

УДК 616.711-089.881(048.8)

## **Мінеральна щільність кісткової тканини тіл хребців після спондилодезу (огляд літератури)**

**В.О. Радченко, С.Б. Костерін, Н.В. Дєдх, Н.О. Ашукіна**

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

**Ключові слова:** спондилодез, мінеральна щільність тіл хребців

Спондилодез сьогодні залишається найбільш розповсюдженим методом хірургічного лікування пацієнтів з дегенеративними захворюваннями, деформаціями, травматичними ушкодженнями хребта та сегментарною нестабільністю [1–3]. Різні види спондилодезу передбачають використання для стабілізації хребтових рухових сегментів чісельних фіксувальних систем як самостійно, так і у поєднанні з природними та штучними імплантативними матеріалами, що сприяють скороченню термінів досягнення зрощення. Але, незважаючи на певний прогрес у розробці методів хірургічного лікування захворювань та ушкоджень хребта, а також у використанні різноманітних фіксувальних пристроїв, в науковій літературі наведено значну кількість повідомлень щодо віддалених ускладнень спондилодезу, які поєднані загальним поняттям «захворювання суміжних сегментів». З'ясування чинників розвитку дегенеративних порушень у суміжних сегментах стало метою багатьох клінічних та експериментальних досліджень.

Сьогодні встановлено низку структурних змін у хребті, які мають місце у віддаленому періоді після спондилодезу: зниження індексу міжтілового проміжку та порушення його форми, резорбція кісткової тканини навколо фіксатора, зміщення імплантата у фронтальній площині, наявність анте- і ретролістезу. На ці показники впливають вік пацієнта, тривалість захворювання, неврологічний дефіцит тощо [4–6]. Однак, про такий показник, як мінеральна щільність кісткової тканини тіл хребців в умовах спондилодезу, в літературі наведено суперечливі результати.

*Мета огляду* — узагальнити сучасні уявлення щодо порушення мінеральної щільності кісткової тканини тіл хребців (фіксованих або суміжних до них) після виконання спондилодезу.

Узагальнення літературних даних було проведено з використанням таких джерел інформації, як періодичні видання «Ортопедия, травматология и протезирование», «Spine», «Eur. Spine Journal», «Journal Neurosurgery», «American Journal of Orthopedics», «Journal Bone Joint Surgery», «Int. Osteoporosis», мережі Internet (PubMed, Medline).

Одним із шляхів розкриття проблеми та можливого прогнозування результатів спондилодезу є вивчення структурних особливостей тіл фіксованих хребців або суміжних до них з огляду на мінеральну щільність кісткової тканини (МЩКТ). Дослідження останніх років показали, що остеопороз впливає на морфологію хребта та його функцію [7]. За остеопорозу виникають компресійні переломи та утворюються деформації тіл хребців, що є фактором ризику розвитку захворювань суміжних хребтових сегментів, прилеглих до тіл хребців з порушеною анатомією [8].

Нині дискусійним залишається питання щодо впливу МЩКТ тіл хребців на прогнозування результатів стабілізуювальних операцій на хребті і розвитку захворювань суміжних сегментів. Відомо, що дегенеративні прояви в міжхребцевих дисках жінок похилого віку асоціюються із підвищеним рівнем мінеральної щільності тіл хребців у поперековому відділі хребта [9, 10]. На думку інших авторів, знижена мінеральна щільність тіл хребців пов'язана зі слабко вираженою дегенерацією міжхребцевих дисків [11, 12].

Аналіз наукової літератури стосовно проблеми вивчення впливу спондилодезу на стан МЩКТ тіл хребців проведено у двох напрямках: узагальнення експериментальних розробок і оцінка результатів неінвазивних досліджень МЩКТ, а також структурної організації тіл фіксованих хребців (або суміжних до них) після спондилодезу.

