

УДК 616.711–089

## Дегенеративні зміни суміжних сегментів після стабілізуючих операцій на хребті (огляд літератури)

**В.О. Радченко, В.І. Федак, Н.В. Дєдух, С.В. Малишкіна**

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

**Ключові слова:** суміжні сегменти, дегенерація, стабілізуючі операції, ускладнення

Протягом останніх 50 років спондилодез (в англійській літературі — spinal fusion, spondylosyndesis, arthrodesis) розглядають як стандартний хірургічний метод лікування численних дегенеративних захворювань хребта [69, 71]. Проте і при наявному прогресі в хірургічному лікуванні ушкоджень хребта відзначається значний відсоток відстрочених ускладнень. Значна частка серед них належить розвитку дегенерації в суміжних (з оперованим) сегментах хребта. Вже накопичено значний матеріал щодо наявності патологічних змін у суміжних хребтових сегментах після проведення стабілізуючих та відновлювальних операцій у шийному, поперековому та попереково-сакральному відділах хребта [34, 61, 65, 69]. Так, за даними V.C. Traynelis [73], після виконання спондилодезу на поперековому відділі хребта у 50% пацієнтів відмічався поперековий біль, а 15% пацієнтів потребували повторного хірургічного втручання. Подібні результати після проведення спондилодезу зафіксував і J.C. Chiu [13] — у 15–50% пацієнтів відмічено порушення у вищета нижчерозташованих суміжних сегментах. Проте і до теперішнього часу залишаються протиріччя в тлумаченні причин їх виникнення, факторів ризику розвитку дегенеративних порушень у суміжних сегментах, існуванні кореляційних зв'язків між клінічними та рентгенологічними їх проявами. Розв'язання вказаних питань є важливим для розуміння впливу проведеного хірургічного втручання на розвиток віддалених патологічних порушень у хребтових сегментах та розробки тактики лікування їх наслідків. Це спонукає дослідників активізувати роботу у напрямку всебічного аналізу пізніх післяопераційних ускладнень у рухових хребтових сегментах, суміжних з оперованим [3, 4, 5, 46, 61].

Метою даного інформаційного повідомлення є аналіз і систематизація результатів наукових досліджень (клінічних та експериментальних) з

проблеми відстрочених ускладнень у суміжних хребтових сегментах при виконанні стабілізуючих операцій на хребті, які розвиваються у віддалений післяопераційний період.

*Матеріалом дослідження* стали статті в журналах «Ортопедия, травматология и протезирование», "Spine" і "Eur.Spine", "J.Spinal Disorders", "Clin.Orthop.", "Sur.Technol. Int.", "J.Neurosurg. Spine", база даних Національної медичної бібліотеки США «MEDLINE», а також статті в інших спеціалізованих журналах у галузі ортопедії та травматології з використанням таких ключових слів, як "adjacent segment, spinal fusion and arthrodesis".

У науковій літературі дегенеративні порушення у суміжних сегментах часто називають захворюваннями. Захворювання суміжних сегментів (ЗСС) — це термін, який свідчить про наявність патологічних змін у тканинах рухових хребтових сегментів, суміжних з оперованим [69]. Щодо патологічних порушень у суміжних хребтових сегментах в літературі зустрічається також термін — дегенерація суміжних сегментів (ДСС) [71]. Суміжними вважають сегменти, розташовані не тільки безпосередньо поряд з оперованим, але й ті, що знаходяться більш ніж на один сегмент проксимальніше чи дистальніше від оперованого [61]. На цей час описано різноманітну патологію при ЗСС. Це — спондилолістез (anterolistes, retrolistes), нестабільність, грижі драглистого ядра, стеноз, гіпертрофія дуговідросткових суглобів, формування остеофітів, сколіоз та компресійні переломи хребців [9]. Найменш представленими ускладненнями при ЗСС є сколіоз і компресійні переломи хребців [25]. Розповсюдженими патологічними змінами у суміжних сегментах є дегенерація міжхребцевих дисків [37, 53, 62]. Ознаки дегенерації у суміжних рухових сегментах (СРС) відмічаються при аналізі віддалених результатів різних варіантів

спондилодезу всіх відділів хребта — шийного, поперекового та попереково-сакрального [46].

### *Клінічні дослідження*

*Шийний відділ.* Наведені в літературі відомості щодо поширеності симптомів ЗСС та термінів їх проявів після виконання переднього та заднього спондилодезу шийного відділу хребта різняться. Проте загальним є те, що відсоток пацієнтів із ЗСС досить високий. Так, W.M. Yue et al. [80] при оцінці клінічних та рентгенологічних показників фіксували симптоми ЗСС у 12 із 71 пацієнтів (16,9%) через 41,8 місяця після виконання передньої дискектомії і спондилодезу. A.S. Hilibrand et al. [34], досліджуючи 374 пацієнтів після виконаного переднього спондилодезу шийного відділу хребта, виявив, що ознаки дегенерації суміжних сегментів спостерігалися у 25% пацієнтів через 10 років після операції. Значно вищі показники відмічали інші дослідники. За даними рентгенологічних досліджень, у 21 із 42 пацієнтів (50%) було зафіксовано дегенеративні зміни в суміжних сегментах через 9,8 року після виконання переднього шийного спондилодезу [38]. При дослідженні магнітно-резонансних зображень шийного відділу хребта 44 пацієнтів, прооперованих з приводу одно- та дворівневої корпектомії (corpectomy), в середньому через 17,5 місяця після операції було встановлено, що у 75% пацієнтів хребтові сегменти, які розташовувалися поряд з оперованим сегментом, при порівнянні з більш віддаленими рівнями мали різко виражені дегенеративні зміни [40]. При цьому дегенеративні порушення краніальних суміжних сегментів спостерігалися в 11 пацієнтів, а на обох рівнях — у 12. Ще вищі показники було зафіксовано J. Goffin et al. [29], які повідомили про клінічні та рентгенологічні спостереження (більш ніж через 8 років) 181 пацієнтів після виконання подібних операцій. Виявилось, що помірні рентгенологічні зміни в суміжних сегментах виявлялися у 92% випадках, а виражені прояви ЗСС мали 43% пацієнтів. Рентгенологічні ознаки ЗСС тісно корелювали з термінами спостережень, проте не було відмічено кореляції з клінічними симптомами.

Дослідженню кореляційних зв'язків між поширеністю симптомів ЗСС, клінічними показниками (вік, стать, кількість рівнів спондилодезу) та рентгенологічними даними (наявність дегенерації СРС та ступінь рухомості шийних сегментів СII–СVII, діаметр хребтового каналу; показники мієлографії та ЯМР) було присвячено роботу H. Ishihara et al. [36], де проведено аналіз віддалених результатів міжтілового спонди-

лодезу шийного відділу хребта 112 пацієнтів. При використанні аналізу Keplan-Meier було встановлено, що через п'ять років після операції симптоми ЗСС спостерігалися в 11% пацієнтів, через 10 років — у 16%, а через 17 років — у 33% пацієнтів. На відміну від цього рентгенологічне дослідження пацієнтів через 5 років після операції виявило наявність виражених дегенеративних змін у суміжних сегментах у 37% пацієнтів. Протрузії міжхребцевого диска на суміжному рівні, що спостерігалися на доопераційній мієлограмі або ЯМР-зображенні, були значно більшими у разі наявності ознак захворювання. На відсутність кореляційних взаємозв'язків між рентгенологічними змінами та клінічними проявами ЗСС при дослідженні 44 пацієнтів через 4,5 року після передньої дискектомії та спондилодезу вказували H.N. Herkowitz et al. [33]. У 41% пацієнтів відмічалися тільки рентгенологічні прояви ДСС. У пацієнтів, яким після передньої дискектомії не виконували процедуру спондилодезу, рентгенологічні порушення у суміжних сегментах спостерігалися у 50%. За даними D.A. Levin et al. [46], рентгенологічні ознаки ЗСС у хворих після дискектомії та спондилодезу щорічно виявлялися у 5–9%, а клінічні прояви ЗСС відмічалися щорічно лише у 2–3% пацієнтів.

