




# Варіанти, аномалії будови та розгалуження нервових корінців попереково-крижового відділу хребта: випадок з практики і світові надбання

О. С. Нехлопочин <sup>1,A,C,D</sup>, В. В. Вербов <sup>1,B,E</sup>, М. М. Лешко <sup>2,C,E</sup>, Є. В. Чешук <sup>1,B,D</sup>, І. М. Іванович <sup>1,B,C</sup>, Т. А. Малишева <sup>\*1,A,E,F</sup>

<sup>1</sup>ДУ «Інститут нейрохірургії імені академіка А. П. Ромоданова НАМН України», м. Київ, <sup>2</sup>Комунальне некомерційне підприємство «Олександрівська клінічна лікарня м. Києва» виконавчого органу Київської міської ради, Україна

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

## Ключові слова:

анатомія, варіанти та аномалії нервових корінців, попереково-крижовий відділ, диссектомія, клініка, ризики ускладнень.

## Key words:

anatomy, spinal nerve roots, anatomic variation, anomalies, lumbosacral region, dissection, pathology, complications risks.

Надійшла до редакції / Received: 02.06.2023

Після доопрацювання / Revised: 12.06.2023

Схвалено до друку / Accepted: 23.06.2023

**Конфлікт інтересів:** відсутній.

**Conflicts of interest:** authors have no conflict of interest to declare.

**\*E-mail:** morpho.neuro@gmail.com

**Мета роботи** – аналіз особливостей клінічного перебігу аномалії / варіанта будови та розгалуження корінців спинного мозку (СМ) на рівні L5 і S1 тип I за класифікацією A. Neidre та I. MacNab з ретроспективним аналізом даних МРТ до операції щодо своєрідності розгалуження та топографії ходу корінців СМ. Висвітлити проблему доцільності зіставлення на етапі планування операції візуалізаційних ознак щодо наявності аномалії, які зумовлені анатомічним варіантом аномалії / варіантом будови та розгалуження корінців спинного мозку, та особливостей клінічної картини. Зіставити власні результати та світовий досвід діагностики, класифікації та особливостей виконання диссектомії залежно від індивідуальних характеристик будови анатомічних структур попереково-крижової ділянки хребта.

**Результати.** Наведено дані власного спостереження, де під час операції в пацієнтки вірогідно верифіковано аномалію / варіант будови та розгалуження корінців спинного мозку на рівні L5 і S1 тип I за класифікацією A. Neidre та I. MacNab, а саме щільний тяж, за структурними ознаками подібний до корінця, але значно більшого діаметра, що виходить з дурального простору на рівні верхньої третини дуги L5 і після виходу поділяється на дві частини. Тонший пучок, що за діаметром зіставний з нормальним корінцем, виходить з хребтового каналу через L5-S1 міжхребцевий отвір, а значно товщий пучок має хід, паралельний осі дурального мішка, та виходить з каналу крізь міжхребцевий отвір S1-S2.

Зіставлення зі світовими клінічними спостереженнями показало: незважаючи на важливе клінічне та практичне значення щодо хірургічних ризиків, низка питань залишається недостатньо вивченою, необхідні продовження дослідження та систематизація.

**Висновки.** Аномалії корінців попереково-крижової області (АКПКО) мають низку варіантів будови та розгалуження, що наведено в різних класифікаціях. Фахова спільнота за частотою та практичним застосуванням найбільш актуальною вважає класифікацію АКПКО, що розроблена в 1983 р. A. Neidre та I. MacNab, у 2013 р. доповнена S. M. Burke et al. Якщо зміни кісткових структур хребця достатньо легко діагностувати за допомогою сучасних візуалізаційних методів обстеження, то доопераційна діагностика АКПКО надскладна, а інформативність стандартного МРТ низька. Це підтверджено клінічним випадком, що описали. Дисонанс щодо виразної неврологічної симптоматики при відносно невеликій протрузії диска дає змогу потенційно передбачити наявність варіанта / аномалії будови корінців при плануванні диссектомії на рівні поперекового сегмента хребта. Найбільш інформативним методом діагностики АКПКО є МР-нейрографія. Серед радіологічних ознак АКПКО типу I валідними вважають такі: «кутову ознаку» (англ. corner sign); «симптом жирового півмісяця» (англ. fat crescent sign) і «паралельний знак» (англ. parallel sign). АКПКО верифікують переважно інтраопераційно за низкою характерних топографо-анатомічних ознак: атипичним розташуванням місця відходження корінця з площини твердої мозкової оболонки, «незвичайним» кутом відходження корінця, аж до прямого кута, технічними труднощами мобілізації корінця під час типової диссектомії на рівні поперекового сегмента хребта.

Сучасні медичні технології. 2023. № 3(58). С. 43-52

## Variations and anomalies in the structure and branching of lumbosacral spinal nerve roots: a case report and global insights

O. S. Nekhlopochny, V. V. Verbov, M. M. Leshko, Ye. V. Cheshuk, I. M. Ivanovych, T. A. Malysheva

**Aim.** The objective of this study is to analyze the clinical course of lumbosacral spinal nerve root anomalies / variants Type I according to the A. Neidre and I. MacNab's classification, along with a retrospective MRI data analysis before surgery, focusing on the unique branching and topography of the spinal nerve roots. Additionally, we aim to address the relevance of correlating preoperative visualized features with the presence of anatomical anomalies

attributed to these spinal nerve root variations, and their implications on the clinical presentation. Our study aims to compare our findings with the global diagnostic experience, classification, and specific aspects of performing discectomies based on individual anatomical characteristics of the lumbosacral region.

**Results.** We present data from our own observation, when during surgery, a probable verification of a Type I lumbosacral spinal nerve root anomaly / variation according to the A. Neidre and I. MacNab's classification was discovered in a patient. The anomaly appeared as a dense mass resembling a nerve root in the structural characteristics but with a significantly larger diameter. It emerged from the dural space at the level of the upper third of the L5 arch and then divided into two parts. A thinner bundle, comparable in diameter to a normal nerve root, exited through the L5-S1 intervertebral foramen, while a considerably thicker bundle followed a path parallel to the axis of the dural sac and exited through the S1-S2 intervertebral foramen.

Comparison with global clinical observations revealed that despite the significant clinical and surgical implications, several aspects of this anomaly remain poorly studied and require further exploration and systematization.

**Conclusions.** The lumbosacral nerve root anomalies (LSNRA) demonstrate a variety of structural variations and branching patterns, which are reflected in different classifications. Among the professional community, the classification of LSNRA, developed by A. Neidre and I. MacNab in 1983 and supplemented by S. M. Burke et al. in 2013, is recognized as the most relevant and frequently applied. While changes in vertebral bone structures can be easily diagnosed using modern imaging methods, preoperative diagnosis of LSNRA proves to be challenging, and the informativeness of standard MRI is limited, as confirmed by the clinical case presented. The dissonance between prominent neurological symptoms and relatively minor disc protrusion allows for the potential presence of a root variation/anomaly when planning the lumbar spine discectomy.

The most informative diagnostic method for LSNRA is MR neurography. Among the radiological signs of Type I lumbosacral nerve root anomalies, the following are considered valid: "corner sign", "fat crescent sign", and "parallel sign". The verification of LSNRA is predominantly intraoperatively based on a series of characteristic topographic-anatomical features, including atypical locations of the root's origin from the dural sac, "unusual" nerve root exit angle, even up to a right angle, and technical challenges in root mobilization during routine lumbar discectomy procedures.