*Експериментальні дослідження мінеральної щільності тіл хребців після спондилодезу*

Для експериментальних досліджень, які спрямовано на вивчення біологічних особливостей спондилодезу, науковці часто використовують великих тварин — собак і овець. Хребет цих тварин є придатним для виконання хірургічних втручань щодо стабілізації хребтових рухових сегментів з використанням різних міжтілових імплантатів та фіксувальних пристроїв. При цьому доведено, що шийний відділ хребта зазначених тварин як за біомеханічними показниками, так і анатомічно, подібний до такого у людини [13]. Однак у поперековому відділі хребта між тваринами та людиною наявні біомеханічні розбіжності, у той час як метаболічні показники є майже ідентичними.

В експериментальних дослідженнях на собаках із застосуванням методів денситометрії було вивчено стан тіл хребців, які з'єднані ригідною конструкцією. Встановлено, що через 3 міс після хірургічного втручання жорстка фіксація двох тіл хребців призводить до втрати їх мінеральної щільності на 19%. Якщо рухомість сегментів не було відновлено, втрата мінеральної щільності тривала і надалі (кінцевий термін спостереження — 9 міс). У випадку відновлення рухомості після видалення фіксувального пристрою показники мінеральної щільності тіл хребців поступово підвищувалися і досягали початкового рівня через 9 міс після першої операції [14]. Аналогічні результати було отримано під час дослідження поперекового відділу хребта собак, у яких транспедикулярною конструкцією було жорстко зафіксовано тіла хребців L III–L V. Виявлено вірогідне зниження (на 14%) МЩКТ у стабілізованих хребцях через 6 міс. На цей термін втрату мінеральної щільності (на 13%) зафіксовано також і у каудально розташованому до фіксованих хребтових рухових сегментів суміжному хребці — L VI. Додатково проведений гістоморфометричний аналіз встановив зменшення кількості кісткових трабекул у цьому хребці [15].

В іншому дослідженні порівнювали результати реконструктивно-відновлювальної хірургії поперекового відділу хребта собак, у яких на рівні L V–L VI виконували спондилодез з кістковими трансплантатами або без них, з інструментацією (Harrington distraction, Luque rectangular, Cortel-Dubousset pedicular, Steffee pedicular implants) та без неї. Через 6 міс після операції методами кількісної гістоморфометрії встановлено остеопоротичні зміни в тілах хребців, де було застосовано інструментацію. При цьому зафіксовано пряму залежність між жорсткістю фіксації та проявами остеопорозу. В до-

датковій групі тварин, поряд з хірургічними втручаннями на хребті, було виконано оваріоектомію. Встановлено, що у тварин з оваріоектомією остеопоротичні прояви були підвищеними у порівнянні з аналогічними групами без оваріоектомії [16].

Доведено, що на показники МЩКТ тіл хребців і остеointegraцію у зоні спондилодезу впливає структура, склад та розташування імплантата, який використано для спондилодезу. Фахівці постійно проводять пошук матеріалів, придатних для виготовлення міжтілових імплантатів, які мали би остеointegrativні властивості та не впливали на дегенеративні зміни у суміжних сегментах [17, 18]. В експерименті на вівцях проведено випробування кейджів, які було виготовлено з пористого нітинолу, у порівнянні з титановими після введення їх у міжтіловий проміжок L II–L III та L IV–L V хребта овець [19]. Після виведення тварин з експерименту методом комп'ютерної томографії було оцінено МЩКТ у періімплантаційній ділянці через 3, 6 та 12 міс після імплантації. У процесі дослідження виявлено значне підвищення МЩКТ тіл хребців навколо титанових кейджів, що автори трактують як склеротичні зміни, а навколо імплантатів з пористого нітинолу показники наближалися до фізіологічних. Гістологічний аналіз також показав кращу остеointegraцію пористого кейджа з нітинолу.