Деякі автори відмічають чітку залежність проявів дегенерації суміжних сегментів з віком пацієнтів. Аналіз віддалених результатів (у середньому через 3,1 року) виконаного переднього спондилодезу (корпектомія з передньою імплантациєю розпірок і пластинок) шийного відділу хребта 45 пацієнтів показав, що в пацієнтів молодше 30 років прояви ЗСС спостерігалися у 63,6%, а в пацієнтів старіше 30 років — у 68,2% [72]. Відмічалася гіпермобільність у краніальному сегменті у більшості молодих пацієнтів, а утворення остеофітів та звуження дискового простору — у пацієнтів похилого віку. Деякі дослідники віддають перевагу задньому артророзезуванню шийного відділу хребта, посилаючись на те, що передній спондилодез призводить до надмірного здавлювання суміжних сегментів, які не підлягали оперативному втручанню [29, 51]. Автори вважають, що це може бути причиною розвитку в них дегенеративних змін.

Стосовно поширеності дегенеративних порушень у суміжних сегментах при виконанні одно- чи багаторівневого спондилодезу у літературі відсутні чіткі дані. Так, при дослідженні вираженості віддалених дегенеративних проявів у суміжних сегментах при виконанні артророзезу на двох рівнях було встановлено, що напруження у міжхребцевих

дисках суміжних сегментів зростало достовірно більше, ніж при артродезі на одному рівні, що й було причиною розвитку ЗСС [47]. Протилежні результати викладено у дослідженнях A.S. Hilibrand et al. [34], які показали, що проведення спондилодезу на одному рівні, із залученням п'ятого та шостого шийних хребців, було значним ризиком розвитку дегенерації суміжних сегментів. При багаторівневному спондилодезі спостерігався значно менший відсоток уражень. Автори також підкреслюють важливість врахування рівня виконання спондилодезу, бо було встановлено, що найбільш часто спондилодез виконується на рівні CV–CVI або CVI–CVII і в найменшому відсотку — на рівнях CII–CIII та CVII–TI.

Однією з причин розвитку дегенеративних порушень у суміжних сегментах окремі автори вважають зміну біомеханіки хребта, до якої може призводити використана при одно- та багаторівневному спондилодезі жорстка хребтова інструментація (довга або коротка). При цьому відбувається практично повне виключення рухомості фіксованого сегмента або сегментів, що призводить до перерозподілу навантаження — збільшуються напруження та амплітуда рухів у міжхребцевих дисках та суглобах вище та нижче рівня стабілізації. Це є причиною розвитку деструктивних змін у міжхребцевих дисках та дуговідросткових суглобах [64, 66, 72]. Проте С.А. Reitman [67], досліджуючи кількісно рівень міжхребцевої сегментарної рухомості у 21 пацієнта до операції та через 1–2 роки після виконаної передньої дискотомії та спондилодезу, встановив, що цей показник на суміжному рівні змінювався більш ніж на 4° лише у чотирьох із 21 пацієнта. Не було визначено достовірних між перед- та післяопераційними показниками рухомості при згинанні, флексії-екстензії або вертикальному зміщенні у міжтіловому просторі. Є й інші повідомлення, в яких викладено подібні факти. D.A. Fuller et al. [26], досліджуючи з використанням стереофотометрії кінематичну поведінку суміжних сегментів при спондилодезі шийного відділу хребта, встановив, що існує деяке підвищення рухомості у суміжних сегментах. Проте цей стан розподіляється по всьому хребту і не концентрується на суміжних сегментах.

При виконанні спондилодезу шийного відділу хребта значну увагу дослідники приділяють збереженню сагітального балансу (а для шийного відділу — сагітальний краніоцервікальний баланс) та шийного сагітального контуру [1, 2, 15, 46, 61]. Підкреслюється, що саме порушення сагітального краніоцервікального балансу при проведенні

різних видів шийного спондилодезу обумовлює зміну форми шийного сагітального контуру, що може бути причиною розвитку дегенеративних змін у суміжних хребтових сегментах. На цей час існує значна кількість різновидів спондилодезу шийного відділу хребта [2], які так чи інакше використовують у хірургічній практиці. Проте зовсім недостатньо порівняльних досліджень, які б достовірно засвідчували перевагу того чи іншого методу для одержання віддалених результатів без проявів ЗСС.

*Поперековий відділ.* При оперативних втручаннях на поперековому відділі хребта, проведених з приводу спондилодезу, також спостерігаються симптоми ЗСС у віддалений післяопераційний період. При цьому існують протиріччя у дослідників відносно кореляції між поширеністю ЗСС, їх клінічними проявами, симптомами захворювання та рентгенологічними ознаками.

T.R. Lehmann et al. [45] після виконаного ретроспективного аналізу 62 прооперованих хворих (вік пацієнтів в середньому 33 роки) з використанням переднього поперекового спондилодезу відмітили, що в 45% пацієнтів через три роки спостерігалась нестабільність вище виконаного спондилодезу, 57% пацієнтів скаржилися на періодичні болі у попереку, а 53% потребували використання знеболювальних препаратів. Проте при аналізі рентгенограм вказаних пацієнтів не було зафіксовано вираженої дегенерації СХС, тобто не було кореляції між клінічними та рентгенологічними проявами. Подібні результати одержали Н. Ishihara et al. [37] після дослідження 23 пацієнтів (передній спондилодез поперекового відділу хребта) з післяопераційним терміном більше 10 років (в середньому 13,3 року). При рентгенологічному аналізі автори виявили дегенерацію краніальних суміжних сегментів у 52% випадків, а каудальних сегментів у 70%. В середньому дегенеративні порушення у суміжних сегментах щороку відмічалися в 4–5% пацієнтів. Використання для аналізу ЯМР-досліджень дозволило одержати точніші результати — в 11 пацієнтів (73% випадків) переважали дегенеративні зміни міжхребцевих дисків краніальних сегментів і у 100% випадків вони спостерігалися у каудальних суміжних сегментах. Однак при цьому автори звертають увагу на те, що ніяких клінічних ознак захворювання у всіх обстежених пацієнтів не відмічалось.

На наявність дегенеративних змін у суміжному, а саме розташованому вище рівня оперованих тіл хребців, сегменті вказує Р. Gillet [28], який проаналізував зміни у поперекових міжхребцевих дисках у пацієнтів, яким було проведено передній

міжтіловий спондилодез. Термін спостереження пацієнтів складав від 2 до 15 років, ЗСС виявлялися в 41% пацієнтів. У 20% випадків виникала необхідність повторного оперативного втручання. Було визначено потенційні фактори ризику розвитку ускладнень суміжних сегментів. Це післяопераційна затримка процесу загоєння, довжина інструментації, хребтовий (сагітальний) дисбаланс, що виник, та час, який минув після оперативного втручання.

Розвиток порушень у СХС поперекового відділу хребта був зафіксований і при виконанні заднього спондилодезу. У довготривалому (протягом 30 років) дослідженні порівнювали результати лікування 28 пацієнтів із виконаним заднім спондилодезом та 28 пацієнтів, яким захворювання хребта лікували без проведення спондилодезу [42]. При рентгенологічному аналізі було встановлено, що дегенеративні прояви на суміжних (до оперованого) сегментах спостерігалися вдвічі частіше у пацієнтів, яким було виконано спондилодез. За допомогою рентгенологічного аналізу ЗСС були виявлені у 50% пацієнтів через п'ять років після проведення заднього спондилодезу [61]. Детальний аналіз встановив, що рентгенологічні ознаки ЗСС спостерігаються у 8–100% пацієнтів через 36–396 місяців після операції, а симптоми захворювання було зафіксовано в меншій кількості пацієнтів — 5–18% через 48–164 місяці. У дослідженнях M.N.Shin et al. [71] виявлено симптоми ЗСС у 6,2% пацієнтів протягом (в середньому) 44 місяців після виконання заднього поперекового спондилодезу. Щодо дегенеративних змін у вище- та нижчерозташованих суміжних сегментах автори не відмітили достовірних відмінностей між ступенем вираженості дегенерації в цих сегментах. Проте спостерігалася тенденція до збільшення випадків захворювання краніальних сегментів. Значно частішу появу дегенеративних змін у суміжних сегментах, розташованих вище рівня спондилодезу, виконаного з використанням жорсткої гвинтової фіксації, відмічають і Y. Aota et al. [8]. Автори наводять співвідношення випадків появи ЗСС у вище- та нижчерозташованих сегментах як 25,5 і 2,6%, відповідно.