**Modern medical technology. 2023;(3):43-52**

Дискектомія на рівні поперекового сегмента хребта – найпоширеніший вид хірургічного втручання при спінальній патології [1]. З часу перших повідомлень про вдало виконані видалення гриж міжхребцевих дисків (МХД) поперекового відділу, що наведені W. J. Mixer і J. S. Barr (1934 р., трансдуральний доступ) та J. G. Love (1939 р., доступ з медіальною тракцією дурального мішка), і донині методи хірургічних втручань постійно модифікуються [2,3].

Загальною тенденцією є мінімізація хірургічного доступу, що поряд із позитивними змінами, як-от зменшення ризиків інфекційно-запальних ускладнень, зниження інтенсивності болю в післяопераційному періоді, зменшення тривалості перебування в стаціонарі (а отже і вартості лікування) тощо, має певні ризики та технічні недоліки [4]. Основний негативний аспект малоінвазивних втручань – обмеження безпосередньої візуалізації анатомічних утворень, розташованих у зоні хірургічного поля [5].

Лімітований візуальний контроль потребує глибоких знань хірурга про взаємне розташування невральних та остео-лігаментозних структур хребетно-рухового сегмента (ХРС), адже окремі маніпуляції виконують, припускаючи, що анатомічна будова відповідає «типовому (найбільш поширеному) варіантові».

Проблема частково нівелюється адекватним передопераційним плануванням. Сучасні засоби візуалізації дають змогу заздалегідь врахувати особливості кісткової будови ХРС, розміри та локалізацію екструзії МХД, що буде видалений. Водночас рутинна МРТ має досить обмежені можливості щодо виявлення особливостей будови нервових корінців

поперекового відділу хребта, найчастіше аномалії виявляють лише інтраопераційно [6].

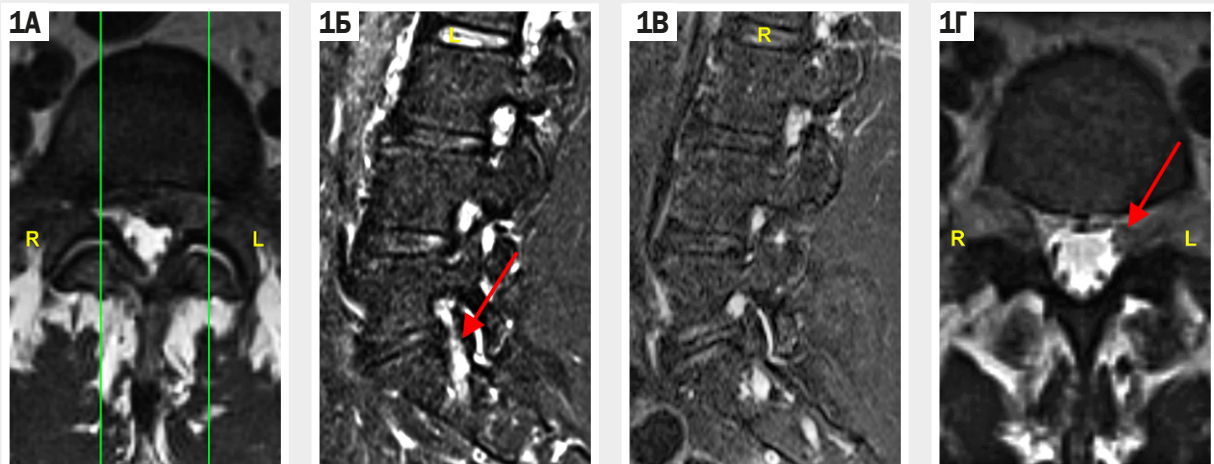
У вітчизняній фаховій літературі є дуже обмежені відомості щодо можливих варіантів аномалій корінців попереково-крижової області (АКПКО), частоти таких особливостей розвитку, а також їхнього впливу на тактику хірургічного втручання, можливі результати й ускладнення.

## Мета роботи

Аналіз особливостей клінічного перебігу аномалії / варіанта будови та розгалуження корінців спинного мозку (СМ) на рівні L5 і S1 тип I за класифікацією A. Neidre та I. MacNab з ретроспективним аналізом даних МРТ до операції щодо своєрідності розгалуження та топографії ходу корінців СМ. Висвітлити проблему доцільності зіставлення на етапі планування операції візуалізаційних ознак щодо наявності аномалії, які зумовлені анатомічним варіантом аномалії / варіантом будови та розгалуження корінців спинного мозку, та особливостей клінічної картини. Зіставити власні результати та світовий досвід діагностики, класифікації та особливостей виконання дискектомії залежно від індивідуальних характеристик будови анатомічних структур попереково-крижової ділянки хребта.

## Клінічний випадок

Пацієнтка К., 38 років звернулася за допомогою в ДУ «Інститут нейрохірургії імені академіка А. П. Ромоданова НАМН України» зі скаргами на різко виражений постійний біль у лівій



**Рис. 1.** МРТ випадку. **А:** сагітальний зріз на рівні L5-S1 МХД (T2В), вертикальні лінії відповідають проєкції сагітальних зрізів; **Б:** зліва; **В:** справа (STIR); **Г:** сагітальний зріз на рівні нижнього краю тіла L5 (T2В).



**Рис. 2. А:** інтраопераційна фотографія, етап після виконання розширеної фораміномії та видалення екструзії МХД; **Б:** схема ділянки люмбо-сакрального переходу. Жовтим пунктиром позначено зону, що відповідає фотографії, червоним контуром позначено ділянку кісткової фораміномії, дуги поперекових хребців напівпрозорі для поліпшення просторового уявлення (власна модифікована анатомічна схема).

нозі та помірний біль у верхніх відділах поперекової ділянки (проєкція нирок). З анамнезу відомо, що біль у попереку епізодично турбував протягом тривалого часу, проте ефективно купірувався прийманням нестероїдних протизапальних засобів. Пацієнтку проконсультував уролог, патологія не виявлена.

Погіршення пацієнтки визначає протягом майже 2 місяців, коли поперековий біль став постійним і поступово почав іррадіювати в ліву ногу. Впродовж 3 тижнів отримала курс лікування під наглядом невролога. Втім, інтенсивність болючих відчуттів прогресувала. Пацієнтці виконали МРТ дослідження, направили на консультацію до нейрохірурга.

На час госпіталізації вогнищеві неврологічні симптоми не виявлені, рефлеksi верхніх кінцівок – S = D, колінні рефлеksi – S ≤ D, ахіллів зліва – немає. Патологічні підшовні рефлеksi не визначені. Гіпестезія в проєкції дерматомів L5 і S1 зліва. Сила в кінцівках збережена. Симптоми натягу негативні. Пересувається з опорою внаслідок вираженого болю, інтенсивність якого оцінює як 8 балів за шкалою Numerical Rating

Scale (NRS) [7]. На МРТ верифіковано секвестровану ліво-бічну парамедіальну екструзію L5-S1 міжхребцевого диска (рис. 1А). Пацієнтці призначена стандартна мікродискектомія.