Було проведено дослідження, у якому вівцям після дискетомії на рівні C III–C IV у ролі міжтілових імплантатів використовували титанові циліндричні кейджі, заповнені автотрансплантатами з гребня клубової кістки, мінералізованим колагеновим матриксом самостійно або у поєднанні з багатою на тромбоцити плазмою крові [20]. Через 12 тижнів після виконання спондилодезу за допомогою методів комп'ютерної томографії оцінювали МЩКТ у тілах хребців C III і C IV, а також у міжтіловому проміжку. Підвищення МЩКТ у міжтіловому проміжку було зафіксовано тільки в групі тварин, яким встановлювали кейджі з автотрансплантатами, на відміну від тварин з кейджами, які було заповнено мінералізованим колагеновим матриксом. Це може бути пов'язано з високими остеокондуктивними властивостями автотрансплантатів і, відповідно, прискоренням кісткоутворення та мінералізації у разі їх застосування, що було підтверджено також результатами гістологічних досліджень. Відмінностей у МЩКТ навколо кейджів, заповнених мінералізованим колагеновим матриксом самостійно або у поєднанні з багатою на тромбоцити плазмою крові, не виявлено.

Проте екстраполяція отриманих в процесі досліджень на тваринах результатів на людину склад-

на. Окрім анатомічних особливостей необхідно враховувати відмінності у біомеханіці хребта.

Результати біомеханічних досліджень, які було проведено з використанням поперекових відділів хребта з різною МЦКТ від 20 трупів людини, показали, що знижена МЦКТ у тілах хребців є однією з причин виникнення ротаційної нестабільності після інструментації [21]. В іншому дослідженні, яке також було виконано з використанням хребтів трупів людини, вивчали біомеханічні властивості зони на межі материнської кісткової тканини тіла хребця з титановим кейджем, пов'язуючи цей показник з МЦКТ тіл хребців [22]. Авторами показано, що титанові кейджи великого діаметра і/або у випадках збільшення їх внутрішнього кільця призводять до підвищення напруження між кейджем і тілом хребця. Позитивна кореляція між міцністю зони на межі «кістка – кейдж» і мінеральною щільністю тіл хребців, прилеглих до ділянки імплантації, передбачає важливу роль показників мінеральної щільності для успішної спінальної реконструкції. У зв'язку з цим, у разі наявності остеопоротичних змін в тілах хребців автори наполягають на необхідності використання комбінованої інструментації для попередження порушення стабільності кейджів.

Наведені результати експериментальних досліджень, в основному, стосуються вивчення мінеральної щільності тіл хребців у періімплантаційних ділянках. Детального дослідження потребують тіла хребців, які розташовані краніально і каудально відносно фіксованих хребтових рухових сегментів.

#### *Клінічні дослідження*

Сучасні кісткові денситометри дозволяють оцінювати вміст мінералів та мінеральну щільність кістки з високою точністю, а також проводити дослідження хребта у фронтальній та сагітальній площинах, що підвищує вірогідність отриманих результатів.

Дослідження мінеральної щільності тіл хребців L I–L IV, а також зони зрощення L IV–L V були проведені у 17 жінок віком від 46 до 69 років, яким виконували інструментальний спондилодез з приводу спондилолізу поперекового відділу хребта у поєднанні зі стенозом хребтового каналу (14 хворих) або з радикулопатією (3 пацієнтки) [23]. У відібраних для дослідження жінок в післяопераційному періоді було зафіксовано щільне з'єднання тіл хребців на рівні L IV–L V. Термін спостереження коливався від 24 до 131 міс (2–2,5 років). Встановлено прямий зв'язок між зниженням показників МЦКТ у тілах хребців L I–L III та у ділянці зрощення L IV–L V. Порівнюючи вибірку пацієнток з популяційними дослідженнями стану кісткової тка-

нини жінок різного віку, фахівці дійшли висновку, що виявлене зниження МЦКТ було, насамперед, пов'язано з віком пацієнток. Тому, на думку авторів, під час післяопераційного моніторингу пацієнтів, яким було виконано спондилодез, необхідно проводити відповідні терапевтичні заходи, спрямовані на профілактику або лікування остеопенії та остеопорозу.

