


ФІЗІОЛОГІЯ, ПАТОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ І МОРФОЛОГІЯ

УДК 636.09:611.835/.982.018:612.13

Сегментарне формування магістральних нервів крижового сплетення

Новак В.П. , Бевз О.С. , Мельниченко А.П. ,Ільницький М.Г. , Присяжнюк Н.М. 

Білоцерківський національний аграрний університет

 Ільницький М.Г. E-mail: anatomii@ukr.net

Новак В.П., Бевз О.С., Мельниченко А.П., Ільницький М.Г., Присяжнюк Н.М. Сегментарне формування магістральних нервів крижового сплетення. Науковий вісник ветеринарної медицини, 2022. № 1. С. 137–144.

Novak V., Bevz O., Melnychenko A., Pnitsky M., Prysyzhnyuk N. Segmental formation of the main nerves of the sacral plexus. *Nauk. visn. vet. med.*, 2022. № 1. PP. 137–144.

Рукопис отримано: 05.04.2022 р.

Прийнято: 26.04.2022 р.

Затверджено до друку: 24.06.2022 р.

Doi: 10.33245/2310-4902-2022-173-1-137-144

Вивчення сегментарної іннервації становить практичний інтерес, оскільки патологічні процеси, що охоплюють органи і тканини, можуть бути зумовлені ураженням як периферичних, так і окремих сегментарних нервів. Також виникнення патологічного стану структур тазових кінцівок може бути пов'язано з різними травмами, ушкодженнями спинного мозку, корінців і сегментарних нервів крижового відділу хребта. Метою експериментального дослідження було вивчення сегментарного формування магістральних нервів крижового сплетення – *n. ischiadicus*, *n. tibialis*, *n. peroneus communis* у котів. Для дослідження була виконана одностороння екстравертебральна гангліоектомія сегментів попереково-крижового відділу – L_4 , L_5 , L_6 , L_7 , S_1 , S_2 . Зразки магістральних нервів досліджували в поляризованому світлі для виявлення ознак валерівської дегенерації за збільшення $\times 400$. Цей метод дозволяє легко відрізнити дегенеровані нервові волокна на різних етапах переродження від нормальних. Мікроморфологія початкових стадій дегенерації характеризується нерівномірним потовщенням волокон, згладженням вузлів Ранв'є, розширеними насічками Шмідта-Лантермана, збільшенням кількості мієлінових сегментів. На більш пізніх стадіях валерівської дегенерації спостерігаються: набряк і значне потовщення мієлінової оболонки, згладжування контурів волокон, утворення овоїдів і фрагментарне світіння мієліну. Статистичний аналіз результатів проводили за допомогою *t*-критерію Стьюдента. У процесі дослідження виявлено, що у формуванні магістральних нервів крижового сплетення: *n. ischiadicus*, *n. tibialis*, *n. peroneus communis* беруть участь 6 сегментів попереково-крижового відділу хребта – від L_4 до S_2 . Ці нерви крижового сплетення є полісегментарними, що свідчить про їх компенсаторні властивості. Найбільш високий відсотковий показник дегенерованих нервових волокон для магістральних нервів крижового сплетення віддає 6-ий поперековий сегмент L_6 , який є осьовим нервом. Отримані результати можуть розширити знання з принципів сегментарності в анатомії, стати орієнтиром для крижової регіональної епідуральної анестезії за ортопедичних операцій на тазових кінцівках, блокади нервів для підвищення комфорту пацієнта в післяопераційному періоді, люмбальної пункції, нейротерапії. Метод поляризаційної мікроскопії може бути використаний як клінічно корисний тест біопсії периферичних нервів для оцінки стану нейродегенеративних змін, моніторингу регенеративних і нейропротекторних ефектів.

