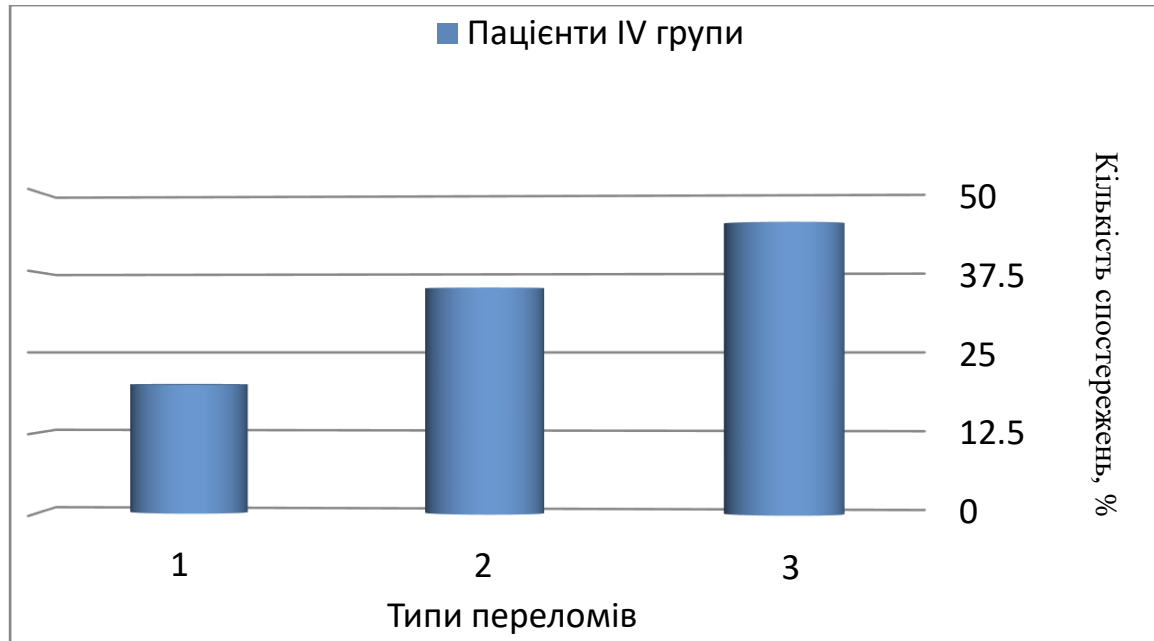


Рисунок 5.7 – Діаграма розподілу пацієнтів IV групи залежно від типу перелому (1 — тип А3.2; 2 — тип А3.3; 3 — типи АВ і АС)

За неврологічною симптоматикою неускладнені ушкодження виявлені у 12 (60 %) пацієнтів, ускладнені — у 8 (40 %) (рис. 5.8).

Протяжність інструментації у пацієнтів цієї групи варіювала. Зокрема, у 15 хворих (75 %) використано коротковажільні конструкції в комбінації 4 транспедикулярних гвинтів із поперечним стягуванням і передньою міжхребцевою опорою. У 5 хворих (25 %) встановлено довгу восьми-гвинтову транспедикулярну конструкцію в комбінації з передньою міжхребцевою опорою.

Далі вивчено взаємозв'язок неврологічної симптоматики та розмірів хребтового каналу у хворих, де використано комбінований передньо-задній спондилодез на 360°.

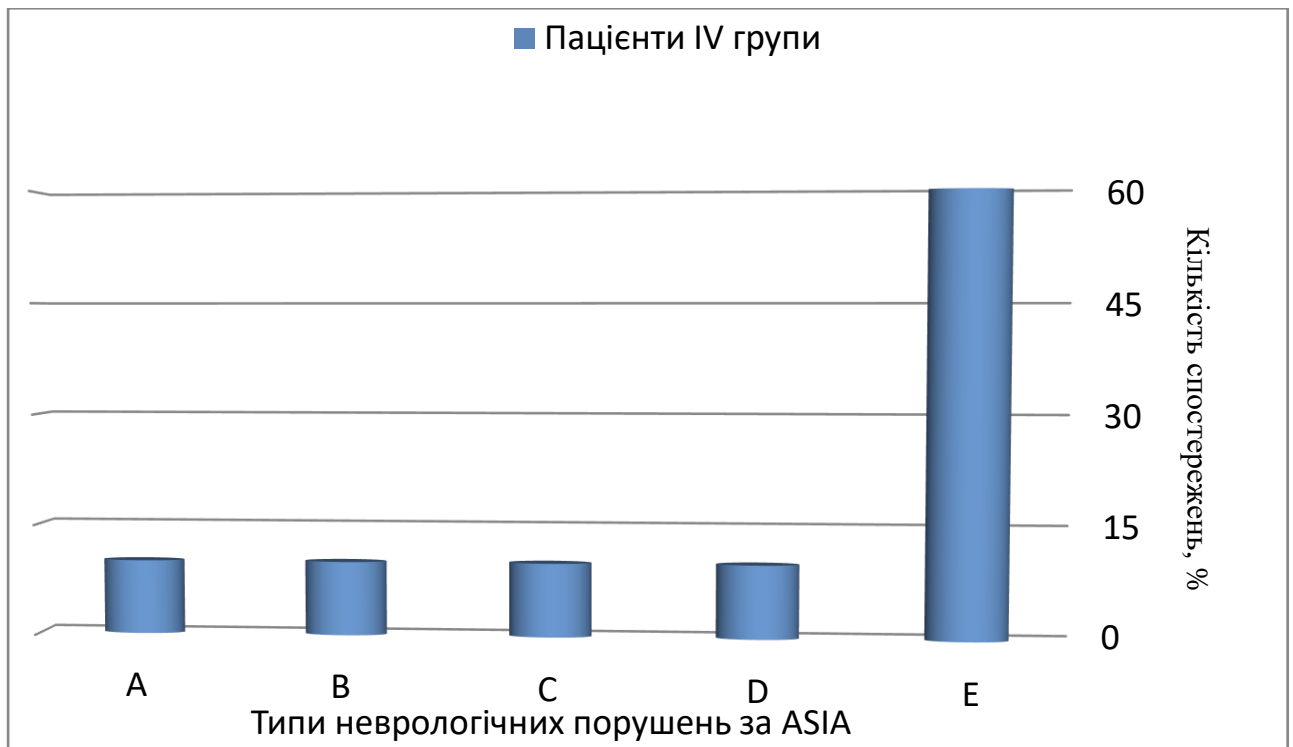


Рисунок 5.8 – Діаграма розподілу типів неврологічних порушень за ASIA у пацієнтів IV групи

Із 20 пацієнтів у половини ( $n = 10$ ; 50 %) виявлено неврологічну симптоматику: у 2 вона була пов'язаною з повним порушенням провідності нервових структур — тип А за ASIA. Сила м'язів складала 0 балів, зафіксована повна відсутність чутливої функції у вигляді анестезії з рівня ураження. Порушення поверхневої чутливості супроводжувалось зниженням глибинного м'язово-суглобового почуття. У всіх хворих визначено порушення функції тазових органів. У ранньому післяопераційному періоді, протягом перших двох тижнів, не відмічали регресу неврологічної симптоматики.

Серед пацієнтів з ускладненими переломами в 6 (30 %) виявлено симптоматику неповного ушкодження спинного мозку. У 2 (10 %) з них був неврологічний дефіцит типу В, а саме повна відсутність рухів нижче рівня ураження з частковим збереженням чутливої функції. Загалом рівень неврологічного дефіциту досягав втрати 95 % неврологічної функції від норми. Зокрема, загальний показник рухової функції нижніх кінцівок (ASIA) у цих хворих був повністю відсутній і складав від 0 до 2 балів. Усі хворі мали практично повну відсутність рухової функції.

У перші два тижні відмічено відновлення рухової функції в ступнях, починаючи з дистальних фаланг. Середній показник через два тижні після операції за шкалою ASIA дорівнював від 4 до 8 балів (за максимально можливих 52 балів). Протягом року спостерігали позитивну динаміку у вигляді поступового відновлення рухової функції. У одного хворого неврологічна динаміка була позитивнішою та протягом року досягла 32 балів, у іншої хворої динаміка була менш позитивна і наприкінці року склала 8 балів. Відновлення чутливої функції протягом року досягло 30 і 32 бали відповідно.

Ще у 2 хворих (10 %) встановлено неврологічну симптоматику типу С. Відновлення рухової функції перебігало протягом року та досягло майже повного відновлення — 46 і 50 балів відповідно. Відновлення чутливої функції було помірнішим і наприкінці року становило від 34 до 36 балів.

Також у 2 хворих (10 %) визначено неврологічну симптоматику типу D, яка супроводжувалась раннім відновленням функції.

За результатами аналізу динаміки неврологічних розладів встановлено, що після травми рівень нейродефіциту у IV групі сягав  $(83,0 \pm 25,3) \%$ . Через рік показники неврологічного стану в деяких хворих відновились, а в середньому значущо зменшилася до  $(21,4 \pm 26,1) \%$ ;  $p < 0,05$ . У період спостереження до 12 міс. відбувалося швидке значуще відновлення неврологічного статусу ( $p < 0,05$ ). Таким чином, за рік зменшення неврологічних ускладнень у хворих IV групи досягло  $(54,3 \pm 27,1) \%$ .

Таким чином, у разі застосування методу передньо-заднього спондилодезу на  $360^\circ$  динаміка неврологічної симптоматики була ідентичною випадку з використанням методу восьмигвинтової фіксації на два хребці вище і на два нижче зони ушкодження.

Середній показник стенозу хребтового каналу в групі хворих, де використано метод передньо-заднього спондилодезу на  $360^\circ$ , до операції склав  $(60,8 \pm 29,5) \%$  (рис. 5.9). Подальші розміри хребтового каналу ми не вивчали, оскільки метод передбачає повне усунення кісткового стенозу хребтового каналу.

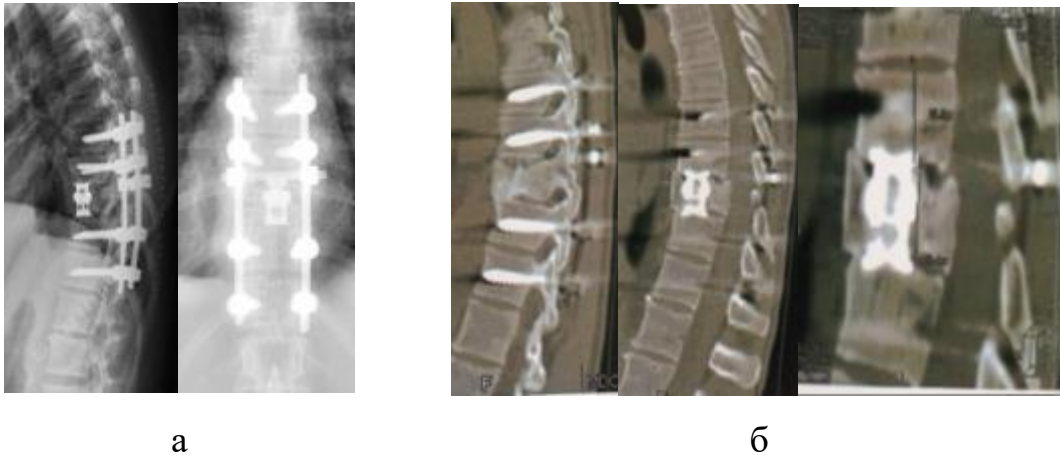


Рисунок 5.9 – Оглядові рентгенограми та КТ-скани хворої С., історія хвороби № 86650: а) після операції; б) через 2 роки

Показники макроструктурних змін ушкоджених хребтових сегментів у хворих з використанням комбінованого передньо-заднього спондилодезу на 360° мали певні особливості.

В цілому в IV групі пацієнтів середня величина кіфотичної деформації після травми склала  $(20,9 \pm 9,2)^\circ$ , після операції відбулося значуще ( $p < 0,001$ ) зменшення кутового кіфозу, через рік після операції суттєвих змін рентгенометричних показників не виявлено. Таким чином, середня величина корекції кіфотичної деформації дорівнювала  $(19,0 \pm 11,2)^\circ$ ; загальна середня втрата корекції —  $(-0,7 \pm 1,5)^\circ$  (табл. 5.9).

За результатами аналізу ступеня корекції локального кіфозу залежно від типу перелому встановлено наступне. У хворих з неповним осколково-вибуховим переломом (A3.2) середня величина кіфотичної деформації після операції порівняно з показником після травми зменшилася в 9,2 рази ( $p < 0,001$ ), залишившись майже без змін протягом року. Величина корекції кіфотичної деформації у даної категорії пацієнтів після виконання комбінованого передньо-заднього спондилодезу на 360° дорівнювала  $(14,5 \pm 0,7)^\circ$ .

Таблиця 5.9 Показники локального кіфозу у хворих IV групи в динаміці

Ознака	Термін спостереження
--------	----------------------

	до операції	через 2 тижні п/о	через 12 міс. п/о
Локальний кіфоз, град.	20,9 ± 9,2	2,6 ± 6,3***	3,4 ± 6,7***

Примітка: \*\*\* —  $p < 0,001$

У хворих з повним вибуховим переломом типу А3.3 середня величина кіфотичної деформації після операції зменшилася в 15,1 рази порівняно з показником після травми, а середня величина корекції локального кіфозу досягала  $(17,0 \pm 3,4)^\circ$  (табл. 5.10).

У пацієнтів з вибуховим переломом з дистракцією (за типом АВ) середня величина кіфотичної деформації після операції зменшилася в 4,1 рази ( $p < 0,05$ ), втрата корекції через рік виявилася незначущою, загальна величина корекції локального кіфозу становила  $(18,3 \pm 9,2)^\circ$  (табл. 5.10).

Величина післятравматичної кіфотичної деформації у хворих з вибуховим переломом з ротацією (тип АС) була  $(28,0 \pm 17,6)^\circ$ . На протязі післяопераційного спостереження величина локального кіфозу зменшилася до  $(0,3 \pm 5,5)^\circ$ , тобто фактично залишилася майже без змін на термін спостереження 12 міс. після операції (табл. 5.10). Однак слід відмітити, що статистичні розрахунки у даній підгрупі пацієнтів показують лише тенденції в післяопераційному відновленні структурних змін ушкоджених сегментів через малий розмір вибірки (табл. 5.10).

Метод комбінованого передньо-заднього спондилодезу передбачає усунення травматичного стенозу за рахунок видалення передньо-верхнього фрагменту із переднього доступу. У хворих цієї групи рівень стенозу після операції не оцінювали через інтраопераційні особливості методу лікування. В той же час проводили оцінювання якості регенерату, формування якого очікували в міжхребцевій титановій опорі.

Таблиця 5.10 Параметри локального кіфозу у хворих IV групи залежно від типу ушкодження в динаміці

	Величина кіфотичної деформації, град.

Тип перелому	до операції	через 2 тижні п/о	через 12 міс. п/о
A3.2	13,8±4,6	-1,5±4,4***	0,50±4,9***
A3.3	16,6±6,0	1,1±6,6***	0,60±8,0***
AB	25,8±5,6	6,9±5,5**	7,0±5,3**
AC	28,0±17,6	0,3±5,5	0,5±7,8

Примітка: \*\* —  $p < 0,01$ ; \*\*\* —  $p < 0,05$ .

Як показали результати якісного рентгенологічного аналізу регенерації губчастої кісткової тканини, у більшості пацієнтів ( $n = 14$ ) зареєстрована новоутворена кістка, яка заповнювала весь обсяг міжхребцевої опори: у 14 (70 %) — повну. Описуючи якість регенерату, слід відмітити, що у міжхребцевому імплантаті через тривалий термін виявляли кісткову тканину. По передній поверхні імплантату формувалася регенерат по передньому контуру тіла хребця. Спереду і ззаду імплантату зафіксовано утворення кісткових мостиків. При цьому порожні частини тіла хребця також заповнювалися кістковою тканиною (рис. 5.9, а, б). Межу між суміжними тілами хребців та імплантатом не простежували.

У 6 (30 %) пацієнтів не відбулося повної перебудови тканини на кісткову в міжхребцевій опорі протягом терміну спостереження тривалістю до 1 року. Не виключена можливість формування біологічного спондилодезу за рахунок металевго міжхребцевого імплантата з утворенням фіброзно-хрящового регенерату.

### 5.5 Аналіз результатів лікування пацієнтів V групи з використанням триколонної реконструкції хребта із заднього доступу

В усіх 5 пацієнтів V групи діагностовано ускладнені переломи тіл хребців грудного відділу хребта. За шкалою ASIA встановлено тип А з повним

порушенням провідності спинного мозку та типи В, С з частково збереженою неврологічною функцією.

Динаміка неврологічних змін була ідентичною до описаної в групі з восьмигвинтовою фіксацією на два хребці вище і на два нижче зони ушкодження та з комбінованим передньо-заднім спондилодезом на 360°. Основне відновлення функції кінцівок у хворих із неповним порушенням провідності спинного мозку відбувалося протягом року. У пацієнтів з групи А в післяопераційному періоді регресу неврологічної симптоматики не спостерігали.

У хворих V групи із застосуванням методу триколонної реконструкції хребта із заднього доступу зафіксовано ступінь стенозу хребтового каналу від 96 % до 100 %.

Група із триколонною реконструкцією хребта була найменшою — 5 хворих. Залежно від морфології ушкодження у 2 пацієнтів виявлено повний вибуховий перелом типу А3.3, у 3 — вибуховий перелом із дистракцією та ротацією за типами АВ і АС.

Середня величина кіфотичної деформації після травми в цілому по групі склала  $(22,2 \pm 2,7)^\circ$ , післяопераційне зменшення кісткового стенозу на  $(13,2 \pm 19,2)^\circ$  не призвело до клінічно значущих змін у неврологічному статусі. Середня величина кіфотичної деформації в цілому по групі після операції не перевищувала  $(9,0 \pm 17,6)^\circ$ .

5.6 Порівняльний аналіз методів восьмигвинтової фіксації, комбінованого передньо-заднього спондилодезу на 360° і триколонної реконструкції хребта із заднього доступу в лікуванні травматичних переломів грудного відділу хребта

Для порівняльного аналізу травматичності хірургічного втручання у процесі лікування різними методами хворих у групах II, III, IV визначали середню тривалість хірургічного втручання, інтраопераційну крововтрату, об'єм гемотрансфузії, рівень гемоглобіну до, після та на 3-тю добу після хірургічного

втручання. З метою проведення коректного порівняльного аналізу з статистичних досліджень були визначені критерії включення: застосування методу лямініектомії з восьмигвинтовою фіксацією та методики комбінованого передньо-заднього спондилодезу на  $360^\circ$ , яка передбачала проведення передньої декомпресії.

Результати порівняльного аналізу травматичності вищевказаних оперативних втручань представлені в таблиці 5.11.

Результати аналізу показали, що хірургічне втручання, виконане у пацієнтів IV групи є в 1,8 рази тривалішим за шестигвинтовий спондилодез і в 1,7 рази тривалішим, ніж восьмигвинтова фіксація, однак подовження часу операції не було статистично достовірним. По-перше, тривалість операції в IV групі хворих ( $5,5 \pm 0,7$ ) год. Рівень Hb до операції в групах II, III виявився нижчим, ніж в IV групі, однак без статистично достовірних відмінностей. Після операції показники гемоглобіну в групах не відрізнялися ( $p > 0,05$ ). Цей факт пояснюється тим, що в групі III-II гемотрансфузію проведено 14 (56 %) хворим, а у IV — у 100 % випадків (табл. 5.11).

