

## ОРИГІНАЛЬНІ СТАТТІ

УДК 616.711-001.5-039.35:616.71-007.234](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-5987202435-12>**Прогнозування повторних остеопоротичних переломів хребців грудного та поперекового відділів (експериментальне дослідження)****А. І. Попов, М. В. Молодюк**

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

*Objective.* To analyze the patterns of occurrence of postoperative recurrent vertebral compression fractures (RVCF) depending on the location of the primary fracture after puncture vertebroplasty. *Methods.* 520 case histories of patients with osteoporotic fractures of the thoracic and lumbar spine of various locations were analyzed. The total number of treated vertebral bodies was 1,458 (thoracic 596 — 40.88 %, lumbar 862 — 59.12 %). Most often, compression fractures of the spine occurred in the thoracolumbar junction (784 — 53.77 %). RVCF was diagnosed in 64 (12.31 %) people (95 % CI: 9.94–14.68 %) during follow-up examinations, after 1, 3, 6 or 12 months since the operation. The study was carried out by 3 methods of forecasting: assessment of conditional probabilities, study of the significance of a primary fracture as a predictor of repeated fracture in a specific vertebra, analysis of associative rules and relationships. *Results.* According to the 1st method, all conditional probabilities do not exceed 0.4 and the highest of them are the probabilities  $L_I$  and  $L_{IV}$  RVCF (0.39) with a primary  $Th_{VI}$  fracture, and the probability of  $Th_{VIII}$  RVCF (0.38) with a  $Th_V$  primary fracture. Method II found only two regularities that allow an interpretation that corresponds to the purpose of our research. The third method revealed the associative rules and connections of the primary fracture of  $Th_V$  with RVCF  $L_I$ ,  $Th_{XII}$ ; according to  $Th_{VI}$  with RVCF  $L_I$ ,  $L_{II}$ ; in the case of  $Th_{VIII}$  with RVCF  $L_I$ ,  $Th_{XII}$ ;  $Th_X$  fracture with  $Th_X$ ,  $Th_{XI}$ ,  $Th_{XII}$ ,  $L_{II}$  RVCF; under  $Th_{XI}$  conditions with  $Th_V$ ,  $Th_{VII}$ ,  $Th_{VIII}$ ,  $Th_{IX}$ ,  $Th_X$ ,  $Th_{XII}$  RVCF; for  $Th_X$  with RVCF  $Th_{IX}$ ,  $Th_{XI}$ ,  $Th_{XII}$ ,  $L_{II}$ ;  $Th_X$  fracture with  $Th_X$ ,  $Th_{XI}$ ,  $Th_{XII}$ ,  $L_{II}$  RVCF. *Conclusions.* Prediction of repeated osteoporotic fractures is an important and topical problem of today's vertebratology. Our study shows the most vivid patterns that are characteristic of the general sample of patients, namely: with a primary fracture of  $Th_{XI}$  — a new deformation of  $Th_{VIII}$  is possible; in the case of  $Th_{VII}$  — new fractures of  $Th_{IX}$ ,  $Th_{XII}$ ,  $L_I$ ; for  $Th_{XII}$  — injuries of  $Th_{XI}$ ; primary  $L_I$  — new  $Th_{XII}$ ,  $L_{IV}$ ,  $L_V$ . *Key words.* Vertebral fractures, repeated compression fracture, predictors, prognosis, prevention, osteoporosis, patterns.

*Мета.* Проаналізувати закономірності виникнення післяопераційних повторних компресійних переломів хребців (ПКПХ) залежно від розташування первинного перелому після пункційної вертебропластики. *Методи.* Проаналізовано 520 історій хвороб пацієнтів із остеопоротичними переломами грудного і поперекового відділів хребта різної локалізації. Загальна кількість пролікованих тіл хребців склала 1 458 (грудний відділ 596 — 40,88 %, поперековий 862 — 59,12 %). Найчастіше компресійні переломи хребта виникали у грудо-поперековому переході (784 — 53,77 %). ПКПХ діагностовано в 64 (12,31 %) осіб (95 % ДІ: 9,94–14,68 %), під час контрольних оглядів, після 1, 3, 6 або 12 міс. з моменту операції. Дослідження проводилося 3 способами прогнозування: оцінювання умовних імовірностей, вивчення значущості первинного перелому як предиктора повторного перелому в конкретному хребці, аналіз асоціативних правил і зв'язків. *Результати.* Відповідно до I способу, усі умовні ймовірності не перевищують 0,4 і найвищими з них є ймовірності ПКПХ  $L_I$  і  $L_{IV}$  (0,39) за умови первинного перелому  $Th_{VI}$ , та ймовірність ПКПХ  $Th_{VIII}$  (0,38) за первинного перелому  $Th_V$ . Способом II знайдено лише дві закономірності, що дозволяють інтерпретацію, яка відповідає меті нашого дослідження. Третій спосіб виявив асоціативні правила та зв'язки первинного перелому  $Th_V$  з ПКПХ  $L_I$ ,  $Th_{XII}$ ; за  $Th_{VI}$  з ПКПХ  $L_I$ ,  $L_{II}$ ; у разі  $Th_{VIII}$  з ПКПХ  $L_I$ ,  $Th_{XII}$ ; перелому  $Th_X$  з ПКПХ  $Th_{IX}$ ,  $Th_{XI}$ ,  $Th_{XII}$ ,  $L_{II}$ ; за умов  $Th_{XI}$  з ПКПХ  $Th_V$ ,  $Th_{VII}$ ,  $Th_{VIII}$ ,  $Th_{IX}$ ,  $Th_X$ ,  $Th_{XII}$ ; за  $Th_X$  з ПКПХ  $Th_{IX}$ ,  $Th_{XI}$ ,  $Th_{XII}$ ,  $L_{II}$ ; перелому  $Th_X$  з ПКПХ  $Th_{IX}$ ,  $Th_{XI}$ ,  $Th_{XII}$ ,  $L_{II}$ . *Висновки.* Прогнозування повторних остеопоротичних переломів — важлива й актуальна проблематика сьогодення вертебратології. Наше дослідження показує найбільш яскраві закономірності, які характерні для загальної вибірки пацієнтів, а саме: за первинного перелому  $Th_{XI}$  — можлива нова деформація  $Th_{VIII}$ ; у разі  $Th_{VII}$  — нові переломи  $Th_{IX}$ ,  $Th_{XII}$ ,  $L_I$ ; за  $Th_{XII}$  — травми  $Th_{XI}$ ; первинного  $L_I$  — нові  $Th_{XII}$ ,  $L_{IV}$ ,  $L_V$ .