До теперішнього часу залишається дискусійною частина питань у проблемі ЗСС. Серед них — чи має місце кореляція між рентгенологічною картиною дегенерації суміжних сегментів, клінічними симптомами, віком пацієнтів та факторами ризику після виконання стабілізуючих операцій на хребті? На рішення окремих з цих питань був спрямований ретроспективний аналіз результатів лікування 87 пацієнтів, яким виконано задній поперековий

міжтіловий спондилодез на рівні сегментів LIV–LV [58]. Пацієнтам протягом двох років за даними рентгенологічних обстежень вимірювали поперековий лордоз, кіфоз, кут нахилу дуги на рівні LIII, сагітальні дуговідросткових суглобів на рівні LIII–LIV, тропізм. Прогресування дегенерації у ділянці хребта на рівні LIII–LIV визначалося як стан, у якому диск стає вужчим і прогресує зміщення у порівнянні з доопераційними рентгенограмами в динаміці. Автори не встановили кореляції між рентгенологічною картиною дегенерації краніальних суміжних сегментів та даними клінічних досліджень. Також не було встановлено кореляційних зв'язків між рентгенологічними проявами ЗСС після виконаного задньобічного однорівневого поперекового спондилодезу та клінічними симптомами при обстеженні 102 пацієнтів [30]. Рентгенологічні зміни в суміжних сегментах через 8,9 року після оперативного втручання спостерігалися у 49% пацієнтів. Проте тільки у 8 пацієнтів рентгенологічні прояви захворювання коригували з клінічними симптомами.

Достовірне зниження висоти двох суміжних краніальних міжхребцевих дисків було зафіксовано T.L. Schulte et al. [70] при дослідженні 65 пацієнтів (віком від 26 до 66 років, в середньому 45,1 року) після виконання задньопереднього (360°) спондилодезу поперекового відділу хребта, у середньому через 114 (72–161) місяців після операції. Зниження висоти першого від спондилодезу міжхребцевого диска становило в середньому 21%, а другого — 16%. Відмічалася чітка кореляція між вираженістю зниження висоти диска та підвищенням віку пацієнтів.

На корелятивні зв'язки між вираженістю патологічних змін у міжхребцевих дисках суміжних сегментів після виконаного спондилодезу вказують зроблені S.D. Boden et al. [10] дослідження. При ЯМР-аналізі 63 пацієнтів після переднього спондилодезу поперекового відділу хребта, які не мали симптомів захворювання у суміжних сегментах, дегенерація міжхребцевих дисків або зниження їх висоти виявлялися у 25% пацієнтів віком менше ніж 40 років, а у пацієнтів старше 40 років патологічні зміни у СХС (при відсутності симптомів) були зафіксовані у 60% [10].

Багаторівневий спондилодез супроводжувався більшою редукцією висоти диска. Статус пацієнта та рівень виконання спондилодезу не впливали на показники висоти диска. Не було також відмічено кореляції між клінічними проявами ЗСС і висотою суміжних дисків. Автори схиляються до біомеханічної теорії причин розвитку ЗСС при виконанні стабілізуючих операцій на хребті. Жор-



стка фіксація з використанням різних металевих систем, як було показано K.D. Luk et al. [49], негайно призводить до підвищення напруження у суміжних сегментах, їх гіпермобільності, а у подальшому — до розвитку дегенеративних змін. При цьому автори відмічають скорочення термінів між оперативним втручанням з використанням жорсткої фіксації та виникненням симптомів ЗСС у порівнянні зі спондилодезом без інструментації [22, 55, 69].

Фактором ризику, що може призвести до ЗСС, деякі автори вважають вік та стать. Ретроспективний аналіз 125 пацієнтів через чотири роки після перенесеного спондилодезу у поперековому відділі хребта з використанням стабільної фіксації (застосованої для лікування сегментарної нестабільності) показав, що у 18 пацієнтів (14%) розвинулася дегенерація на сегментах, де раніше вона не відмічалась [25]. Автори повідомляють, що 15 із зазначених пацієнтів (83%) були жінки у постменопаузальному періоді, які хворіли на остеопороз. Це дозволило авторам припустити, що остеопороз є одним із факторів ризику розвитку післяопераційних ускладнень суміжних сегментів. Більшу вірогідність розвитку ЗСС у післяопераційному періоді при виконанні стабілізуючих операцій на поперековому відділі хребта у пацієнтів старшого віку відмічають й інші дослідники [52, 71]. S.D. Voden et al. [10] при аналізі віддалених результатів спондилодезу поперекового відділу хребта за допомогою ЯМР-дослідження у пацієнтів 60-річного та старшого віку виявили патологічні зміни на рівні суміжних сегментів у 57% пацієнтів, у той час як у самих пацієнтів не відмічено ніяких клінічних симптомів захворювання. При обстеженні молодих пацієнтів (віком від 20 до 39 років) дегенерація хоча б на одному суміжному рівні, без симптомів захворювання, спостерігалася у 35%. Підвищену частоту проявів ЗСС після виконаного заднього поперекового спондилодезу у пацієнтів старшого віку (при порівнянні з молодими) відмічали M.N. Shin et al. [71].

Існують і деякі розбіжності у розумінні впливу довжини інструментації (кількості прооперованих сегментів) на розвиток ЗСС. При обстеженні 215 пацієнтів, у середньому через 6,7 року після виконаного заднього спондилодезу, G. Ghiselli et al. [27] встановили, що 59 пацієнтів (27,4%) потребували додаткової декомпресії або повторного артророзування на суміжних рівнях. Використаний додатково аналіз (Kaplan-Meier) показав: якщо через п'ять років практично здорові пацієнти складають 83,5%,

то через 10 років цей показник був значно нижчим і дорівнював 63,9%. Автори відмітили, що ризик розвитку ЗСС при виконанні спондилодезу на одному рівні був утричі вищим, ніж при виконанні багаторівневого. Проте більшість дослідників не поділяють такої думки і відмічають позитивний кореляційний зв'язок між виникненням ЗСС та застосуванням довгої інструментації [15, 25, 65, 79]. Так, при проведенні порівняльного аналізу впливу типу застосованої інструментації при спондилодезі W.Y. Chou et al. [14] показали, що з часом коротка інструментація супроводжувалася розвитком дегенеративних порушень у суміжних хребтових сегментах у 16% пацієнтів, а при використанні довгої інструментації ускладнення спостерігалися в 21,4% пацієнтів. Автори вважають, що при застосуванні довгої інструментації збільшується довжина важеля, що виникає внаслідок багаторівневого зрощення хребців. Це призводить до збільшення напруження у сегментах, які залишаються вільними. Деякі автори не відмічають зв'язку між довжиною використаної інструментації при виконанні спондилодезу та розвитком ЗСС. При обстеженні 52 пацієнтів M. Penta et al. [62] не виявили кореляції між довжиною виконаного спондилодезу в поперековому відділі хребта та ЗСС. Автори використали рентгенологічний аналіз та дані МРТ. У 32% пацієнтів було виявлено дегенеративні зміни краніальних суміжних сегментів, у яких до операції не визначали порушень. При цьому наявність дегенеративних порушень у нових сегментах не була пов'язана з довжиною виконаного спондилодезу. Автори припускають, що причиною розвитку дегенерації у суміжних сегментах є вікові зміни тканини хребта та гіперрухомість, яка розвивається внаслідок перерозподілу напруження у суміжних сегментах у післяопераційному періоді. До причин розвитку ЗСС після стабілізації частини хребтових сегментів M.B. Dekutoski et al. [20] також відносять збільшення напруження у суміжних міжхребцевих дисках, кінцевих хрящових пластинках та дуговідросткових суглобах. Подібний висновок зробили і M. Shin et al. [71] при дослідженні віддалених результатів заднього поперекового спондилодезу 412 пацієнтів. При цьому 319 пацієнтам виконано операцію на одному сегменті, а у 102 пацієнтів було залучено декілька сегментів. Було встановлено, що у випадках з використанням багаторівневого артророзування спостерігалася тенденція до збільшення розвитку ЗСС.