Ключові слова: валерівська дегенерація, сегментарна іннервація, крижове сплетення, поляризаційна мікроскопія, коті.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Значну частку пацієнтів клінік становлять тварини з порушеннями опорно-рухового апарату, особливо в поперековому відділі хребта та кінцівках. Нейроанатомічні результати мають сприяти науковому поясненню ефекту різних методів терапії сегментарних зон [1]. Пошкодження сідничного нерва особливо спостерігається за вивихів кульшових суглобів і переломів крижового крила, кульшової западини та сідничної кістки [2]. Ці переломи та пошкодження сідничного нерва зумовлюють певну втрату чутливості в тазових кінцівках, однак втрата чутливості також може бути спричинена пухлинами на периферичних нервах або іншими розладами периферичних нервів. Незважаючи на прогрес хірургії, реконструкція сегментарних ушкоджень нервів продовжує залишатися проблематичною [3]. Взаємодія окремих сегментів відіграє ключову роль як через спинномозкові нерви, так і через симпатичну нервову систему. Тому успішна нейрональна терапія потребує глибоких знань принципів сегментарності в анатомії та її рефлексорних шляхів [4]. Відомо, що під час ембріогенезу спинного мозку і хребта дерматоми та міотоми пов'язані між собою через відповідні спинномозкові нерви і спинний мозок. Спинномозкові нерви слідує за розширенням зростаючої поверхні тіла і є анатомічною основою для інтерактивних сегментарних рефлексорних дуг. Ці взаємодії широко використовують для діагностики, терапії та анестезії. Позитивні ефекти багатьох терапевтичних підходів, які застосовують у ветеринарії, засновані насамперед на сегментарних рефлексорних дугах, які пов'язані з ходом спинномозкових нервів [5]. Стимуляцію сідничного нерва або крижову нейромодуляцію все частіше використовують для лікування гіперактивного сечового міхура та нетримання сечі [6]. Регіональну анестезію та нервові блокади широко використовують в анестезії людини для зменшення потреби та пов'язаного з нею ризику загальної анестезії, покращення післяопераційного знеболювання та підвищення комфорту пацієнта в післяопераційному періоді [7]. Нещодавні дослідження у ветеринарній анестезіології повідомляють про використання поверхневих анатомічних орієнтирів для створення блоків периферичних нервів [8–11]. Вивчення сегментарної іннервації становить практичний інтерес, оскільки різні патологічні процеси, що розвиваються в органах і тканинах, можуть бути зумовлені ураженням не лише периферичних, а й окремих сегментарних нервів. Також виникнення патологічно-

го стану структур тазових кінцівок може бути пов'язано з різними травмами, ушкодженнями спинного мозку, корінців і сегментарних нервів крижового відділу хребта.

Метою дослідження було вивчення сегментарного формування магістральних нервів крижового сплетення – *n. ischiadicus*, *n. tibialis*, *n. peroneus communis* у котів.

Матеріал і методи. Дослідження є частиною загальнокафедральної наукової тематики «Експериментально-морфологічне дослідження реактивних та репаративних властивостей сполучнотканинних елементів локомоторного апарату ссавців і птахів, їх сегментальна-, екстра- та інтраорганна іннервація та васкуляризація», номер державної реєстрації 0118U004127. Екстравертебральна гангліоектомія була виконана в поперековому і крижовому відділах хребта, оскільки саме тут формується крижове сплетення. Експериментальні операції проводили у статевозрілих безпородних самців котів окремо по три тварини на один сегмент (18 тварин), видаляли ганглії поперекового (L_4 , L_5 , L_6 , L_7) та крижового (S_1 , S_2) відділів. Хірургічні втручання виконували під загальним наркозом за допомогою внутрішньом'язової ін'єкції суміші розчинів 0,4 мл Комбі-стрессу 2 % (0,1 мл/кг) та Тіопенталу натрію 0,15 мг/кг. Після депіляції місце оперативного доступу і саме втручання проводили з дотриманням асептики та антисептики. Розріз шкіри і поверхневої фасції проводили в ділянці на рівні сегмента попереково-крижового відділу між попереково-реберними і суглобовими відростками. Після цього тупим способом розсували поверхневий листок поперековоспинної фасції, найдовший м'яз спини і попереку та багатороздільний м'яз спини. Дещо вище від міжхребцевого отвору відшукували дорсальну гілку нерва, а потім в глибині знаходили венетральну. За допомогою тонкої препарувальної голки відокремлювали нервовий стовбур від судин і оточуючих тканин. Потім обережно звільняли нервовий стовбур від епіневрію, запобігаючи пошкодженню периневрію і разом з ним нервових волокон. Особливо обережно ці маніпуляції проводили біля країв міжхребцевого отвору, запобігаючи пошкодженню венозних синусів та кільцевих судин. Потім підтягуючи нерв гачком, знаходили спинальний ганглій, захоплювали його і видаляли. Після проведення операції тваринам накладали переривчасті шви з подальшим проведенням курсу антибактеріальної терапії препаратом Цефазолін в дозі 10 тис. одиниць/кг маси тіла в/м двічі на день протягом 5 діб. Шви знімали після загоєння ран за первинним натягом на 8 добу.