**Ключові слова.** Переломи хребців, повторний компресійний перелом, предиктори, прогнозування, профілактика, остеопороз, закономірності

## Вступ

Наразі серед вертебрологів широко визнаний ризик післяопераційних повторних компресійних переломів хребців (ПКПХ) у пацієнтів, які перенесли пункційну вертебропластику (ПВП). У попередніх дослідженнях опубліковано незалежні чинники ризику пов'язаних з ними [1, 2]. Виявлено, що ймовірність ПКПХ у пацієнтів з остеопорозом після ПВП, може сягати 34,8 %. [3, 4] Згідно з літературними джерелами, незалежними факторами ризику ПКПХ є місце перелому, витік цементу, похилий вік, сагітальний біомеханічний дисбаланс і низька щільність кісткової тканини. Останніми роками дедалі більше вертебрологів зосередили свою увагу на детальнішому розробленні та перевірці прогностичних моделей для ПКПХ після ПВП. У моделі, запропонованій Y. Qian та співавт., предиктори включали мінеральну щільність кісткової тканини (МЩКТ), витік і морфологію цементу з відповідними AUC 0,848 і 0,867 для навчальних і перевірочних наборів [5]. У дослідженні Y. Ma та співавт. факторами ризику ПКПХ назвали жіночу стать, цереброваскулярні захворювання, попередні переломи та міжхребцевий витік цементу [6]. C. Dai та співавт. у своїй моделі виявили, що в популяції осіб у постменопаузі витік цементу, кут Коба, оцінка больового синдрому за шкалою ВАШ і лікування остеопорозу є незалежними предикторами [7]. Проте лише в небагатьох експериментах використовували візуальні математичні моделі для більш чіткого й інтуїтивного наведення даних. Усе більша кількість учених проводить відповідні дослідження та створює різні номограми для прогнозування появи ПКПХ [8, 9] та спрямовує їх на вивчення ризику переломів хребців після вертебропластики. Ми зробили спробу знайти закономірності ПКПХ для визначення конкретного місця виникнення майбутньої травми, залежно від розташування первинної, з метою попередження можливості появи ПКПХ після ПВП.

*Мета:* проаналізувати закономірності виникнення післяопераційних повторних компресійних переломів хребців залежно від розташування первинного перелома після пункційної вертебропластики.

## Матеріали і методи

Матеріали роботи розглянуто на засіданні комітету з біоетики при ДУ «ІПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» від 13.06.2022 р. № 224.

Ретроспективне дослідження здійснено на підставі аналізу історій хвороб 520 пацієнтів із остеопоротичними переломами грудного і поперекового відділів хребта з переломами тіл хребців різної локалізації, які в період із 2014 по 2024 рік отримали лікування в відділі вертебрології ДУ «ІПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України». Вік хворих становив від 54 до 89 років (середній — 64 роки). Розподіл за статтю в досліджуваній вибірці неоднорідний із переважанням жінок (82,50 % (95 % ДІ: 79,76–85,24 %) проти 17,50 % (95 % ДІ: 14,76–20,24 %):  $Z = 21,0$ ;  $p < 0,000001$ ).

Загальна кількість пролікованих тіл хребців складала 1 458 (грудний відділ 596 — 40,88 %, поперековий 862 — 59,12 %). Найчастіше компресійні переломи хребта виникали у грудно-поперековому переході (784 — 53,77 %). ПКПХ діагностовано в 64 (12,31 %) осіб (95 % ДІ: 9,94–14,68 %), під час контрольних оглядів, після 1, 3, 6 або 12 міс. з моменту операції. Термін спостереження склав 10 років.

Як потенційні предиктори ПКПХ розглядалися дані про місце (хребець) первинного перелома, ступінь компресії, кількість ушкоджених хребців у грудному і поперековому відділах; а також відомості про наявність/відсутність у пацієнта таких супутніх патологій як дегенеративний сколіоз, гіперкіфоз, серцево-судинні чи захворювання ендокринної системи.

Опис даних щодо частоти переломів певних хребців надано у вигляді абсолютних і відносних частот із 95 % довірчими інтервалами. Статистична значущість відмінностей між відносними частотами перелому кожного хребця за первинного і ПКПХ перевірялася за допомогою  $Z$  критерію для двох пропорцій за довірчої ймовірності 95 %.

Наведені результати дозволяють уявити загальну картину щодо частоти переломів певних хребців у випадках як первинного остеопоротичного перелома, так і ПКПХ. Проте вони не дають відповіді на питання, яким чином пов'язані первинні переломи в окремому хребці з переломом конкретного хребця в повторному випадку. На це питання ми шукали відповідь 3 способами прогнозування.

### *I — оцінювання умовних імовірностей*

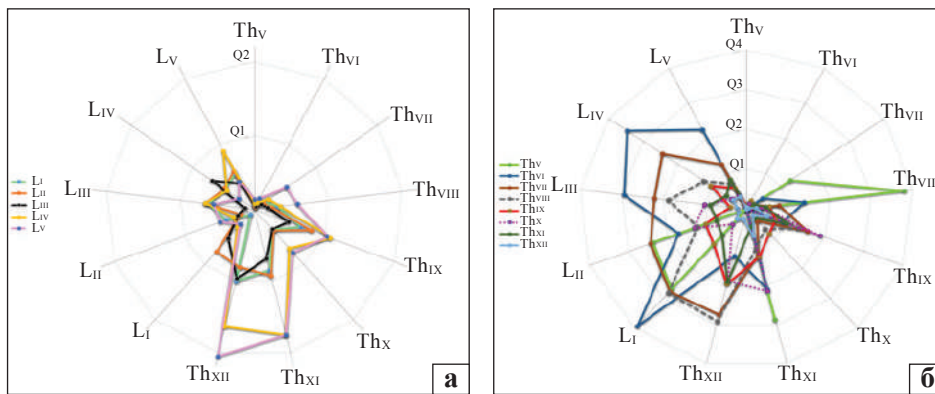
Одним зі способів визначення зв'язку первинного і вторинного переломів є аналіз імовірності перелому певного хребця в разі повторного остеопоротичного перелома хребта. Показники цих умовних імовірностей наведено на рис. 1 а, б.