Однією із причин розвитку захворювань суміжних сегментів M. Kumar et al. [41] вважають

порушення сагітального балансу. Найменший (8%) рівень деградації СХС відмічено в пацієнтів із нормальною CVII сагітальною лінією та сакральним відхиленням. У 38% із 83 пацієнтів було зареєстровано значні дегенеративні зміни в суміжних сегментах, що потребувало у 14 з них (45%) навіть повторних хірургічних втручань. При рентгенологічному дослідженні постави до та після виконаного попереково-сакрального спондилодезу оцінювали вплив сагітального вирівнювання на наявність та характер болю [43]. Було встановлено, що вираженість болю коригувала зі збільшенням вертикалізації розташування крижів та ретроверсії таза. На важливість збереження сагітального балансу (sagittal malalignment) при виконанні поперекового спондилодезу вказують й інші дослідники [46, 52, 61].

Деякі автори відмічають, що не можуть встановити будь-яких доопераційних факторів, які могли б впливати на розвиток дегенеративних змін у суміжних хребтових сегментах після виконаного постеролатерального артродезу з педикулярно-гвинтовою інструментацією поперекового відділу хребта 32 пацієнтів протягом чотирьох років після операції [32]. Проте у 15 пацієнтів була виявлена дегенерація суміжних сегментів — підвищена рухомість та звуження диску. Автор відмічають незначну кореляцію між виявленою дегенерацією суміжних сегментів і клінічними проявами захворювання.

### *Експериментальні дослідження*

Дегенеративні порушення у хребтових сегментах, суміжних з оперованим, та причини їх розвитку досліджували не тільки в клінічних умовах, але й в експериментах на трупному матеріалі різних відділів хребта людини, з використанням математичного моделювання та в експерименті на тваринах [48, 50, 66, 68, 75, 77, 78]. Переважна більшість дослідників вважають головною причиною розвитку ЗСС при стабілізуючих операціях на хребті біомеханічні зміни у хребтових сегментах. Значна частина експериментальних розробок пов'язана саме з біомеханічними дослідженнями впливу спондилодезу на розвиток ЗСС. Так, на анатомічній моделі люмбо-сакрального (LIII–SI) відділу хребта трупів людей вивчали вплив на суміжні сегменти, виконані на рівні LV–SI різних видів спондилодезу [44]. В експерименті виконували компресійно-згинальне навантаження зразків при 20° згинання, яке відбувалося за розгинанням до нейтрального положення перед та після операції. Автори встановили, що кожний із використаних типів спондилодезу призводить до специфічної

зміни центра обертання та збільшення тиску як на дуговідростковій суглоби, так і на міжхребцеві диски суміжних сегментів.

Зміну біомеханіки суміжних сегментів було зафіксовано S. Weinhoffer et al. [75] при виконанні досліджень на трупному матеріалі людей. Автори відмічали збільшення внутрішньодискового тиску та рухомості на рівні суміжних сегментів. При цьому спостерігалася кореляція між величиною внутрішньодискового тиску та кількістю рівнів спондилодезу.

Вивчення на трупах людей впливу фіксації сегмента хребта LIV–LV у трьох різних сагітальних положеннях (гіполордоз, гіперлордоз та in situ) на рухомість суміжних (LIII–LIV та LV–SI) сегментів показало, що гіполордоз на рівні LIV–LV призводить до підвищення сагітальної рухомості на суміжному рівні LIII–LIV і відмінності були достовірними при порівнянні з фіксацією у положенні in situ та гіперлордозу [6]. Це свідчить, що фіксація поперекового відділу хребта у положенні in situ або гіперлордозу є переважною, бо дозволяє запобігати компенсаторному збільшенню рухомості сегментів, яке може призводити до дегенерації. Збільшення на 45 % внутрішньодискового тиску суміжних сегментів було відзначено при біомеханічному дослідженні поперекового відділу хребта трупів людей після проведеного заднього артродезу [19]. Подібні результати одержано і при дослідженні шийного відділу хребта трупів людей при виконанні переднього та заднього спондилодезу [23, 50, 60]. Автори роблять припущення, що саме збільшення внутрішньодискового тиску може бути причиною розвитку ранніх дегенеративних порушень міжхребцевих дисків у післяопераційному періоді, а у подальшому і розвитку ЗСС.

В експерименті на хребтах трупів людей, виконуючи передній спондилодез шийного відділу хребта, R.D. Rao et al. [66] вивчали вплив на механічні властивості суміжних сегментів фіксуємих пластин, розглядаючи їх як можливий фактор ризику розвитку дегенеративних змін у суміжних сегментах. У досліді було використано хребтові сегменти CII–TI, де на рівні сегментів CV–CVI здійснювали передню дискектомію та спондилодез. Дослідження виконували використовуючи навантаження хребта при латерофлексії та ротації. У кожний суміжний диск імплантували по два мініатюрних трансдуктори. Після застосування пластин на рівні хірургічного втручання спостерігалася значна жорсткість сегмента у всіх напрямках. Не було зафіксовано достовірних змін у краніальному суміжному сегменті, а в каудально-

му — виявлено збільшення осьової ротації на 13,7%. Внутрішньодисковий тиск і міжхребцева рухомість на рівні суміжних сегментів підвищувалися незначно.

При виконанні експериментів на хребтах тварин постає питання чинності екстраполяції одержаних результатів досліджень з подібними, виконаними на хребті людини. Існує думка, що поперековий відділ хребта людини підлягає значно більшим навантаженням (обумовленим вертикалізацією постави), ніж поперековий відділ хребта чотириногих тварин. Проте, як встановлено біомеханічними дослідженнями, стискання та розслаблення м'язів спини чотириногих тварин суттєво збільшує навантаження на хребет. При стабілізації горизонтально вирівняного хребта у великих тварин (телята, вівці, свині) це додаткове навантаження може бути навіть більшим, ніж у людини при стабілізації практично урівноваженого вертикально вирівняного хребта [77, 78]. Про значні навантаження поперекового відділу хребта великих тварин (більші, ніж у людини) свідчить чотирикратне підвищення щільності кістки тіл хребців саме в поперековому відділі хребта [76]. У дрібних чотириногих тварин (крізь, щур, миша) для стабілізації хребта потрібні менші м'язові навантаження та сила зв'язок, тобто хребет цих тварин навантажується менше, ніж у людини [12, 29]. Проте у дрібних тварин внутрішньодисковий тиск подібний такому у людини, оскільки діаметр дисків, на які діють сили навантаження, набагато менший, ніж у людини [24, 68]. Диски хвостового відділу бика близькі за розмірами до дисків поперекового відділу хребта людини (14–22 мм в діаметрі і 5–10 мм заввишки), а при їх біомеханічному дослідженні було встановлено, що величина тиску (компресія) в дисках хвостового відділу хребта бика була подібною до показників тиску у дисках поперекового відділу хребта людини (0,1–0,3 МПа) [17, 21]. Деякі дослідники вважають, що малі розміри дисків у дрібних чотириногих тварин є обмежувальним фактором їх використання в експерименті [39, 48]. Проте при проведенні досліджень щодо порівняння геометричних розмірів міжхребцевих дисків поперекового відділу хребта людини та тварин, а також співвідношень різних його розмірів з окремими функціями диска було встановлено, що відношення показників висоти диска до його середнього діаметра у поперековому відділі хребта людини та кроля було однаковим і становило 0,24, а для щурів, оленя та свині воно дорівнювало половині встановлених значень для людини та кроля. Для хвостового відділу хребта бика це співвідношення дорівнювало 0,23, а для щура — 0,35 [18, 24].