Дослідження проводили через 10 днів після гангліоектомії. Результатом експерименту був біологічний процес валерівської дегенерації. Видалення спинномозкових гангліїв обумовило дегенерацію нервових волокон дистальніше місця розрізу. Під час роботи були дотримані правила біоетики та гуманного ставлення до тварин згідно з Європейською конвенцією про захист хребетних тварин, що використовуються в експериментальних і наукових цілях (1986 р.) [13] та Законом України № 3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження» (2006 р.) [14]. Мікроскопічні дослідження за поляризаційної мікроскопії проводили на центральних частинах трьох магістральних нервів, що належать до крижового сплетення кожного оперованого сегмента (L_4-S_2) для виявлення валерівської дегенерації – сідничного, великогомілкового та малогомілкового нервів. Епіневрій видаляли з нервових стовбурів за допомогою спеціально загострених препарувальних голк. Звільнений від периневрію нерв ділили на пучки. Кожен пучок під лупою, з одного кінця, розділяли голками на окремі волокна за типом «пензлика». Вивчали препарати в ізотонічному 0,85 % розчині натрію хлориду («Юрій-Фарм», Україна), кілька крапель крапали на предметне скло з нервовими волокнами та накривали покривним склом [15]. В поляризаційному світлі мікроскопа (Польца) ознаки дегенерації нервових волокон набагато легше помітити. Фотографії були зроблені камерою Cannon Powershot.

Для перевірки точності даних середню арифметичну похибку (m), коефіцієнт надійності (t) визначали за стандартними значеннями t -критеріїв Стьюдента. Різниця між двома значеннями вважалася значною за $p < 0,05$; $0,01$; $0,001$. Оскільки ми визначили осьовий нерв, яким є L_6 , розраховували значне зменшення нервових провідників, які віддають інші сегменти.

Наприклад, розрахунки для L_4 *n. ischiadicus*:

$$m_1 = \frac{\sqrt{75-25}}{3} = 2,3.$$

Розрахунки для L_6 *n. ischiadicus*:

$$m_2 = \frac{\sqrt{88-12}}{3} = 2,9.$$

$$t = \frac{88-25}{\sqrt{2,3^2+2,9^2}} = \frac{63}{3,7} = 17.$$

Для $a' = 4$ і $t = 17$ за таблицею стандартних значень t -критеріїв Стьюдента $p < 0,001$ – ***. Значення $p < 0,05$ вважали статистично значущими. Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Результати дослідження. Сідничний нерв – *n. ischiadicus*. Сідничний нерв – найпотужніший нерв крижового сплетення, за екстравертебральної гангліоектомії: 4-го поперекового сегмента (L_4) – 25 % нервових волокон з ознаками вторинної дегенерації; 5-го поперекового сегмента (L_5) – 46 % волокон знаходяться в стані початкових стадій дегенерації: нерівномірне потовщення волокон, незначна зміна структури, згладжені вузли Ранв'є і розширені насічки Шмідта-Лантермана, збільшення кількості мієлінових сегментів; 6-го поперекового сегмента (L_6) – виявлено 88 % волокон з вираженими ознаками дегенерації: утворення овоїдів та фрагментація мієліну (рис. 1б); 7-го поперекового сегмента (L_7) – 53% дегенерованих волокон характеризуються згладжуванням контурів, потовщенням мієлінової оболонки, а також збільшенням кількості насічок Шмідта-Лантермана; 1-го крижового сегмента (S_1) – у 47 % нервових волокон типові ознаки валерівської дегенерації: набряк і потовщення мієлінової оболонки, згладжування контурів волокон, утворення овоїдів і фрагментація мієліну; 2-го крижового сегмента (S_2) – 23 % дегенерованих волокон з характерними змінами: згладжування контурів, збільшення кількості мієлінових сегментів.