Під час хірургічного втручання після фораміномії на рівні L5-S1 візуалізуються обриси дурального мішка, по латеральному краю якого визначили щільний білуватого кольору тяж, що нагадує нервовий корінець, але значно більшого діаметра, майже не рухливий (не зсувається медіально); це не дає змоги отримати стандартний доступ до міжхребцевого диска. Після розширення обсягу фораміномії встановлено: утворення, що виявили, відходить від твердої мозкової оболонки (ТМО) на рівні верхньої третини дуги L5 і після виходу поділяється на дві частини. Тонший пучок, що за діаметром відповідає нормальному корінцю цього рівня, виходить із хребтового каналу через L5-S1 міжхребцевий отвір, а значно більший за діаметром пучок проходить паралельно осі хребта та виходить із каналу через міжхребцевий отвір S1-S2. Незважаючи на доволі широку кісткову декомпресію,

цей більший пучок не вдалося мобілізувати медіально, тому дискотомію виконали через проміжок між корінцем та ТМО (рис. 2).

Наступного дня після хірургічного втручання пацієнтка визначила істотне (до 3 балів) зменшення інтенсивності больових відчуттів. Виписана зі стаціонара на 5 добу. Через 2 місяці під час контрольного огляду визначено, що розлади чуттів майже повністю регресували, сила в кінцівках – 5 балів, періодичні болючі відчуття в носі – на рівні 1–2 бали за NRS.

Під час детального ретроспективного аналізу МРТ (рис. 1) звернули увагу на низку особливостей:

1. У фронтальній проєкції аномалії не виявлені, оскільки зрізи виконано з проміжком 6 мм, корінці L5 і S1 не потрапляють у проєкцію візуалізації;

2. На аксіальних зрізах, що виконані на рівні МХД L5-S1, верифікація корінців істотно утруднена внаслідок екструзії диска (рис. 1А). На зрізі, що відповідає нижньому краю тіла L5, латеральніше ТМО визначено округле утворення, що, воєвидь, відповідає виявленому інтраопераційно аномальному S1 корінцю (рис. 1Г);

3. На сагітальних зрізах, що виконані в площині латеральних кишень хребетного каналу, зліва визначається тяж, який проходить від L5-S1 до S1-S2 міжхребцевих отворів. Його можна ретроспективно визначити як змінений корінець (рис. 1Б). Справа такої структури немає (рис. 1В).

4. Під час опису МРТ-обстеження пацієнтки радіологи діагностичного центру не виявили ці аномалії.

## Обговорення

Варіанти й аномалії будови корінців попереково-крижового відділу хребта визначають як головну причину невдалих попереково-крижових дискотомій та інтраопераційних ушкоджень корінців [8].

Першим автором, який опублікував у 1949 р. достовірний клініко-анатомічний опис АКПКО, вважають С. Zagnoni [9]. Згодом у фаховій літературі регулярно наводили відомості про аналогічні випадки [10, 11]. Нині справжня частота таких аномалій у популяції не відома, а в нечисленних публікаціях, присвячених цій тематиці, наведено дуже суперечливі дані.

Haijiao W. et al. під час аналізу 376 МР-томограм пацієнтів, обстежених у зв'язку зі скаргами біль у попереку чи радикулярний біль, виявили аномалії в 65 випадках; це визначає поширеність на рівні 17,3 % [6]. В одному з цих випадків зареєстровано більш краніальне, ніж у нормі, відходження від ТМО корінця, у п'ятох випадках – більш каудальне, два випадки характеризувалися зрощенням корінців; у 57 пацієнтів зареєстровано роздвоєння корінців – і поодинокі, і множинні. Загалом виявили 98 роздвоєних корінців: у 43,9 % випадків роздвоєння відбувалося інтрафораміально, у 56,1 % – екстрафораміально.

Artico M. et al. у результаті аналізу даних комп'ютерної томографії та/або МРТ 1200 пацієнтів виявили лише 3 випадки аномалій будови корінців люмбосакральної області (відносна частота – 0,25 %). У всіх випадках визначили зрощення L5 і S1, у двох випадках на цьому фоні виявили вади розвитку кісткових структур [12]. Postacchini F. et al. визначили частоту

АКПКО на рівні 2,17 %, і кожен п'ятий випадок супроводжувався супутньою кістковою аномалією [13]. На підставі зібраного клінічного матеріалу автори розробили власну класифікацію аномалій. White J. G. et al., ґрунтуючись на аналізі 4726 операцій, що виконані протягом 25 років, повідомили про верифікацію 63 випадків аномалій (середня частота – 1,3 %) [14].

Найґрунтовнішим, на наш погляд, є дослідження 2010 року, опубліковане R. Lotan et al. [15]. На основі аналізу хірургічних втручань, що виконані протягом 6 років, встановлена частота аномалій на рівні 5,8 %. Зазначимо: незважаючи на широку варіативність наведених показників, ряд дослідників зробили висновок, що здебільшого подібні особливості розвитку мають безсимптомний перебіг, і їх не діагностують [15, 16, 17].

Механізм ембріологічних порушень, що викликають АКПКО, досі не встановлений, потребує наступного вивчення та систематизації. Показано, що вади розвитку, коли нервові корінці виходять більш каудально, ніж зазвичай або у близько прилеглих муфтах твердої мозкової оболонки, або у загальному нервовому стовбурі, виникають, імовірно, внаслідок дефекту міграції під час ембріогенезу та зазвичай однобічні [12]. Так, відомо, що спинний мозок на третьому місяці ембріогенезу простягається на повну довжину зародка, а спинномозкові нерви виходять із міжхребцевих отворів на рівні виходу їхніх корінців зі спинного мозку [18]. Протягом розвитку завдяки активному росту хребтового стовпа і ТМО спинний мозок поступово підіймається вище. При народженні він знаходиться на рівні третього поперекового хребця. Ця асиметрія росту призводить до того, що корінці спинно-мозкових нервів прямують косо вниз від своїх сегментів спинного мозку до відповідних міжхребцевих отворів. У дорослих спинний мозок закінчується на рівні другого – третього поперекового хребця, а тверда мозкова оболонка та субарахноїдальний простір продовжуються до рівня другого крижового хребця [19].

Поява корінців краніальніше зазвичай двобічна і, як припускають, пов'язана з аномальним їх відходженням від спинного мозку [13]. Встановлено також, що численні варіації анастомозів між корінцями можуть виявляти як сполучений пучок окремих нервових волокон або як повноцінне їх об'єднання з загальною стромальною архітектонікою оболонки нервового стовбура [20]. У понад 50 % випадків в аномалію залучаються корінці на рівні L5 і S1, вади розвитку S2 реєструють у третині випадків, аномалії інших корінців вкрай рідкісні. Множинні вади розвитку значно частіше визначають ліворуч, ніж праворуч.