II — вивчення значущості первинного перелому як предиктора повторного перелому в конкретному хребці

Оцінювання значущості наявності/відсутності ушкоджень кожного з хребців у разі первинного остеопоротичного перелому для прогнозування наявності/відсутності перелому в конкретному хребці з ПКПХ здійснено на підставі критерію  $\chi^2$ , реалізованого в модулі Feature selection and variable screening пакета STATISTICA. Для аналізу відібрано дані пацієнтів із ПКПХ (64 спостереження). Як залежні змінні послідовно обиралися бінарні показники, що вказували на наявність/відсутність ушкодження; за потенційні предиктори — бінарні змінні, які свідчать про наявність/відсутність перелому певного хребця в первинному переломі.

III — аналіз асоціативних правил і зв'язків

Виконано за допомогою модуля Link analysis пакета STATISTICA. Для аналізу вибрано дані пацієнтів з ПКПХ (64 спостереження). Під час вилучення зі загального набору цих значень встановлено мінімальну підтримку 1 % (для дослідження навіть тих асоціацій, які майже не зустрічаються) із надійністю більше 50 %. Пошук закономірностей обмежено вивченням лише випадків, коли усі дихотомічні змінні приймали значення 1 (відповідає наявності перелому в тому чи іншому хребці). Загалом, за вказаних налаштувань, залучено в дослідження 1 038 асоціативних правил, із яких ми розглядали лише ті, в яких була інформація про ушкодження хребців у первинному переломі, та повторному.



**Рис. 1.** Умовні ймовірності ПКПХ таких відділів хребта: а) поперекового (різними лініями позначено хребці поперекового відділу в первинному переломі, осі графіку — ПКПХ); б) грудного (різними лініями позначено хребці грудного відділу в первинному переломі, осі графіку — ПКПХ)

Таблиця 1

**Порівняльний аналіз частот ушкодження окремих хребців поперекового і грудного відділів хребта за первинного та ПКПХ**

Хребець	Частота переломів				Значущість відмінностей	
	первинно (n=520)		повторно (n=64)		Z	p
	абс.	%; (ДИ—95%)	абс.	%; (ДИ—95%)		
ThIII	1	0,19; (-0,12—0,51)	0	0,00; (0,00—0,00)	0,4	0,360
ThIV	6	1,15; (0,38—1,92)	0	0,00; (0,00—0,00)	0,9	0,190
ThV	8	1,54; (0,65—2,43)	4	6,25; (1,27—11,23)	2,5	0,006
ThVI	22	4,23; (2,78—5,68)	5	7,81; (2,29—13,33)	1,3	0,090
ThVII	39	7,50; (5,60—9,40)	8	12,50; (5,70—19,30)	1,4	0,080
ThVIII	46	8,85; (6,80—10,89)	12	18,75; (10,72—26,78)	2,5	0,006
ThIX	55	10,58; (8,36—12,80)	16	25,00; (16,10—33,90)	3,3	0,001
ThX	43	8,27; (6,28—10,26)	12	18,75; (10,72—26,78)	2,7	0,003
ThXI	99	19,04; (16,21—21,87)	18	28,13; (18,88—37,37)	1,7	0,040
ThXII	194	37,31; (33,82—40,80)	21	32,81; (23,16—42,47)	0,7	0,240
LI	241	46,35; (42,75—49,94)	17	26,56; (17,48—35,64)	3,0	0,001
LII	197	37,88; (34,39—41,38)	15	23,44; (14,73—32,15)	2,3	0,010
LIII	166	31,92; (28,56—35,29)	17	26,56; (17,48—35,64)	0,9	0,190
LIV	130	25,00; (21,88—28,12)	15	23,44; (14,73—32,15)	0,3	0,390
LV	78	15,00; (12,42—17,58)	13	20,31; (12,04—28,58)	1,1	0,130

Це безпосередньо відповідало меті роботи й дозволило уникнути розгляду зайвих побічних зв'язків. Таким чином, залишилося 106 асоціативних правил, які відповідають заданим умовам (табл. 3).

### Результати

Відповідно до даних, отриманих I способом, усі умовні ймовірності не перевищують 0,4 і найвищими з них є можливість ПКПХ  $L_I$  і  $L_{IV}$  (0,39) за умови первинного перелому  $Th_{VI}$ , та  $Th_{VIII}$  (0,38) за умови первинного перелому  $Th_V$ . Також великі ймовірності в разі первинного перелому  $Th_{VI}$  із подальшим ПКПХ  $L_{III}$  і  $L_V$ ; (0,29; 0,22); за первинного перелому  $Th_{VII}$  — ПКПХ  $Th_{XI}$ ,  $L_I$ ,  $L_{II}$ ,  $L_{III}$  і  $L_{IV}$  (0,27; 0,27; 0,24; 0,22; 0,24); за первинного перелому  $Th_V$  — ПКПХ  $Th_{XI}$ ,  $L_I$  і  $L_{II}$  (0,28; 0,26; 0,23); за первинного перелому  $Th_{VIII}$  — ПКПХ  $Th_{XI}$  і  $L_I$  (0,28; 0,28). Таким чином, у разі первинного перелому  $Th_{VI}$ , найвища ймовірність ПКПХ  $L_I$ ,  $L_{IV}$  (0,39). За результатами II способу виявлено, що, по-перше, скринінг не наводить значущих предикторів ушкоджень хребців  $Th_V$ ,  $Th_{VI}$  і  $Th_X$  у повторному переломі серед показників наявності травми окремих хребців у первинному переломі. По-друге, деформація  $Th_V$  значущий предиктор наявності/відсутності ПКПХ  $Th_{VIII}$ , а  $Th_{VI}$  — ПКПХ  $L_{IV}$ , у разі деформації  $Th_{VII}$  — ПКПХ  $L_{II}$  і  $L_{IV}$ , перелом  $Th_{VIII}$  — ПКПХ  $L_I$ , травма  $Th_X$  — ПКПХ  $Th_{IX}$ ,  $Th_{XI}$  і  $L_{II}$ , а  $L_{IV}$  — ПКПХ  $Th_{XI}$ ,  $L_I$  і  $L_V$ , деформація  $L_V$  — ПКПХ  $Th_{VII}$ .