Великогомілковий нерв – *n. tibialis*. За екстравертебральної гангліоектомії: 4-го поперекового сегмента (L_4) – 29 % нервових волокон з ознаками вторинної дегенерації: зміна контурів волокон, збільшення кількості насічок Шмідта-Лантермана; 5-го поперекового сегмента (L_5) – 57 % волокон з характерним збільшенням кількості мієлінових сегментів, утворенням варикозної дилатації, згладжуванням вузлів Ранв'є, розширенням і збільшенням кількості насічок Шмідта-Лантермана і початком формування овоїдів (рис. 1в); 6-го поперекового сегмента (L_6) – дегенерованих нервових волокон 87 %, які, переважно, знаходяться в стадії фрагментарного світіння мієліну, але зміни у волокнах ще не досягли повної мієлінової фрагментації; 7-го поперекового сегмента (L_7) – 61 % волокон мають потовщену мієлінову оболонку, яка світиться нерівномірно і збільшену кількість мієлінових сегментів; 1-ого крижового сегмента (S_1) – 59 % волокон з різними ознаками дегенерації: збільшення кількості насічок Шмідта-Лантермана, згладжування контурів волокон, утворення овоїдів, фрагментарне світіння мієліну; 2-го крижового сегмента (S_2) – у 26 % волокон розширені насічки, збільшена кількість мієлінових сегментів.

Малогомілковий нерв – *n. peroneus communis*. За екстравертебральної гангліо-

ектомії: 4-ого поперекового сегмента (L_4) – 27 % нервових волокон знаходяться на різних стадіях валерівської дегенерації з утвореними овоїдами та нерівномірним, фрагментарним світінням мієлінової оболонки; 5-го поперекового сегмента (L_5) – для більшості волокон – 52 % характерне розширення і згладжування контурів, збільшення кількості насічок мієліну; 6-го поперекового сегмента (L_6) – 93 % волокон з різними стадіями дегенерації: переважна більшість волокон має залишки потовщеної та набряклої мієлінової оболонки, які уривчато світяться; 7-го поперекового сегмента (L_7) у 59 % нервових волокон є ранні ознаки вале-

рівської дегенерації: потовщення мієлінової оболонки, збільшення кількості насічок Шмідта-Лантермана (рис. 1 с, d); 1-го крижового сегмента (S_1) – відносно невелика кількість – 30 % нервових волокон, які знаходяться на ранніх стадіях валерівської дегенерації з потовщеною мієліновою оболонкою, згладженими контурами та збільшенням кількості мієлінових насічок; 2-го крижового сегмента (S_2) – 25 % нерівномірно потовщених волокон, з різним ступенем розвитку овоїдів.

Отже, дані результатів поляризаційної мікроскопії магістральних нервів, які належать крижовому сплетенню, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники дегенерації нервових волокон магістральних нервів крижового сплетення

Магістральні нерви крижового сплетення	Дегенеровані волокна у сегментах хребетного стовпа, %					
	L_4	L_5	L_6	L_7	S_1	S_2
Сідничний нерв – <i>n. ischiadicus</i>	25***	46***	88	53***	47***	23***
Великогомілковий нерв – <i>n. tibialis</i>	29***	57***	87	68**	59***	26***
Малогомілковий нерв – <i>n. peroneus communis</i>	27***	52***	93	59***	30***	25***

Примітка: $p < 0,05$ – *; $0,01$ – **; $0,001$ – ***.