Таким чином, хірургічне втручання за методикою комбінованого передньо-заднього спондилодезу є тривалішим, але не травматичнішим.

У процесі аналізу клінічних результатів різних методів лікування передусім орієнтувались на інтенсивність больового синдрому. У групі з восьмигвинтовою фіксацією на два хребці вище і на два нижче зони ушкодження 52 % хворих відчували періодичний біль у хребті, який не вимагав медикаментозної корекції, і 26 % — помірний біль, який обумовлював періодичний прийом ліків.

Таблиця 5.11 Результати аналізу травматичності хірургічного втручання груп II, III, IV

Показник	Група	$M \pm SD$	t; p
Hb до операції	II	$129,7 \pm 11,3$	$t=1,18; p > 0,05$
	III	$132,4 \pm 11,9$	$t=2,11; p > 0,05$
	IV	$138,9 \pm 9,4$	$t=2,62; p > 0,05$



III	11	22	26	52	13	26	—	—
IV	10	50	7	35	3	15	—	—
V	—	—	5	100	—	—	—	—

Таблиця 5.13 Показники відновлення працездатності за умов різних видів лікування

Клінічна група	ПоПр1		ПоПр2		ПоПр3		ПоПр4		ПоПр5	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
III	23	46	19	38	8	16	—	—	—	—
IV	—	—	6	30	8	40	3	15	3	15
V	—	—	—	—	—	—	2	40	3	60

Для проведення порівняльного аналізу ефективності лікування було обрано хворих з однаковою морфологічною картиною: з повним вибуховим переломом типу А3.3, переломом тіла хребця з дистракцією типу АВ, вибуховим перелом з ротацією типу АС.

У III клінічній групі таких пацієнтів було 27, серед хворих зі спондилодезом на 360° — 18, із триколонною реконструкцією із заднього доступу — 5 (усі). На особливий аналіз заслуговують хворі, яким виконано восьмигвинтову фіксацію на два хребці вище і на два нижче зони перелому в поєднанні з декомпресійною ламінектомією. Ця підгрупа (III.ІІ) була представлена 24 хворими з неврологічною симптоматикою.

У групі хворих із восьмигвинтовою фіксацією середня величина кіфотичної деформації після травми в разі повного вибухового перелому типу А3.3 склала  $(20,7 \pm 7,9)^\circ$ , після операції —  $(5,1 \pm 4,5)^\circ$ . Середня величина корекції кіфотичної деформації —  $(15,6 \pm 7,1)^\circ$ . Середня втрата корекції через рік була  $(1,0 \pm 1,3)^\circ$ . Середня величина кіфотичної деформації після травми у хворих із вибуховим переломом із дистракцією (АВ) та ротацією (АС) була  $(18,1 \pm 8,8)^\circ$ , після операції —  $(4,0 \pm 4,3)^\circ$ , величина корекції кіфотичної деформації дорівнювала  $(14,1 \pm 9,0)^\circ$ . Середня втрата корекції через рік —  $(1,1 \pm 1,6)^\circ$ .

Серед хворих із неврологічною симптоматикою, яким проведено восьмигвинтову фіксації на два хребці вище і на два нижче в поєднанні з лямінектомією (група Ш.ІІ), середня втрата корекції через рік після операції склала  $(5,1 \pm 1,3)^\circ$  (табл. 5.14).

Значні величини втрати корекції деформації після операції за умов руйнування задніх відділів хребта (дуг, суглобів) з метою розширення просвіту хребтового каналу – лямінектомія, підтверджують той факт, що руйнування задніх відділів хребта збільшують напруження на межі «гвинт – кістка» і в стрижнях конструкції (розділ 3.2).

Таблиця 5.14 Розподіл хворих групи Ш за структурою ушкодження та можливістю збереження і корекції деформації

Ознака	Кіфотична деформація, град.			Корекція ( $^\circ$ )	Втрата корекції ( $^\circ$ )
	після травми	через 2 тижні п/о	через 12 міс. п/о		
Ш.ІІ	$19,0 \pm 4,1$	$2,9 \pm 4,4$	$16,1 \pm 6,2^{***}$	$7,9 \pm 2,8$	$-5,1 \pm 1,3$
A3.3	$20,7 \pm 7,9$	$5,1 \pm 4,5$	$15,6 \pm 7,1^{**}$	$6,2 \pm 3,9$	$-1,0 \pm 1,3$
AB, AC	$18,1 \pm 8,8$	$4,0 \pm 4,4$	$14,1 \pm 9,0^{**}$	$3,4 \pm 4,0$	$-1,1 \pm 1,6$

Примітка: \*\* —  $p < 0,05$ ; \*\*\* —  $p < 0,001$ .

У групі хворих з комбінованим передньо-заднім спондилоднзом на  $360^\circ$  середня величина кіфотичної деформації після травми в разі повного вибухового перелому типу A3.3 становила  $(16,6 \pm 6,0)^\circ$ , після операції —  $(1,1 \pm 6,6)^\circ$ . Середня величина корекції кіфотичної деформації —  $(15,4 \pm 4,3)^\circ$ . Середня величина кіфотичної деформації після травми у хворих з переломом тіла хребця з дистракцією (AB) та ротацією (AC) була  $(26,4 \pm 9,2)^\circ$ , після операції —  $(5,1 \pm 6,1)^\circ$ . Величина корекції кіфотичної деформації при використанні методу передньо-заднього спондилодезу при лікуванні хворих із переломами тіл хребців із дистракцією та ротацією склала  $(21,3 \pm 12,8)^\circ$ .

У пацієнтів із триколонною реконструкцією хребта із заднього доступу в разі повного вибухового перелому хребця середня величина кіфотичної

деформації після травми склала  $(23,0 \pm 4,2)^\circ$ , після операції —  $(1,8 \pm 31,1)^\circ$ . Середня величина корекції кіфотичної деформації в разі повного вибухового перелому становила  $(21,0 \pm 35,3)^\circ$ . У випадку лікування перелому тіла хребця з дистракцією та ротацією величина кіфозу після травми склала  $(21,7 \pm 2,0)^\circ$ , після операції —  $(3,0 \pm 1,0)^\circ$ . Середня величина корекції деформації склала  $(18,7 \pm 2,1)^\circ$ . Залежно від морфології можливості корекції деформації суттєво не змінювались.

Усім хворим з переломами, ускладненими неврологічною симптоматикою, виконували декомпресію нервових структур. У групі з восьмигвинтовою фіксацією (24) проведено декомпресійну ламінектомію. Серед пацієнтів, які отримали лікування методом комбінованого передньо-заднього спонділодезу на  $360^\circ$  у 10 декомпресію нервових структур виконано шляхом передньої корпоректомії з видаленням фрагмента задньо-верхньої частини тіла хребця. У 5 хворих групи з триколонною реконструкцією хребта із заднього доступу проведено ламін- і корпоректомію із заднього доступу.

Оцінено наявність інтроопераційних і післяопераційних ускладнень. До ускладнень хірургічних втручань відносили ушкодження твердої мозкової оболонки (ТМО), післяопераційну лікворею, нагноєння післяопераційної рани (табл. 5.15).

Таблиця 5.15 Ускладнень хірургічного лікування переломів із неврологічною симптоматикою

Метод лікування	Ушкодження ТМО	П/о лікворея	Нагноєння п/о рани
Восьмигвинтова фіксація	6 (30 %)	2 (10 %)	2 (10 %)
Комбінований доступ на $360^\circ$	3 (15 %)	—	—
Триколонна реконструкція	2 (40 %)	1 (20 %)	—

Ушкодження ТМО виявляють досить часто в разі важких ушкоджень хребта. Її порушення, зазвичай, виникає внаслідок поранення кістковими фрагментами як в задніх відділах (тоді можна накласти шви під час ламінектомії),

так і в передніх (коли це зробити неможливо). Усі ушкодження ТМО ми спостерігали в термін 2 тижнів після травми. Наприклад, серед пацієнтів, які отримували лікування методом лямініектомії з восьмигвинтовою фіксацією, у 25 % випадків спостерігали ушкодження ТМО. У 4 хворих на ділянки ушкодження були накладені шви.

У 2 пацієнтів ушкодження твердої мозкової оболонки реалізувалось в післяопераційну лікворею, яку зупинено в результаті лікування.

У групі з комбінованим передньо-заднім спонділодезом на 360° ушкодження ТМО оболонки зафіксовано в 3 хворих, і у жодного воно не реалізувалась у післяопераційну лікворею.

Серед пацієнтів із використанням методу триколонної реконструкції хребта із заднього доступу у 2 визначено ушкодження твердої мозкової оболонки, в 1 продовжувалось у післяопераційному періоді.

Застосування методу комбінованого передньо-заднього спонділодезу на 360° із декомпресією нервових структур методом корпоректомії є безпечнішим відносно такого ускладнення, як післяопераційна лікворея.

Таким чином, усі досліджувані методи лікування можуть бути використані в лікуванні повних вибухових переломів і переломів тіл хребців із дистракцією та ротацією. Найефективніші показники ступеня корекції кіфотичної деформації та відновлення фізіологічних викривлень визначено в разі застосування методів лікування з міжхребцевою опорою. Метод лише задньої транспедикулярної фіксації є досить ефективним за умов ретельного формування фізіологічних викривлень.

## 5.7 Вибір методу раціонального лікування травматичних переломів грудного відділу хребта

Консервативний метод лікування не забезпечує корекції залишкової деформації хребта, а, навпаки, із перебігом часу призводить до збільшення післятравматичного кутового кіфоза. Після досягнення певної залишкової

деформації регенерація тіла хребця відбувалась у такому положенні з утворенням щільної кісткової тканини в задній частині тіла хребця.

У разі ушкодження зв'язок заднього опорного комплексу методом вибору є хірургічний бісегментарний спондилодез. Порівнюючи консервативний і хірургічний методи лікування, можна зробити висновок, що обидва вони забезпечують задовільний клінічний результат протягом року після травми. Рентгенологічний результат позитивніший у разі хірургічного лікування, що надає цьому методу перевагу.

Метод шестигвинтової бісегментарної транспедикулярної фіксації використаний у хворих із неповним вибуховим переломом тіла хребця і забезпечив корекцію залишкової деформації в середньому в межах  $8,3^\circ$ .

Застосування додаткового транспедикулярного гвинта в зламаний хребець забезпечило надійне збереження досягнутої корекції в межах  $0,4^\circ$ , підтверджуючи результати математичних розрахунків про зниження напружень у стрижнях близько 20 % за таких умов. Збереження певної досягнутої корекції відбувається завдяки задньому спондилодезу та регенерації тіла хребця по задньому контуру (табл. 5.16). Даний метод лікування раціонально використовувати у хворих із неповним вибуховим переломом тіла хребця (ступінь руйнування до 30 %), із неушкодженими коренями дуг, без неврологічної симптоматики за умов пружно-пластичному варіанті деформування хребта.

Використання восьмигвинтової фіксації на два хребці вище і на два нижче зони ушкодження є ефективнішим методом лікування у хворих із неповним вибуховим переломом. Цей метод забезпечує корекцію залишкової деформації в середньому в межах  $10,7^\circ$ . Але водночас метод шестигвинтової фіксації є безпечнішим.

Метод восьмигвинтової транспедикулярної фіксації на два хребці вище і на два нижче зони ушкодження в разі повних вибухових переломів і переломів тіл хребців із distraкцією та ротацією забезпечує корекцію залишкової деформації в межах  $15^\circ$ . Додаткове використання міжхребцевої опори підвищує середній

рівень корекції залишкової деформації до 21° (табл. 5.16). Основна корекція хребта в разі ушкоджень із дистракцією та ротацією виконується шляхом використання довгої восьмигвинтової фіксації.

Таблиця 5.16 Характер регенерації тіла хребця у хворих із різними методами лікування

Метод фіксації	Наявність підв'язкового крововиливу	Регенерація тіла хребця		
		З відновленням структури	регенерат по передньому контуру	кісткова тканина в м/хребцевій опорі
Шестигвинтова	7 (14 %)	14 (28 %)	3 (6 %)	—
Восьмигвинтова	9 (45 %)	10 (50 %)	10 (50 %)	—
Комбінований спондилодез на 360°	—	—	—	14 (70 %)

Результати клінічного дослідження та математичних розрахунків дозволили нам стверджувати, що у хворих із повним вибуховим переломом тіла хребця або неповним вибуховим переломом із розколюванням (у разі повного руйнування тіла хребця) у випадку ушкодження дуг хребта або суглобів (унаслідок травми кісткових структур або хірургічного видалення дуг і суглобів під час ламінектомії) використання восьмигвинтової фіксації на два хребці вище і на два нижче зони ушкодження без міжхребцевої опори призводить до збільшення рівня напружень у стрижнях конструкції на 50 % і на межі «гвинт – кістка» більш ніж удвічі. Тому, на нашу думку, у такій клінічній ситуації мова йде про неконтрольовано-пластичну деформацію та залишкову фіксованість хребта і задньої конструкції недостатньо для збереження певної рівноваги, тобто необхідним є використання передньої міжхребцевої опори.

У результаті клінічних досліджень підтверджено дані математичних розрахунків про поступове зменшення напруження в конструкції та зоні перелому зі збільшенням кількості транспедикулярних гвинтів. Клінічно і математично доведено, що використання методу восьмигвинтової фіксації на два хребці вище

і на два нижче зони перелому забезпечує досягнуту корекцію. Із плином часу збереження досягнута корекція в разі восьмигвинтової фіксації зберігається завдяки формуванню спондилодезу та щільної кісткової перебудови задньої частини тіла хребця, а в часини хворих (48,8 %) — унаслідок регенерації суміжних тіл хребців по передньому контуру (табл. 5.16). У результаті клініко-експериментальних досліджень встановлено, що наявність крововиливу під передньою поздовжньою зв'язкою з подальшим утворенням фібрин-кров'яного згустку може призводити до регенерації тіла хребця по передньому контуру. Доведена регенераторна активність фібрину. Регенерація тіла хребта по передньому контуру забезпечує зміцнення залишкової фіксованості хребта і може бути варіантом вибору саме в тих випадках, коли необхідно застосовувати міжхребцеву опору, з метою збереження певної рівноваги.

Метод комбінованого передньо-заднього спондилодезу в разі повних вибухових переломів і переломів тіл хребців із distraкцією та ротацією забезпечив корекцію залишкової деформації в межах  $21^\circ$  (табл. 5.17).

Таблиця 5.17 Розподіл величин кіфотичної деформації при хірургічному лікуванні різних типів переломів грудного відділу хребта

Група	Тип перелому	Кіфотична деформація, град.			Корекція п/о ( $^\circ$ )	Втрата корекції ( $^\circ$ )
		Після травми	Через 6 міс.	Через 12 міс		
II	A3.1, A3.2	$14,0 \pm 7,7$	$5,7 \pm 4,3$	$4,5 \pm 2,5$	$8,3 \pm 6,2^*$	$0,9 \pm 2,8$
III	A3.1, A3.2	$14,2 \pm 4,1$	$3,5 \pm 3,5$	$4,5 \pm 4,3$	$10,7 \pm 4,7$	$-1,0 \pm 1,3$
	A 3.3	$20,7 \pm 7,9$	$5,1 \pm 4,5$	$6,2 \pm 3,9$	$15,6 \pm 7,1$	$-1,0 \pm 1,3$
	AB AC	$18,1 \pm 8,8$	$4,0 \pm 4,4$	$3,4 \pm 4,0$	$14,10 \pm 9,0$	$-1,1 \pm 1,6$
IV	A 3.1 A 3.2	$13,8 \pm 4,6$	$-1,5 \pm 4,4$	$0,5 \pm 5,0$	$15,3 \pm 1,00$	$-1,0 \pm 1,4$
	A 3.3	$16,6 \pm 6,0$	$1,1 \pm 6,6$	$0,6 \pm 8,0$	$15,4 \pm 4,3$	$-0,2 \pm 0,45$
	AB AC	$26,4 \pm 9,2$	$5,1 \pm 6,1$	—	$21,3 \pm 12,9$	$-0,9 \pm 2,0$
V	A 3.3	$23,0 \pm 4,2$	$1,8 \pm 31,1$	—	$21,2 \pm 35,4$	—

	AB AC	21,7±2,1	3,0±1,0	—	18,7±2,1	—
--	----------	----------	---------	---	----------	---

Метод коротковажильного комбінованого передньо-заднього спонділодезу на 360° (чотиригвинтова фіксація в поєднанні з міжхребцевою опорою) забезпечив найліпші показники сагітального балансу.

У групі хворих із комбінованим передньо-заднім спонділодезом на 360° у 70 % (14) виявлено утворення кісткової тканини в міжхребцевій опорі.

Хірургічні втручання за методикою комбінованого передньо-заднього спонділодезу є тривалішими, але не більш травматичними, ніж метод восьмигвинтової фіксації з лямініектомією. Метод триколонної реконструкції виявився більш травматичним, а за тривалістю порівнянним із комбінованим передньо-заднім спонділодезом на 360°. Метод восьмигвинтової фіксації з лямініектомією і триколонної реконструкції хребта виявилися менш безпечними відносно розвитку ускладнень у разі переломів хребта з неврологічною симптоматикою.

Таким чином, кожен хірургічний метод лікування певною мірою забезпечує корекцію залишкової деформації хребта. Залишкова фіксованість хребта зменшує навантаження на конструкції, а зменшення залишкової фіксованості призводить до збільшення напружень у конструкції. Вони певною мірою залежить від залишкової фіксованості хребта. Протяжність інструментації та необхідність застосування міжхребцевої опори під час лікування вибухових переломів тіл хребців залежить від здатності методу забезпечити корекцію деформації, а можливість збереження рівноваги (корекції деформації) визначається залишковою фіксованістю хребта.

Доведено, що кожен використаний метод лікування має недоліки та переваги щодо ознаки «стеноз хребтового каналу». Шестигвинтова бісегментарна транспедикулярна фіксація в ранньому післяопераційному періоді не забезпечила корекції стенозу хребтового каналу, або забезпечила незначною мірою (до 5 %). Середня величина корекції стенозу хребтового каналу в цій групі становила 8,8 %

і досягала максимального значення через рік і більше після повної перебудови кісткової тканини.

У групі хворих, де застосовано восьмигвинтову фіксацію, загальний середній ступінь звуження (стенозу) хребтового каналу після травми становив 44,9 %. У ранньому післяопераційному періоді визначено відновлення просвіту хребтового каналу на 7,5 %, через рік і більше — на 21,6 %. Таким чином, відновлення просвіту хребтового каналу в разі переломів грудних і поперекових хребців відбувається за рахунок лігаментотаксису під час хірургічного втручання і природного ремоделювання хребтового каналу протягом року і більше загалом на 29,1 %. (табл. 5.18, табл. 5.19).