Знайдено лише дві закономірності, які дозволяють інтерпретацію, що відповідає меті нашого дослідження. Обидві вони стосуються ушкодження в первинному переломі хребця  $Th_X$ , визначені як значущі предиктори наявності/відсутності ПКПХ  $Th_{IX}$  і  $Th_{XI}$  (табл. 2) у повторному остеопоротичному переломі.

Дійсно, за відсутності первинного перелому  $Th_X$  маємо 47 випадків, коли в разі повторного перелому  $Th_{IX}$  не було зламано, і 12 спостережень, коли  $Th_{IX}$  зазнав ушкоджень. Порівнюючи відповідні відносні частоти (79,66 % ДІ: 71,04–88,28 % проти 20,34 % ДІ: 11,72–28,96 %) бачимо статистично значущу різницю між ними ( $Z = 6,4$ ;  $p < 0,0001$ ), що дозволяє зробити висновки, що за відсутності ушкоджень  $Th_X$  у первинному переломі слід очікувати їх в разі травм  $Th_{IX}$  у повторному переломі. До того ж правильно і зворотне, бо за наявності ушкоджень  $Th_X$  у первинному переломі статистично значущо переважають випадки ураження  $Th_{IX}$  у повторному переломі (80,0 % ДІ: 50,58–100,09 % проти 20,0 % ДІ: 9,42–49,42 %:  $Z = 1,9$ ;  $p = 0,0289 < 0,05$ ).

Аналогічно, за наявності ушкоджень хребця  $Th_X$  у первинному переломі, частка випадків, в яких у разі повторного перелому травмується  $Th_{XI}$ , є більшою, ніж у разі відсутності переломів цього хребця (80,0 % ДІ: 50,58–100,09 % проти 20,0 % ДІ: 9,42–49,42 %:  $Z = 1,9$ ;  $p = 0,0289 < 0,05$ ). І водночас, за відсутності травми хребця  $Th_X$  у первинному переломі, частка випадків, в яких

Таблиця 2

### Результати скринінга важливості та значущості змінних у разі ПКПХ $Th_{IX}$ та $Th_{XI}$

Значущий предиктор наявності/відсутності ПКПХ (v1 = «повторно»)					
первинний перелом (хребець)	$Th_X(Th_X)$		первинний перелом (хребець)	$Th_{IX}(Th_X)$	
	chi-square	p-value		chi-square	p-value
	$Th_{IX}$		$Th_{XI}$		
$Th_X$	8,750	0,003	$Th_X$	7,220	0,007
$L_{IV}$	1,550	0,210	$L_{IV}$	6,880	0,008
$Th_{XI}$	1,090	0,290	$L_V$	3,490	0,060
$L_{II}$	1,070	0,300	$Th_{XI}$	1,690	0,190
$Th_V$	0,680	0,400	$Th_V$	0,480	0,480
$L_V$	0,540	0,450	$Th_{IX}$	0,390	0,520
$Th_{VI}$	0,480	0,480	$L_I$	0,390	0,520
$Th_{VIII}$	0,380	0,530	$Th_{VII}$	0,380	0,530
$L_I$	0,330	0,560	$L_{II}$	0,300	0,580
$Th_{VII}$	0,150	0,690	$Th_{VIII}$	0,180	0,670
$L_{III}$	0,100	0,740	$Th_{XII}$	0,150	0,680
$Th_{XII}$	0,020	0,870	$L_{III}$	0,001	0,960
—	—	—	$Th_{VI}$	0,001	0,970

у разі повторного перелому ушкоджується  $Th_{XI}$ , є статистично значущо меншою, ніж за відсутності переломів цієї локалізації (23,73 % ДІ: 14,62–32,84 % проти 76,27 % ДІ: 67,16–85,38 %:  $Z = 5,7$ ;  $p < 0,0001$ ). Отже, серед значущих зв'язків між хребцями в первинних і ПКПХ, інформативними з огляду на мету нашого дослідження були лише два. Вони стосувалися зв'язку ушкоджень  $Th_X$  у первинному переломі з наявністю травм хребців  $Th_{IX}$  і  $Th_{XI}$  у випадку ПКПХ. Така ситуація змусила шукати способи дослідження залежностей між первинними і повторними переломами певних хребців із концентрацією саме на випадках наявності переломів, а також з урахуванням можли-

вого існування більш складних, ніж парні зв'язки, закономірностей, що було зроблено за допомогою аналізу асоціативних правил (III спосіб). Нижче ми розглянули вилучені правила окремо для кожного та разом із декількома хребцями у первинному переломі, виходячи з мети охарактеризувати їхні можливі зв'язки з ПКПХ (табл. 3).

### Обговорення

Це дослідження мало на меті оцінити зв'язки трьома способами/методами аналізу даних, які дозволили вивчити як вплив первинного перелому кожного хребця окремо, так і у поєднанні з переломами інших локалізацій.

Таблиця 3

**Асоціативні правила, які пов'язують ушкодження певних хребців грудного і поперекового відділів у разі первинного остеопоротичного перелому у випадку ПКПХ**