К. Watanabe і співавт. [24], оцінюючи результати лікування 10 хворих, яким було виконано спондилодез, підтримали думку, що похилий вік та остеопенія повинні розглядатися як фактори ризику виникнення переломів тіл хребців суміжних до зони спондилодезу в пацієнтів після хірургічної стабілізації хребтових рухових сегментів у віддаленому періоді. Інші дослідники підкреслюють, що до групи ризику виникнення компресійних переломів тіл суміжних хребців після спондилодезу внаслідок зниженої МЦКТ належать, насамперед, жінки в післяменопаузальному періоді, що може бути пов'язано з остеопорозом [25, 26]. Так, серед 100 пацієнтів віком понад 55 років, яким було виконано спондилодез з приводу дегенеративних захворювань хребта на рівні L I–S I, у післяопераційному періоді було виявлено компресійні переломи тіл хребців у 24% жінок та у 2% чоловіків. При цьому переломи в суміжних хребцях мали місце впродовж перших 8 міс, а у віддалених від зони спондилодезу — через 8–22 міс після хірургічного втручання [25]. Крім того, показано необхідність урахування показників мінеральної щільності тіл хребців у разі проведення через них фіксувальних пристроїв [27].

Встановленим фактом для виконання стабілізувальних операцій на хребті в пацієнтів, хворих на остеопороз, є перевага конструкцій із титану або титанових сплавів перед сталевими завдяки остеointegraційним властивостям титану [28].

Було проведено порівняння результатів лікування пацієнтів віком від 30 до 70 років, яким виконували жорстку фіксацію поперекового відділу хребта шляхом задньобічного інструментального спондилодезу, з пацієнтами подібної контрольної групи, котрі підлягали хірургічному лікуванню, але без інструментації [29]. В період від 1 до 6 років після хірургічного втручання було виявлено зниження МЦКТ у ділянці спондилодезу у групі хворих з інструментацією. Цей показник, можливо, може бути використаний для ранньої оцінки стану зони спондилодезу з метою профілактики розвитку нестабільності.

G.M. Bogdanffy і співавт. [30] провели аналіз мінеральної щільності кістки у суміжних хребтових

сегментах (L II, L III), які розташовані краніально відносно зони спондилодезу (L IV–S I), у 15 пацієнтів через 3 та 6 міс після хірургічного лікування. Встановлено вірогідне зниження МЩКТ у тілах хребців L II та L III, яке прогресувало з перебігом часу. Автори пов'язують втрату кістки у суміжних сегментах з іммобілізацією або порушенням біомеханіки хребта після спондилодезу. Губчаста кістка аксіального скелету більш чутлива до змін внаслідок її метаболічної активності. Цим, на думку авторів, можна пояснити зниження МЩКТ тіла хребця L III. Проте зміни МЩКТ у тілі хребця L II автори пов'язують з перерозподілом навантаження у передньому і задньому відділах хребта, але вважають за необхідне проведення додаткових досліджень [30].

Альтернативним поясненням ініціації зниження МЩКТ може бути концепція Н.М. Frost [31]. Згідно з нею феномен регіонарного прискорення ремоделювання має місце після переломів кісток, артродезування, остеотомії, кістковопластичних операцій тощо, що може віддзеркалюватися на втраті МЩКТ. Безумовно, отримані авторами результати мають науковий інтерес, але необхідні подальші дослідження щодо з'ясування механізмів розвитку порушень.

Поряд з наведеними вище роботами, у яких відмічено зниження МЩКТ після спондилодезу, у науковій літературі подані дослідження із суперечливими результатами.