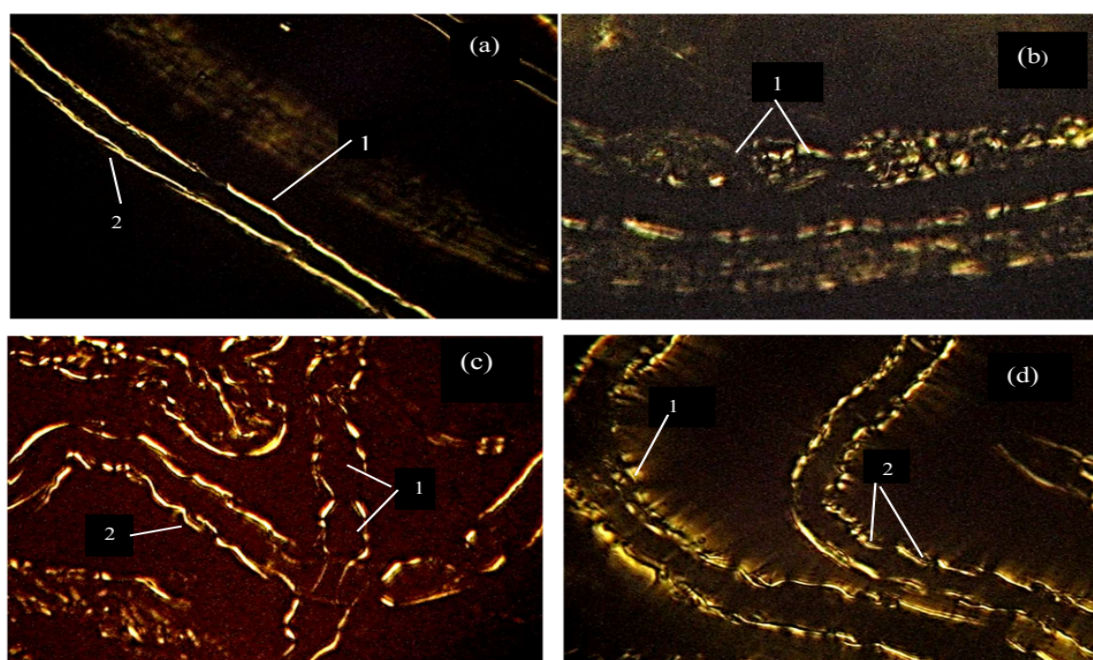


Рис. 1. Нервові волокна магістральних нервів крижового сплетення за екстравертебральної гангліоектомії, поляризаційна мікроскопія, $\times 320$: (а) нормальні нервові волокна: 1 – мієлінова оболонка, 2 – насічки мієліну (Шмідта-Лантермана); (б) сідничного нерва за екстравертебральної гангліоектомії 6-го поперекового сегмента (L_6): 1 – овоїди, (с) великогомілкового нерва за екстравертебральної гангліоектомії 5-го поперекового сегмента (L_5): 1 – початкова стадія формування овоїдів, 2 – насічки Шмідта-Лантермана; (д) малогомілкового нерва за екстравертебральної гангліоектомії 7-го поперекового сегмента (L_7): 1 – мієлінова оболонка, 2 – насічки Шмідта-Лантермана.

Обговорення. Пошкодження периферичних нервів призводить до дегенерації аксонів і мієлінових оболонок, віддалених від місця пошкодження, процес називається валерівською дегенерацією. Дегенерація пошкоджених аксонів зумовлює складну багатоклітинну відповідь, яка включає пошкоджені нейрони, клітини Шванна та імунні клітини [16]. Застосована методика поляризаційної мікроскопії дозволила легко диференціювати морфологічні особливості нормальних нервових волокон (рис. 1a) від волокон з різними ознаками валерівської дегенерації. Нормальні мієлінові волокна прозорі, вузькі і прямі. Мієлінова оболонка світиться рівномірно і яскраво, походить від шваннівських клітин (ПНС-глії), яка покриває центрально розташований темний аксон. Мієлінові (Шмідта-Лантермана) насічки, бліді лінії, що покривають мієлінову оболонку, внаслідок накопичення цитоплазми під час утворення концентричних мієлінових пластинок. Вузли (Ранв'є) вузькі, чіткі з'єднання, що відокремлюють межі сусідніх мієлінових сегментів (позбавлені мієліну). Дегенеровані нервові волокна різко відрізняються від нормальних нерівномірністю, розширенням і згладжуванням контурів; потовщеним осьовим циліндром через набряк аксонів – ранній показник порушення транспорту аксона; ранньою сегментарною демієлінізацією, що призводить до втрати мієліну поблизу вузлів; набряканням мієлінової оболонки («мієлінові бульбашки»), фрагментацією і нерівномірним світінням мієліну; формуванням овоїдів [17]. Результати поляризаційної мікроскопії нейродегенеративних змін показали, що 6 сегментів попереково-крижового відділу хребта – від L_4 до S_2 – беруть участь у формуванні магістральних нервів, що належать до крижового сплетення. Ці нерви крижового сплетення – полісегментарні. За даними (Duce et al., 2000) попереково-крижове сплетення дає початок нервам тазової кінцівки і є розширенням безперервного сплетення. Зазвичай воно починається з вентральних гілок L_4 -го і S_2 -го нервів, що співпадає з даним експериментальним дослідженням. Дослідження Nur et al., 2021 показало, що попереково-крижове сплетення включало поперекове сплетення, що походить від вентральних гілок корінців L_4 , L_5 , L_6 і L_7 , і крижове сплетення, що виходить з корінців S_1 , S_2 і S_3 , це збігається з нашими даними анатомічного препарування. Наші дані частково збігаються з даними Roehmann et al., 2020 – дорсальні гілки L_3 – L_5 показали охоплення каудального поперекового та крижового відділів. Оскільки наші дослідження підтвердили,