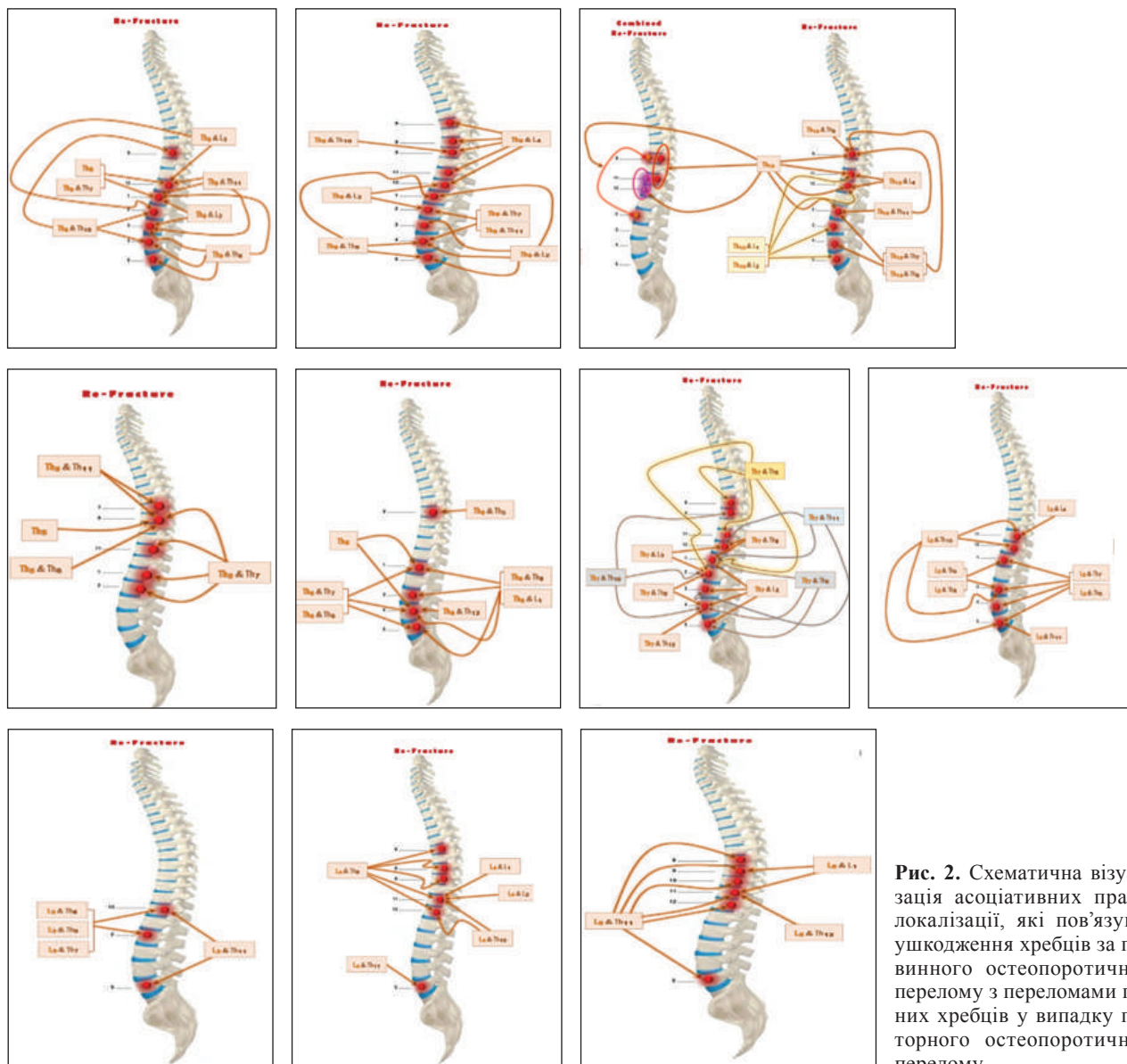
Первинний перелом	Самостійний ПКПХ	ПКПХ за поєднання декількох первинних переломів	Коментар
1	2	3	4
$Th_V$	$Th_{VIII}$	$Th_V + Th_{XI} = Th_{VII}, Th_{VIII}$ ; $Th_V + Th_{VI} = Th_{VIII}$ ; $Th_V + Th_{VII} = Th_{VIII}, Th_{XI}, L_I, L_{II}$	Наявність ушкодження $Th_V$ у первинному остеопоротичному переломі асоціюється в нашому дослідженні з появою нових деформацій хребців $Th_{VII}, Th_{VIII}, Th_{XI}, L_I$ і $L_{II}$
$Th_{VI}$	$L_I, L_{II}$	$Th_{VI} + Th_V = Th_{VIII}$ ; $Th_{VI} + Th_{VII} = L_I, L_{IV}, L_V$ ; $Th_{VI} + Th_{VIII} = L_I, L_{III}$ ; $Th_{VI} + Th_{IX} = L_I, L_{IV}, L_V$ ; $Th_{VI} + Th_{XII} = L_{IV}$ ; $Th_{VI} + L_I = L_I, L_{III}, L_{IV}, L_V$	Самостійні переломи $Th_{VI}$ асоціювалися лише зі вторинними переломами $L_I$ і $L_{IV}$ . Вторинні переломи у хребці $Th_{VIII}$ — з первинним переломом $Th_{VI}$ і $Th_V$
$Th_{VII}$	Самостійні первинні переломи $Th_{VII}$ не породжували жодних асоціативних правил	$Th_{VII} + Th_V = Th_{VIII}, Th_{XI}, L_I, L_{II}$ ; $Th_{VII} + Th_{VI} = L_I, L_{IV}, L_V$ ; $Th_{VII} + Th_{VIII} = Th_{XII}, L_I$ ; $Th_{VII} + Th_{IX} = L_{II}, L_{IV}$ ; $Th_{VII} + Th_X = Th_{IX}, L_{II}, L_{IV}$ ; $Th_{VII} + Th_{XI} = Th_{XII}, L_I, L_{III}$ ; $Th_{VII} + Th_{XII} = L_I - L_{IV}$ ; $Th_{VII} + L_{II} = L_I, L_{III}, L_{IV}, L_V$ ; $Th_{VII} + L_{III} = Th_{XII}, L_{II}$	Усі вилучені правила включали випадки, коли первинний перелом в $Th_{VII}$ поєднувався з переломами одного з хребців грудного відділу ( $Th_V - Th_{XII}$ ), чи з переломом $L_{II}$ або $L_{III}$
$Th_{VIII}$	$L_I, Th_{XII}$	$Th_{VIII} + Th_{VI} = L_I, L_{III}, L_{IV}, L_V$ ; $Th_{VIII} + Th_{VII} = Th_{XII}, L_I$ ; $Th_{VIII} + Th_X = Th_{IX}, L_{II}, L_{IV}$ ; $Th_{VIII} + Th_{XI} = Th_{XII}, L_I, L_{III}$ ; $Th_{VIII} + L_{II} = L_I, L_{III}$ ; $Th_{VIII} + L_{III} = Th_{XII}, L_{II}$	Найбільше асоціативних правил містили закономірності, які призводять до ушкодження за повторного перелому хребця $L_I$ . Це як самостійні первинні переломи $Th_{VIII}$ , так і комбінації перелому цього хребця із переломами $Th_{VII}, Th_{XI}, Th_{VI}$ і $L_{II}$
$Th_{IX}$	Самостійні первинні переломи $Th_{IX}$ не породжували жодних асоціативних правил	$Th_{IX} + Th_{VI} = L_{IV}, L_V$ ; $Th_{IX} + Th_{VII} = L_{II}, L_{IV}$ ; $Th_{IX} + Th_X = Th_{IX}$ ; $Th_{IX} + Th_{XI} = L_{II}, L_{IV}$ ; $Th_{IX} + L_{II} = L_{III}, L_{IV}, L_V$ ; $Th_{IX} + L_{III} = Th_{XII}, L_{II}$	Усі вилучені правила включали випадки, коли первинний перелом у $Th_{IX}$ поєднувався з переломами одного з хребців грудного відділу ( $Th_{VI} - Th_{XII}$ ), чи з переломом $L_{II}, L_{III}$ або $L_{IV}$
$Th_X$	$Th_{IX}, Th_{XI}, Th_{XII}, L_{II}$	$Th_X + Th_{VII} = L_{II}, L_{IV}$ ; $Th_X + Th_{VIII} = L_{II}, L_{IV}$ ; $Th_X + Th_{IX} = Th_{IX}$ ; $Th_X + Th_{XI} = Th_{IX}, L_{II}$ ; $Th_X + L_I = Th_{XI}, Th_{XII}, L_{III}, L_V$ ; $Th_X + L_{II} = Th_{XI}, Th_{XII}, L_{III}, L_V$ ; $Th_X + L_{IV} = Th_{XI}, Th_{XII}$	Вилучені асоціативні правила пов'язують самостійні первинні переломи $Th_X$ з повторними переважно грудного відділу. Це окремі ушкодження за повторного остеопоротичного перелому хребців $Th_{IX}, Th_{XI}, Th_{XII}$ і $L_{II}$ , а також поєднані повторні переломи $Th_{XI}$ і $Th_{XII}, Th_{XI}$ і $Th_{IX}, Th_{IX}$ і $L_{II}$