Так, аналіз результатів денситометрії 25 пацієнтів після заднього інструментального спондилодезу поперекового відділу хребта показав, що на ранніх етапах спостереження (в інтервалі 6-ти тижнів) МЩКТ у краніальному фіксованому тілі хребця знижується у середньому на 15,7%. Однак через 1 рік після операції у 60% випадків показники МЩКТ досягли або дещо перевищили передопераційний рівень [32].

Більш віддаленні спостереження свідчать, що після спондилодезу МЩКТ підвищується. Проведено проспективне когортне дослідження 11 пацієнтів після задньобічного спондилодезу з використанням фіксувальних пристроїв (n = 7), або ламінотомії та дискотомії окремо (n = 4) [33]. Усім хворим виконували хірургічне втручання на рівні L IV–L V або L V–S I. Тіла суміжних трьох краніально розташованих хребців оцінювали за допомогою методу двохфотонної абсорбціометрії (DEXA) для визначення МЩКТ у післяопераційних періодах: у середньому через 4 роки (діапазон 2,3–5,5 роки) та 10,8 років (діапазон 9,1–12,4 роки). Виявлено, що МЩКТ у кінцевому терміні дослідження була вірогідно

підвищеною у краніальних до зони спондилодезу тілах хребців на 14,8%, 10,8% і 9,5% порівняно з нормальними показниками у референтній віковій групі. Отримані дані відображують найбільш виражене підвищення МЩКТ у тілі хребця, суміжного до фіксованого хребтового рухового сегменту, що, на думку авторів, обумовлено локальною зміною кісткового метаболізму у відповідь на концентрацію напруження саме в цій ділянці. Однак показники МЩКТ у всіх досліджених тілах хребців залишаються підвищеними відносно референтної норми [33].

Таким чином, проведений аналіз експериментальних та клінічних досліджень показав, що у проблемі, яка пов'язана зі спондилодезом та захворюваннями суміжних сегментів, існує ціла низка питань, серед яких потребує вирішення проблема МЩКТ як відображення репаративних потенцій у ділянці спондилодезу, так і їх порушень у тілах хребців (фіксованих або суміжних до них). Однак у літературі стосовно цього питання наведено неоднозначні результати. Виявлено, що після спондилодезу має місце і підвищення, і зниження МЩКТ як безпосередньо у ділянці спондилодезу, так і у суміжних хребтових сегментах. Фактори, які впливають на зміни МЩКТ, різноманітні. Це може бути вплив фіксувальних пристроїв на ділянку спондилодезу та особливості регенерації кісткової тканини навколо імплантата, вік пацієнта, остеопоротичні прояви у хребті на момент хірургічного втручання і в подальшому. Потребують вивчення особливості МЩКТ у тілах хребців, які розташовані вище та нижче ділянки спондилодезу, зв'язок локальних проявів остеопорозу з системними змінами у хребті та скелеті в цілому. Відображенням негативних змін МЩКТ є порушення ремоделювання кісткової тканини у тілах хребців, тому що відомо, що ці два показники тісно пов'язані між собою. Визначення МЩКТ — це неінвазивне дослідження, на підставі якого можна було б прогнозувати розвиток дегенеративних змін суміжних хребтових сегментів після спондилодезу. Проте суперечливість отриманих результатів щодо МЩКТ, обмежена кількість досліджень, невисвітленість механізмів розвитку порушень, які виникають у тілах хребців після спондилодезу, потребують і надалі досліджень у цьому напрямкові.