Середній показник стенозу хребтового каналу в групі хворих, в яких використано передньо-задній спондилодез, до операції становив 63,5 %, а у випадку застосування триколонної реконструкції хребта із заднього доступу — 96 %. Ці методи лікування передбачають повне усунення кісткового стенозу хребтового каналу.

Таблиця 5.18 Ступінь звуження (стенозу) хребтового каналу залежно від методу лікування

Метод лікування	Ступінь стенозу хребтового каналу (%)		
	до операції	Через 2 тижні п/о	Через 19,4 міс. п/о
Шестигвинтова фіксація	17,1	—	8,8
Восьмигвинтова фіксація	44,9	37,4	15,8
Комбінований передньо-задній спондилодез на 360°	63,5	Передбачає практичне повне відновлення просвіту хребтового каналу	
Триколонна реконструкція хребта із заднього доступу	96	Передбачає практичне повне відновлення просвіту хребтового каналу	

У хворих з ускладненими ушкодженнями у вигляді повного порушення провідності спинного мозку або корінців кінського хвоста типу А (нижня параплегія), яка виникла безпосередньо в момент травми, неврологічна симптоматика була найтяжчою і в ранній післяопераційний період не змінювалася. Хворі з частковою неврологічною симптоматикою типу В, С або D за шкалою ASIA в разі хірургічного лікування можуть мати сприятливий результат. Хворі з тяжчою неврологічною симптоматикою типу В або С мають найбільше відновлення протягом року і більше, з неврологічною симптоматикою типу D — у перші 2 тижнів після операції, а подальше відновлення відбувається протягом року.

Таким чином, усі хворі з неврологічною симптоматикою потребують своєчасного хірургічного втручання з метою розширення хребтового каналу шляхом ламінектомії або передньої корпореکتомії. Доведена достатньо низька ефективність опосередкованого відновлення просвіту хребтового каналу за рахунок лігаментотаксису і водночас висока природного ремодельовання хребтового каналу.

Таблиця 5.19 Ступінь відновлення просвіту хребтового каналу за різних методів операції

Метод лікування	Ступінь відновлення просвіту хребтового каналу (%)	
	після операції	Через 19,4 міс.
Шестигвинтова фіксація	0	8,8 (незначне)
Восьмигвинтова фіксація	7,5 (незначне)	29,1 (на третину)
Комбінований передньо-задній спондилодез на 360°	Передбачає практичне повне відновлення просвіту хребтового каналу	

Триколонна реконструкція хребта із заднього доступу	
---	--

На нашу думку, пряме видалення задньо-верхнього фрагмента тіла хребця рекомендовано в разі критичних показників стенозу хребтового каналу — від 60 % до 70 %. У разі неускладненого перелому тіла хребця або з неврологічною симптоматикою (тип D, C, B, A) із критичним ступенем стенозу слід виконувати передню декомпресію хребтового каналу шляхом корпоректомії та заміщення передньою опорою. У випадку неврологічної симптоматики (тип A, B, C) і критичних показників стенозу хребтового каналу (від 60 % до 70 %) можна досягти його усунення шляхом видалення кісткового фрагмента із заднього доступу зі застосуванням міжхребцевої опори — триколонна реконструкція хребта із заднього доступу.

## **6 ОБГРУНТУВАННЯ ТАКТИКИ ЛІКУВАННЯ РІЗНИХ ТИПІВ ПЕРЕЛОМІВ ХРЕБЦІВ ГРУДНОГО ВІДДІЛУ ХРЕБТА**

### **6.1 Основні принципи лікування пацієнтів з різними типами травматичних переломів грудних хребців**

Основні труднощі у виборі методу лікування хворих з різними типами вибухових переломів пов'язані з вирішенням питання щодо необхідності та способу фіксації перелому з ознаками ушкодження заднього зв'язкового та кістково-зв'язкового комплексу за умов наявності неврологічної симптоматики або загрози її розвитку та прогресування. Як свідчать результати власного дослідження та аналізу літературних джерел щодо динаміки неврологічної симптоматики, регрес неврологічного дефіциту можливий. У результаті ретроспективного аналізу доведено, що хворі з частковою неврологічною симптоматикою типів B, C, D за шкалою ASIA при використанні хірургічного лікування можуть очікувати на позитивний результат. Хворі з більш вираженою неврологічною симптоматикою типів B і C мають найбільш ефективне відновлення протягом року, а типу D — в перші два тижні після операції, а подальше поступове відновлення перебігає протягом року. У хворих з ознаками повного порушення провідності спинного мозку за шкалою ASIA типу A визначено найменш позитивну динаміку. Отже, стає очевидною необхідність використання хірургічних методів лікування різних типів вибухових переломів грудних хребців у якомога швидші терміни після травми.

Таким чином, на основі ступеня ушкодження переднього опорного комплексу (ступінь фрагментації тіла хребця), ступеня руйнування задніх зв'язкових та кістково-зв'язкових структур, наявності та особливостей неврологічного дефіциту уточнені основні терміни надання хірургічної допомоги

хворим із переломами тіл хребців типу А з дистракцією та ротацією грудного відділу хребта (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 Терміни операції залежно від характеру неврологічного дефіциту

Тяжкість неврологічної симптоматики за шкалою ASIA	Термін надання хірургічної допомоги
Тип Е (неврологічна симптоматика відсутня)	Відстрочено
Типи В, С, Д (неповне порушення провідності спинного мозку)	Терміново (перші 24 год)
Тип А (повне порушення провідності спинного мозку)	Терміново або відстрочено, залежно від стану хворого або технічного забезпечення хірургічного втручання
Ушкодження в складі політравми	Відстрочено або терміново в разі неповної неврологічної симптоматики, якщо немає загрози життєвим функціям організму

Об'єм декомпресії хребтового каналу визначається ступенем стенозу. Результати наших досліджень показали, що у певних випадках стеноз хребтового каналу відсутній. У пацієнтів зі ступенем стенозу до 10 % і збереженими коренями дуг можливо досягти кращих результатів і хірургічного, і консервативного лікування. Наявність абсолютного стенозу хребтового каналу потребує виділення фрагменту задньо-верхньої частини тіла хребця. Методи комбінованого передньо-заднього спондилодезу на 360° та триколонної реконструкції хребтового каналу передбачають майже повне відновлення просвіту хребтового каналу. Методи шестигвинтової й восьмигвинтової фіксації може забезпечити певне відновлення просвіту хребтового каналу. Вищевказані методи хірургічного лікування передбачають і відновлення опороздатності задніх відділів хребта. На основі власних клінічних та експериментальних біомеханічних досліджень були розроблені наступні принципи лікування пацієнтів з різними типами переломів грудних хребців:

– деформація хребта виникає під час ушкодження тіла хребця, безпосередньо в момент травми і залежить від її інтенсивності. У разі ушкодження задніх відділів хребта за умов подальшого навантаження деформація хребта прогресуватиме. Ступінь стенозу хребтового каналу не залежить від ступеня руйнації тіла хребця та величини залишкової деформації;

– хворих із неповним вибуховим переломом тіла хребця, без стенозу хребтового каналу (або зі стенозом хребтового каналу до 10 %), без ушкодження зв'язок заднього відділу хребта можна лікувати консервативним методом;

– пацієнтів з неушкодженими задніми відділами хребта або з ушкодженням лігаментозних структур можна лікувати з використанням коротковажільної фіксації хребта (шестигвинтова фіксація або комбінований бісегментарний передньо-задній спондилодезу на  $360^\circ$ ) або довговажільної восьмигвинтової фіксації;

– хворих з переломами тіла хребця з дистракцією або ротацією доцільно лікувати з використанням довговажільної восьмигвинтової фіксації, бажано в поєднанні з міжхребцевим спондилодезом (комбінований передньо-задній спондилодез на  $360^\circ$  на два хребці вище і на два нижче зони ушкодження, триколонна реконструкція хребта із заднього доступу або передбачувана можливість відновлення передньої опори в результаті регенерації по передньому контуру тіла хребця);

– хворим зі стенозом хребтового каналу до від 60 % до 70 % проводять непряму декомпресію хребтового каналу за рахунок лігаментотаксису та природнього ремоделювання хребтового каналу;

– хворим зі стенозом хребтового каналу понад від 60 % до 70 % (критичний стеноз) проводять пряму декомпресію хребтового каналу.

## 6.2 Обґрунтування концепції лікування різних типів вибухових переломів тіл хребців грудного відділу хребта

Аналіз результатів експериментальних біомеханічних та клінічних досліджень, проведених в рамках даної роботи, а також відомості, які були отримані нами у попередніх дослідженнях [221, 222, 230], показали, що ступінь руйнування хребцевого рухового сегмента залежить, з одного боку, від енергії травмуючої сили, яка діє на хребет, і місця її прикладання, а з другого, — від стану анатомічних структур, які протидіють цій силі.

За класифікацією F. Magerl і співавт. [90], всі ушкодження, в залежності від характеру травмуючої сили (компресійні, дистракційні та ротаційні), розподіляються за особливістю структурних змін хребтового рухового сегмента, а саме: обсягом руйнування тіла хребця, розколюванням або фрагментацією, наявністю вивиху в суглобах, направленістю зміщення хребта тощо. Кожен наступний рівень поділу характеризує ступінь руйнування хребта відповідно до кожної клінічної одиниці.

Таким чином, кожна клінічна форма цієї класифікації має певні ушкоджені та неушкоджені анатомічні структури. Отже, кожна клінічна форма перелому тіла хребця може повністю протидіяти подальшим навантаженням. Саме на цю її можливість науковці не зважали. Інші класифікації (F. Denis [89], McCormack [92], TLICS [104]) також не повністю відображають функцію збереження опороспроможності хребта після його ушкодження.

Аналіз результатів лікування хворих із вибуховими переломами та переломами тіл хребців із дистракцією та ротацією за даними літератури засвідчив, що більшість хірургів під час вибору тактики лікування орієнтовані на ступінь фрагментації тіла хребця, величину кіфотичної деформації, наявність або відсутність неврологічної симптоматики. На основі літератури розроблено алгоритм лікування високоенергетичних переломів тіл хребців за класифікацію F. Magerl і співавт. [90], в якому згруповано ознаки, які впливали на вибір методу лікування в різних наукових дослідженнях [106, 107, 123, 124, 141-143, 149-151, 155, 156, 171-175, 178-180, 186-188]. Після створення цього алгоритму помічено: у ньому немає повних даних про стан задньої частини тіла хребця, який впливає

не лише на формування стенозу хребтового каналу, а й на збереження певної опороспроможності; немає єдиної думки щодо вибору оптимального методу лікування в разі неповного вибухового перелому, поєднаного з розривом міжостьової або надостьової зв'язок. Це може бути метод бісегментарного спондилодезу або фіксації на два хребці вище і на два нижче зони ушкодження. Не з'ясовано, якою має бути довжина фіксації в разі перелому типу А з distraкцією, а саме з ушкодженням дуг і суглобів хребців, і чи слід застосовувати міжхребцеву опору. Не вирішено питання щодо можливості використання за умов вибухового перелому з ротацією коротковажелевого спондилодезу на 360° (чотиригвинтової фіксації з поперечним стягуванням і міжхребцевим спондилодезом) або довговажільної фіксації на два хребці вище і на два нижче зони ушкодження.

Таким чином, вибір методу лікування переломів базується на морфології перелому, наявності і вираженості неврологічних порушень, вихідному структурно-функціональному стані ушкодженого хребцевого сегмента і грудного відділу хребта в цілому, але не враховує здатності неушкоджених структур зберігати певну опороспроможність. Вибір методу фіксації, її протяжності та обсягу при вибухових переломах типів А.3, АВ та АС залежатиме від ступеня руйнування структур грудного хребцевого сегмента і, відповідно, характеру залишкової опороспроможності, а також певного стабілізуючого ефекта четвертої колони - грудної клітки.

Додатковим фактором фіксації ушкодженого хребцевого сегмента у післятравматичному періоді, на нашу думку, є підзв'язковий крововилив, який у подальшому може перетворитись на фібриновий згусток із забезпеченням кісткового зрощення по передньому контуру тіл хребців. Саме формування переднього спондилодезу є одним із факторів забезпечення досягнутої корекції деформації.

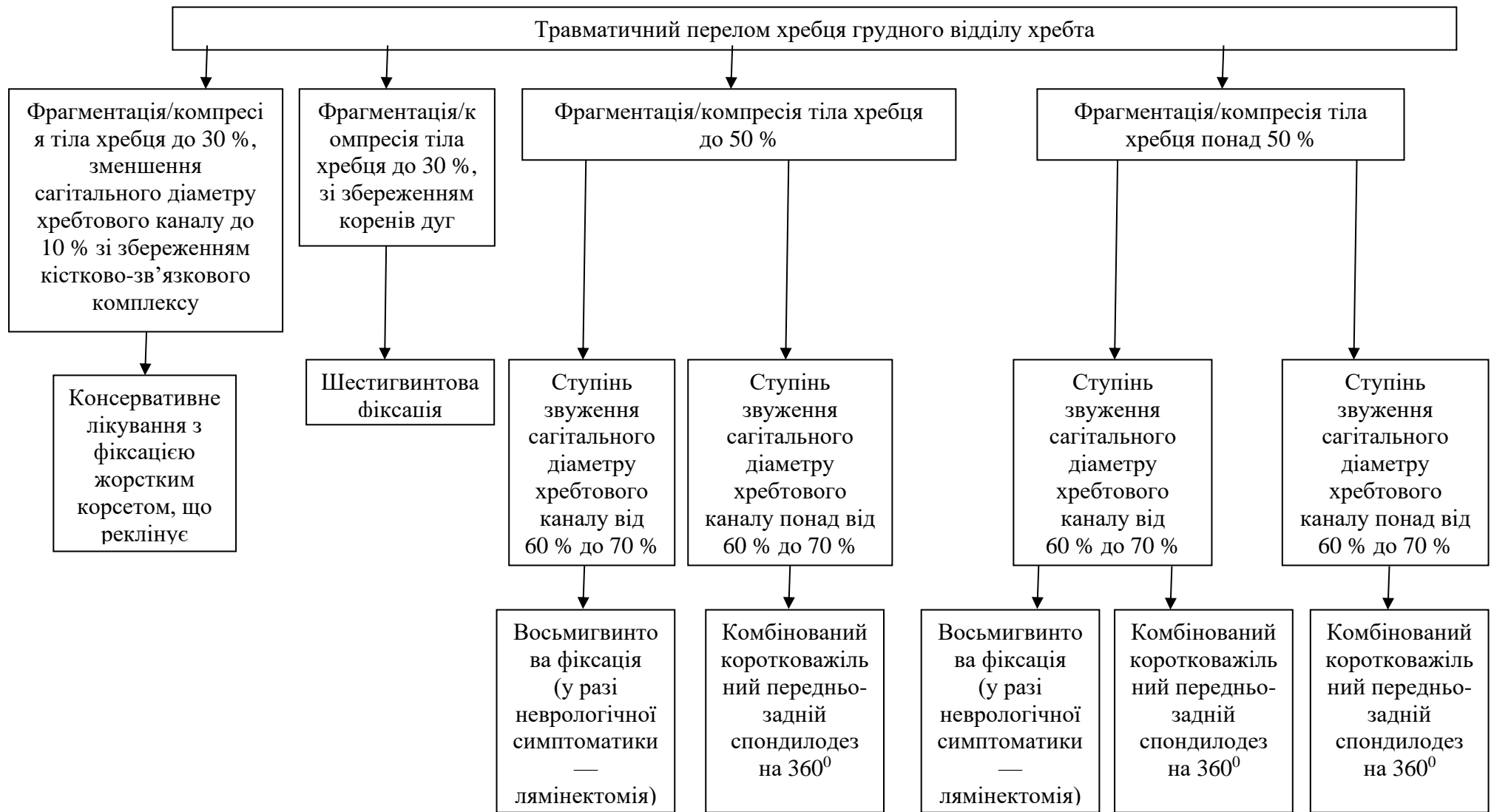


Рисунок 6.1 – Блок-схема раціонального лікування хворих з травматичними переломами тіл хребців грудного відділу хребта

Наявність підв'язкового крововиливу залежить від ступеня руйнації тіла хребця. Ми вважаємо, що збереження певної опороспроможності хребта забезпечує збереження крововиливу у футлярі. У випадку зменшення опороспроможності хребта цілісність цього футляру порушується, і кров виливається в паравертебральні тканини. Наявність і характер регенераторного потенціалу крововиливу досліджено в експерименті на тваринах, у якому змодельована ситуація взаємодії тіла хребця та фібринового згустку [231].

Грунтуючись на даних принципах лікування пацієнтів з різними типами переломів грудних хребців, враховуючи результати клінічних та експериментальних досліджень, був розроблений алгоритм лікування даної категорії хворих (рис. 6.1).

6.3 Концепція лікування переломів хребців грудного відділу хребта, отриманих в результаті бойової травми, на етапі спеціалізованої медичної допомоги (за даними літератури)

Вибухові переломи хребта і, зокрема, його грудного відділу, у цивільних осіб і як бойова травма у військовослужбовців мають суттєві відмінності за механогенезом, локалізацією, характером ушкоджень і, відповідно, часом і обсягом надання медичної допомоги.

В рамках даного дослідження хірургічне лікування отримали 3 (2,9 %) військовослужбових з ушкодженням тіл хребців грудного відділу хребта в результаті мінно-вибухової дії (один випадок) та вогнепального поранення (два спостереження).

З метою виявлення уявлень про вищевказані бойові ушкодження хребта — їх механогенез, обсяг ушкоджень, принципи лікування за межами театру бойових дій, у спеціалізованих лікувальних закладах, були проведені 2 літературних пошука у базах даних PubMed та Medline за період 2013-2023 р.р. Для першого пошуку літератури використовували наступні медичні предметні рубрики і

ключові слова: «бойова вибухова травма хребта», «травма хребта під дією вибухової хвилі», «вибухова травма хребта у військовослужбовців», «combat-related spine injury», "spine injury under the action of an blast wave", "blast spine injury in military». Слід зазначити, що ми розглядали таку бойову вибухову травму, коли відбувається детонація вибухового пристрою під транспортним засобом (вибух під днищем). Другий пошук літератури проводився за такими медичними предметними рубриками й ключовими словами: «вогнепальна травма хребта», «бойова вогнепальна травма хребта», «вогнепальна травма хребта у військовослужбовця», "gunshot spine injury", "combat gunshot spine injury", "spine gunshot injury in military». При необхідності в окремих випадках використовували джерела літератури, що виходять за межі періоду пошуку.