Автори повідомляють про значні подібності результатів механічних досліджень міжхребцевих дисків поперекового відділу хребта мишей, щурів та людини. Вважають, якщо структурні характеристики диска незначно відрізняються між видами ссавців, то при експериментальних дослідженнях важливим є саме масштабування дисків. Наведені результати масштабування дисків при порівнянні з їх біомеханічними характеристиками дають підставу для позитивного вирішення питання щодо можливого використання навіть дрібних тварин для експериментальних досліджень на хребті.

В експерименті на тваринах моделювали різні види спондилодезу, заднього артродезу, вивчали біомеханіку міжхребцевих дисків, структурну організацію хребтових сегментів, суміжних з оперованим, та ін. Дослідження рухомості суміжних сегментів після поперекового спондилодезу (на рівні LII–LVI) та пружної стабілізації з використанням протезів дисків із композиту на основі поліетилену було проведено на 30 заморожених зразках хребта телят [56]. Дестабілізацію хребта було виконано шляхом видалення білатеральних фасеткових суглобів, а також надхребцевих і міжхребцевих зв'язок. Об'єм рухів при цьому встановлювали, вимірюючи флексію, екстензію та білатерально-згинальний момент. Відношення об'єму руху (рівень рухів кожної створеної моделі до рівня рухів порівнюваної моделі) було розраховано для сегментів LIII–LIV, LIV–LV і LV–LVI. У пружно стабілізованому хребті рестрикційна рухомість була більш вираженою, ніж флексія і білатерально-згинальний момент, а мобільність суміжних хребтових рухових сегментів приблизно дорівнювала такій у поперековому відділі інтактного хребта. У жорстко фіксованому хребті об'єм рухів збільшувався як у краніальних, так і каудальних суміжних сегментах. Значне зростання рухомості та тиску в попереково-сакральних сегментах після виконаної іммобілізації проксимальних сегментів було зафіксовано при біомеханічному дослідженні анатомічних препаратів хребтів собак [55]. Збільшення було пропорційним кількості іммобілізованих сегментів. При дослідженні впливу на суміжні сегменти однорівневого заднього артродезу, виконаного на рівні LVII–SI хребта собаки, кожний сегмент моделі був зсунутий вручну на 30° у положення згинання, розгинання (flexion, extension) та бічного згинання перед та після операції [31]. Було зафіксовано зростання тиску як у місцях контакту, так і в дуговідросткових суглобах при вертикальному навантаженні.

У дослідженнях J.M. Cottrell et al. [18] стверджується, що хребет собак не є адекватним

об'єктом для модельних експериментів стосовно оцінки впливу спондилодезу на суміжні сегменти. Переважними для виконання експериментів на хребті автори вважають кролів [11, 54]. У порівняльному дослідженні задньобічного спондилодезу і показників жорсткості хребта кролів та собак при згинанні було встановлено, що результати спондилодезу хребтових сегментів кроля подібні клінічним результатам спондилодезу у людини [18]. Кількість незрощень у кроля досягає 33%, що аналогічно даним людини, в той час як у собак при виконаному спондилодезі незрощень практично не буває. Було також доведено, що об'єм рухів (важливий показник при вивченні біомеханіки хребта) у поперековому відділі хребта кролів подібний об'єму рухів у людини. Хребет собак при дослідженні на згинання у всіх напрямках був достовірно жорсткішим у чотирьох точках, ніж хребет кроля, після проведеного однобічного спондилодезу. На доцільність використання кролів для моделювання деструктивних порушень (ушкодження) у міжхребцевому диску і вивчення змін у суміжних сегментах, що виникають при цьому, вказують і M. Alini et al. [7], незважаючи на наявність у драглистому ядрі міжхребцевих дисків кроля зародкових (нотохондральних) клітин.

Значно менше вивчено структурну організацію тканин суміжних сегментів після експериментального спондилодезу. Авторами даного огляду було виконано морфологічне дослідження структурної організації компонентів суміжних хребтових сегментів кролів в умовах введення у міжтіловий проміжок LIII–LIV пористих титанових та керамічних імплантатів. Встановлено, що імплантація біоматеріалів у міжтіловий проміжок призводить через три місяці до зрощення у сегменті та розвитку дистрофічних та деструктивних змін у всіх компонентах суміжних сегментів (міжхребцевий диск, кісткова тканина тіла хребця, хрящові наросткові пластинки апофізів, дуговідросткові суглоби). Вираженість порушень залежить від матеріалу ендопротеза, рівня суміжного сегмента та його структурного компонента. Доведено, що патологічні порушення переважають у всіх компонентах каудальних суміжних сегментів при застосуванні титанового зразка. Найбільш виражено деструктивні зміни у міжхребцевих дисках (а саме у внутрішніх ділянках волокнистого кільця та драглистому ядрі) та наросткових пластинках апофізів, які знаходяться поряд із зоною імплантації.

В експериментах на вівцях було досліджено вплив кіфотичної деформації на стан суміжних

сегментів при порівнянні з суміжними сегментами після виконаного заднього спондилодезу [57]. Було встановлено, що кіфотичний задньолатеральний спондилодез достовірно впливає на біомеханіку суміжних сегментів. У групі тварин з кіфозом встановлено наявність компенсаторного гіперлордозу ( $5 \pm 2,6^\circ$  та  $1,7 \pm 1,8^\circ$ ) на рівні LII–LIII та LV–LVI. При цьому індукується більша жорсткість у задньому зв'язковому комплексі, що призводить до контрактури дуговідросткових суглобів, а в подальшому й остеоартрозу. Результати гістологічного дослідження виявили значні дегенеративні порушення структури дуговідросткових суглобів на рівні LII–LIII при порівнянні з групою тварин, яким виконували тільки задньолатеральний спондилодез. Ці дослідження свідчать про велике значення сагітального вирівнювання при виконанні спондилодезу.

Базуючись на результатах рентгенологічного аналізу, деякі дослідники стверджують, що на структурну організацію міжхребцевих дисків, прилеглих та оперованих тіл хребців чинить вплив топографія розташування штифта в тілі хребця [25, 58]. Проведені авторами даного огляду дослідження на щурах при імплантації титанових штифтів у різні ділянки тіла хребця хвостового відділу хребта показали, що розташування штифта у центральних ділянках тіла хребця призводить до формування атрофічних змін у губчастій кістці та незначних порушень хрящових наросткових пластинок, проте практично не порушує структурну організацію прилеглих до оперованого тіла хребця міжхребцевих дисків [5]. Не було виявлено патологічних змін і в суміжних міжхребцевих дисках. При імплантації штифта в ділянку краніального апофіза тіла хребця в кістковій тканині, прилеглій до зони імплантації, хрящовій наростковій пластинці та структурних компонентах міжхребцевого диска, розташованого краніально від ділянки імплантації, виявляються виражені дегенеративні зміни. Спостерігається достовірне зменшення висоти краніального міжхребцевого диска. У суміжних хребтових сегментах, розташованих каудально, мають місце слабо виражені зміни у міжхребцевих дисках та хрящовій наростковій пластинці.