Крім ізольованих АКПКО описано комбіновані вади, що включають аномалії будови хребта в поєднанні з особливостями топографії невральних структур попереково-крижової ділянки. Так, H. Kuroki та T. Nagai наводять випадок зрощення L5 і S1 корінців у пацієнтки зі spina bifida occulta. Аномалія встановлена інтраопераційно під час видалення секвестрованої грижі диска L5-S1 [21]. Okuwaki T. et al. описали зрощення L5-S1 на тлі дефекту дуги L5 з явищами вираженої радикулопатії, але взагалі без пролабування структур міжхребцевого диска [22]. Jokhi V. H. et al. описали клінічний випадок зрощення L4-L5 корінців у поєднанні з розщепленням дуги L5 і значним стенозом хребтового каналу [23]. Комбінацію зрощення L5-S1 корінців із двобічним спондилізом L5

описали T. Yilmaz et al. [8], a D. Davidson et al. виявили аналогічну аномалію будови корінців у поєднанні з дегенеративним спондилолістезом [24]. Навіть ретроспективний аналіз СКТ і МРТ не дав авторам змоги верифікувати особливості ходу та напрямку корінців у пацієнта. Комбінації спондилолістезу з аномалією будови нервових корінців на рівні L5-S1 виявили I. Pora et al., M. R. Rask et al. [25,26].

Спроби впорядкувати чималий спектр нестандартних варіантів будови та розташування корінців спричинили появу поодиноких класифікацій, що наведені у фаховій літературі. Перша система градації аномалій оприлюднена в 1962 році B. W. Cannon et al. [27]. На підставі власних спостережень і відомостей наукової літератури дослідники розрізняють 3 головні варіанти:

1. Корінці, що зрослися. При цьому типі два сусідні корінці відходять від ТМО єдиним нервовим стовбуром, після чого або безпосередньо одразу, або на певній відстані поділяються і залишають хребет через окремі міжхребцеві отвори. У низці випадків у межах хребетного каналу поділ не відбувається;

2. Анастомоз між корінцями. Зазвичай сполучна гілка відходить від корінця недалеко після виходу з ТМО і косо приєднується до корінця, що лежить нижче;

3. Поперечний напрям ходу корінця. Особливість такої аномалії – нижче, ніж у нормі відходження корінця від ТМО; внаслідок цього з останньої утворюється майже прямий кут. Корінець спрямований впоперек до виходу з міжхребцевого отвору.

У 1982 році F. Postacchini et al. опублікували власний варіант класифікації, розроблений на основі аналізу 46 випадків виявлених аномалій. Для цього автори проаналізували 2123 мієлограми. Розрізняли 5 варіантів [13]:

I. Один або кілька корінців виходять з апертур ТМО краніальніше, ніж типово;

II. Один із корінців відходить від ТМО каудальніше, ніж типово;

III. Через отвори твердої мозкової оболонки виходять два або більше нервових корінців;

IV. Два нервові корінці виходять із дурального мішка загальним нервовим стовбуром;

V. Анастомотична гілка з'єднує два нервові корінці екстратекально інтраканально.

Автори визначили, що в проаналізованій вибірці аномалії III та IV типів найпоширеніші, становлять майже 69 % від усіх виявлених вад розвитку.

Kadish L. J. і Simmons E. H. у 1984 році запропонували власну класифікацію АКПКО [28]. Враховуючи, що одне з джерел інформації під час розроблення системи розподілу й опису варіантів – результати аутопсії, розглядали й екстра-, й інтрадуральні особливості, на відміну від інших класифікацій. Автори розрізняли такі варіанти:

I. Інтрадуральний анастомоз між корінцями.

II. Аномальне відходження нервового корінця:

a. краніальніше від типового місця відходження;

b. каудальніше від типового місця відходження;

c. комбінація краніального та каудального відходження із залученням двох суміжних корінців;

d. зрослені нервові корінці.

III. Екстрадуральні анастомози між нервовими корінцями.

IV. Екстрадуральне розгалуження нервових корінців.

Визначили, що середня частота аномалій в аналізованій вибірці становила 14 %, найчастіше реєстрували зрощення корінців (варіант II d) та інтрадуральні анастомози (варіант I).

Найчастіше у практиці застосовують класифікацію, що розроблена в 1983 році A. Neidre та I. MacNab, доповнена у 2013 році S. M. Burke et al. (рис. 3) [16,29]. Автори розрізняють такі анатомічні варіанти:

1. Варіант 1 – корінці, що зрослися. За даними фахової літератури, це найбільш поширений тип аномалій. Зрощені корінці інтраканально поділяються і виходять через відповідні міжхребцеві отвори. Розрізняють два варіанти корінців, що зрослися: 1А – виходять із дурального мішка єдиним нервовим стовбуром, варіант 1Б – мають близькі зони виходу з дурального мішка, але в окремих муфтах;

2. Варіант 2 – надлишкові чи «подвоєні» корінці. В цьому разі два корінці виходять через один міжхребцевий отвір. Розрізняють варіант 2А, коли додаткового (нормального) корінця немає, й один міжхребцевий отвір залишається вільним, і 2Б, коли є додатковий корінець;

3. Варіант 3 – аномалії, що пов'язані з анастомозами між суміжними корінцями;

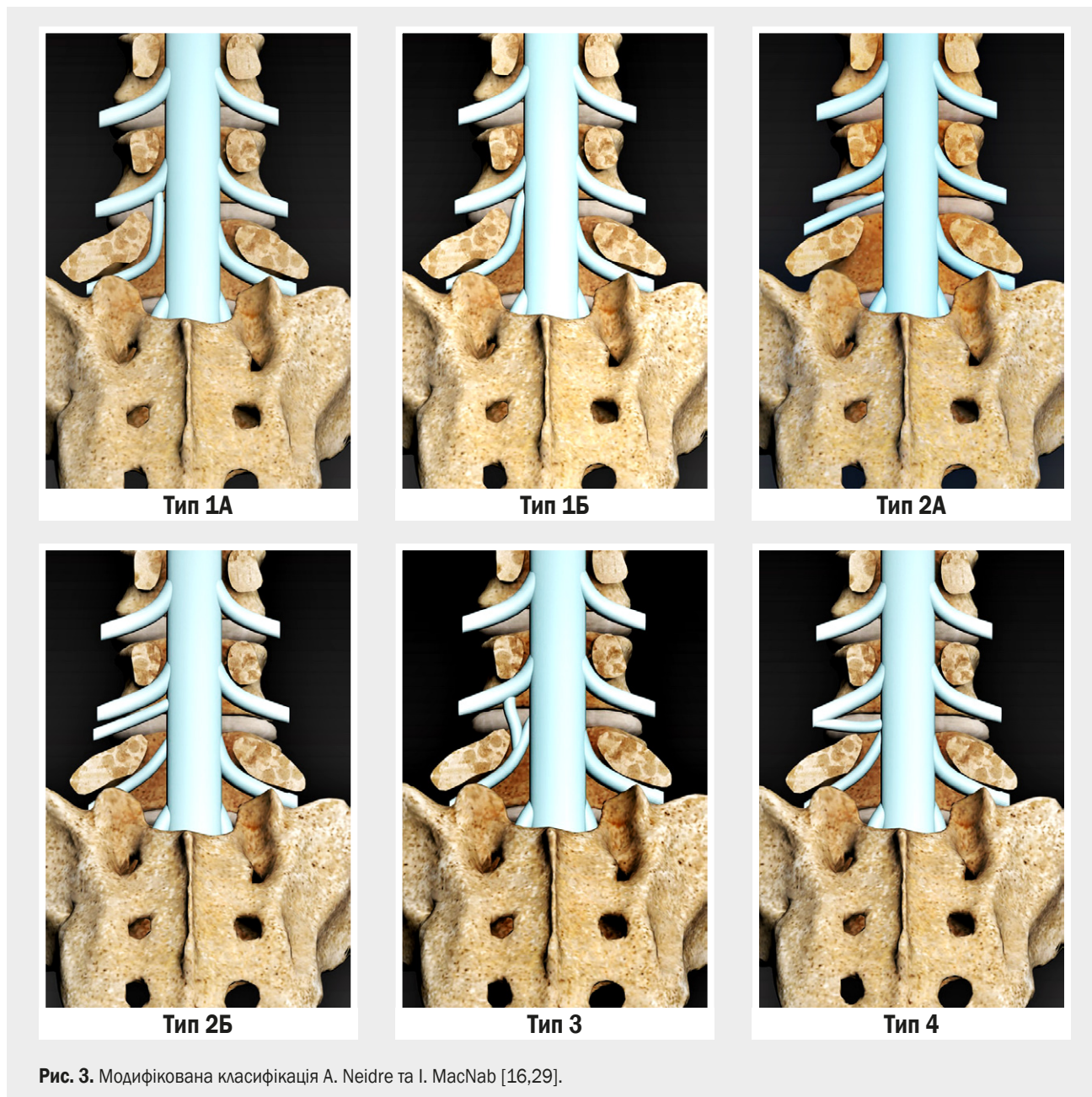
4. Варіант 4 – корінці, що зливаються. У цьому разі два корінці, що виходять окремо з дурального мішка, з'єднуються дистально, формуючи єдиний корінець, що виходить крізь міжхребцевий отвір.