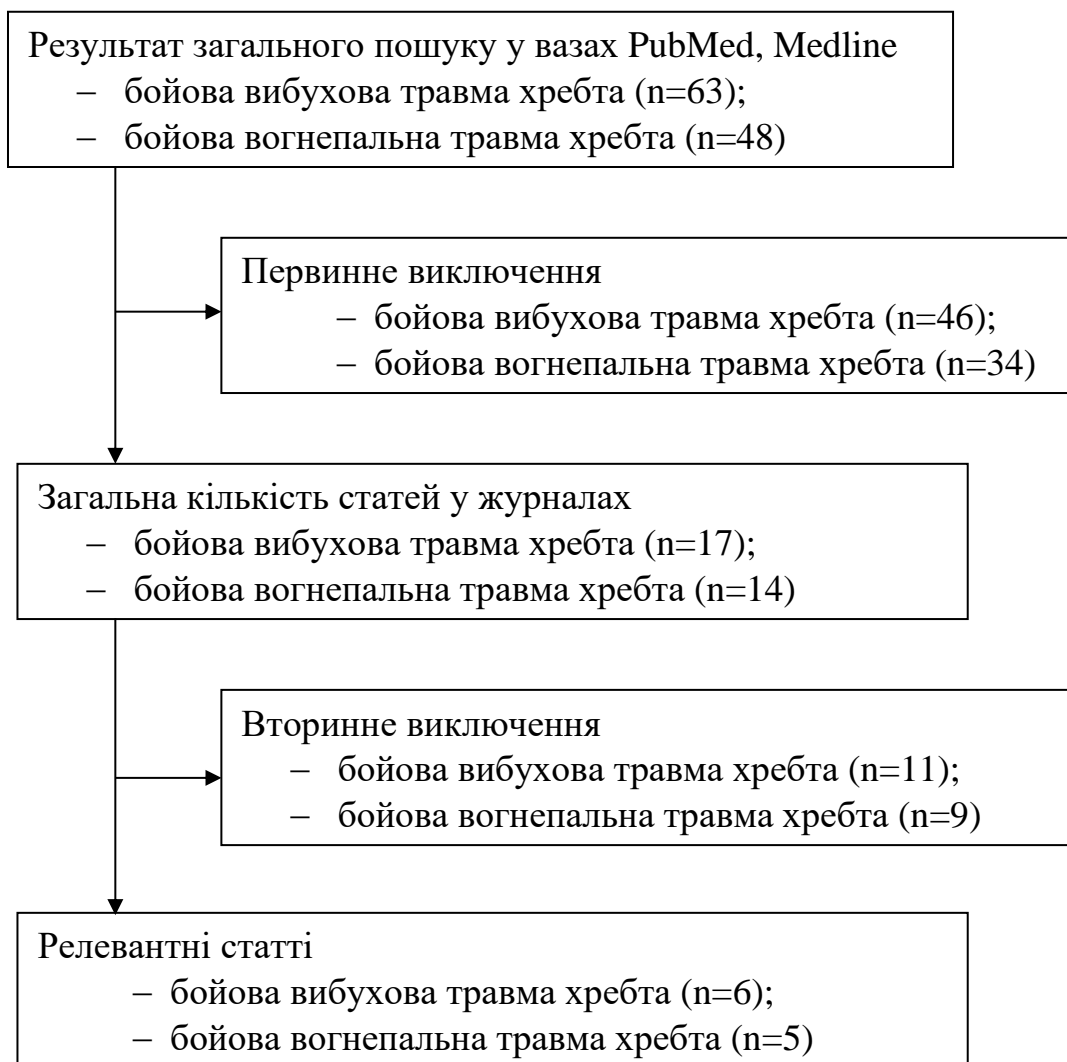


Рисунок 6.2 – Блок-схема пошуку літератури щодо бойових вибухових та вогнепальних ушкоджень грудного відділу хребта

Результати літературного пошуку представлено на рис. 6.2. Загальний пошук виявив 63 джерела по бойовій вибуховій травмі хребта та 48 — по вогнепальній. Первинне виключення стосувалось літературних джерел по вогнепальним пораненням та вибуховим переломам хребців у цивільних, ізольованим ушкодженням спинного мозку, відсутності даних щодо механогенезу вибухової/вогнепальної травми хребта, лікування таких постраждалих та ушкоджень грудного відділу хребта. До вторинного виключення були віднесені літературні джерела, які містили тільки справочну інформацію (резюме, малюнки, перелік літератури). В результаті залишилися тільки релевантні повнотекстові статті у фахових журналах, кількість яких становила для бойової вибухової травми хребта 6, для бойової вогнепальної травми — 5.

*Бойова вибухова травма хребта.* Загальна розповсюдженість травм хребта серед евакуйованих американських жертв бойових дій в Іраку та Афганістані склала 5,14 %. Переломи були найбільш поширеною травмою, присутньою у 92% цих пацієнтів, але у 43 % випадків переломів були ізольовані однорівневі переломи поперечного відростка [232]. Компресійні переломи виникли у 35 % пацієнтів, у 23 % — вибухові переломи, з яких 58 % локалізувалися в поперековому відділі хребта, у 17 % постраждалих зареєстровано травму спинного мозку [232, 233]. Причиною більш ніж половини всіх травм хребта були вибухи, решта викликана дорожньо-транспортними пригодами (29 %) та вогнепальними пораненнями (15 %) [232-234]. Слід підкреслити, що рівень травм хребта у нинішніх військових конфліктах може бути вищим серед окремих груп постраждалих [235].

Механогенез бойових травм хребта під час вибуху транспортного засобу остаточно не вивчено; характер отриманих ушкоджень залежить від місця знаходження військовослужбовця в кабіні, його пози та екіпірування (зокрема, наявність та тип бронезилета). При вибуху днища кузова жертви можуть бути поранені внаслідок поєднання вибухової хвилі та руху транспортного засобу, спричиненого самим вибухом — механізм «суцільного вибуху» [236]. Найчастіше

бойові травми хребта виникають як переважно вторинні стосовно механізмів роздавлювання чи впливу тупого твердого предмета, а не первинні під впливом надлишкового тиску [237].

Коли пристрій детонує під днищем, вибух викликає надзвукову ударну хвилю, що несе масу викинутого ґрунту до нижньої частини транспортного засобу і надає значну силу, оскільки хвиля тиску може досягати 3 мільйонів фунтів на квадратний дюйм. [238, 239]. Це деформує підлогу автомобіля й конструкцію транспортного засобу та прискорює весь автомобіль догори. Таким чином, пасажери транспортного засобу зазнають значних прискорень, які в основному вертикальні і можуть призвести до переломів нижніх кінцівок, тазу та хребта. Крім механізму осьового ушкодження хребта, відбувається деформація підлоги, що може призвести до згинання ніг, повороту таза та згинання поперекового відділу хребта з відповідним впливом на навантаження окремих хребців і характер переломів, що виникають [240]. Кожен із цих механізмів навантаження впливає на характер травми, оскільки хребетний стовп стискається і переміщається, але точний характер цього впливу невідомий [236, 239].

У грудному відділі хребта більшість переломів відбувається на Th<sub>IV</sub>, Th<sub>V</sub> та Th<sub>VI</sub>. Це середина грудного кіфозу — дуги, де хребет знаходиться далі від центру тяжкості тулуба і лінії дії осьового навантаження через таз, що супроводжується підвищеним ризиком травми при вибуху в цій точці [241]. Механогенез ушкодження на цьому рівні передбачає поєднання згинання та стискування в області передніх відділів тіл скомпрометованих хребців та надмірну distraкцію задніх зв'язкових та кістково-зв'язкових структур. Такий механізм травми часто супроводжується переломами остистих відростків на рівнях вище та нижче за переломи тіл середньогрудних хребців. У груднопоперековому перехідному відділі в момент травми поєднання осьової сили, що діє на таз, і рух ніг нагору викликають рух таза вперед з відповідним згинанням хребта з переважним пошкодженням L<sub>1</sub> хребця [242, 236].

Порівняння бойових травм хребта з механізмом дії вибухового фактора та ушкоджень хребетного стовпа у цивільних осіб виявило суттєве превалювання травмування груднопоперекового відділу хребта за згинально-дистракційним типом — 38 % та 3 % спостережень відповідно. Вибухові переломи поперекових хребців каудальніше L<sub>II</sub> хребця у цивільних складають лише 1 % усіх переломів хребта [242], так як в нижньопоперековому відділі, розташованому нижче крил тазу, осьові сили рівномірно розподіляються по всіх трьох колонах. Додатково нижньопоперековий відділ хребта захищений від травм здухвинно-поперековими зв'язками [242, 243]. Частота неврологічних ускладнень у вибухових переломів цієї локалізації, як правило, нижче за вибухові переломи верхніх поперекових хребців [242] завдяки більшій рухливості корінців попереково-крижових нервів порівняно з конусом спинного мозку [244]. На противагу цьому в 56 % бойових травм нижньопоперекових хребців реєструється неврологічний дефіцит за типами А, В, С [242], і такі пацієнти потребують оперативного втручання в 70 % випадках [243] практично без відновлення неврологічних функцій [244, 245]. Підвищена частота оперативного втручання та збереження неврологічного дефіциту у військовослужбовців, ймовірно, пов'язані як з впливом високоенергетичної травми, так і з дією бронежилетів сучасних конструкцій, жорсткий характер яких може сприяти передачі вибухового навантаження на нижньопоперековий відділ хребта [242]. Щодо інших локалізацій вибухових переломів, то військовослужбовці також частіше лікувалися оперативно, і у разі ускладнених ушкоджень хребта також відмічалася нижча швидкість відновлення неврологічних порушень; майже на 50 % частіше спостерігалися проникаючі травми спинного мозку [234, 235].

Бойові ушкодження хребта в 70 % є множинними [246]; в якості супутньої травми переломи в шийному відділі хребта реєструються в 6 %, в грудному — в 18 % та в поперековому — в 75 % випадках [247]. Ізольованими були переломи поперечних відростків [246]. Переломи хребців грудного відділу хребта нерідко супроводжують супутні ушкодження грудної клітки у 25 — 34 % (30 % з них

проникаючі [248]) та живота у 32 % постраждалих (36 % з них проникаючих [237]) [248].

*Бойова вогнепальна травма хребта.* На вогнепальні поранення припадає від 13 % до 17 % всіх травм хребта [234]. Тяжкість вогнепального ураження хребта визначають механічні фактори, пов'язані з балістикою снаряда та балістикою рани [235], та біологічні фактори, що залежать від ступеня ураження тканин хребта та спинного мозку [249].

Вогнепальна зброя, яку використовують військові, є швидкісною, кулі мають більшу вагу, розмір та енергію в порівнянні з такими у зброї, що застосовується цивільними особами [250]. Постріл зі швидкісної зброї є високоенергетичним і викликає як прямі, так і непрямі травми (травми, віддалені від траєкторії снаряда) через ударну хвилю чи ефект кавітаційної хвилі [251]; великі розміри снаряда призводять до більшої зони ураження за рахунок збільшення обертання кулі навколо її довгої осі [252] і збільшення ступеня втрати тканини в цільовому місці, що пов'язано зі збільшенням кількості кінетичної енергії та імпульсу, які несе снаряд [253].

Найбільш поширеною локалізацією вогнепальних уражень є грудний відділ хребта (66 %), за ним слідує поперековий (17 %) та шийний відділи (6 %) [254]. Співвідношення грудного відділу хребетного каналу і грудного відділу спинного мозку менше, ніж у поперековому та шийному відділах, тому снаряд, що застряг, надає більш руйнівний вплив на грудний відділ, ніж на інші рівні хребта [255]. Фрагменти каналу, що збереглися і розташовані нижче рівня T12, схильні до міграції [256].

Вогнепальні поранення в області грудного відділу хребта, як правило, біомеханічно стабільні за рахунок реберно-хребетних суглобів та грудної клітки [257].

Одним із факторів прогнозу та показань до хірургічного лікування вогнепального ушкодження хребта є розрив твердої мозкової оболонки з ліквореєю та загрозою розвитку менінгіту [258].

Внутрішньоспинальні кулі, що збереглися, можуть проявлятися відстроченими неврологічними проявами, вторинними по відношенню до реактивних змін навколо кулі. Після вогнепального поранення дефект спинного мозку виникає в результаті прямого пошкодження ядром кулі або металевими частинками, або в результаті компресії фрагментами зламаного хребця, а також, значно рідше, здавленням елементами пошкодженого міжхребцевого диска [259]. Можливість тривалої токсичності міді і свинцю через металеве стороннє тіло, що залишилося, може стати показанням до хірургічного втручання [260].

Забруднення тканин у рановому каналі може призводити до гострих інфекційних ускладнень вогнепального пошкодження хребта внаслідок контамінації з розвитком емпієми, абсцесу хребта, внутрішньочеревного сепсису, абсцесу поперекового м'язу, підшкірного абсцесу та інфекції кульових шляхів [261]. Хронічними ускладненнями у таких пацієнтів є арахноїдит, больовий синдром у нижніх кінцівках та повторна поява неврологічного дефіциту.

Септичні ускладнення найбільш поширені в поперековому відділі хребта, за яким йдуть грудний та шийний відділи [262]. Частота септичних ускладнень при травмах поперекового відділу хребта найбільша, оскільки кулі часто проходять через шлунково-кишковий тракт [263]. Такі забруднені кулі підвищують ризик остеомієліту хребта.

Необхідність та терміни хірургічного лікування пацієнтів з вогнепальним ускладненим переломом хребта є предметом дискусій. Окремі автори рекомендують раннє видалення кулі як профілактику розвитку гнійних ускладнень, особливо при проникаючих пораненнях черевної порожнини [264]. Однак більшість дослідників вважають, що нейрохірургічне втручання з видалення фрагментів кулі призводить до більш високого рівня ускладнень, ніж у пацієнтів з кулями, що збереглися [265], незважаючи на потенційне забруднення перфорованого бронха або порожнього органу [266].

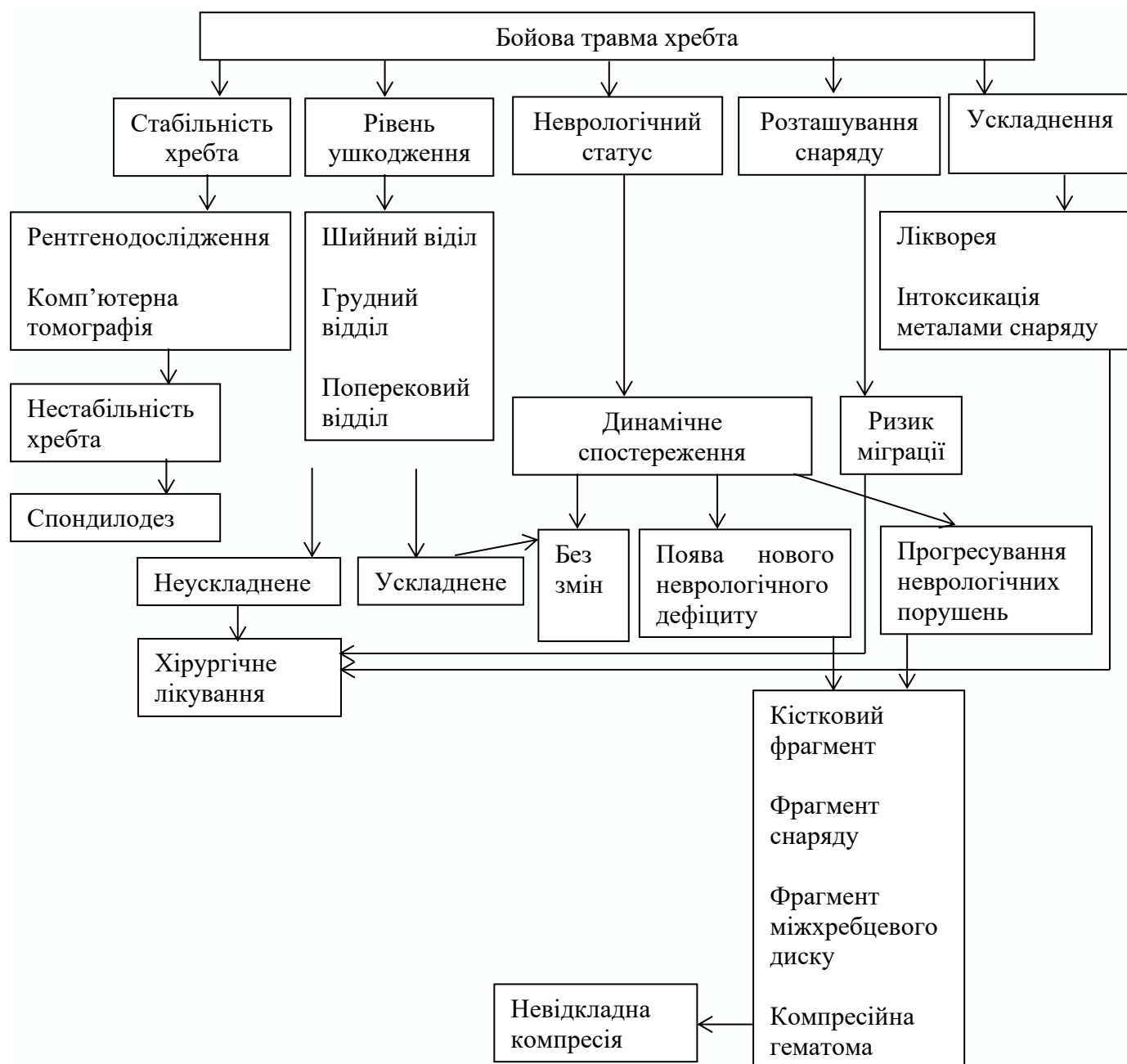


Рисунок 6.3 – Блок-схема лікувальної тактики при бойових травмах хребта на етапі спеціалізованої медичної допомоги

Процес ухвалення рішень про хірургічне лікування тяжких травм хребта в бойових умовах залишається дещо суперечливим. Без ретельного та повного рентгенологічного обстеження, а також без доступу до відповідних хірургічних інструментів та інструментів остаточне лікування серйозних травм хребта у бойових умовах утруднене. Тому були розроблені клінічні практичні рекомендації з лікування травм хребта, отриманих у театрі бойових дій [267, 268].

Дуже небагато травм хребта, пов'язані з бойовими діями, лікуються хірургічним шляхом доти, доки пацієнта не вивезуть з театру бойових дій. Однак важливо також відзначити, що відсоток відкритих ушкоджень хребта коливається від 7 % до 26,1 % [268-270], і багато таких травм не піддаються хірургічному лікуванню через значне забруднення та ризик інфекційних ускладнень.

Таким чином, на основі наукового аналізу даних літератури розроблено блок-схему лікувальної тактики при бойових травмах хребта (рис. 6.3).

## ВИСНОВКИ

1 Частота переломів хребта становить від 16 до 64 на 100 000 населення; від 15 % до 20 % переломів хребців грудного відділу хребта є ускладненими, що завдає значних збитків здоров'ю, виробництву та якості життя пацієнтів. Незважаючи на удосконалення класифікацій і, відповідно, методів лікування переломів хребців, у від 18 % до 32 % випадків у післяопераційному періоді відбувається втрата корекції післятравматичної кіфотичної деформації, розвиток клінічно значущого стенозу хребцевого каналу, стійкий больовий синдром. Причинами незадовільних результатів лікування є недооцінка взаємозв'язку величини кутового кіфозу, ступеня морфологічних змін зламаного хребця, сагітального діаметру хребтового каналу.

2 За даними фізичного біомеханічного моделювання перелому Th<sub>VI</sub> хребця виявлена втрата пружних властивостей хребцевого сегмента і хребта в цілому під час руйнування. Порівняно незначна ступінь руйнування (50 % тіла хребця і міжхребцевого диска) супроводжується частковим збереженням пружності з величиною залишкової деформації 4,3 % від ступеня деформації під час навантаження. Подальше руйнування хребцевого сегмента призводить до повної втрати і пружності, і здатності до опору навантаженню та подальшому відновленню, про що свідчить кратне збільшення величини залишкової деформації до 48,2 % вже при руйнуванні дуг та зв'язок. Руйнування ребер призводить до втрати стабільності хребта лише на рівні пошкодженого сегмента.