Порушення обміну протеогліканів у міжхребцевих дисках, суміжних з оперованими хребтовими сегментами (LIV–LV та LVII–SI), та тенденцію до зменшення висоти каудальних дисків відмічали F.M. Phillips et al. [63] при проведенні експериментів на кролях з приводу виконаного поперекового білатерального задньобічного артродезу на рівні LV–LVII з використанням



кісткового цементу та фіксуєчих засобів (дроту) через 6 місяців після операції. Автори відмітили виражені ознаки дегенерації міжхребцевих дисків суміжних хребтових сегментів у тварин дослідної групи, у той час як міжхребцеві диски суміжних хребтових сегментів контрольних кролів мали нормальну будову. Подібні результати (щодо дегенерації суміжних сегментів та порушення метаболізму протеогліканів) були опубліковані іншими дослідниками, які виконували експеримент на поперековому відділі хребта собак з проведенням заднього спондилодезу [16, 59]. Припускається, що саме спондилодез був пусковим механізмом розвинення відзначених порушень. Проте F. Unglaub [74] не виявив будь-яких рентгенологічних та морфологічних порушень в структурі суміжних міжхребцевих дисків поперекового відділу хребта кролів після виконаного осьового навантаження впродовж 28 днів з використанням апарата зовнішньої фіксації. Експеримент було проведено з метою визначення впливу односегментарного спондилодезу на біомеханіку суміжних сегментів. Висота навантажених дисків та внутрішньодисковий тиск в них були значно меншими, ніж у дисках контрольних тварин. У краніальних та каудальних дисках (суміжних з навантаженими дисками) внутрішньодисковий тиск та висота не були змінені. Відмічалися значні дегенеративні порушення структури навантаженого диска.

Аналіз експериментальних робіт останніх років свідчить про розширення діапазону досліджень у цьому напрямку. З'явилися роботи, які стосуються вивчення впливу спондилодезу на параспинальні м'язи [35]. В експериментах на кролях після виконаного двоохвівального заднього артродезу поперекового відділу хребта за допомогою гістологічних та електрофізіологічних методів було встановлено, що артродез хребта (через 6 місяців) призводить до вираженої атрофії та зменшення активності суміжних параспинальних м'язів.

### Заключення

Аналіз джерел літератури свідчить про наявність значного (від 16 до 92) відсотка дегенеративних змін у суміжних хребтових сегментах всіх відділів хребта при застосуванні спондилодезу. Дослідження кореляційних зв'язків між різними проявами ЗСС засвідчують про наявність такого взаємозв'язку між ознаками ЗСС і віком пацієнтів, рентгенологічними даними ЗСС і післяопераційним терміном. Проте не встановлено кореляції між симптомами захворювання (клінічними ознаками) і рентгенологічними показ-

никами. Існують протиріччя в тлумаченні впливу на розвиток ЗСС однорівневого та багаторівневого спондилодезу, а також переднього чи заднього спондилодезу. Однією з причин розвитку ЗСС після виконаного спондилодезу вважають зміну біомеханіки хребта та порушення сагітального балансу. З огляду на наведені результати клінічних спостережень та експериментальних даних можна стверджувати про багатофакторну етіологію ЗСС. Тобто факторами ризику ускладнень суміжних сегментів є характер інструментації при виконанні спондилодезу (довга або коротка), тип виконаної стабілізації (зрошення), локалізація оперативного втручання (сегмент хребта), сагітальний дисбаланс, стан міжхребцевих сегментів на момент проведення оперативного втручання (ушкодження міжхребцевих дисків та дуговідросткових суглобів), вік та стать пацієнтів і остеопороз.

Поряд з досягненнями у вивченні етіопатогенезу ЗСС після виконаних стабілізуючих операцій на хребті наведені результати клінічних та експериментальних розробок свідчать про наявність низки невирішених питань з даної проблеми. Тому для зниження ризику розвитку ускладнень у суміжних сегментах та зменшення відсотка негативних наслідків спондилодезу, необхідно продовжувати роботу щодо аналізу віддалених результатів стабілізуючих хірургічних втручань на хребті та проведення комплексних експериментальних досліджень. Залишаються актуальними порівняльні клінічні дослідження з використанням однотипних показників — метод оперативного втручання (різновиди спондилодезу), методики досліджень, вік та стать пацієнтів, інструментація тощо.

### Література

1. Барыш А. Е. Задний напряженный трансартукулярный цервикоспондилодез / А.Е. Барыш // Ортопед., травматол. — 2008. — № 2. — С. 44–55.
2. Барыш А.Е. Новая технология переднего моносегментарного межтелового спондилодеза шейного отдела позвоночника / А.Е. Барыш // Ортопед., травматол. — 2008. — №3. — С. 23–28.
3. Корж Н.А. Спондилодез в современной хирургии позвоночника / Н.А. Корж, А.Е. Барыш // Травма. — 2005. — Том 6. — № 4. — С. 390–398.
4. Радченко В.А. Практикум по стабилизации грудного и поясничного отделов позвоночника / В.А. Радченко, Н.А. Корж. — Харьков: Прапор, 2004. — 154 с.
5. Структурна організація тканин хребтових сегментів, суміжних до оперованого тіла хребця шурів, при різних варіантах розташування в ньому металевих імплантатів / В.О. Радченко, Н.В. Дедух, С.В. Малишкіна [и др.] // Медицина и ... — 2008. — № 4 (22). — С. 81–87.
6. Akamaru T. Adjacent segment motion after a simulated lumbar fusion in different sagittal alignments: A biomechanical analysis / T. Akamaru, N. Kawahara, S.T. Yoon [et al.] // Spine. — 2003. — №28. — Vol. 14. — P. 1560–1566.
7. Alini M. Are animal models useful for studying human disc