Клінічна діагностика АКПКО надскладна, оскільки чітких ознак, що дають змогу її верифікувати, немає. Окремі дослідники вважають, що аномалії, варіанти форми та розгалуження корінців попереково-крижового відділу самі по собі не мають специфічних симптомів, їх виявляють тільки у разі дегенеративно-дистрофічних змін хребтово-рухового сегмента, що прогресують [12]. Втім, дисонанс щодо виразної неврологічної симптоматики при відносно невеликій протрузії диска дає змогу припустити наявність варіанта / аномалії будови корінців [30].

Показовим є дослідження, що здійснене R. Lotan et al. [15]. Порівнявши клінічну симптоматику 16 пацієнтів з аномаліями корінців попереково-крижового відділу та 32 хворих із грижами міжхребцевих дисків (у групу порівняння залучали, враховуючи стать, вік і рівень ураження), встановили: як основний прояв для аномалій характерніша кульгавість, а при грижах міжхребцевого диска перше місце в симптомокомплексі належить радикулопатіям (75 %).

Автори наголосили, що в жодному з 16 випадків до операції під час аналізу даних МРТ радіологи не верифікували аномалію. Taghipour M. et al. під час аналізу 22 випадків встановили, що неврологічний симптомокомплекс у 31,8 % хворих можна пояснити тільки основною патологією (грижею диска), а в 68,2 % пацієнтів саме вплив аномалії призводив до формування клінічної невідповідності [31]. Окремі дослідники пов'язують тяжкість клінічних проявів зі зменшенням мобільності корінців при АКПКО [17].

Системні дослідження й аналіз накопиченого матеріалу дали змогу виокремити дві основні клінічні ознаки, що дають змогу, хоч не підтвердити, але принаймні передбачити наяв-



ність аномалії. Це залучення двох суміжних дермотомів за наявності гризового випинання на одному рівні та негативний симптом Лассега в разі вираженої радикулопатії [21,31].

Аналізуючи особливості інструментальної діагностики аномалій корінців попереково-крижового відділу, треба зауважити, що мієлографія є найінформативнішим методом візуалізації [32].

Більшість наведених варіантів будови та систем класифікації аномалій розроблені на підставі аналізу мієлограм. На жаль, нині мієлографія є резервним методом діагностики і не має широкого клінічного застосування.

Стандартний метод виявлення АКПКО та диференціації аномалій від об'ємних утворень та інших патологічних процесів – МРТ. Встановили, що Т2-зважені зображення, виконані в коронарній проекції, є найкращим методом

визначення аномалій корінців. Подібно до мієлографії ця послідовність дає змогу візуалізувати вихід групи корінців від ТМО та їх хід надалі, а також співвідношення з ніжками дуг хребців відповідного рівня [33]. Однак окремі автори зазначають, що рутинно такі обстеження здійснюють рідко, а їхня інформативність обмежена значними проміжками між зрізами. Враховуючи, що абсолютна більшість аномалій припадає на L5 і S1 корінці, які внаслідок вигину люмбо-сакрального переходу ніколи не знаходяться в одній площині, їх одночасна візуалізація не можлива; це суттєво знижує інформативність дослідження [34]. Це притаманно і випадку, який ми описали: на жодному з фронтальних зрізів корінці L5 і S1 не визначено.

Наведена особливість визначає більшу інформативність сагітальних та аксіальних зрізів. Зважаючи на істотну різно-

манітність можливих АКПКО, універсальні МРТ-ознаки варіантів / аномалій досі не визначили. Щодо клінічного випадку, що описано, у фаховій літературі наведено кілька критеріїв, які дають змогу передбачити аномалію типу I за A. Neidre та I. MacNab. Так, С. Н. Kang et al. описали «симптом сагітального плеча» (англ. sagittal shoulder sign), який дослідники виявили в 90,9 % задокументованих інтраопераційних випадків попереково-крижових нервових корінців, що зрослися, скомпрометованих грижами міжхребцевих дисків [35]. Ознака може бути виявлена на парасагітальних T1-, T2-зважених або STIR МРТ-послідовностях і визначається як вертикальна структура, що з'єднує два суміжні нервові корінці, деформована відповідною протрузією або екструзією МХД. Симптом сагітального плеча ретроспективно встановили й у клінічному випадку, що навели (рис. 1Б).

Щодо аксіальних зрізів S. J. Song et al. пропонують три радіологічні ознаки АКПКО типу I, які, на думку авторів, найлегше верифікувати на T1-зважених зображеннях [36]. «Кутува ознака» (англ. corner sign) визначили як асиметрію вентролатеральної ділянки дурального мішка (рис. 1Г). Встановили, що ця ознака не є патогномонічною, можливе її виявлення і при епідуральному ліпоматозі та стенозі хребетного каналу. Імовірність виявлення при типі I аномалій на T1- і T2-зважених зображеннях становить 100,0 % і 14,7 % відповідно. «Симптом жирового півмісяця» (англ. fat crescent sign) визначають за гіперінтенсивною смужкою, що відповідає екстрадуральній жировій тканині, розташованій між аномальним нервовим корінцем та асиметричним дуральним мішком. Визначають на T1- і T2-зважених зображеннях у 67,7 % і 16,7 % випадків відповідно. «Паралельний знак» (англ. parallel sign) характеризує незвичайний напрям нервового корінця на рівні диска, що йде паралельно площині диска. Виявляють у 50,0 % випадків на T1-зважених, у 33,0 % – на T2-зважених зображеннях.

Всупереч усталеній думці, автори дослідження стверджують, що саме аксіальні зображення МРТ у T1-зваженому режимі найбільш інформативні під час оцінювання аномалій внаслідок інтенсивнішого контрасту між дуральним мішком та епідуральною клітковиною.