Продовження таблиці 3

1	2	3	4
Th <sub>XI</sub>	Th <sub>V</sub> , Th <sub>VII</sub> , Th <sub>VIII</sub> , Th <sub>IX</sub> , Th <sub>X</sub> , Th <sub>XII</sub>	Th <sub>XI</sub> + Th <sub>V</sub> = Th <sub>VII</sub> , Th <sub>VIII</sub> ; Th <sub>XI</sub> + Th <sub>VII</sub> = Th <sub>XII</sub> , L <sub>I</sub> , L <sub>III</sub> ; Th <sub>XI</sub> + Th <sub>VIII</sub> = Th <sub>XII</sub> , L <sub>I</sub> , L <sub>III</sub> ; Th <sub>XI</sub> + Th <sub>IX</sub> = L <sub>II</sub> , L <sub>IV</sub> ; Th <sub>XI</sub> + Th <sub>X</sub> = Th <sub>IX</sub> , L <sub>II</sub> ; Th <sub>XI</sub> + Th <sub>XII</sub> = L <sub>V</sub> ; Th <sub>XI</sub> + L <sub>I</sub> = L <sub>V</sub> ; Th <sub>XI</sub> + L <sub>II</sub> = L <sub>V</sub> ; Th <sub>XI</sub> + L <sub>III</sub> = L <sub>V</sub> ; Th <sub>XI</sub> + L <sub>IV</sub> = L <sub>V</sub> ; Th <sub>XI</sub> + L <sub>V</sub> = Th <sub>VIII</sub> , Th <sub>IX</sub> , Th <sub>X</sub> , Th <sub>XII</sub> , L <sub>V</sub> ;	Серед асоціативних правил з I способу, що включають ушкодження хребця Th <sub>XI</sub> за первинного остеопоротичного перелому, маємо широкий спектр зв'язків із новими переломами хребців, починаючи з Th <sub>VII</sub> і закінчуючи L <sub>V</sub>
Th <sub>XII</sub>	Самостійні первинні переломи Th <sub>XII</sub> не породжували жодних асоціативних правил	Th <sub>XII</sub> + Th <sub>VI</sub> = L <sub>IV</sub> ; Th <sub>XII</sub> + Th <sub>VII</sub> = L <sub>IV</sub> ; Th <sub>XII</sub> + Th <sub>XI</sub> = L <sub>V</sub> ; Th <sub>XII</sub> + L <sub>V</sub> = Th <sub>XI</sub>	Комбінації з первинними переломами Th <sub>VI</sub> , Th <sub>VII</sub> , Th <sub>XI</sub> і L <sub>II</sub> асоціювалися з новими деформаціями Th <sub>XI</sub> , L <sub>IV</sub> або L <sub>V</sub> хребців. Здебільшого первинний перелом Th <sub>XII</sub> поєднувався із новим переломом Th <sub>XI</sub>
L <sub>I</sub>	Самостійні первинні переломи L <sub>I</sub> не породжували жодних асоціативних правил	L <sub>I</sub> + Th <sub>VI</sub> = L <sub>I</sub> , L <sub>III</sub> , L <sub>IV</sub> , L <sub>V</sub> ; L <sub>I</sub> + Th <sub>X</sub> = Th <sub>XI</sub> , Th <sub>XII</sub> , L <sub>III</sub> , L <sub>V</sub> ; L <sub>I</sub> + Th <sub>XI</sub> = L <sub>V</sub> ; L <sub>I</sub> + L <sub>IV</sub> = Th <sub>XI</sub> ; L <sub>I</sub> + L <sub>V</sub> = Th <sub>IX</sub> , Th <sub>XI</sub>	Найчастіше були поєднання перелому L <sub>I</sub> із переломами L <sub>IV</sub> , Th <sub>XII</sub> і L <sub>V</sub> , порівняно рідкісними — з переломами Th <sub>X</sub> і Th <sub>VI</sub>
L <sub>II</sub>	Самостійні первинні переломи L <sub>II</sub> не породжували жодних асоціативних правил	L <sub>II</sub> + Th <sub>VI</sub> = L <sub>I</sub> , L <sub>II</sub> ; L <sub>II</sub> + Th <sub>VII</sub> = L <sub>I</sub> , L <sub>III</sub> , L <sub>IV</sub> , L <sub>V</sub> ; L <sub>II</sub> + Th <sub>VIII</sub> = L <sub>I</sub> , L <sub>II</sub> ; L <sub>II</sub> + Th <sub>IX</sub> = L <sub>I</sub> , L <sub>III</sub> , L <sub>IV</sub> , L <sub>V</sub> ; L <sub>II</sub> + Th <sub>X</sub> = Th <sub>XI</sub> , Th <sub>XII</sub> , L <sub>III</sub> , L <sub>V</sub> ; L <sub>II</sub> + Th <sub>XI</sub> = L <sub>V</sub> ; L <sub>II</sub> + L <sub>IV</sub> = Th <sub>XI</sub> ;	Поєднання ушкоджень L <sub>II</sub> і L <sub>IV</sub> у первинному остеопоротичному переломі хребта асоціюється з новою деформацією Th <sub>XI</sub>
L <sub>III</sub>	Самостійні первинні переломи L <sub>III</sub> не породжували жодних асоціативних правил	L <sub>III</sub> + Th <sub>VII</sub> = Th <sub>XII</sub> , L <sub>II</sub> ; L <sub>III</sub> + Th <sub>VIII</sub> = Th <sub>XII</sub> , L <sub>II</sub> ; L <sub>III</sub> + Th <sub>IX</sub> = Th <sub>XII</sub> , L <sub>II</sub> ; L <sub>III</sub> + L <sub>II</sub> = Th <sub>XII</sub> , L <sub>V</sub> ;	Повторний перелом L <sub>II</sub> має частіше асоціації з первинним переломом Th <sub>VII</sub> , ніж з L <sub>III</sub> , а повторний перелом L <sub>V</sub> — із первинним переломом Th <sub>XI</sub> , ніж з L <sub>III</sub> . Перелом хребця L <sub>III</sub> не є основною причиною вторинних переломів вказаних хребців, а лише супроводжує переломи Th <sub>VII</sub> і Th <sub>XI</sub> .
L <sub>IV</sub>	Самостійні первинні переломи L <sub>IV</sub> не породжували жодних асоціативних правил	L <sub>IV</sub> + Th <sub>IX</sub> = Th <sub>V</sub> , Th <sub>VIII</sub> , Th <sub>XI</sub> , Th <sub>XII</sub> ; L <sub>IV</sub> + Th <sub>X</sub> = Th <sub>XI</sub> , Th <sub>XII</sub> ; L <sub>IV</sub> + Th <sub>XI</sub> = L <sub>V</sub> ; L <sub>IV</sub> + L <sub>I</sub> = Th <sub>XI</sub> ; L <sub>IV</sub> + L <sub>II</sub> = Th <sub>XI</sub>	Первинний перелом L <sub>IV</sub> у разі поєднання з переломом Th <sub>XI</sub> , асоційований із переломом L <sub>V</sub> за повторного остеопоротичного перелому хребта. L <sub>V</sub> є єдиним хребцем поперекового відділу, ушкодження якого у випадку повторного остеопоротичного перелому супроводжується травмою L <sub>IV</sub> у первинному переломі
L <sub>V</sub>	Самостійні первинні переломи L <sub>V</sub> не породжували жодних асоціативних правил	L <sub>V</sub> + Th <sub>XI</sub> = Th <sub>VIII</sub> , Th <sub>IX</sub> , Th <sub>X</sub> , Th <sub>XI</sub> , Th <sub>XII</sub> , L <sub>V</sub> ; L <sub>V</sub> + Th <sub>XII</sub> = Th <sub>XI</sub> , Th <sub>XII</sub> ; L <sub>V</sub> + L <sub>I</sub> = L <sub>V</sub> ;	Найчастіше повторюється L <sub>V</sub> разом із переломом Th <sub>XI</sub> , що асоціюється з ушкодженнями хребців Th <sub>VIII</sub> , Th <sub>X</sub> , Th <sub>XI</sub> , Th <sub>XII</sub> і L <sub>V</sub> у повторних остеопоротичних переломах