3 Результати дослідження напружено-деформованого стану на розробленій моделі грудного відділу хребта за різних методів лікування перелому Th<sub>VI</sub> хребця дозволили встановити, що при використанні задньої транспедикулярної фіксації на рівні Th<sub>V</sub>-Th<sub>VII</sub> хребців найбільший рівень напружень визначається виключно на рівні спондилодезу в ніжках дуг і навколо фіксуючих гвинтів. Поширення транспедикулярної фіксації на хребці Th<sub>IV</sub> і Th<sub>VIII</sub> дозволяє в значній мірі вирівняти напруження на всьому протязі спондилодезу. Додаткова заміна зруйнованого тіла

хребця Th<sub>VI</sub> міжтіловим титановим кейджем дозволяє вирівняти напруження практично во всіх структурних елементах хребців Th<sub>IV</sub>–Th<sub>VIII</sub> за рахунок того, що основне навантаження сприймає на себе саме кейдж. На рівень напружень в стрижнях обсяг руйнувань і варіанти монтажу транспедікулярної конструкції практично не впливають.

4 За результатами рентгенометричних досліджень грудних сегментів з різними типами переломів хребців встановлено, що на вибір методу лікування найбільше впливають такі структурні ознаки, як характер ушкодження та ступінь фрагментації/компресії тіла хребця, характер звуження сагітального діаметру хребцевого каналу, величина локального кіфозу, особливості ушкодження задніх відділів хребта.

5 Консервативне лікування з використанням жорсткого ортеза, що реклінує, протягом 3 міс. після травми є методом вибору у пацієнтів з вибуховими переломами типу A3.1 без неврологічної симптоматики, стенозу хребтового каналу (можливе асимптомне звуження сагітального діаметру хребтового каналу до 10 %) та ушкодження заднього зв'язкового комплексу.

6 Середня величина відновлення сагітального діаметру хребцевого каналу в групі з шестигвинтовою фіксацією становила 8,8 % і досягала максимуму через рік і більше після повної перебудови кісткової тканини. У групі з восьмигвинтовою фіксацією середня величина відновлення сагітального діаметру хребцевого каналу після операції становила 7,5 %, а через рік і більше — 21,6 %. Метод комбінованого передньо-заднього спондилодезу на 360° і триколонної реконструкції хребта із заднього доступу передбачає повне усунення кісткового стенозу хребцевого каналу.

7 Пацієнти з частковою неврологічною симптоматикою типу B, C, D за шкалою ASIA у разі хірургічного лікування можуть мати сприятливий результат. У хворих із неврологічною симптоматикою типу B і C найефективнішим є відновлення протягом року і більше. Постраждали з неврологічною

симптоматикою типу D найбільш ефективно відновлюються в перші два тижні після операції.

8 Використання восьмигвинтової фіксації в пацієнтів із неповним вибуховим переломом забезпечило корекцію деформації до  $10,7^\circ$ , із повними вибуховими переломами та переломами тіл хребців із дистракцією та ротацією — до  $15^\circ$ . За аналізом показників сагітального хребтово-тазового балансу встановлено можливість випрямлення лордозу в разі застосування восьмигвинтової фіксації для стабілізації поперекового відділу хребта. У разі лікування цим методом без міжхребцевої опори переломів на рівні поперекового лордозу (з рівня L<sub>II</sub>) та грудного кіфозу слід ретельного формувати викривлення хребта.

9 У разі використання методу комбінованого передньо-заднього спондилодезу на  $360^\circ$  середня величина корекції кіфотичної деформації в пацієнтів із повним вибуховим переломом тіла хребця становила  $17,0^\circ$ , а з переломом типу А з дистракцією (АВ) або ротацією (АС) —  $18,3^\circ$ . Додаткове використання міжхребцевої опори в разі триколонної реконструкції хребта із заднього доступу збільшує середній рівень корекції до  $21^\circ$ . Показники сагітального хребтово-тазового балансу в разі застосування методу короткого передньо-заднього спондилодезу на  $360^\circ$  свідчили про найефективніше його відновлення та збереження в порівнянні з іншими методами лікування.

10 На підставі клініко-інструментальних досліджень доведено, що використання всіх хірургічних методів дає змогу запобігти прогресуванню деформації завдяки регенерації тіла хребця, перебудові міжхребцевої опори на кісткову тканину та формуванню заднього кісткового спондилодезу. Визначено відновлення структури тіла хребця з формуванням кісткового регенерату по передньому контуру, де за даними КТ виявлено підзв'язковий крововилив, у 48 % пацієнтів із вибуховими переломами з використанням восьмигвинтової фіксації. Це відображує важливу роль крововиливу в ділянці передньої поздовжньої зв'язки з подальшим утворенням фібрин-кров'яного згустку у формування

кісткового регенерату, який є додатковою ланкою, що разом із заднім спондилодезом створює умови для збереження досягнутої корекції деформації. У разі застосування комбінованого передньо-заднього спондилодезу в 63 % хворих відбувається утворення кісткової тканини в середині та зовні міжхребцевої опори.

11 На основі результатів клініко-рентгенологічних та експериментальних біомеханічних досліджень розроблено концепцію лікування пацієнтів із вибуховими переломами та переломами тіл хребців із дистракцією та ротацією, яка дає змогу обрати оптимальний метод лікування на підставі трьох ознак — ступеня фрагментації/компресії тіла хребця, локальної кіфотичної деформації грудного відділу хребта та ступеня звуження сагітального діаметру хребтового каналу.

Розроблено концепцію лікування бойової травми хребта на етапі спеціалізованої медичної допомоги на базі наукового аналізу літератури й ретроспективних клініко-рентгенологічних досліджень з урахуванням рівня та стабільності ушкодження, місцезнаходження снаряду відносно ураженого грудного сегмента та спинного мозку, ступеня неврологічного дефіциту.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

1. Mortality and Cause of Death in Patients With Vertebral Fractures: A Longitudinal Follow-Up Study Using a National Sample Cohort / H.G. Choi, J.K. Lee, S. Sim, M.Kim // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2020. — Vol. 45(5). — E280–E287. doi: 10.1097/BRS.00000000000003264.

2. Increased incidence of vertebral fractures in German adults from 2009 to 2019 and the analysis of secondary diagnoses, treatment, costs, and in-hospital mortality / S.Lang, N.Walter, V.Freigang [et al.] // *Sci Rep*. — 2023. — Vol. 13. — P. 69–84. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31654-0>

3. Traumatic spinal injury: global epidemiology and worldwide volume / R. Kumar, J. Lim, R. Mekary [et al.] // *World Neurosurg*. —2018. — Vol. 113. — P. e345–e363. doi: 10.1016/j.wneu.2018.02.033.

4. Stinner D.J. Surgical management of musculoskeletal trauma / D.J. Stinner, D.Edwards // *Surg Clin North Am*. — 2017. — Vol. 97(5). — P. 1119–1131.

5. World Health Statistics. — 2022, [\\_\\_\\_\\_\\_](#)

6. The cost of injury and trauma care in low- and middle-income countries: a review of economic evidence / H. K. Wesson, N. Boikhutso, A.M. Bachani [et al.] // *Health Policy Plan*. — 2014. — Vol. 29(6). — P.795–808.

7. Verletzungen des Rückenmarks-Akutbehandlung / F.Högel, J.Vastmans, M.Vogel, V.Bühren // *Orthopädie und Unfallchirurgie*. — 2016. — Vol. 11. — P. 451–479.

8. Incidence of Spine Fracture Hospitalization and Surgery in Finland in 1998-2017 / V.T. Ponkilainen, L. Toivonen, S. Niemi [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2020. — Vol. 45(7). — P. 459–464. doi: 10.1097/BRS. 00000000000003286.

9. Demographic and economic trends in vertebral fracture surgeries throughout the United States / A.M. Beschloss, K.M. Taghlabi, D.A. Rodriguez [et a.l] // *North*

American Spine Society Journal (NASSJ). — 2022. — Vol.12. — P.100–175.

10. Sangondimath G. Symposium Spinal Trauma. Thoracolumbar Fractures: Nonsurgical Versus Surgical Treatment / G. Sangondimath, K. Das, K. Varma // Indian Spine Journal. — 2018. — Vol. 1(2). — P. 79–85. DOI: 10.4103/isj.isj\_22\_18

11. Operative Compared with Nonoperative Treatment of a Thoracolumbar Burst Fracture without Neurological Deficit. A prospective, randomized study / K. Wood, G. Buttermann, A. Mehbod [et al.] // J Bone Joint Surgery. — 2003. — Vol. 85-A(5). — P. 773–781.

12. Treatment of traumatic thoracolumbar spine fractures: a multicenter prospective randomized study of operative versus nonsurgical treatment / J. Siebenga, V.J. Leferink, M.J. Segers [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). — 2006. — Vol. 31(25). — P. 2881–2890. doi: 10.1097/01.brs.0000247804.91869.1e.

13. DeWald R.L. Burst fractures of the thoracic and lumbar spine / R.L. DeWald // Clin Orthop Relat Res. — 1984. — Vol. 189. — P. 150–161. PMID: 6478692.

14. Effects of methylprednisolone and dextromethorphan on lipid peroxidation in an experimental model of spinal cord injury / C. Topsakal,

F.S. Erol, M.F. Özveren [et al.] // *Neurosurg. Rev.* — 2002. — Vol. 25. — P. 258–266.

15. Fahir Özer. Omuriliğin Vasküler Anatomisi Ve Kan Akımı, Omurilik ve Omurga Cerrahisi. 2. Baskı / Özer Fahir // izmir: Meta Basım, 2002. — P. 87–90.

16. Direct Cost of Illness for Spinal Cord Injury: A Systematic Review / H. Malekzadeh, M. Golpayegani, Z. Ghodsi [et al.] // *Global Spine J.* — 2022. — Vol.12(6). — P. 1267–1281. doi: 10.1177/21925682211031190.

17. A Systematic Review of How Spinal Cord Injury Impacts Families / C.S. Wilson, S. DeDios-Stern, C. Bocage [et al.] // *Rehabil Psychol.* — 2022. — Vol. 67. — P. 273–303.

18. Kimmatkar N. Demographics of Traumatic Spinal Fractures in Indian Population Presenting to Tertiary Care Centre / N. Kimmatkar, H.Kantharaju // *SVOA Orthopaedics.* — 2022. — Vol. 2(4). — P. 83–88.

19. Burden of traumatic spine fractures in Tehran, Iran / M. Moradi-Lakeh, M. R. Rasouli, A. R. Vaccaro [et al.] // *BMC Public Health.* — 2011. — Vol. 11. — P. 1–7.

20. Epidemiology of spinal fractures in a level one trauma center in the Netherlands: a 10 years review / L.P. den Ouden, A.J. Smits, A. Stadhouders

[et al.] // Spine. — 2019. — Vol. 44(10). — P. 732–739. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002923>.

21. Age- and gender-specific clinical characteristics of acute adult spine fractures in China / Y. Tian, Y. Zhu, B. Yin [et al.] // Int Orthop. — 2016. — Vol. 40(2). — P. 347–353. <https://doi.org/10.1007/s00264-015-3025-y>.

22. Sex- and age-related differences in spinal degeneration: an anatomical and magnetic resonance imaging study of the human spine / T. Asai, E. Sakuma, T. Mizutani [et al.] // Prog Rehabil Med. — 2022. — Vol. 7. — P. 11. doi 10.2490/prm.20220011

23. Sex, age, role and geographic differences in traumatic spinal fractures caused by motor vehicle collisions: a multicentre retrospective study / H. Yuan, Q. Guo, Z. Zhang [et al.] // Sci Rep. — 2023. — Vol. 13. — P. 3712. doi 10.1038/s41598-023-30982-5

24. Spine fracture prevalence in a nationally representative sample of US women and men aged  $\geq 40$  years: results from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2013-2014 / F. Cosman, J.H. Krege, A.C. Looker [et al.] // Osteoporos Int. — 2017. — Vol. 28. — P. 1857–1866. doi 10.1007/s00198-017-3948-9.

25. Loder R.T. The demographics of playground equipment injuries in children / R.T.Loder // *J Pediatr Surg.* — 2008. — Vol. 43. — P. 691–699. doi 10.1016/j.jpedsurg.2007.12.061

26. Surfing-related craniofacial injuries: a NEISS database study / E.G. Muhonen, S. Kafle, S.J. Torabi [et al.] // *J Craniofac Surg.* — 2022. — Vol. 33. — P. 2383–2387. doi 10.1097/SCS.00000000000008769

27. Epidemiologic analysis of 8000 acute vertebral fractures: evolution of treatment and complications at 10-year follow-up / S.F. Bigdon, Y. Saldarriaga, K.A.C. Oswald [et al.] // *J Orthop Surg Res.* — 2022. — Vol. 17(1). — P.270. doi: 10.1186/s13018-022-03147-9.

28. Epidemiology of traumatic spine fractures / P. Leucht, K. Fischer, G. Muhr, E.J.Mueller // *Injury.* — 2009. — Vol. 40(2). — P. 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2008.06.040>

29. Epidemiology of Thoracolumbar Fractures: A Cross- Sectional Study / D.L.B. Junior, B.F.A. Sa, G. Pokorny [et al.] // *Research Square.* — 2023. — Vol.5(1). — P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2902651/v1>

30. Spinal trauma in mainland China from 2001 to 2007: an epidemiological study based on a nationwide database / P. Liu, Y. Yao, M. Liu [et al.] // *Spine.* — 2012. — Vol.37(15). — P.1310–1315. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3182474d8b>.

31. Demographics of acute admissions to a National Spinal Injuries Unit / B. Lenehan, S. Boran, J. Street [et al.] *Eur Spine J.* — 2009. — Vol. 18(7). — P. 938–942. <https://doi.org/10.1007/s00586-009-0923-y>.

32. Birua G.J.S. Epidemiology of spinal injury in north East India: a retrospective study / G.J.S.Birua, S.M.Vishnu, N.M. Nagendra // *Asian journal of neurosurgery.* — 2018. — Vol. 13(4). — P. 1084–1086.

33. 2020 recommendations for osteoporosis treatment according to fracture risk from the Swiss Association against Osteoporosis (SVGO) / S. Ferrari, K. Lippuner, O. Lamy, C.Meier // *Swiss Med Wkly.* — 2020. — Vol. 150: w20352. <https://doi.org/10.4414/smw.2020.20352>.

34. Characteristics of recurrent fractures / J.A. Kanis, H. Johansson, A. Odén [et al.] // *Osteoporos Int J.* — 2018. — Vol. 29(8). — P. 1747–1757. <https://doi.org/10.1007/s00198-018-4502-0>.

35. Examination and Scientific Analysis of Thoracic Vertebral Fractures / G. Singh, V. Rao, A. Thamba [et al.] // *Cureus.* — 2023. — Vol. 15(9). — P. e44938. DOI 10.7759/cureus.44938

36. Schousboe J.T. Epidemiology of vertebral fractures / J.T.Schousboe // *J Clin Densitom.* — 2016. — Vol. 19. — P. 8–22. doi 10.1016/j.jocd.2015.08.004

37. Falls from ladders: age matters more than height / J. Con, R.S. Friese, D.M. Long [et al.] // *J Surg Res.* — 2014. — Vol. 191. — P. 262–267. doi 10.1016/j.jss.2014.05.072

38. Falls from ladders: injury patterns and outcomes / P.K. Liasidis, D.A. Jakob, M. Schellenberg [et al.] // *J Trauma Acute Care Surg.* — 2022. — Vol. 93. — P. 323–331. doi 10.1097/TA.0000000000003696

39. Ambulgekar R.K. Epidemiological study of thoracolumbar spine fracture patients reported to tertiary care center of central India / R.K. Ambulgekar, N.S.Ghag // *Int J Res Orthop.* — 2023. — Vol. 9. — P. 261–266. DOI: <https://dx.doi.org/10.18203/issn.2455-4510.IntJResOrthop20230344>

40. Clinical and demographic role of traumatic spinal cord injury: a Mexican hospital-based study / M. Rodríguez-Meza, M. Paredes-Cruz, I. Grijalva, D.Rojano-Mejía // *Spinal Cord.* — 2016. — Vol. 54(4). — P.266–269

41. Traumatic spinal injuries in northern Finland / V. Niemi-Nikkola, N. Saijets, H. Ylipoussu [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976).* — 2018. — Vol. 43. — P. E45– E51.

42. Spinal Cord Injury: Scenario in an Indian State / N. Mathur, S. Jain, N. Kumar [et al.] // *Spinal Cord.* — 2014. — Vol. 53(5). — P. 349–352.

43. The Burden of Spine Fractures in India / I.S. Aleem, D. DeMarco, B. Drew [et al.] // *Global Spine J.* — 2017. — Vol. 7(4). — P. 325–333.

44. Bohlman H.H. Treatment of fractures and dislocations of the thoracic and lumbar spine / H.H. Bohlman // JBJS. — 1985. — Vol. 67. — P. 165–169.

45. Zileli M. Incidence and Epidemiology of Thoracolumbar Spine Fractures: WFNS Spine Committee Recommendations / M. Zileli, S. Sharif, M.Fornari // Neurospine. — 2021. — 18. — P.704. doi: 10.14245/ns.2142418.209.

46. Incidence and mechanism of neurological deficit after thoracolumbar fractures sustained in motor vehicle collisions / S. Mukherjee, C. Beck, N. Yoganandan, R.D.Rao // J Neurosurg Spine. — 2016. — Vol. 24. — P. 323–331.

47. Kriek J.J. AO-classification of thoracic and lumbar fractures — Reproducibility utilizing radiographs and clinical information / J.J. Kriek, S.Govender // Eur Spine J. — 2006. — Vol. 15. — P. 1239–1246.

48. Tator C.H. Review of the secondary injury theory of acute spinal cord trauma with emphasis on vascular mechanisms / C.H. Tator, M.G. Fehlings // J. Neurosurg. — 1991. — Vol. 75. — P. 15–26.

49. Alterations in AMPA receptor subunit expression after experimental spinal cord contusion injury / S. Grossman, B.B. Wolfe, R.P. Yasuda, J.R.Wrathall // J Neurosci. — 2001. — Vol. 19. — P. 5711–5720.

50. Thoracic spine teardrop fracture — A case report / I.S. Moghamis, W. Asad, T. Taha [et al.] // J Musculoskelet Surg Res. — 2022. — Vol. 6. — P.101–104.

51. Bakhsh A. An Epidemiological Overview of Spinal Trauma in the Kingdom of Saudi Arabia / A. Bakhsh, A.H. Aljuzair, H.Eldawoody // Spine Surg Relat Res. — 2020. — Vol. 4(4). — P. 300–304. doi: 10.22603/ssrr.2019-0118.

52. Pattern of spine fracture in Sub- Himalayan region: A prospective study / S. Mittal, A. Rana, K. Ahuja [et al.] // J Clin Orthop Trauma. — 2021. — Vol. 15. — P. 27–32.

53. Анатомія людини: Підручник / С.М. Білаш, М.М. Коптев, О.М. Проніна [та ін.]. — Київ: «Медицина», 2023. — 279 с.