У клінічному випадку, що описали, нам вдалося виявити лише одну з названих ознак, оскільки T1 аксіальних послідовностей не було на нейровізуалізаційних сканах, що в більшості випадків є стандартом у вітчизняній МРТ діагностиці та показані в разі припущення про наявність диско-радикалярного конфлікту.

Незважаючи на високу інформативність, МРТ-діагностика має низку обмежень. У багатьох дослідженнях візуалізацію в оптимальних проєкціях та/або послідовностях не здійснюють, ба більше, внаслідок низької якості обстеження можливі хибнопозитивні результати.

Загалом у 9 із 10 випадків рутинна МРТ не дає змоги виявити АКПКО [34]. Для покращення візуалізаційних можливостей пропонують використовувати нестандартні проєкції сканування. Так, D. H. Neo et al. показали високу інформативність «косих» МРТ сканів (Oblique MRI) саме для виявлення АКПКО [37]. Втім, незважаючи на істотні переваги для діагностики низки патологічних станів, методику досі широко не застосовують [38].

Найінформативніший метод діагностики АКПКО – МР-нейрографія [39,40]. Перспективність застосування цього методу діагностики показано в роботах A. Sharma et al., H. Kuroki et al. [21,30]. На жаль, у вітчизняній практиці цей метод діагностики не поширений. Виявлено також, що, навіть коли є технічна можливість виконати МР-нейрографію, це обстеження призначають за певними показаннями, як-от у разі припущення про АКПКО, яке виникає під час аналізу клінічної картини та даних стандартних МРТ-обстежень.

Поперекова дискетомія завжди пов'язана з певними технічними особливостями, якщо є аномалії, оскільки рутинні маніпуляції ускладнені чи не можливі.

АКПКО верифікують передусім інтраопераційно, і це істотно підвищує ризик ятрогенних ускладнень. Матеріал диска може переміститися у вторинну аксіальну ділянку зрощеного корінця, внаслідок цього його екстракція зумовлює певні технічні труднощі, особливо під час ендоскопічного втручання. У низці випадків відсутність інформації про наявність АКПКО призводить до надмірної ретракції нервових структур при спробі виявити та видалити фрагмент секвестрованої грижі диска: визначають ятрогенні розриви ТМО, механічні пошкодження корінців аж до відриву. Крім того, аномалію можна помилково ідентифікувати як грижове випинання, що призводить до перетину корінця, оскільки здебільшого при інтраопераційно верифікованому корінці в ділянці МХД хірург не визначає навколишні структури як «потенційні нервові» утворення. Така ситуація може стати причиною незрозумілого неврологічного дефіциту після успішної, на думку хірурга, дискетомії [41].

Burke S. M. et al. визначили низку інтраопераційних ознак, що дають підстави припустити наявність аномалії на етапі доступу, тобто ще до повноцінної візуалізації: атипове розташування зони відходження корінця від ТМО, «незвичайний» кут відходження корінця, аж до прямого кута, труднощі при мобілізації корінця [16]. Ці ознаки підтверджують інші дослідники [24,35,42]. Крім того, відсутність або аномалія жовтої зв'язки в зоні втручання також потребує певної настороженості щодо АКПКО, проте ця ознака не мала широкого практичного підтвердження [16].

Результатом успішного втручання має бути видалення фрагмента диска, що компресує нервові структури, а також додаткова декомпресія внаслідок кісткової резекції, обсяг якої визначають індивідуально, залежно від конкретної клінічної ситуації.

Техніку дискетомії, коли є аномалія корінців, що запропонована J. G. White et al., протягом тривалого часу вважали певним стандартом. Так, під час аналізу результатів хірургічного втручання в обсязі геміламінектомії та дискетомії хороший результат визначили лише в 30 % випадків, а виконання геміламінектомії з фасетектомією та резекцією дуги дало змогу, за даними дослідників, повністю відновити працездатність абсолютної більшості пацієнтів [14]. Ефективність такого підходу підтвердили M. Taghipour et al., R. Lotan et al. та інші дослідники [15,31].

Очевидний недолік такого підходу – надмірно велика кісткова резекція, що призводить у низці випадків до «ятрогенної нестабільності» хребта. Тому нині регламентований більш

індивідуалізований підхід. Так, у разі виявлення аномалії корінців інтраопераційно або при заздалегідь встановленому діагнозі рекомендована часткова фасетектомія в обсязі, що дає змогу переконливо візуалізувати скомпресований корінець. Коли така мобілізація не дає змоги виконати адекватну медіальну ретракцію, здійснюють додаткову краніо-медіальну кісткову декомпресію дурального мішка, що в більшості випадків сприяє підвищенню мобільності нервових структур і дає змогу змістити дуральний мішок разом із корінцем для безпечного видалення фрагментів диска. Якщо і ці маніпуляції не призводять до бажаного ефекту, вважають можливим виділення диска через аксиллярну ділянку, тобто між дуральним мішком і корінцем. Коли АКПКО верифіковано доопераційно, окремі автори вважають можливим видалення екструзії диска конрлатеральним доступом [12].

Один із перспективних методів запобігання ятрогенному ушкодженню нервових корінців – інтраопераційний нейромоніторинг. Так, у низці досліджень показано доволі високу чутливість методу при верифікації корінців під час поперекової дискотомії [43,44,45]. Зауважимо, що методика має досить обмежене застосування при рутинному видаленні грижі диска, а доцільність її широкого впровадження потребує наступних досліджень.

Результати поперекової дискотомії, коли є аномалія корінців, зазвичай характеризуються повільнішим регресом основних скарг [31]. У віддаленому періоді також визначили гірші результати [15]. Здебільшого пацієнти з АКПКО не задоволені результатами хірургічного втручання [12].

Зазначимо, що АКПКО мають важливе клінічне значення не лише під час планування та виконання поперекової дискотомії, – майже всі маніпуляції, виконані без достатнього візуального контролю нервових структур, пов'язані з ризиком ятрогенних ускладнень.

Причиною цього є саме нетипове розташування та/або індивідуальна топографія корінців поперекового відділу. Так, D. J. Shin et al. повідомляли про випадок ускладнення епідуральної блокади, що виникла саме внаслідокчасно недіагностованого АКПКО [46].

## Висновки

1. Аномалії корінців попереково-крижової ділянки мають низку варіантів будови та розгалуження, що наведені в різних класифікаціях. Найактуальнішою і найчастіше застосовуваною на практиці є класифікація АКПКО, що розроблена в 1983 році A. Neidre та I. MacNab та доповнена в 2013 році S. M. Burke et al.

2. Якщо зміни кісткових структур хребця доволі легко діагностувати за допомогою сучасних візуалізаційних методів обстеження, то доопераційна діагностика АКПКО надскладна, а інформативність стандартного МРТ низька; це підтверджено клінічним випадком, що наведений. Дисонанс щодо виразної неврологічної симптоматики при відносно невеликій протрузії диска дає змогу потенційно передбачити наявність варіанта / аномалії будови корінців під час планування дискотомії на рівні поперекового сегмента хребта. Найінформативніший метод діагностики АКПКО – МР-нейрографія.

3. Серед радіологічних ознак АКПКО типу I валідними вважають такі: «кутова ознака» (англ. corner sign); «симптом жирового півмісяця» (англ. fat crescent sign) та «паралельний знак» (англ. parallel sign).