Деякі автори створювали номограми з використанням незалежних предикторів, для визначення ризику ПКПХ після ПВП. J. Zheng та співавт. побудували номограму на основі 3 незалежних предикторів: витік кісткового цементу та його погана дисперсія, переломи замикальної пластинки [10]. Q. Li та співавт. створили модель на основі 6 змінних: вік, доза кісткового цементу, його витік і дисперсія, контакт між кістковим цементом і замикальною пластинкою та лікування остеопорозу [11]. У роботі W. Li та співавт. включено 4 предиктори: жіноча стать, позитивний анамнез переломів, діагноз цереброваскулярного захворювання та витік кісткового цементу в міжхребцевий простір [12]. A. Zhang та співавт. під час побудови номограми використовували такі параметри: вік, індекс маси тіла, МЩКТ, витік кісткового цементу, висота хребця, лікування остеопорозу, коефіцієнт відновлення висоти хребця [13].

Деякі автори створювали номограми з використанням незалежних предикторів, для визначення ризику ПКПХ після ПВП. J. Zheng та співавт. побудували номограму на основі 3 незалежних предикторів: витік кісткового цементу та його погана дисперсія, переломи замикальної пластинки [10]. Q. Li та співавт. створили модель на основі 6 змінних: вік, доза кісткового цементу, його витік і дисперсія, контакт між кістковим цементом і замикальною пластинкою та лікування остеопорозу [11]. У роботі W. Li та співавт. включено 4 предиктори: жіноча стать, позитивний анамнез переломів, діагноз цереброваскулярного захворювання та витік кісткового цементу в міжхребцевий простір [12]. A. Zhang та співавт. під час побудови номограми використовували такі параметри: вік, індекс маси тіла, МЩКТ, витік кісткового цементу, висота хребця, лікування остеопорозу, коефіцієнт відновлення висоти хребця [13].



**Рис. 2.** Схематична візуалізація асоціативних правил локалізації, які пов'язують ушкодження хребців за первинного остеопоротичного перелому з переломами певних хребців у випадку повторного остеопоротичного перелому

Ці праці без перебільшення мають велике значення в прогнозуванні ПКПХ, але всі вони створені для визначення ймовірності повторного перелому хребця, після проведення ПВП. Вони не дають змоги оцінити й спланувати можливість введення з метою профілактики ПКПХ кісткового цементу в суміжний або віддалений хребець, бо не дають відповідь, у якому саме хребці буде повторний перелом.