## Література

1. Радченко В.А. Практикум по стабилизации грудного и поясничного отделов позвоночника / В.А. Радченко, Н.А. Корж. — Х.: Прапор, 2004. — 154 с.
2. Хвисьюк Н.И. Стабилизация при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника / Н.И. Хвисьюк, В.А. Радченко, Н.А. Корж // Повреждения позвоночника



- и спинного мозга. — Киев: КНИГА плюс, 2001. — 388 с.
3. Радченко В.А. Спондилодез при повреждениях позвоночника / В.А. Радченко, К.А. Попсуйшапка // Травма. — 2011. — Т. 12, № 1. — С. 80–83.
  4. Дегенеративні зміни у суміжних хребтових сегментах після стабілізуючих операцій на хребті (літературний огляд) / В.О. Радченко, Н.В. Дедух, С.В. Малишкіна, В.І. Федак // Ортопед. травматол. — 2009. — № 3. — С. 101–111.
  5. Радченко В.О. Дегенеративні захворювання суміжних (до оперованого) сегментів хребта / В.О. Радченко, В.І. Федак // Український морфологічний альманах. — 2010. — Т. 8, № 2. — С. 173–175.
  6. A prospective randomised study on the long-term effect of lumbar fusion on adjacent disc degeneration / P. Ekman, H. Moller, A. Shalabi et al. // Eur. Spine J. — 2009. — Vol. 18. — P. 1175–1186.
  7. Effect of osteoporosis on morphology and mobility of the lumbar spine / Z. Yang, J. Griffith, P. Leung, R. Lee // Spine. — 2009. — Vol. 34, № 3. — P. 115–121.
  8. Altered disc pressure profile after an osteoporotic vertebral fracture is a risk factor for adjacent vertebral body fracture / M.N. Tzermiadianos, S.M. Renner, F.M. Phillips, A.G. Hadji-pavios // Eur. Spine J. — 2008. — Vol. 17. — P. 1522–1530.
  9. Impact of degenerative spinal diseases on bone mineral density of the lumbar spine in elderly women / S. Muraki, S. Yamamoto, H. Ishibashi et al. // Osteoporosis Int. — 2004. — Vol. 15. — P. 724–728.
  10. Радченко В.А. Минеральная плотность тел позвонков и состояние межпозвонковых дисков / В.А. Радченко, С.Б. Костерин, Н.В. Дедух // Ортопед. травматол. — 2011. — № 1. — С. 103–106.
  11. Relationship between gender, bone mineral density, and disc degeneration in the lumbar spine: a study in elderly subjects using an eight-level MRI-based disc degeneration grading system / Y.-X.J. Wang, J.F. Griffith, H.T. Ma et al. // Osteoporosis Int. — 2010. — Vol. 22, № 1. — P. 91–96.
  12. The relationship between degenerative changes and osteoporosis in the lumbar spine / J.Y. Margulies, A. Paizer, M. Nyska et al. // Clin. Orthop. Rel. Res. — 1996. — Vol. 324. — P. 145–152.
  13. Comparison between sheep and human cervical spines: an anatomic, radiographic, bone mineral density and biomechanical study / F. Kandziora, G. Shollmeir, M. Scholz et al. // Spine. — 2001. — Vol. 25. — P. 1028–1037.
  14. The effect of a stiff spinal implant and its loosening on bone mineral content in canines / D.D. Dalenberg, M.A. Asher, R.G. Robinson, G. Jayaraman // Spine. — 1993. — Vol. 18. — P. 1862–1866.
  15. The effect of a stiff spinal implant on the bone mineral content of the lumbar spine in dogs / K.R. Smith, T.R. Hunt, M.A. Asher et al. // J. Bone Joint Surg. — 1991. — Vol. 73-A. — P. 115–123.
  16. The effect of spinal implant rigidity on vertebral bone density. A canine model / P.C. McAfee, I.D. Farey, C.E. Sutterlin et al. // Spine. — 1991. — Vol. 16. — P. S190–S197.
  17. Boden S.D. Overview of the biology of lumbar spine fusion and principles for selecting a bone graft substitute / S.D. Boden // Spine. — 2002. — Vol. 27. — P. 526–531.