54. Атлас анатомії людини з латинською термінологією: 7-е видання / Ф. Г. Неттер.— Київ: «Медицина», 2023. — 655 с

55. Grant J.C.B. Grant Anatomic Atlas / J.C.B. Grant. — Güven Kitabevi Yayınları: Ankara, 1977. — С. 302–320.

56. Wood II G.W. Анатомия позвоночника и хирургические доступы. В: S.T. Canale, J.H. Beaty Т. 2 «Оперативная ортопедия Кэмпбелла».12-е изд. — Филадельфия, Пенсильвания: Эльзевьер Мосби, 2013. — С. 1524–1558.

57. White A. *Clinical Biomechanics of the Spine* / A. White, M. Panjabi. — Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 1990.

58. Clinical validation of coronal and sagittal spinal curve measurements based on three-dimensional vertebra vector parameters / S. Somoskeöy, M. Tunyogi-Csapó, C. Bogyó, T. Illés // *Spine J.* — 2012. — Vol. 12 (10). — P. 960–968. doi: 10.1016/j.spinee.2012.08.175. Epub 2012 Sep 24. PMID:23018164.

59. Challenging the Conventional Standard for Thoracic Spine Range of Motion: A Systematic Review / S.L. Borkowski, E. Tamrazian, R.E. Bowen [et al.] // *JBJS Rev.* — 2016. — Vol. 4(4). — P. e51-e511. doi: 10.2106/JBJS.RVW.O.00048.

60. Panjabi M.M. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis / M.M. Panjabi // *J Spinal Disord.* — 1992. — Vol. 5(4). — P. 390–396. doi: 10.1097/00002517-199212000-00002.

61. Liebsch C. How Does the Rib Cage Affect the Biomechanical Properties of the Thoracic Spine? A Systematic Literature Review // C.Liebsch, H.-J. // *Wilke Front. Bioeng. Biotechnol., Sec. Biomechanics.* — 2022. — Vol.10. — P. 904539. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.904539>

62. Liebsch C. Basic Biomechanics of the Thoracic Spine and Rib Cage. Chapter 3. In: *Biomechanics of the Spine Basic Concepts, Spinal Disorders and*

Treatments / C.Liebsch, H.-L. Wilke. Eds. F.Galbusera, H.-J. Wilke. — Amsterdam: Elsevier, 2018. — P. 35–50. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812851-0.00003-3>

63. Biomechanics of human thoracolumbar spinal column trauma from vertical impact loading / N. Yoganandan, M.W. Arun, B.D. Stemper [et al.] // *Ann Adv Automot Med.* — 2013. — Vol. 57. — P. 155–166.

64. Aldakheel D.A. Classification of thoracic spine fractures: the four-column theory / D.A. Aldakheel // *Int Orthop.* — 2023. — Vol. 47(12). — P. 2907–2915. <https://doi.org/10.1007/s00264-023-05778-x>

65. The fourth column of the spine: Prevalence of sternal fractures and concurrent thoracic spinal fractures / M.Breitenbach, A.Phan, M.Botros [et al.] // *Injury.* — 2022. — Vol. 53(3). — P. 1062–1067. DOI: [\\_\\_\\_\\_\\_](#)

66. Marras W. S. Spine Loading During Trunk Lateral Bending Motions / W.S.Marras, K. P.Granata // *Journal of Biomechanics.* — 1997. — Vol. 30 (7). — P. 697–703.

67. Shanahan D. F. Human Tolerance and Crash Survivability; RTO-EN-HFM-113; NATO Research and Technology Organization. — 2004.

68. NATO HFM-090 Task Group 25. Test Methodology for Protection of Vehicle Occupants against Anti-Vehicular Landmine Effects, NATO Research and Technology Organization, 2007, RTO-TR-HFM-090.

69. Macias M. Y. Biomechanical Considerations for Early Operative Interventions in Vertebral Column Fractures and Dislocations / M. Y.Macias, C. E.Wolfa

// In *Neurosurgical Emergencies*; Brandenburg, B., Ed.; New York: Thieme Medical Publishers, Inc., 2008.

70. Biomechanics and patterns of spine injuries associated with spinal cord injury. Chapter 2. / S. Florez-Jimenez, E. Bourassa-Moreau, J.-M. Mac-Thiong, G.Maurais // In: Rajendram R, Preedy VR, Martin CR. (Eds) *Diagnosis and Treatment of Spinal Cord Injury*. Academic Press. — 2022. — P.15–25. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822498-4.00002-6>.

71. Trauma of the spine and spinal cord: imaging strategies / P. M.Parizel, T.van der Zijden, S.Gaudino [et al.] // *European Spine Journal*. — 2010. — Vol. 19 (Supplement 1). — P. S8–S17.

72. Investigation of thoracolumbar T12-L1 burst fracture mechanism using finite element method / T.-X.Qiu, K.-W.Tan, V.-S.Lee, E.-C. Teo // *Medical Engineering & Physics*. — 2006. — Vol. 28. — P. 656–664. doi: 10.1016/j.medengphy.2005.10.011.

73. Impact Response of the Intervertebral Disc in a Finite-Element Model / C.-K.Lee, Y. E.Kim, C.-S.Lee [et al.] // *Spine*. — 2000. — Vol. 25 (19). — P. 2431–2439.

74. A dynamic investigation of the burst fracture process using a combined experimental and finite element approach / R. K.Wilcox, D. J.Allen, R. M.Hall [et al.] // *European Spine Journal*. — 2004. — Vol. 13. — P. 481–488.

75. Surface Strain Distribution on Thoracic and Lumbar Vertebrae Under Axial Compression: The Role in Burst Fractures / M.Hongo, E.Abe, Y.Shimada [et al.] // *Spine*. — 1999. — Vol. 24 (12). — P. 1197–1202.

76. Fractures of the Thoracolumbar Spine Sustained by Soldiers in Vehicle Attacked by Improvised Explosive Devices / B. T.Ragel, C. D.Allred, S.Brevard [et al.] // *Spine*. — 2009. — Vol. 34 (22). — P. 2400–2405.

77. Indications for Nonsurgical Treatment of Thoracolumbar Spine Fractures: WFNS Spine Committee Recommendations / N. Peev, M. Zileli, S. Sharif [et al.] // *Neurospine*. — 2021. — Vol.18(4). — P.713–724.

78. El-Khoury G.Y. Trauma to the upper thoracic spine: anatomy, biomechanics, and unique imaging features / G.Y. El-Khoury, C.G. Whitten // *Am J Roentgenol.* — 1993. — Vol. 160(1). — P.95–102.

79. Hugo D. Proximal thoracic spine fractures: A dangerous blind spot / D.Hugo, R.N. Duna // *SA Orthopaedic J.* — 2011. — Vol. 11(4). — P.30–35.

80. Spinal cord injury in organizational setup — A hospital based descriptive study / G. Singh, R. Prakash, V. Bhatti, A.Mahen // *J Marine Med Society.* — 2019. — Vol. 21(1). — P.46.

81. Rajasekaran S. Management of thoracolumbar spine trauma: An overview / S. Rajasekaran, R.M. Kanna, A.P.Shetty // *Indian J Orthop.* — 2015. — Vol. 49(1). — P. 72–82. doi: 10.4103/0019-5413.143914.

82. Cho Y. Clinical Features and Treatment Outcomes of Acute Multiple Thoracic and Lumbar Spinal Fractures: A Comparison of Continuous and Noncontinuous Fractures / Y. Cho, Y.G.Kim // *J Korean Neurosurg Soc.* — 2019. — Vol. 62(6). — P. 700–711. doi: 10.3340/jkns.2019.0093.

83. Floating Spine and Other Types of Associated Multiple Simultaneous Unstable Spinal Fractures / G.A.Ricciardi, L.J.Romero, S.Formaggin. 2023.

84. Traumatic fractures of the thoracic spine / U.J. Spiegl, K.J. Schnake, F. Hartmann [et al.] // Z Orthop Unfall. — 2021. — Vol. 159. — P.373–382. doi: 10.1055/a-1144-3846

85. Operative compared with nonoperative treatment of a thoracolumbar burst fracture without neurological deficit: a prospective randomized study with follow-up at sixteen to twenty-two years / K.B. Wood, G.R. Buttermann, R. Phukan [et al.] // J Bone Joint Surg. — 2015. — Vol. 97. — P. 3–9.

86. Boehler K. Knochenbrüche und Unfallchirurgie in ihren Beziehungen Umwelt / K.Boehler. — Wien: Maudrich, 1933.

87. Holdsworth F.W. Fractures, Dislocations and Fracture-Dislocation of the Spine / F.W. Holdsworth // The Journal of Bone and Joint Surgery. — 1963. — Vol. 45. — P. 6–20.

88. Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries / F.Denis // Spine (Phila Pa 1976). — 1983. — Vol. 8(8). — P. 817–831.

89. Denis F. Spinal instability as defined by the three-column spine concept in acute spinal trauma / F.Denis // OrthopClin N. — 1984. — Vol. 189. — P. 65–76.

90. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries / F. Magerl, M. Aebi, S.D. Gertzbein [et al.] // *Eur Spine J.* — 1994. — Vol. 4(3). — P. 184–201. doi: 10.1007/BF02221591.

91. Aebi M. *AO-Manual of Spine Surgery, Vol. I* / M. Aebi, V. Arlet, J.K. Webb. — Stuttgart: Thieme Publisher, 2008. — 663 p.

92. McCormack T. The load sharing classification of spine fractures / T. McCormack, E. Karaikovic, R.W.Gaines // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 1994. — Vol. 19(15). — P. 1741–1744. doi: 10.1097/00007632-199408000-00014.

93. Berge E.E. The sternal-rib complex. A possible fourth column in thoracic spine fractures / E.E. Berge // *Spine*. — 1993. — Vol. 18. — P. 1916–1919. <https://doi.org/10.1097/00007632-199310000-00033>

94. Sternal metastasis — the forgotten column and its effect on thoracic spine stability / R.P. Piggott, M. Curtin, S. Munigangaiah [et al.] // *World J Orthop.* — 2017. — Vol. 8. — P. 455–460. <https://doi.org/10.5312/wjo.v8.i6.455>

95. An in vitro human cadaveric study investigating the biomechanical properties of the thoracic spine / I. Oda, K. Abumi, B.W. Cunningham [et al.] // *Spine*. — 2002. — Vol. 27. — P. E64-70. <https://doi.org/10.1097/00007632-200202010-00007>

96. Liebsch C. Rib presence, anterior rib cage integrity, and segmental length affect the stability of the human thoracic spine: an in vitro study / C. Liebsch, H.-J. Wilke // *Front Bioeng Biotechnol.* — 2020. — Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00046>.

97. Liebsch C. The effect of follower load on the intersegmental coupled motion characteristics of the human thoracic spine: an in vitro study using entire rib cage specimens / C. Liebsch, N. Graf, H.-J. Wilke // *J Biomech.* — 2018. — Vol. 78. — P. 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.06.025>

98. Liebsch C. Which traumatic spinal injury creates which degree of instability? A systematic quantitative review / C. Liebsch, H.-J. Wilke // *Spine J Off J North Am Spine Soc.* — 2022. — Vol. 22. — P. 136–156. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.06.004>

99. Fowler A.W. Flexion-compression injury of the sternum / A.W. Fowler // *J Bone Joint Surg Br.* — 1957. — Vol. 39-B. — P. 487–497. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.39B3.487>

100. Thoracic hyperextension injury with complete “bony disruption” of the thoracic cage: case report of a potentially life-threatening injury / J. Bailey, T. Vanderheiden, C.C. Burlew [et al.] // *World J Emerg Surg WJES.* — 2012. — Vol. 7. — P. 14. <https://doi.org/10.1186/1749-7922-7-14>

101. Stability provided by the sternum and rib cage in the thoracic spine / R. Watkins 4<sup>th</sup>, R. Watkins 3<sup>rd</sup>, L. Williams [et al.] // Spine. — 2005. — Vol. 30. — P. 1283–1286. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000164257.69354.bb>

102. The role of the sternum, costosternal articulations, intervertebral disc, and facets in thoracic sagittal plane biomechanics: a comparison of three different sequences of surgical release / W.C. Horton, C. Kraiwattanapong, T. Akamaru [et al.] // Spine. — 2005. — Vol. 30. — P.2014–2023.

103. Thoracic cage injuries / K.K. Kani, H. Mulcahy, J.A. Porrino, F.S. Chew // Eur J Radiol. — 2019. — Vol. 110. — P. 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.12.003>

104. Thoracolumbar injury classification and severity score: a new paradigm for the treatment of thoracolumbar spine trauma / J.Y. Lee, A.R. Vaccaro, M.R. Lim [et al.] // J Orthop Sci. — 2005. — Vol. 10(6). — P. 671–675. doi: 10.1007/s00776-005-0956-y.

105. Clinical relevance and validity of TLICS system for thoracolumbar spine injury / C.J.Park, S.K.Kim, T.M.Lee [et al.] // Sci Rep. — 2020. — Vol. 10. P. 194. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76473-9>

106. Efficacy and Safety of Conservative Treatment Compared With Surgical Treatment for Thoracolumbar Fracture With Score 4 Thoracolumbar Injury Classification and Severity (TLICS): A Systematic Review and Meta-analysis / T.Li,

J.Yan, X.Liu [et al.] // *Clinical Spine Surgery*. — 2023. — DOI: 10.1097/bsd.0000000000001503.

107. Reliability assessment of AOSpine thoracolumbar spine injury classification system and Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score (TLICS) for thoracolumbar spine injuries: results of a multicentre study / R. Kaul, H.S. Chhabra, A.R. Vaccaro [et al.] // *Eur Spine J*. — 2017. — Vol. 26. — P. 1470–1476.

108. Surgical versus non-surgical treatment for thoracolumbar burst fractures without neurological deficit: A systematic review and meta-analysis / T.-Y. Chou, F.-Y. Tsuang, C.L. Chai // *Global Spine J*. — 2023. — Vol. 9. 21925682231181875. <https://dx.doi.org/10.17504/protocols.io.bz5cp82w>

109. Нехлопочин О. С. Травматичні ушкодження груднопоперекового переходу. Класифікація Friedrich P. Magerl та співавт. / О. С.Нехлопочин, Є. В.Чешук, М.В.Вороді // *Травма*. — 2022. — Т.23(3). — С. 4–22. DOI: <https://doi.org/10.22141/1608-1706.3.23.2022.895>

110. Thoracolumbar burst fracture: Correlation between kyphosis and function after surgical treatment / D.A. Sadatsune, P.P. Costa, M.F. Caffaro [et al.] // *Rev Bras Ortop*. — 2015. — Vol. 47(4). — P. 474–478. doi: 10.1016/S2255-4971(15)30131-2.

111. Thoracolumbar burst fractures. The clinical efficacy and outcome of nonoperative management / J. Mumford, J.N. Weinstein, K.F. Spratt, V.K.Goel // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 1993. — Vol.18(8). — P. 955–970.

112. Patterns of concomitant injury in thoracic spine fractures / P. Curtin, B. Mitchell, J. Patel [et al.] // *N Am Spine Soc J.* — 2022. — Vol. 10. — P. 100–109. doi: 10.1016/j.xnsj.2022.100109.

113. Spinal fractures and/or spinal cord injuries are associated with orthopedic and internal organ injuries in proximity to the spinal injury / N. S.Anandasivam, N. T.Ondeck, P. S.Bagi [et al.] // *North American Spine Society Journal (NASSJ).* — 2021. — Vol. 6. — P. 100057 <https://doi.org/10.1016/j.xnsj.2021.100057>

114. Concomitant injuries in patients with thoracic vertebral body fractures—a systematic literature review / U.Spiegl, G.Osterhoff, P.Bula, F.Hartmann // *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery.* — 2022. — Vol. 142(7). — P.1–8. DOI:10.1007/s00402-021-03830-2

115. Traumatic vertebral fractures and concomitant fractures of the rib in Southwest China, 2001 to 2010: an observational study / H. Wang, Y. Zhou, L. Ou [et al.] // *Medicine (Baltimore).* — 2015. — Vol. 94. — P. e1985.

116. Thoracic Spine Fractures with Blunt Aortic Injury: Incidence, Risk Factors, and Characteristics / H.Deng, T.-X.Tang, L.-S.Tang [et al.] // *J. Clin. Med.* — 2021. — Vol. 10. — P. 5220. <https://doi.org/10.3390/jcm10225220>

117. Thoraco-lumbar fractures with blunt traumatic aortic injury in adult patients: Correlations and management / G.Santoro, A.Ramieri, V.Chiarella [et al.] // *Eur. Spine J.* — 2018. — Vol. 27. — P.248–257.

118. American Spinal Injury Association. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injured (1982, modified 2015 November). Retrieved from: [http://asia-spinalinjury.org/wp-content/uploads/2016/02/International\\_Stdсs\\_Diagram\\_Worksheet.pdf](http://asia-spinalinjury.org/wp-content/uploads/2016/02/International_Stdсs_Diagram_Worksheet.pdf).

119. Rehtine G.R. Dramatic demographic changes in spine trauma mortality over the past quarter-century in Finland: commentary / G.R.Rehtine // *Spine J.* — 2016. — Vol. 16. — P. 927.

120. The radiographic characterization of burst fractures of the spine / S.W.Atlas, V. Regenbogen, L.F. Rogers, K.S.Kim // *AJR Am J Roentgenol.* — 1986. — Vol. 147(3). — P. 575–582. doi: 10.2214/ajr.147.3.575.

121. Evaluation of Posterior Element Injury in Traumatic Thoraco-Lumbar Burst Fractures / Y.D. Won, J.M. Park, J.Y. Yun [et al.] // *J Korean Radiol Soc.* — 2000. — Vol.2. — P. 523–529.

122. Classifying thoracolumbar fractures: role of quantitative imaging / F.R. Santiago, P.T. Munoz, E.M. Sanchez [et al.] // *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery (QIMS).* — 2016. — Vol. 6(6). — P.772–784 <http://dx.doi.org/10.21037/qims.2016.12.04>

123. Correlation of Posterior Ligamentous Complex Injury and Neurological Injury to Loss of Vertebral Body Height, Kyphosis, and Canal Compromise / K. Radcliff, B.W. Su, C.K. Kepler [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976).* — 2012. — Vol. 37. — P. 1142–1150.

124. Vertebral body shape variation in the thoracic and lumbar spine: characterization of its asymmetry and wedging / Y. Masharawi, K. Salame, Y. Mirovsky [et al.] // *Clin Anat.* — 2008. — Vol. 21. — P.46–54.

125. Wedging of vertebral bodies at the thoracolumbar junction in asymptomatic healthy subjects on magnetic resonance imaging / M. Matsumoto, E. Okada, Y. Kaneko [et al.] // *Surg Radiol Anat.* — 2011. — Vol. 33. — P. 223–228.

126. Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique / H.K. Genant, C.Y. Wu, C. van Kuijk, M.C.Nevitt // *J Bone Miner Res.* — 1993. — Vol.8. — P. 1137–1148.

127. Meena S. Management of Thoracolumbar Fractures / S. Meena, P. Sharma, B.Chowdhury // *Indian J Neurosurg.* — 2015. — Vol. 4. — P.56–62.