- disorders/ degeneration? / M. Alini, M.S. Eisenstein, K. Ito [et al.] // *Eur Spine*. — 2008. — Vol. 17. — P. 2–19.
8. Aota Y. Postfusion instability at the adjacent segments after rigid pedicle screw fixation for degenerative lumbar disc disorders / Y. Aota, K. Kumano, S. Hirabayashi // *J. Spinal Disord*. — 1995. — Vol. 8. — P. 464–473.
  9. Axelsson P. The spondylolytic vertebra and its adjacent segment. Mobility measured before and after posterolateral fusion / P. Axelsson, R. Johnsson, B. Stromqvist // *Spine*. — 1997. — № 22. — Vol. 4. — P. 414–417.
  10. Abnormal magneticresonance scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. / S.D. Boden, D.O. Davis, T.S. Dina [et al.] // *J. Bone Joint Surg Am*. — 1990. — № 72. — Vol. 3. — P.403–408.
  11. Boden S.D. An experimental lumbar intertransverse process spinal fusion model. Radiographic, histologic, and biomechanical healing characteristics / S.D. Boden, J.H. Schimandle, W.C. Hutton // *Spine*. — 1995. — Vol. 20. — P. 412–420.
  12. Butler W.F. Comparative anatomy and development of the mammalian disc: Ghosh P. (eds) *The biology of the intervertebral disc* / W.F. Butler // CRC, Boca Raton, FL. — 1988. — P. 83–108
  13. Junctional disc herniation syndrome in post spinal fusion treated with endoscopic spine surgery / J.C. Chiu, T. Clifford, R. Princthal, S. Shaw // *Surg. Technol. Int*. — 2005. — Vol. 14. — P. 305–315.
  14. **Adjacent segment degeneration after lumbar spinal posterolateral fusion with instrumentation in elderly patients** / W.Y. Chou, C.J. Hsu, W.N. Chang, C. Wong // *Arch. orthop. trauma surg*. — 2002. — № 122. — Vol. 1. — P. 39–43.
  15. Clark C.R. *The cervical spine* / C.R. Clark. — 4<sup>th</sup> ed. — Philadelphia—Tokyo: Lippincott Williams & Wilkins. — 2005. — 1250 p.
  16. The response of the canine intervertebral disc to immobilization produced by spinal arthrodesis is dependent on constitutional factors / T.C. Cole, P. Ghosh, J. Hannan [et al.] // *J. Orthop. Res*. — 1987. — Vol. 5. — P. 337–347.
  17. **An anatomical comparison of the human and bovine thoracolumbar spine** / P.C. Cotterill, J.P. Kostuik, G.D. Angelo [et al.] // *Orthop. Res*. — 1986. — Vol. 4. — P. 298–303.
  18. Assessing the Stiffness of Spinal Fusion in Animal Models / J.M. Cottrell, C.H. Marjolein, van der Meulen, J.M. Lane [et al.] // *HSS J*. — 2006. — Vol. 2, № 1. — P. 12–18.
  19. The effect of spinal destabilization and instrumentation on lumbar intradiscal pressure: an in vivo biomechanical analysis / B.W. Cunningham, Y. Kotani, P.S. McNulty [et al.] // *Spine*. 1997. — Vol. 22, №14. — P. 2655–2663.
  20. **Comparison of in vivo and in vitro adjacent segment motion after lumbar fusion.** / M.B. Dekutoski, M.J. Schendel, J.W. Ogilvie [et al.] // *Spine*. — 1994. — № 19. — Vol. 15. — P. 1745–1751.
  21. Demers C.N. Value and limitations of using the bovine tail as a model for the human lumbar spine / C.N. Demers, J. Antoniou, F. Mwale // *Spine*. — 2004. — Vol. 29. — P. 2793–2799.
  22. Eck J.C. Adjacent-segment degeneration after lumbar fusion: a review of clinical, biomedical, and radiologic studies / J.C. Eck, S.C. Humphreys, S.D. Hodges // *Am. J. Orthop*. — 1999. — Vol. 28. — P. 336–340.
  23. Biomechanical study on the effect of cervical spine fusion on adjacent-level intradiscal pressure and segmental motion / J.C. Eck., S.C. Humphreys, T.H. Lim [et al.] // *Spine*. — 2002. — Vol. 27, № 22. — P. 2431–2434.
  24. Elliott D.M. Young investigator award winner: validation of the mouse and rat disc as mechanical models of the human lumbar disc / D.M. Elliott, J.J. Sarver // *Spine*. — 2004. — Vol. 29. — P. 713–722.
  25. Etebar S. Factors for adjacent-segment failure following lumbar fixation with rigid instrumentation for degenerative instability / S. Etebar, D.W. Cahill // *J. Neurosurg*. — 1999. — Vol. 90, №2 (Suppl). — P. 163–169.
  26. **A kinematic study of the cervical spine before and after segmental arthrodesis** / D.A. Fuller, J.S. Kirkpatrick, S.E. Emery [et al.] // *Spine*. — 1998. — Vol. 23. — P. 1649–1656.
  27. **Adjacent segment degeneration in the lumbar spine** / G. Ghiselli, J.C. Wang, N.N. Bhatia [et al.] // *J. Bone Joint. Surg. Am*. — 2004. — № 86-A. — Vol. 7. — P. 1497–1503.
  28. Gillet P. The fate of the adjacent motion segments after lumbar fusion / P. Gillet // *J. Spinal Disord Tech*. — 2003. — Vol. 16. — P. 338–345.
  29. Long-term follow-up after interbody fusion of the cervical spine / J. Goffin, E. Geusens, N. Vantomme [et al.] // *J. Spinal Disord*. — 2004. — Vol. 17, № 2. — P. 79–85.
  30. Long-term outcome at adjacent levels of lumbar arthrodesis / P. Guigui, P. Wodecki, P. Bizot [et al.] // *Rev. Chir. Orthop. Reparatrice App. Mot*. — 1997. — № 83. — P. 685–696.
  31. Effect of immobilization and configuration on lumbar adjacent-segment biomechanics / K.Y. Ha., M.J. Schendel, J.L. Lewis [et al.] // *J. Spinal Disord*. — 1993. — Vol. 6, №2. — P. 99–105.
  32. Hayashi T. Degeneration change in the adjacent segments to the fusion site after posterolateral lumbar fusion with pedicle screw instrumentation — a minimum 4-year follow-up / T. Hayashi, T. Arizono, T. Fujimoto [et al.] // *Fukuoka Igaku Zasshi*. — 2008. — № 99. — Vol. 5. — P. 107–113.
  33. Herkowitz H.N. Surgical management of cervical soft disc herniation. A comparison between the anterior and posterior approach / H.N. Herkowitz, L.T. Kurz, D.P. Overholt // *Spine*. — 1990. — Vol. 15, № 10. — P. 1026–1030.
  34. Radiculopathy and myelopathy at segments adjacent to the site of a previous anterior cervical arthrodesis / A.S. Hilibrand, G.D. Carlson, M.A. Palumbo [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am*. — 1999. — Vol. 4, № 81A. — P. 519–528.
  35. Histological and electrophysiological change of the paraspinal muscle after spinal fusion: an experimental study / Y. Hu, H. Leung, W. Lu, K. Luk // *Spine*. — 2008. — № 33. — Vol. 13. — P. 1418–1422.
  36. Adjacent segment disease after anterior cervical interbody fusion / H. Ishihara, M. Kanamori, Y. Kawaguchi [et al.] // *Spinal J*. — 2004. — Vol. 4, №6. — P. 624–628.
  37. Minimum 10-year follow-up study of anterior lumbar interbody fusion for isth-mic spondylolisthesis / H. Ishihara, R. Osada, M. Kanamori [et al.] // *J. Spinal Disord*. — 2001. — Vol. 14, №2. — P. 91–99.
  38. Kyphotic malalignment after anterior cervical fusion is one of the factors promoting the degenerative process in adjacent intervertebral levels / A. Katsuura, S. Hukuda, Y. Saruhashi, K. Mori // *Eur Spine J*. — 2001. — №10. — P. 320–324.
  39. Effects of disc degeneration at one level on the adjacent level in axial model / Y.E. Kim, V.K. Goel, J.N. Weinstein [et al.] // *Spine*. — 1991. — Vol. 16, №3. — P. 331–335.
  40. Accelerated spondyloytic changes adjacent to the fused segment following cervical corpectomy: magnetic resonance imaging study evidence / V. Kulkarni, V. Rajshekhar, L. Raghuram [et al.] // *J. Neurosurg*. — 2004. — Vol. 100. — P. 2–6.
  41. Kumar M.N. Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion / M.N. Kumar, A. Baklanov, D. Chopin // *Eur. Spine J*. — 2001. — Vol. 7, №86-A. — P. 1497–1503.
  42. Kumar M.N. Long-term follow-up of functional outcomes and radiographic changes at adjacent levels following lumbar spine fusion for degenerative disc disease / M.N. Kumar, F. Jacquot, H. Hall // *Eur. Spine J*. — 2001. — №10. — P. 309–313.
  43. Sagittal alignment in lumbosacral fusion: Relations between radiological parameters and pain / J.Y. Lazennec, S. Ramare, N. Arafati [et al.] // *Eur. Spine J*. — 2000. — Vol. 1. — P. 47–55.
  44. Lee C.K. Accelerated degeneration of the segment adjacent to a lumbar fusion / C.K. Lee // *Spine*. — 1988. — Vol. 3. — №3. — P. 375–377.
  45. **Long-term follow-up of lower lumbar fusion patients** / T.R. Lehmann, K.F. Spratt, J.E. Tozzi [et al.] // *Spine*. — 1987. — Vol. 12, №2. — P. 97–104.