4. АКПКО верифікують переважно інтраопераційно за низкою характерних топографо-анатомічних ознак: атипичним розташуванням місця відходження корінця з площини ТМО, «незвичайним» кутом відходження корінця, аж до прямого кута, технічними труднощами мобілізації корінця при типовій дискотомії на рівні поперекового сегмента хребта.

## Фінансування

Дослідження виконане в рамках НДР ДУ «Інститут нейрохірургії імені академіка А. П. Ромоданова НАМН України»: «Розробити інноваційні малоінвазивні технології в хірургічному лікуванні дегенеративних нейрокомпресійних синдромів поперекового відділу хребта» – за програмою наукових досліджень і розробок, що фінансується з державного бюджету, держреєстрація № 0122U000330 (2022–2024).

## Відомості про авторів:

Нехлопочин О. С., PhD, старший науковий співробітник відділу спінальної нейрохірургії, Інститут нейрохірургії імені академіка А. П. Ромоданова НАМН України, м. Київ.  
ORCID ID: 0000-0002-1180-6881

Вербов В. В., канд. мед. наук, лікар-нейрохірург відділення відновлювальної нейрохірургії, Інститут нейрохірургії імені академіка А. П. Ромоданова НАМН України, м. Київ.  
ORCID ID: 0000-0002-3074-9915

Лешко М. М., канд. мед. наук, лікар-нейрохірург, зав. відділення нейрохірургії, КНП «Олександрівська клінічна лікарня м. Києва» виконавчого органу КМР, Україна.  
ORCID ID: 0000-0001-7467-5447

Чешук Є. В., лікар-нейрохірург відділення відновлювальної нейрохірургії, Інститут нейрохірургії імені академіка А. П. Ромоданова НАМН України, м. Київ.  
ORCID ID: 0000-0002-8063-2141

Іванович І. М., анестезіолог відділення інтенсивної терапії та анестезіології № 2, Інститут нейрохірургії імені академіка А. П. Ромоданова НАМН України, м. Київ.  
ORCID ID: 0000-0002-6980-2816

Малишева Т. А., д-р мед. наук, начальник відділу нейропатоморфології, Інститут нейрохірургії імені академіка А. П. Ромоданова НАМН України, м. Київ.  
ORCID ID: 0000-0003-4071-8327

## Information about the authors:

Nekhlopochny O. S., MD, PhD, Senior researcher of the Department of Spinal Neurosurgery, State Institution "Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv.

Verbov V. V., MD, PhD, Neurosurgeon of the Department of Restorative Neurosurgery, State Institution "Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv.

Leshko M. M., MD, PhD, Head of the Neurosurgery Department, Oleksander Clinical Hospital, Kyiv, Ukraine.

Cheshuk Ye. V., MD, Neurosurgeon of the Department of Restorative Neurosurgery, State Institution "Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv.



Ivanovych I. M., MD, Anesthesiologist of the Department of Anesthesiology and Intensive Care No. 2, State Institution "Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv.  
 Malysheva T. A., MD, PhD, DSc, Head of the Department Neuropathomorphology, State Institution "Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv.