  18. Федак В.І. Структурна організація суміжних хребтових сегментів при введенні у міжтіловий проміжок поперекового відділу хребта імплантів із різних біоматеріалів / В.І. Федак, Н.В. Дедух, С.В. Малишкіна // Ортопед. травматол. — 2009. — № 2. — С. 69–75. — ISSN 0030-5987.
  19. Influence of orthopedic implant structure on adjacent bone density and on stability / F. Likibi, G. Chabot, M. Assad, Ch.-H. Rivard // Am. J. Orthop. — 2008. — Vol. 37. — P. 78–83.
  20. Cages augmented with mineralized collagen and platelet-rich plasma as an osteoconductive/inductive combination for interbody fusion / M Scholz, P. Schleicher, T. Eindorf et al. // Spine. — 2010. — Vol. 35. — P. 740–746.
  21. An experimental study of lumbar destabilization. Restabilization and bone density / G.J. Bennett, H.A. Serhan, P.M. Sorini, B.H. Willis // Spine. — 1997. — Vol. 22. — P. 1448–1453.
  22. An experimental study on the interface strength between titanium mesh cage and vertebra in reference to vertebral bone mineral density / K. Hasegawa, M. Abe, T. Washio, T. Haro // Spine. — 2001. — Vol. 26. — P. 957–963.
  23. Lee J.S. Bone mineral densities of the vertebral body and intertransverse fusion mass after instrumented intertransverse process fusion / J.S. Lee, K.W. Kim // Spine. — 2010. — Vol. 35. — P. 1106–1110.
  24. Proximal junctional vertebral fracture in adults after spinal deformity surgery using pedicle screw constructs: analysis of morphological features / K. Watanabe, L.G. Lenke, K.H. Bridwell et al. // Spine. — 2010. — Vol. 35. — P. 138–145.
  25. Subsequent vertebral fractures following spinal fusion surgery for degenerative lumbar disease: a mean ten-year follow-up / T. Toyone, T. Ozawa, K. Kamikawa et al. // Spine. — 2010. — Vol. 35. — P. 1915–1918.
  26. Etebar S. Risk factors for adjacent-segment failure following lumbar fixation with rigid instrumentation for degenerative instability / S. Etebar, D.W. Cahill // J. Neurosurg. — 1999. — Vol. 90 (Suppl. 2). — P. 163–169.
  27. Effects of bone mineral density on pedicle screw fixation / T.L. Halvorson, L.A. Kelley, K.A. Thomas et al. // Spine. — Vol. 19. — P. 2415–2420.
  28. Christensen F.B. Lumbar spinal fusion. Outcome in relation to surgical methods, choice of implant and postoperative rehabilitation / F.B. Christensen // Acta Orthop. Scand. — 2004. — Vol. 75. — P. 2–43.
  29. Vertebral body osteopenia associated with posterolateral spine fusion in humans / M.A. Myers, T. Casciani, M.G. Whitbeck, J.E. Puzas // Spine. — 1996. — Vol. 21(20). — P. 2368–2371.
  30. Bogdanffy G.M. Early changes in bone mineral density above a combined anteroposterior L4–S1 lumbar spinal fusion. A clinical investigation / G.M. Bogdanffy, D.D. Ohnmeiss, R.D. Guyer // Spine. — 1995. — Vol. 20. — P. 1674–1678.
  31. Frost H.M. The biology of fracture healing. An overview for clinicians / H.M. Frost // Clin. Orthop. Rel. Res. — 1989. — Vol. 248. — P. 283–293.
  32. Lipscomb H.J. Spinal bone density following spinal fusion / H.J. Lipscomb, S.A. Grubb, R.V. Talmage // Spine. — 1989. — Vol. 14. — P. 477–479.
  33. A prospective cohort analysis of adjacent vertebral body bone mineral density in lumbar surgery patients with or without instrumented posterolateral fusion: a 9- to 12-year follow-up / K. Singh, H.S. An, D. Samartzis et al. // Spine. — 2005. — Vol. 30. — P. 1750–1755.