Ця експериментальна робота має кілька обмежень. По-перше, усі випадки були зафіксовані в пацієнтів ортопедичної хірургії нашої лікарні, без порівняння даних інших медичних центрів. Для деталізації висновків необхідна зовнішня валідація зі залученням більшої та різноманітнішої популяції пацієнтів із різних країн і регіонів. По-друге, оскільки це ретроспективний

аналіз, дослідження схильне до упередженості відбору. Для підтвердження точності необхідні майбутні проспективні дослідження з більшими розмірами вибірки та співпраця з іншими лікувальними закладами. Зауважимо, що деякі дані були втрачені в ретроспективному дослідженні, а мінеральну щільність кісткової тканини ми не враховували в аналізі.

### Висновки

Прогнозування повторних остеопоротичних переломів — важлива й актуальна проблематика сьогодення вертеб্রології. Наголосимо, що публікацій, присвячених цьому питанню, досить небагато. Наше дослідження показує найбільш яскраві закономірності, які характерні для загальної вибірки пацієнтів, а саме: за первинного перелому Th<sub>X1</sub> —

можлива нова деформація Th<sub>VIII</sub>; у разі Th<sub>VII</sub> — нові переломи Th<sub>IX</sub>, Th<sub>XII</sub>, L<sub>I</sub>; за Th<sub>XII</sub> — травми Th<sub>XI</sub>; первинного L<sub>I</sub> — нові Th<sub>XII</sub>, L<sub>IV</sub>, L<sub>V</sub>;

Перспективою подальших досліджень є розробка системи виявлення закономірностей появи нових деформацій тіл хребців, що можливо після біомеханічного дослідження, практичної апробації та критичного оцінювання результатів.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

### Список літератури

- Li, Y., Guo, D., Zhang, S., Liang, D., Yuan, K., Mo, G., ... Luo, P. (2018). Risk factor analysis for re-collapse of cemented vertebrae after percutaneous vertebroplasty (PVP) or percutaneous kyphoplasty (PKP). *International orthopaedics*, 42(9), 2131–2139. doi:10.1007/s00264-018-3838-6
- An, Z., Chen, C., Wang, J., Zhu, Y., Dong, L., Wei, H., & Wu, L. (2021). Logistic regression analysis on risk factors of augmented vertebra recompression after percutaneous vertebral augmentation. doi:10.21203/rs.3.rs-390833/v1
- Lee, B. G., Choi, J., Kim, D., Choi, W. R., Lee, S. G., & Kang, C. (2019). Risk factors for newly developed osteoporotic vertebral compression fractures following treatment for osteoporotic vertebral compression fractures. *The Spine Journal*, 19(2), 301-305. doi:10.1016/j.spinee.2018.06.347
- Ko, B., Cho, K., & Park, J. (2019). Early adjacent vertebral fractures after balloon Kyphoplasty for Osteoporotic vertebral compression fractures. *Asian spine journal*, 13(2), 210-215. doi:10.31616/asj.2018.0224
- Qian, Y., Hu, X., Li, C., Zhao, J., Zhu, Y., Yu, Y., ... Cheng, L. (2023). Development of a nomogram model for prediction of new adjacent vertebral compression fractures after vertebroplasty. *BMC Surgery*, 23(1). doi:10.1186/s12893-0
- Ma, Y., Lu, Q., Wang, X., Wang, Y., Yuan, F., & Chen, H. (2023). Establishment and validation of a nomogram for predicting new fractures after PKP treatment of for osteoporotic vertebral compression fractures in the elderly individuals. *BMC musculoskeletal disorders*, 24(1). doi:10.1186/s12891-023-06801-3
- Dai, C., Liang, G., Zhang, Y., Dong, Y., & Zhou, X. (2022). Risk factors of vertebral re-fracture after PVP or PKP for osteoporotic vertebral compression fractures, especially in eastern Asia: A systematic review and meta-analysis. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 17(1). doi:10.1186/s13018-022-03038-z
- Li, W., Wang, H., Dong, S., Tang, Z., Chen, L., Cai, X., ... Yin, C. (2021). Establishment and validation of a nomogram and web calculator for the risk of new vertebral compression fractures and cement leakage after percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporotic vertebral compression fractures. *European spine journal*, 31(5), 1108-1121. doi:10.1007/s00586-021-07064-z
- Gao, Y., Zheng, J., Yao, K., Wang, W., Tan, G., Xin, J., ... Chen, Y. (2024). Construction of a nomogram to predict the probability of new vertebral compression fractures after vertebral augmentation of osteoporotic vertebral compression fractures: A retrospective study. *Frontiers in medicine*, 11. doi:10.3389/fmed.2024.1369984
- Zheng, J., Gao, Y., Yu, W., Yu, N., Jia, Z., Hao, Y., & Chen, Y. (2023). Development and validation of a nomogram for predicting new vertebral compression fractures after percutaneous kyphoplasty in postmenopausal patients. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 18(1). doi:10.1186/s13018-023-04400-5
- Li, Q., Long, X., Wang, Y., Fang, X., Guo, D., Lv, J., ... Cai, L. (2021). Development and validation of a nomogram for predicting the probability of new vertebral compression fractures after vertebral augmentation of osteoporotic vertebral compression fractures. *BMC musculoskeletal disorders*, 22(1). doi:10.1186/s12891-021-04845-x
- Li, W., Wang, H., Dong, S., Tang, Z., Chen, L., Cai, X., ... Yin, C. (2021). Establishment and validation of a nomogram and web calculator for the risk of new vertebral compression fractures and cement leakage after percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporotic vertebral compression fractures. *European spine journal*, 31(5), 1108-1121. doi:10.1007/s00586-021-07064-z
- Zhang, A., Lin, Y., Kong, M., Chen, J., Gao, W., Fan, J., ... Chen, Z. (2023). A nomogram for predicting the risk of new vertebral compression fracture after percutaneous kyphoplasty. *European journal of medical research*, 28(1). doi:10.1186/s40001-023-01235-y

Стаття надійшла до редакції 28.08.2024

## PREDICTION OF REPEATED OSTEOPOROTIC FRACTURES OF THE THORACIC AND LUMBAR VERTEBRAE (EXPERIMENTAL STUDY)

A. I. Popov, M. V. Moloduk

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

✉ Andrii Popov, MD, DSci in Orthopaedics and Traumatology: aipopovdoc@gmail.com

✉ Mykyta Moloduk, MD: NikitaMoloduk@gmail.com