128. The value of CT in determining potential instability of simple wedge-compression fractures of the lumbar spine / S.E. Campbell, C.D. Phillips, E. Dubovsky [et al.] // *Am J Neuroradiol.* — 1995. — Vol. 16. — P.1385–1392.

129. Plain Radiography Versus Computed Tomography Scans in the Diagnosis and Management of Thoracolumbar Burst Fractures / L.Y. Dai, X.Y. Wang, L.S. Jiang [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976).* — 2008. — Vol. 33. — P.E548–552.

130. Are plain radiographs of the spine necessary during evaluation after blunt trauma? Accuracy of screening torso computed tomography in thoracic/lumbar spine fracture diagnosis / G.E. Berry, S. Adams, M.B. Harris [et al.] // *J Trauma.* — 2005. — Vol. 59. — P. 1410–1413.

131. Radiographic measurement parameters in thoracolumbar fractures: a systematic review and consensus statement of the spine trauma study group / O. Keynan, C. G.Fisher, A.Vaccaro [et al.] // *Spine.* — 2006. — Vol. 31(5). — P. E156–E165. doi:10.1097/01.brs.0000201261.94907.0d

132. Spinal canal invasion as a predictor of neurological deficit in traumatic vertebral burst fractures / O.J. Montes-Aguilar, K.K. Alaniz-Sida, M. Dufoo-Olvera [et al.] // *Surgical Neurology International.* — 2022. — Vol. 13. — P. 428. DOI:10.25259/SNI\_564\_2022.

133. The Role of Magnetic Resonance Imaging and Computed Tomography in Spinal Cord Injury / O. Hussain, M. Kaushal, N. Agarwal [et al.] // *Life*. — 2023. — Vol. 13(8). — P.1680. <https://doi.org/10.3390/life13081680>.

134. Diagnostic and prognostic role of MRI in spinal trauma, its comparison and correlation with clinical profile and neurological outcome, according to ASIA impairment scale / U.C. Parashari, S. Khanduri, S. Bhadury [et al.] // *J Craniovertebr Junction Spine*. — 2011. — Vol. 2(1). — P.17–26. doi:10.4103/0974-8237.85309.

135. MRI in acute and subacute post-traumatic spinal cord injury: pictorial review / J.Chandra, F.Sheerin, L.Lopez de Heredia [et al.] // *Spinal Cord*. — 2012. — Vol. 50. — P. 2–7. <https://doi.org/10.1038/sc.2011.107>.

136. Imaging features of the postoperative spine: A guide to basic understanding of spine surgical procedures / M.M.V.Girao, L.K.Miyahara, V.S.Y.Dwan, [et al.] // *Insights Imaging*. — 2023. — Vol. 14. — P. 103.

137. MRI in traumatic spinal cord injury: from clinical assessment to neuroimaging biomarkers / P. Freund, M. Seif, N. Weiskopf [et al.] // *The Lancet Neurology*. — 2019. — Vol. 18(12). — P. 1123–1135. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(19\)30138-3](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(19)30138-3)

138. Impact of magnetic resonance imaging on decision making for thoracolumbar traumatic fracture diagnosis and treatment / J. Pizones, E. Izquierdo, P. Alvarez [et al.] // *Eur Spine J*. — 2011. — Vol. 20. — P.S390–S396.

139. *Standring S. Gray's anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice, 42<sup>th</sup> ed.* / S.Standring, R.Tunstall. — Edinburgh: Elsevier, 2020. — 1606 p.

140. Biomechanical role of the posterior elements, costovertebral joints, and rib cage in the stability of the thoracic spine / I. Oda, K. Abumi, D. Lu [et al.] // *Spine*. —1996. — Vol. 21(12). — P. 1423–1429.

141. Beck B. Injury patterns of rear seat occupants in frontal impact: an in-depth crash investigation study / B. Beck, L.E. Bilston, J.Brown // *Inj Prev.* — 2016. — Vol. 22. — P. 165–170.

142. Operative treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spinal column. Part I: epidemiology / M. Reinhold, C. Knop, R. Beisse [et al.] // *Der Unfallchirurg* 2009. — Vol. 112(1). — P. 33–42. <https://doi.org/10.1007/s00113-008-1524-7>

143. Traumatic spinal injuries in the Kingdom of Saudi Arabia: a study of associated injuries, management and mortality / K. M. Alkhathlan, M. G. Alzahrani, K.H.Aldosari [et al.] // *The Pan African Medical Journal.* — 2019. — Vol. 32. — P. 153.

144. Thoracic Spine Fracture in the Panscan Era / R.Bizimungu, A.Sergio, B.M.Baumann [et al.] // *Ann. Emerg. Med.* — 2020. — Vol. 76. — P. 143–148.

145. Prognostic pulmonary and thoracic findings in patients with unstable injuries of the thoracic spine / S.P. Lemburg, T.M.Frangen, H. Knoop [et al.] // *Pneumologie.* — 2011. — Vol. 65. — P. 412–418.

146. Traumatische Frakturen der Brustwirbelsäule / U.J.A. Spiegl, K.J. Schnake, F. Hartmann [et al.] // *Orthop Unfall.* — 2021. — Vol. 159(04). — P. 373–382. DOI: 10.1055/a-1144-3846

147. van Middendorp J.J. The Edwin Smith papyrus: a clinical reappraisal of the oldest known document on spinal injuries / J.J. van Middendorp, G.M. Sanchez, A.L.Burridge // *Eur Spine J.* — 2010. — Vol. 19. — P. 1815–1823.

148. Nonoperative management of upper thoracic spine fractures / D.A. Capen, M.L. Gordon, J.E. Zigler [et al.] // *Orthop Rev.* — 1994. — Vol. 23. — P. 818–821.

149. Joaquim A. F. Operative versus Non-Operative Management of Traumatic Thoracolumbar Injuries according to the AO Spine Thoracolumbar Spine Injury Classification System. Review article / A. F. Joaquim // *Arq Bras Neurocir.* — 2020. — Vol.39(3). — P. 181–188. DOI [https://doi.org/ 10.1055/s-0039-1700578](https://doi.org/10.1055/s-0039-1700578).

150. Dai L. Thoracic spine fractures / L.Dai // *Chin Med Sci J.* — 2001. — Vol. 16. — P. 227–230.

151. Treatment of fractures of the thoracolumbar spine: recommendations of the spine section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU) / A.P. Verheyden, U.J. Spiegl, H. Ekkerlein [et al.] // *Global Spine J.* — 2018. — Vol. 8(2). — P. 34S–45S.

152. Orthosis versus no orthosis for the treatment of thoracolumbar burst fractures without neurologic injury: a multicenter prospective

randomized equivalence trial / C.S. Bailey, J.C. Urquhart, M.F. Dvorak [et al.] // Spine J. — 2014. — Vol. 14. — P. 2557–2564.

153. Evidence-based management of traumatic thoracolumbar burst fractures: a systematic review of nonoperative management / J. Bakhsheshian, N.S. Dahdaleh, S. Fakurnejad [et al.] // Neurosurg Focus. — 2014. — Vol. 37. — P. E1.

154. Nonoperative treatment of thoracic and lumbar spine fractures: a prospective randomized study of different treatment options / A. Stadhouders, E. Buskens, D.A. Vergroesen [et al.] // J Orthop Trauma. — 2009. — Vol. 23. — P. 588–594.

155. Siebenga J. Treatment of traumatic thoracolumbar spine fractures: a multicenter prospective randomized study of operative versus nonsurgical treatment / J. Siebenga, V.J. Leferink, M.Segers // Spine (Phila Pa 1976). — 2006. — P. 2881–2890.

156. Vaccaro A.R. AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers / A.R. Vaccaro, C. Oner, C.K.Kepler // Spine (PhilaPa 1976). — 2013. — Vol. 38. — P. 2028–2037.

157. Biomechanical evaluation of a simulated T-9 burst fracture of the thoracic spine with an intact rib cage / T.G. Perry, P. Mageswaran, R.W. Colbrunn [et al.] // *J Neurosurg Spine*. — 2014. — Vol. 21. — P. 481–488.

158. Biomechanics of thoracic short versus long fixation after 3-column injury / B.C. Lazaro, F.E. Deniz, L.B. Brasiliense [et al.] // *J Neurosurg Spine*. — 2011. — Vol. 14. — P. 226–234.

159. Comparing the Biomechanical Stability of Cortical Screw Trajectory Versus Standard Pedicle Screw Trajectory for Short- and Long-Segment Posterior Fixation in 3-Column Thoracic Spinal Injury / A.R. Savardekar, N.G. Rodriguez-Martinez, A.G. Newcomb [et al.] // *Int J Spine Surg*. — 2019. — Vol. 13(3). — P. 245–251. doi: 10.14444/6033.

160. Finite element analysis of short versus long-segment posterior fixation for thoracolumbar burst fracture / R. Basaran, M. Efendioglu, M. Kaksi [et al.] // *World Neurosurg*. — 2019. — Vol. 128. — P. e1109–e1117.

161. Risk Factors for Clinically Relevant Loosening of Percutaneous Pedicle Screws / T. Ohba, S. Ebata, H. Oba et al. // *Spine Surg Relat Res*. — 2019. — Vol. 3. — 79–85.

162. Waqar M. Short versus long-segment posterior fixation in the treatment of thoracolumbar junction fractures: a comparison of outcomes /

M. Waqar, D. Van-Popta, D.G. Barone // Br J Neurosurg. — 2017. — Vol. 31. — P. 54–57.

163. Long segment versus short segment stabilization in thoracolumbar spine fracture: A retrospective clinical and radiological analysis / S.-Y.J. Mak, Y.-C. Siu, W.-W. Chau [et al.] // Journal of Orthopaedics, Trauma and Rehabilitation. — 2023. — Vol. 30(1). doi:[10.1177/22104917221128836](https://doi.org/10.1177/22104917221128836)

164. Surgical treatment of thoracic spine fractures. Outcomes on 50 patients at 23 months follow-up / M. Vassal, G. Lonjon, S. Knafo [et al.] // Orthop Traumatol Surg Res. — 2014. — Vol. 100. — P. 475–480.

165. Midterm outcome after posterior stabilization of unstable Midthoracic spine fractures in the elderly / U.J. Spiegl, P.L. Hölbing, J.S. Jarvers [et al.] // BMC Musculoskelet Disord. — 2021. — Vol. 22(1). — P. 188. doi: [10.1186/s12891-021-04049-3](https://doi.org/10.1186/s12891-021-04049-3).

166. Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part I: morphometric analysis of the thoracic vertebrae / A.R. Vaccaro, S.J. Rizzolo, T.J. Allardyce [et al.] // J Bone Joint Surg Am. — 1995. — Vol. 77. — P. 1193–1199.

167. Morphological Parameters of the Thoracic Pedicle in an Asian Population: A Magnetic Resonance Imaging–Based Study of 3324 Pedicles /

T.L.T. Soh, K.C. Kho, Z.K. Lim [et al.] // Global Spine Journal. — 2021. — Vol. 11(4). — P. 437–441. doi:[10.1177/2192568220906137](https://doi.org/10.1177/2192568220906137)

168. The safety of fluoroscopically-assisted thoracic pedicle screw instrumentation for spine trauma / R. Bransford, C. Bellabarba, J.H. Thompson [et al.] // J Trauma. — 2006. — Vol. 60. — P. 1047–1052.

169. Accuracy and safety of pedicle screw fixation in thoracic spine trauma / C.G. Fisher, V. Sahajpal, O. Keynan [et al.] // J Neurosurg Spine. — 2006. — Vol. 5. — P. 520–526.

170. Correlation between pedicle size and the rate of pedicle screw misplacement in the treatment of thoracic fractures: can we predict how difficult the task will be? / A. Gonzalvo, G. Fitt, S. Liew [et al.] // Br J Neurosurg. — 2015. — Vol. 29. — P. 508–512.

171. Bianco R.J. Thoracic pedicle screw fixation under axial and perpendicular loadings: a comprehensive numerical analysis / R.J. Bianco, P.J. Arnoux, J. M. Mac-Thiong // ClinBiomech (Bristol, Avon). — 2019. — Vol. 68. — P. 190–196.

172. Bühren V. Chirurgie der verletzten Wirbelsäule / V. Bühren, C.Josten. — Berlin, Heidelberg: Springer. — 2012.

173. Accuracy of CT-based navigation of pedicle screws in the thoracic spine compared with conventional technique / K.J. Schnake, B. König, U. Berth [et al.] // Unfallchirurg. — 2004. — Vol. 107. — P. 104–112.

174. Pedicle screw placement in the thoracic spine: A comparison study of computer-assisted navigation and conventional techniques / W. Han, Z.L. Gao, J.C. Wang [et al.] // Orthopedics. — 2010. — Vol. 33. doi: 10.3928/01477447-20100625-14.

175. Clinical and radiographic outcomes of pedicle screw fixation for upper thoracic spine (T1-5) fractures: A retrospective cohort study of 27 cases / C. Fisher, S. Singh, M. Boyd [et al.] // J Neurosurg Spine. — 2009. — Vol. 10. — P. 207–213.

176. Ghasemi A.A. Efficacy of Pedicle Screw Fixation in Unstable Upper and Middle Thoracic Spine Fractures / A.A. Ghasemi, S.Ashoori // Trauma Mon. — 2016. — Vol. 21(1). — P. e28627. doi: 10.5812/traumamon.28627.

177. Investigation of the "Superior Facet Rule" Using 3D-Printed Thoracic Vertebrae With Simulated Corticocancellous Interface / W. Clifton, A. Damon, F. Valero-Moreno [et al.] // World Neurosurg. — 2020. — Vol. 143. — P. e51-e59. doi: 10.1016/j.wneu.2020.06.097. Epub 2020 Jun 22.

178. Payer M. Unstable upper and middle thoracic fractures. Preliminary experience with a posterior transpedicular correction-fixation technique / Payer M. // *J ClinNeurosci*. — 2005. — Vol. 12. — P. 529–533.

179. Gattozzi D.A. Surgery for traumatic fractures of the upper thoracic spine (T1–T6) / D.A.Gattozzi, L.A.Friis, P.M.Arnold // *Surgical Neurology International*. — 2018. — Vol. 9. — P. 231.DOI:10.4103/sni.sni\_273\_18.

180. Comparative radiographic analysis of surgical and conservative treatment of unstable injuries of the thoracic and lumbar spine / M. Stankovic, A. Milicic, D. Savic [et al.] // *Med Pregl*. — 2001. — Vol. 54. — P. 315–322.

181. McLain R.F. Pedicle morphometry in the upper thoracic spine: Limits to safe screw placement in older patients / R.F. McLain, L. Ferrara, M.Kabins // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2002. — Vol. 22. — P. 2467–2471.

182. Nagi M.A.M.A. Accuracy of MRI (TLICS vs AOSIS) in assessment of thoracolumbar spine injuries for guiding treatment / M.A.M.A.Nagi, M.M.S.Sakr // *Egypt J Radiol Nucl Med*. — 2022. — Vol. 53. — P. 41.  
<https://doi.org/10.1186/s43055-022-00715-1>

183. Radiographic and Neurological Outcome After Surgical Treatment of Traumatic Fractures of the Ankylotic Thoracic Spine: A Retrospective Case Series / A.B. Dru, P.S. Kubilis, G.A. Murad, Carney T, Hoh DJ. [et al.] // *Operative*

Neurosurgery. — 2018. — Vol. 14(3). — P. 224–230. — <https://doi.org/10.1093/ons/opx099>.

184. The endoscopically assisted simultaneous posteroanterior reconstruction of the thoracolumbar spine in prone position / A.P. Verheyden, A. Hoelzl, H. Lill [et al.] // Spine J. — 2004. — Vol. 4. — P. 540–549.

185. Дихальні ускладнення та ризик смертності, пов'язані з травмою грудного відділу хребта / B. Cotton, J. Pryor, I. Chinwalla [et al.] J Травма. — 2005. — Vol. 6. — P. 1400–1409. doi: 10.1097/01.ta.0000196005.49422.

186. Haiyun Y. Three-column reconstruction through single posterior approach for the treatment of unstable thoracolumbar fracture / Y. Haiyun, G. Rui, D. Shucaï // Spine (Phila Pa 1976). — 2010. — Vol. 35. — P. E295–E302.

187. Circumferential management of unstable thoracolumbar fractures using an anterior expandable cage, as an alternative to an iliac crest graft, combined with a posterior screw fixation: results of a series of 85 patients / T. Graillon, P. Rakotozanany, B. Blondel [et al.] // Neurosurg Focus. — 2014. — Vol. 37. — P. E10.

188. Modified one-stage posterior/anterior combined surgery with posterior pedicle instrumentation and anterior monosegmental reconstruction

for unstable Denis type B thoracolumbar burst fracture / O. Lai, Y. Hu, Z. Yuan [et al.] // *Eur Spine J.* — 2017. — Vol. 26. — P. 1499–1505.

189. Surgical strategy for non-continuous thoracic spinal stenosis: one- or two-stage surgery? / L. Wang, H. Wang, Z. Chen [et al.] // *IntOrthop.* — 2021. — Vol. 45(7). — P. 1871–1880. doi: 10.1007/s00264-020-04913-2.

190. Martins J. Cirurgias Endoscópicas para a coluna torácica: avaliação crítica. Endoscopic surgery for thoracic spine. Critical review / J. Martins, N. de Figueiredo Neto // *Arq Neuropsiquiatr. Arq. Neuro-Psiquiatr.* — 1999. — Vol. 57(2B). — P. 520–527. <https://doi.org/10.1590/S0004-282X1999000300028>.

191. Beisse R. Situación actual de la cirugía toracoscópica del raquis torácico y lumbar. Parte 1: Aspectos Generales y tratamiento de las fracturas. Current status of thoracoscopic surgery for thoracic and lumbar spine. Part 1: general aspects and treatment of fractures / R. Beisse, F. Verdú-López // *Neurocirugía (Astur).* — 2014. — Vol. 25(1). — P. 8–19. doi: 10.1016/j.neucir.2013.02.005. Epub 2013 Apr 9.

192. Beisse R. Situación actual de la cirugía toracoscópica del raquis torácico y lumbar. Parte 2: Tratamiento de la hernia de disco torácica, de las deformidades, de la patología tumoral e infecciosa, y miscelánea Current status of thoracoscopic surgery for thoracic and lumbar spine. Part 2: Treatment of the thoracic disc hernia, spinal deformities, spinal tumors,

infections and miscellaneous / R. Beisse, F. Verdú-López // Neurocirugía. — 2014. — Vol. 25(2). — P. 62–72. doi.org/10.1016/j.neucir.2013.02.004.

193. Reduction in Traumatic Spine Injuries in the Thoracic and Lumbar Spine With Percutaneous Versus Open Dorsal Stabilization / J. Rillig, H. Keil, M. Jung [et al.] // Clinical Spine Surgery. — 2020. — Vol. 33(6). — P. E288-E293 DOI:10.1097/BSD.0000000000000925.

194. Analysis of complication and perioperative data after open or percutaneous dorsal instrumentation following traumatic spinal fracture of the thoracic and lumbar spine: a retrospective cohort study including 491 patients / M. Kreinest, J. Rillig, P.A. Grützner // European Spine Journal. — 2017. — Vol. 26. — P. 1535–1540. DOI:10.1007/s00586-016-4911-8.