46. Levin D.A. Adjacent Segment Degeneration Following Spinal Fusion for Degenerative Disc Disease / D.A. Levin, J.J. Hale, J.A. Bendo // *Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases*. — 2007. — Vol. 65, № 1. — P. 29–36.
47. Lopez-Espine C.G. Multilevel cervical fusion and its effect on disc degeneration and osteophyte formation / C.G. Lopez-Espine, F. Amiroche, V. Havalad // *Spine*. — 1986. — Vol. 31, №9. — P. 972–978.
48. Lotz J.C. Animal models of intervertebral disc degeneration: lessons learned / J.C. Lotz // *Spine*. — 2004. — Vol. 29. — P. 2742–2750.
49. The effect on the lumbocervical spine of long spinal fusion for idiopathic scoliosis. A minimum 10-year follow up / K.D. Luk, F.B. Lee, J.C. Leong, L.C. Hsu // *Spine*. — 1987. — Vol. 12. — P. 996–1000.
50. **Biomechanical effect of anterior cervical spine fusion on adjacent segments** / D.J. Maiman, S. Kumaresan, N. Yogananda [et al.] // *Biomed Mater Eng*. — 1999. — Vol. 9, № 1. — P. 27–38.
51. Mc Grory B.J. Arthrodesis of the cervical spine for fractures and dislocations in children and adolescents. A long-term follow-up study / B.J. Mc Grory, R.A. Klassen // *J. Bone Joint Surg. Am.* — 1994. — Vol. 76. — P. 1606–1616.
52. Min J.H. The clinical characteristics and risk factors for the adjacent segment degeneration in instrumented lumbar fusion / J.H. Min, J.S. Jang, B. Jung // *J. Spinal. Disord. Tech.* — 2008. — Vol. 21, №5. — P. 305–309.
53. Outcome of one level posterior lumbar interbody fusion for spondylolesthesis and postoperative disc regeneration adjacent to the fusion / N. Miykoshi, E. Abe, Y. Shimada [et al.] // *Spine*. — 2000. — Vol. 25. — P. 1837–1842.
54. **Evaluation of bone-grafting materials in a new canine segmental spinal fusion model** / G.F. Muschler; B. Huber, T. Ullman [et al.] // *J. Orthop. Res.* — 1993. — Vol. 11. — P. 514–524.
55. The effect of immobilization of long segment of the spine in the adjacent and distal facet force and lumbosacral motion / H. Nagata, M.J. Shendel, E.E. Transfeldt, J.L. Lewis // *Spine*. — 1993. — Vol. 18. — P. 2471–2479.
56. **Nohara H. Biomechanical study of adjacent intervertebral motion after lumbar spinal fusion and flexible stabilization using polyethylene-terephthalate bands** / H. Nohara, F. Kanaya // *J. Spinal Disord Tech.* — 2004. — Vol. 17, №3. — P. 215–219.
57. Does spinal kyphotic deformity influence the biomechanical characteristics of the adjacent motion segments? An in vivo animal model. / I. Oda, B.W. Cunningham, R.A. Buckley [et al.] // *Spine*. — 1999. — № 24. — P. 2139–2146.
58. Risk factor for adjacent segment generation after PLIF / S. Okuda, M. Iwasaki, H. Aono, M. Morita [et al.] // *Spine J.* — 2004. — Vol. 29, №14. — P. 1535–1540.
59. Magnetic resonance imaging and biological changes in injured intervertebral disc under normal and increased mechanical demands / J.M. Olsewski, M.J. Schendel, L.J. Wallace [et al.] // *Spine*. — 1996. — Vol. 21, №14. — P. 1945–1951.
60. Panjabi M.M. Effects of disc injury on mechanical behaviour of the human spine / M.M. Panjabi, M.H. Krag, T.Q. Chung // *Spine*. — 1984. — Vol. 9, № 7. — P. 707–713.
61. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature / P. Park, H.J. Garton, V.C. Gala [et al.] // *Spine*. — 2004. — Vol. 29, № 17. — P. 1938–1944.
62. Penta M. Magnetic resonance imaging assessment of disc degeneration 10 years after anterior lumbar interbody fusion / M. Penta, A. Sandhu, R.D. Fraser // *Spine*. — 1995. — Vol. 20, №6. — P. 743–747.
63. Phillips F. Intervertebral disc degeneration adjacent to a lumbar fusion. An experimental rabbit model / F.M. Phillips, J. Resident; F.T. Wetzel // *J. Bone J. Surg.* — 2002. — Vol 84-B. — P. 289–294.
64. Qiu G.X. Adjacent segment disease after spine fusion and instrumentation / G.X. Qiu, H.G. Xu, X.S. Weng // *Zhongguo Yi Xue Ke Xue Yuan Xue Bao*. — 2005. — Vol. 27, №2. — P. 249–253.
65. **Rahm M.D. Adjacent-segment degeneration after lumbar fusion with instrumentation: retrospective study** / M.D. Rahm, B.B. Hall // *J. Spinal. Disord.* — 1996. — Vol. 9. — P. 392–400.
66. **Does anterior plating of the cervical spine predispose to adjacent segment changes?** / R.D. Rao, M. Wang, L.M. McGrady, T.J. Perlewitz [et al.] // *Spine*. — 2005. — Vol. 30, №24. — P. 2788–2792.
67. Changes in Segmental Intervertebral Motion Adjacent to Cervical Arthrodesis: A Prospective Study / C.A. Reitman, J.A. Hipp, L. Nguyen, S.I. Esses // *Spine*. — 2004. — Vol. 29, №11. — P. 1–6.
68. Sarver J.J. Mechanical differences between lumbar and tail discs in the mouse / J.J. Sarver, D.M. Elliott // *J. Orthop. Res.* — 2005. — Vol. 23. — P. 150–155.
69. Schelegel J.D. Lumbar motion segment pathology adjacent to thorocolumbar, lumbar and lumbosacral fusion / J.D. Schelegel, J.A. Smith, R.L. Schlessener // *Spine*. — 1996. — Vol. 21. — P. 970–981.
70. **Disc height reduction in adjacent segments and clinical outcome 10 years after lumbar 360° fusion** / T.L. Schulte, F. Leistra, V. Bullmann [et al.] // *Eur. Spine*. — 2007. — Vol. 16. — P. 2152–2158.
71. Symptomatic adjacent segment degeneration following posterior lumbar arthrodesis: retrospective analysis of 26 patients experienced in 10-year of periods / M. Shin, K. Ryu, I. Kim, C. Park // *J. Korean Neurosurg. Soc.* — 2007. — №42. — P. 184–190.
72. Late radiographic findings after the anterior cervical fusion for the cervical subaxial compressive flexion and vertical compression injuries in young patients / B. Spakauskas, K.V. Ambrozaitis, A. Tamasaukas, E. Kontautas // *Medicine (Caunas)*. — 2007. — Vol. 43, № 7. — P. 542–547.
73. **Traynelis V.C. Spinal arthroplast** / V.C. Traynelis // *Neurosurg. Focus*. — 2002. — Vol. 13. — P. 1–7.
74. Effects of unisegmental disc compression on adjacent segment: an in vivo animal models / F. Uglab, T. Guehring, H. Lorenz [et al.] // *European Spine Journal*. — 2005. — Vol. 14, № 10. — P. 949–955.
75. Intradiscal pressure measurements above an instrumented fusion. A cadaveric study / S.L. Weinoffer, R.D. Guyer, M. Herbert, S.I. Griffith // *Spine*. — 1995. — Vol. 20, № 5. — P. 526–531.
76. Wilke H.J. Are sheep spines a valid biomechanical model for human spines? / H.J. Wilke, A. Kettler, L.E. Claes // *Spine*. — 1997. — Vol. 22. — P. 2365–2374.
77. Is the lumbar sheep spine an adequate model for the human lumbar spine? — a comparison of biomechanical properties, macroscopic and microscopic anatomy and bone mineral density / H.J. Wilke, A. Kettler, P. Gosh, L. Claes // *Proceedings of the 26th annual meeting, Hawaii*. — 1999. — P. 124 p.
78. ISSLS prize winner: a novel approach to determine trunk muscle forces during flexion and extension: a comparison of data from an in vitro experiment and in vivo measurements / H.J. Wilke, A. Rohlmann, S. Neller [et al.] // *Spine*. — 2003. — Vol. 28. — P. 2585–2593.
79. AP-transplantation in the proximal disc adjacent to lumbar spine fusion. A retrospective comparison of mono- and polysegmental fusion on 120 patient / C. Wimmer, H. Gluch, M. Krismer [et al.] // *Acta Orthop. Scand.* — 1997. — Vol. 68. — P. 269–272.
80. **Yue W.M. Long-term results after anterior cervical discectomy and fusion with allograft and plating. A 5- to 11-year radiologic and clinical follow-up study** / W.M. Yue, W. Brodner, T.R. Highland // *Spine*. — 2005. — Vol. 19, № 30 — P. 2138–2144.