## References

- [1] Blamoutier A. Surgical discectomy for lumbar disc herniation: surgical techniques. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2013;99(1 Suppl):S187-96. doi: 10.1016/j.otsr.2012.11.005.
- [2] Mixter WJ, Barr JS. Rupture of the Intervertebral Disc with Involvement of the Spinal Canal. *NEJM.* 1934;211(5):210-5. doi: 10.1056/nejm193408022110506.
- [3] Love JG. Protruded Intervertebral Disc (Fibrocartilage): (Section of Orthopaedics and Section of Neurology). *Proc R Soc Med.* 1939;32(12):1697-721. doi: 10.1177/003591573903201244.
- [4] Simpson AK, Lightsey HM 4th, Xiong GX, Crawford AM, Minamide A, Schoenfeld AJ. Spinal endoscopy: evidence, techniques, global trends, and future projections. *Spine J.* 2022;22(1):64-74. doi: 10.1016/j.spinee.2021.07.004.
- [5] Webb J, Gottschalk L, Lee YP, Garfin S, Kim C. Surgeon Perceptions of Minimally Invasive Spine Surgery. *SAS J.* 2008;2(3):145. doi: 10.1016/S1935-9810(08)70032-X.
- [6] Haijiao W, Koti M, Smith FW, Wardlaw D. Diagnosis of lumbosacral nerve root anomalies by magnetic resonance imaging. *J Spinal Disord.* 2001;14(2):143-9. doi: 10.1097/00002517-200104000-00009.
- [7] Ferreira-Valente MA, Pais-Ribeiro JL, Jensen MP. Validity of four pain intensity rating scales. *Pain.* 2011;152(10):2399-404. doi: 10.1016/j.pain.2011.07.005.
- [8] Yilmaz T, Turan Y, Gülşen I, Dalbayrak S. Co-occurrence of lumbar spondylolysis and lumbar disc herniation with lumbosacral nerve root anomaly. *J Craniovertebr Junction Spine.* 2014;5(2):99-101. doi: 10.4103/0974-8237.139211.
- [9] Zagnoni C. Reperto di un tipo non conosciuto di anastomosi nervosa delle radici spinali. *Atti Soc Med Chir Padova.* 1949;27:48-52.
- [10] Ethelberg S, Rishede J. Malformation of lumbar spinal roots and sheaths in the causation of low backache and sciatica. *J Bone Joint Surg Br.* 1952;34-B(3):442-6. doi: 10.1302/0301-620X.34B3.442.
- [11] Deyerle Wm, May Vr Jr. Sciatica; etiology and treatment. *Clin Orthop.* 1954;4:166-79.
- [12] Artico M, Carloia S, Piacentini M, Ferretti G, Dazzi M, Franchitto S, et al. Conjoined lumbosacral nerve roots: observations on three cases and review of the literature. *Neurocirurgia (Astur).* 2006;17(1):54-9. doi: 10.1016/s1130-1473(06)70370-0.
- [13] Postacchini F, Urso S, Ferro L. Lumbosacral nerve-root anomalies. *J Bone Joint Surg Am.* 1982;64(5):721-9. doi: 10.2106/00004623-198264050-00009.
- [14] White JG 3rd, Strait TA, Binkley JR, Hunter SE. Surgical treatment of 63 cases of conjoined nerve roots. *J Neurosurg.* 1982;56(1):114-7. doi: 10.3171/jns.1982.56.1.0114.
- [15] Lotan R, Al-Rashdi A, Yee A, Finkelstein J. Clinical features of conjoined lumbosacral nerve roots versus lumbar intervertebral disc herniations. *Eur Spine J.* 2010;19(7):1094-8. doi: 10.1007/s00586-010-1329-6.
- [16] Burke SM, Safain MG, Kryzanski J, Riesenburger RI. Nerve root anomalies: implications for transforaminal lumbar interbody fusion surgery and a review of the Neidre and Macnab classification system. *Neurosurg Focus.* 2013;35(2):E9. doi: 10.3171/2013.2.FOCUS1349.
- [17] Schmidt CK, Rustagi T, Alonso F, Loukas M, Chapman JR, Oskouian RJ, et al. Nerve root anomalies: making sense of a complicated literature. *Childs Nerv Syst.* 2017;33(8):1261-73. doi: 10.1007/s00381-017-3457-3.
- [18] Sadler TW, Langman J. *Langman's medical embryology.* 10th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
- [19] Hashmi SS, van Staalduijn EK, Massoud TF. Anatomy of the Spinal Cord, Coverings, and Nerves. *Neuroimaging Clin N Am.* 2022;32(4):903-14. doi: 10.1016/j.nic.2022.07.025.
- [20] Maiuri F, Gambardella A. Anomalies of the lumbosacral nerve roots. *Neuro Res.* 1989;11(3):130-5. doi: 10.1080/01616412.1989.11739877.
- [21] Kuroki H, Nagai T. Conjoined nerve root in a patient with lumbar disc herniation accompanied by a lumbosacral spine anomaly: a case report. *J Med Case Rep.* 2023;17(1):82. doi: 10.1186/s13256-022-03749-1.
- [22] Okuwaki T, Kunogi J, Hasue M. Conjoined nerve roots associated with lumbosacral spine anomalies. A case report. *Spine (Phila Pa 1976).* 1991;16(11):1347-9. doi: 10.1097/00007632-199111000-00018.
- [23] Jokhi VH, Ponde SV, Sonawane C, Bansal SS, Chavhan A. Conjoint Lumbosacral Nerve Root-A Case Report. *J Orthop Case Rep.* 2015;5(4):14-6. doi: 10.13107/jocr.2250-0685.334.
- [24] Davidson D, Rowan R, Reilly C. Lumbosacral nerve root anomaly associated with spondylolisthesis in an adolescent: a case report and review of the literature. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31(19):E718-21. doi: 10.1097/01.brs.0000232808.09107.f4.
- [25] Popa I, Poenaru DV, Oprea MD, Andrei D. Intraoperative conjoined lumbosacral nerve roots associated with spondylolisthesis. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2013;23 Suppl 1:S115-9. doi: 10.1007/s00590-013-1185-2.
- [26] Rask MR. Anomalous lumbosacral nerve roots associated with spondylolisthesis. *Surg Neurol.* 1977;8(2):139-40.
- [27] Cannon BW, Hunter SE, Picaza JA. Nerve-root anomalies in lumbar-disc surgery. *J Neurosurg.* 1962;19:208-14. doi: 10.3171/jns.1962.19.3.0208.
- [28] Kadish LJ, Simmons EH. Anomalies of the lumbosacral nerve roots. An anatomical investigation and myelographic study. *J Bone Joint Surg Br.* 1984;66(3):411-6. doi: 10.1302/0301-620X.66B3.6725353.
- [29] Neidre A, MacNab I. Anomalies of the lumbosacral nerve roots. Review of 16 cases and classification. *Spine (Phila Pa 1976).* 1983;8(3):294-9. doi: 10.1097/00007632-198304000-00010.
- [30] Sharma A, Singh V, Agrawal R, Mangale N, Deepak P, Savla J, et al. Conjoint Nerve Root an Intraoperative Challenge in Minimally Invasive Tubular Discectomy. *Asian Spine J.* 2021;15(4):545-9. doi: 10.31616/asj.2020.0250.
- [31] Taghipour M, Razmkon A, Hosseini K. Conjoined lumbosacral nerve roots: analysis of cases diagnosed intraoperatively. *J Spinal Disord Tech.* 2009;22(6):413-6. doi: 10.1097/BSD.0b013e31818f0a0.
- [32] Coughlin JR, Miller JD. Metrizamide myelography in conjoined lumbosacral nerve roots. *J Can Assoc Radiol.* 1983;34(1):23-5.
- [33] Gomez JG, Dickey JW, Bachow TB. Conjoined lumbosacral nerve roots. *Acta Neurochir (Wien).* 1993;120(3-4):155-8. doi: 10.1007/BF02112035.
- [34] Oh CH, Park JS, Choi WS, Choi E, Ji GY. Radiological anatomical consideration of conjoined nerve root with a case review. *Anat Cell Biol.* 2013;46(4):291-5. doi: 10.5115/acb.2013.46.4.291.
- [35] Kang CH, Shin MJ, Kim SM, Lee SH, Kim HK, Ryu JA, et al. Conjoined lumbosacral nerve roots compromised by disk herniation: sagittal shoulder sign for the preoperative diagnosis. *Skeletal Radiol.* 2008;37(3):225-31. doi: 10.1007/s00256-007-0421-4.
- [36] Song SJ, Lee JW, Choi JY, Hong SH, Kim NR, Kim KJ, et al. Imaging features suggestive of a conjoined nerve root on routine axial MRI. *Skeletal Radiol.* 2008;37(2):133-8. doi: 10.1007/s00256-007-0403-6.
- [37] Heo DH, Kim SW, Chang HH, Park CK. Usefulness of Oblique Lumbar Magnetic Resonance Imaging for Nerve Root Anomalies and Extraforaminal Entrapment Lesions. *Asian Spine J.* 2018;12(3):423-7. doi: 10.4184/asj.2018.12.3.423.
- [38] Heo DH, Lee MS, Sheen SH, Cho SM, Cho YJ, Oh SM. Simple oblique lumbar magnetic resonance imaging technique and its diagnostic value for extraforaminal disc herniation. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009;34(22):2419-23. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181b96187.
- [39] Chhabra A, Madhuranthakam AJ, Andreisek G. Magnetic resonance neurography: current perspectives and literature review. *Eur Radiol.* 2018;28(2):698-707. doi: 10.1007/s00330-017-4976-8.
- [40] Engar C, Wadhwa V, Weinberg B, Chhabra A. Conjoined lumbosacral nerve roots: direct demonstration on MR neurography. *Clin Imaging.* 2014;38(6):892-4. doi: 10.1016/j.clinimag.2014.07.009.
- [41] Peyster RG, Teplick JG, Haskin ME. Computed tomography of lumbosacral conjoined nerve root anomalies. Potential cause of false-positive reading for herniated nucleus pulposus. *Spine (Phila Pa 1976).* 1985;10(4):331-7. doi: 10.1097/00007632-198505000-00008.
- [42] Maiuri F, Gangemi M, Gambardella A. Anatomical and radiological variations of the lumbar dural sac and nerve root sheaths. *Clin Neurol Neurosurg.* 1990;92(3):203-13. doi: 10.1016/0303-8467(90)90022-w.
- [43] Bosnjak R, Makovec M. Neurophysiological monitoring of S1 root function during microsurgical posterior discectomy using H-reflex and spinal nerve root potentials. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35(4):423-9. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181b9654f.

- [44] Macdonald DB, Stigsby B, Al Homoud I, Abalkhail T, Mokeem A. Utility of motor evoked potentials for intraoperative nerve root monitoring. *J Clin Neurophysiol.* 2012;29(2):118-25. doi: 10.1097/WNP.0b013e31824ceeaf.
- [45] Makovec M, Benedicic M, Bosnjak R. H wave and spinal root potentials in neuromonitoring of S1 root function during evacuation of herniated disc: preliminary results. *Croat Med J.* 2006;47(2):298-304.
- [46] Shin DJ, Lee YS, Choi E, Yi JS. Nerve root anomaly as a cause of unexpected outcomes of epidural steroid injections in lumbar radiculopathy: A case report. *J Back Musculoskeletal Rehabil.* 2022;35(5):971-6. doi: 10.3233/BMR-210226.