195. Panjabi M. M. The Effects of pedicle screw adjustments on neural spaces in burst fracture surgery / M. M. Panjabi, T. Oda, J. Wang // Spine. — 2000. — Vol. 25(13). P. 1637–1643. doi:10.1097/00007632-200007010-00006

196. Продан А. И. Прогнозирование результатов и выбор оптимального способа лечения неосложненных переломов тел грудных и поясничных позвонков / А. И. Продан, У. Р. Рахимов // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1990. — № 6. — С. 47–52.

197. Рахимов У.Р. Совершенствование лечения неосложненных переломов тел грудных и поясничных позвонков на основе

прогнозирования их лечения и исходов. — Дисс....канд.мед.наук. Харьков, 1989.

198. McLain R. F. The biomechanics of long versus short fixation for thoracolumbar spine fractures / R. F.McLain // Spine. — Vol. 31. — P. S70-S79. doi:10.1097/01.brs.0000218221.47230.dd.

199. Biomechanical evaluation of short-segment posterior instrumentation with and without crosslinks in a human cadaveric unstable thoracolumbar burst fracture model / G. M.Wahba, N.Bhatia, C. N.Bui [et al.] // Spine. —2010. — Vol. 35(3). — P. 278–285. doi:10.1097/brs.0b013e3181bda4e6

200. Short segment spinal instrumentation with index vertebra pedicle screw placement for pathologies involving the anterior and middle vertebral column is as effective as long segment stabilization with cage reconstruction / V.Bartanusz, J.Harris, M.Moldavsky [et al.] // Spine. — 2015. — Vol. 40(22). — P.1729–1736. doi:10.1097/brs.0000000000001130.

201. Anekstein Y. Intermediate screws in short segment pedicular fixation for thoracic and lumbar fractures / Y.Anekstein, T.Brosh, Y.Mirovsky // Journal of Spinal Disorders & Techniques. — 2007. — Vol. 20(1). — P. 72–77. doi:10.1097/01.bsd.0000211240.98963.f6.

202. In vitro analysis of anterior and posterior fixation in an experimental unstable burst fracture model / P. M.Kallemeier, B. P.Beaubien, G. R.Buttermann [et al.] // Journal of Spinal Disorders & Techniques. — 2008. — Vol. 21(3). — P. 216–224. doi:10.1097/bsd.0b013e31807a2f61

203. Lazoglu I. Rigid and dynamic spinal system modeling by finite elements methods. In by prof. A. F. Ozer (Ed.) Intervertebral disc disease and dynamic stabilization of lumbar spine / I.Lazoglu, E.Akgun. — V.K.V. American Hospital Publications, 2011. — P. 72–84.

204. Finite element modeling of the human thoracolumbar spine / M. A.Liebschner, D. L.Kopperdahl, W. S.Rosenberg, T. M. Keaveny. — Spine. — 2003. — Vol. 28(6). — P. 559–565. doi:10.1097/01.brs.0000049923.27694.47

205. Acute thoracolumbar burst fractures / N. A.Langrana, R. D.Harten, D. C.Lin [et al.] // Spine. — 2002. — Vol. 27(5). — P. 498–508. doi:10.1097/00007632-200203010-00010

206. Boerger T.O. Does «canal clearance» affect neurological outcome after thoracolumbar burst fractures? / T.O. Boerger, D. Limb, R.A.Dickson // J Bone Joint Surg Br. — 2000. — Vol. 82-B(5). — P.629–635. doi:10.1302/0301-620X.82B5.0820629

207. Neurological deficit and canal compromise in thoracolumbar and lumbar burst fractures / S.P. Mohanty, N.S. Bhat, R. Abraham, C.Ishwara Keerthi // *Journal of Orthopaedic Surgery*. — 2008. — Vol.16(1). — P.20–23.

208. Колиннз Р. Д. Диагностика нервных болезней / Р. Д. Колиннз. — Москва: Медицина, 1986.

209. Ушкодження грудного та поперекового відділу хребта при множинних та поєднаних травмах / М. І.Хвисюк, В. Г.Ринденко, В. О.Радченко [та ін.] // *Літопис травматології та ортопедії*. — 2018. — № 1–2 (37–38). — С.80–83.

210. Епідеміологія вогнепальних ушкоджень хребта в Харківському регіоні під час військових дій на Сході України / В. О.Радченко, К. О.Попсуйшапка, А. І.Попов [та ін.] // *Ортопедия, травматология и протезирование*. — 2016. — № 3 (604). — С. 5–10. doi: 10.15674/0030-5987201635-10

211. Back to the future in traumatic fracture shapes of lumbar spine: An analysis of risk of kyphosis after conservative treatment / F. Fusini, G. Colò, S. Risitano [et al.] // *J Craniovertebr Junction Spine*. — 2021. — Vol. 12(1). — P.38–43. doi: 10.4103/jcvjs.JCVJS\_189\_20.

212. Cobb J.R. The American Academy of Orthopedic Surgeons Instructional Course Lectures / J.R.Cobb. — 1948. — Vol. 5. Ann Arbor, MI: Edwards.

213. The natural history of burst fractures at the thoracolumbar junction / J. Willen, J. Anderson, K. Toomoka [et al.] // J Spinal Disord. — 1990. — Vol.3. — P.39–46.

214. Radiographic parameters for evaluating the neurological spaces in experimental thoracolumbar burst fractures / T. Isomi, M.M. Panjabi, Y. Kato, J.L.Wang // J Spinal Disord. — 2000. — Vol. 13(5). — P.404–411. doi: 10.1097/00002517-200010000-00006.

215. Петренко Д. Є. (2015). Вентральна корекція та фіксація сколіотичних деформацій хребта. — Дисс....д-ра мед.наук. Харьков, 2015.

216. Segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis / S. I. Suk, C. K.Lee, W. J.Kim [et al.] // Spine. — 1995. — Vol. 20(12). — P. 1399–1405.

217. Корж А. А. Оперативные доступы к грудным и поясничным позвонкам / А. А.Корж, Р. Р. Талышинский, Н. И. Хвисяк/ — Москва: Медицина, 1968.

218. Louis R. Surgery of the Spine: Surgical Anatomy and Operative Approaches / R.Louis. — 1983. doi:10.1007/978-3-642-81808-0

219. Ульрих Э. В. Вертебология в терминах, цифрах, рисунках / Э. В. Ульрих, А. Ю. Мушкин. — Санкт-Петербург: ЭЛБИ, 2002

220. Залишкова фіксованість хребтових сегментів при вибухових переломах груднопоперекового відділу хребта / К.О. Попсуйшапка, М.Ю. Карпінський, С.О. Тесленко [та ін.] // Травма. — 2017. — Т. 18(4). — С. 82–87. – DOI: [10.22141/1608-1706.4.18.2017.109348](https://doi.org/10.22141/1608-1706.4.18.2017.109348)

221. Клініко-експериментальні кореляції розвитку залишкової деформації хребта за умов вибухових переломів груднопоперекового відділу / К.О. Попсуйшапка, М.Ю. Карпінський, А.І. Попов [та ін.] // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2017. — № 4. — С. 49–56. – DOI: [10.15674/0030-59872017449-56](https://doi.org/10.15674/0030-59872017449-56).

222. Наследов А. SPSS 19: Профессиональный статистический анализ данных / А. Наследов. — СПб: Питер, 2011.

223. Образцов И. Ф. Проблемы прочности в биомеханики / И. Ф. Образцов, И. С. Адамович, А. С. Барер. — Москва: Высшая школа, 1988.

224. Березовский В. А. Биофизические характеристики тканей человека: Справочник / В. А. Березовский, Н. Н. Колотилов. Киев: Наукова думка, 1990.

225. Александров А.В. Сопротивление материалов / А.В.Александров, В.Д.Потапов, Б.П.Державин // Москва: Высшая школа, 2000.

226. A new method to include the gravitational forces in a finite element model of the scoliotic spine / J.Clin, C.-E. Aubin, N.Lalonde [et al.] // Med Biol Eng Comput. — 2011. — Vol. 49. — P. 967–977. DOI 10.1007/s11517-011-0793-4

227. Rajasekaran S. Thoracolumbar burst fractures without neurological deficit: the role for conservative treatment / S.Rajasekaran // Eur Spine J. — 2010. — Vol. 1(1). — P. S40–47. doi: 10.1007/s00586-009-1122-6.

228. Analysis of the independent risk factors of neurologic deficit after thoracolumbar burst fracture / P.Tang, A.Long, T.Shi [et al.] // J Orthop Surg Res. — 2016. — Vol. 11. — P. 128. <https://doi.org/10.1186/s13018-016-0448-0>

229. Are “Unstable” Burst Fractures Really Unstable? / J.H. Woo, H.W. Lee, H.J. Choi, Y.M.Kwon // Journal of Korean Neurosurgical Society. — 2021. — Vol. 64(6). — P. 944–949. DOI: <https://doi.org/10.3340/jkns.2021.0080>.

230. Экспериментальное моделирование взрывных переломов грудопоясничного отдела позвоночника / В.А.Радченко, К.А.Попсуйшапка, М.Ю.Карпинский [и др.] // Травма. — 2017. — Т. 18(2). — С. 46–52. DOI: [10.22141/1608-1706.2.18.2017.102558](https://doi.org/10.22141/1608-1706.2.18.2017.102558)

231. Попсуйшапка К. О. Визначення ролі збагаченого тромбоцитами фібрину в процесі регенерації дефекту тіла хребця (експериментальне дослідження) / К. О.Попсуйшапка, Н. О.Ашукіна, В. О. Радченко // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2017. — № 3(608). — С. 32–38. doi: 10.15674/0030-59872017332-38

232. Spinal column injuries among Americans in the global war on terrorism / J.A. Blair, J.C. Patzkowski, A.J. Schoenfeld [et al.] // J Bone Joint Surg Am. — 2012. — Vol. 94(18). — e135(1–9).

233. Military penetrating spine injuries compared with blunt / J.A. Blair, D.R. Possley, J.L. Petfield [et al.] // Spine J. — 2012. — Vol. 12(9). — P. 762–768.

234. Combat wounds in Iraq and Afghanistan from 2005 to 2009 / P.J. Belmont Jr, B.J. McCriskin, R.N. Sieg [et a.] // J Trauma Acute Care Surg. — 2012. — Vol. 73(1). — P. 3–12.

235. Characteristics of Combat-Related Spine Injuries: A Review of Recent Literature / J.D. Bernstock, C.M. Caples, S.C. Wagner [et al.] // Military Medicine. — 2015. — Vol. 180. — P. 5–503. doi: 10.7205/MILMED-D-14-00215

236. Identifying Spinal Injury Patterns in Underbody Blast to Develop Mechanistic Hypotheses / E. Spurrier, I. Gibb, S. Masouros, J.Clasper // SPINE. — 2016. — Vol. 41(5). — P. E268–E275. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001213

237. Kang D.G. Wartime spine injuries: understanding the improvised explosive device and biophysics of blast trauma / D.G. Kang, R.A. Lehman Jr, E.J. Carragee // Spine J. — 2012. — Vol. 12(9). — P. 849–857.

238. The modern deck-slap injuries: 3-year outcomes of calcaneal blast fractures / A. Ramasamy, A.M. Hill, R. Phillip [et al.] // J Bone Joint Surg Br. — 2012. — Vol. 94-B. — P.27.

239. Blast mines: physics, injury mechanisms and vehicle protection / A. Ramasamy, A.M. Hill, A.E. Hepper [et al.] // J R Army Med Corps. — 2009. — Vol. 155. — P.258–264.

240. Fractures of the thoracolumbar spine sustained by soldiers in vehicles attacked by improvised explosive devices / B.T. Ragel, C.D. Allred, S. Brevard [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). — 2009. — Vol. 34. — P. 2400–2405.

241. Thoracolumbar spine trauma in military environments / B.D. Stemper, G.R. Paskoff, R.J. Fijalkowski [et al.] // Minerva Ortop Traumatol. — 2011. — Vol.62. — P.397–412.

242. Schoenfeld A.J. Evaluation and management of combat-related spinal injuries: a review based on recent experiences / A.J. Schoenfeld, R.A. Lehman Jr, J.R. Hsu // Spine J. — 2012. — Vol. 12(9). — P. 817–823.

243. The management and functional outcome of isolated burst fractures of the fifth lumbar vertebra / J.S. Butler, P. Fitzpatrick, A.M. Ni Mhaolain [et al.] // Spine. — 2007. — Vol. 32(4). — P. 443–447.

244. Dai L.D. Low lumbar spinal fractures: management options / L.D. Dai // Injury. — 2002. — Vol. 33(7). — P. 579–582.

245. Functional outcome of low lumbar burst fractures. A multicenter review of operative and nonoperative treatment of L3-L5 / E.A. Seybold, C.A. Sweeney, B.E. Fredrickson [et al.] // Spine. — 1999. — Vol. 24(20). — P. 2154–2161.

246. Incidence and morbidity of concomitant spine fractures in combat-related amputees / A.J. Bevevino, R.A. Lehman Jr, S.M. Tintle [et al.] // Spine J. — 2014. — Vol. 14(4). — P. 646–650.

247. Potter B.K. Amputation is not isolated: an overview of the US Army Amputee Patient Care Program and associated amputee injuries / B.K. Potter, C.R. Scoville // J Am Acad Orthop Surg. — 2006. — Vol. 14(10). — P. S188–190.

248. Skeletal Trauma Research Consortium: Multiple associated injuries are common with spine fractures during war / J.C. Patzkowski, J.A. Blair, A.J. Schoenfeld [et al.] // Spine J. — 2012. — Vol. 12(9). — P. 791–797.

249. The changing nature of admissions to a spinal cord injury center: violence on the rise / J.C. Farmer, A.R. Vaccaro, R.A. Balderston [et al.] // *J Spinal Disord.* — 1998. — Vol. 11. — P.400–403.

250. Robertson D.P. Lumbar disc herniation from a gunshot wound to the spine: a report of two cases / D.P. Robertson, R.K. Simpson, R.K. Narayan // *Spine (Phila Pa 1976).* — 1991. — Vol.16. — P.994–995.

251. Jaiswal M. Concept of gunshot wound spine / M. Jaiswal, R.S.Mittal // *Asian Spine J.* — 2013. — Vol. 7(4). — P. 359–364. doi: 10.4184/asj.2013.7.4.359.

252. Yoshida G.M. Gunshot wounds to the spine / G.M. Yoshida, D. Garland, R.L.Waters // *Orthop Clin North Am.* — 1995. — Vol. 26. — P.109–116.

253. Waters R.L. Spinal cord injuries from gunshot wounds to the spine // R.L. Waters, I.H.Sie // *Clin Orthop Relat Res.* — 2003. — Vol.408. — P.120–125.

254. Reoperation after in-theater combat spine surgery / P.M. Formby, S.C. Wagner, D.G. Kang // *Spine J.* — 2016. — Vol. 16(3). — P. 329–334. doi: 10.1016/j.spinee.2015.11.027.

255. Upper thoracic spinal cord injury without vertebral bony lesion: a report of two cases / M. Koizumi, Y. Ueda, J. Iida [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2002. — Vol.27. — P.E467–470.

256. Penetrating gunshot wounds of the cervical spine in civilians: review of 38 cases / J.S. Heiden, M.H. Weiss, A.W. Rosenberg [et al.] // *J Neurosurg*. — 1975. — Vol. 42. — P.575–579.

257. Intradural migration of a bullet following spinal gunshot injury / A.M. Kafadar, R. Kemerdere, C. Isler, M.Hanci // *Spinal Cord*. — 2006. — Vol.44. — P.326–329.

258. Spinal gunshot wounds: A retrospective, multicenter, cohort study / G. Ricciardi, O. Martinez, J. Cabrera [et al.] // *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. — 2023. — Vol. 7. — P.S1888–4415(23)00165-0. English, Spanish. doi: 10.1016/j.recot.2023.07.001.

259. Gunshot injuries of the spine / A. Jakoi, J. Iorio, R. Howell, J.M. Zampini // *Spine J*. — 2015. — Vol. 15. — P. 2077–2085. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spinee.2015.06.007>.

260. Complete paraplegia following gunshot injury without direct trauma to the cord / Y. Mirovsky, E. Shalmon, A. Blankstein, N.Halperin // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2005. — Vol. 30. — P.2436–2438.

261. Bono C.M. Gunshot wounds to the spine / C.M. Bono, R.F.Heary // Spine J. — 2004. — Vol. 4. — P.230–240.

262. American Spinal Injury Association A (sensory and motor complete) is not different from American Spinal Injury Association B (sensory incomplete, motor complete) in gunshot-related spinal cord injury / E. McCoy, N. Eftekhary, K. Nwosu [et al.] // Spine J. — 2017. — Vol. 17. — P. 1846–1849. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spinee.2017.06.016>.

263. A case series of penetrating spinal trauma: comparisons to blunt trauma, surgical indications, and outcomes / K.D. Morrow, A.G. Podet, C.P. Spinelli [et al.] // Neurosurg Focus. — 2019. — Vol. 46. — P. E4, <http://dx.doi.org/10.3171/2018.12.FOCUS18577>.

264. Roach M.J. Comparing blunt and penetrating trauma in spinal cord injury: analysis of long-term functional and neurological outcomes / M.J. Roach, Y. Chen, M.L.Kelly // Top Spinal Cord Inj Rehabil. — 2018. — Vol. 24. — P.121–132, <http://dx.doi.org/10.1310/sci2402-121>.

265. Penetrating spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis of clinical features and treatment outcomes / O. Bin-Alamer, L.S. Bhenderu, C. Stuebe [et al.] // Spinal Cord. — 2022. — Vol. 60. — P. 845–853. <http://dx.doi.org/10.1038/s41393-022-00813-x>.

266. Surgical intervention is associated with improvements in the ASIA impairment scale in gunshot-induced spinal injuries of the thoracic and lumbar spine / B.C. Goh, B.M. Striano, A.M. Crawford [et al.] // *Clin Spine Surg.* — 2022. — Vol. 35. — P. 323–327, <http://dx.doi.org/10.1097/BSD.0000000000001308>.

267. Steroids and gunshot wounds to the spine / R.F. Heary, A.R. Vaccaro, J.J. Mesa [et al.] // *Neurosurgery.* — 1997. — Vol. 41. — P. 576–584. <http://dx.doi.org/10.1097/00006123-199709000-00013>.

268. Rosenfeld J.V. Current Concepts in Penetrating and Blast Injury to the Central Nervous System / J.V.Rosenfeld, R.S. Bell, R.Armonda // *World J Surg.* — 2015. — Vol. 39. — P.1352–1362. <https://doi.org/10.1007/s00268-014-2874-7>

269. U.S. Department of the Army: Emergency War Surgery. Washington, DC, Borden Institute, Walter Reed Medical Center, U.S. Department of the Army, 2004.

270. Schoenfeld A.J. Characterization of combat-related spinal injuries sustained by a US Army Brigade Combat Team during Operation Iraqi Freedom / A.J. Schoenfeld, G.P. Goodman, P.J. Belmont Jr // *Spine J.* — 2012. — Vol. 12(9). — P. 771–776.