що нерви крижового сплетення є полісегментарними, це свідчить про їх компенсаторні властивості. Стверджується [19], що кішки мають здатність компенсувати ураження периферичної нервової системи, тобто спинний мозок має значний потенціал для адаптивної пластичності, який можна використовувати в стратегіях реабілітації для відновлення локомоції після травми спинного мозку. Ми повністю згодні з нашими колегами [5], що це дає терапевтам поради, і їх слід застосовувати на практиці, розширюючи сферу лікування до трьох сегментів каудальніше від точки виходу нерва. Дослідження магістральних нервів за екстравертебральної гангліоектомії 6-го поперекового сегмента виявили найбільший відсоток дегенерованих нервових волокон: у сідничного нерва – 88 %, у великогомілкового – 87 % та у малогомілкового нерва – 93 %. Це дозволило стверджувати, що з усіх досліджених сегментів найбільший відсоток нервових провідників до нервів крижового сплетення дає L_6 – 6-й поперековий сегмент. Отже, можливо, що введення анестетиків у ділянку L_6 – 6-го поперекового сегмента забезпечить більш ефективно знеболювання під час епідуральної анестезії та збору спинномозкової рідини у кішок. Відбір і аналіз спинномозкової рідини (СМР) корисні для виключення запальних захворювань ЦНС. Відбір проб дистальніше місця підозрюваного ураження (тобто поперековий відділ на L_6 – L_7) з більшою ймовірністю виявить зміни. Компресія нервового корінця або пухлина може призвести до підвищення рівня білка у спинномозковій рідині; запальні/інфекційні процеси, що залучають нервовий корінець, також можуть призвести до збільшення білка у спинномозковій рідині та/або збільшення кількості ядерних клітин [20].

Висновки. Дослідження показало, що всі магістральні нерви крижового сплетення є полісегментарними, оскільки утворені нервовими волокнами із різних сегментів, що свідчить про їх компенсаторні властивості. За статистикою найбільший відсоток нервових волокон до нервів крижового сплетення віддає L_6 – 6-й поперековий сегмент. Ці дані можуть бути використані під час епідуральної регіональної анестезії, блокади нервів, люмбальної пункції та нейротерапії гангліопатій у котів. Методику поляризаційної мікроскопії для диференціації нормальних і дегенерованих нервових волокон можна використовувати як тест для біопсії периферичних нервів для оцінки стану нейродегенеративних змін, для відстеження регенеративних і нейропротекторних ефектів регенерації.

Відомості про дотримання біоетичних норм. Експериментальні дослідження проводили із дотриманням вимог Закону України № 3447-IV від 21.02.06 р. «Про захист тварин від жорстокого поводження», згідно з основними принципами «Європейської конвенції із захисту хребетних тварин, що використовуються для експериментальних та наукових цілей» (Страсбург, 1986), декларацією «Про гуманне ставлення до тварин» (Гельсінкі, 2000) і Національним конгресом з біоетики «Загальні етичні принципи експериментів на тваринах» (Київ, 2001).

Відомості про конфлікт інтересів. Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bernigau D. Neue Aspekte der segmentalen Neuroanatomie des Lendenbereiches beim Hund. Leipzig, Germany: Universität Leipzig. 2013. 122 p. URL: docplayer.org/3600809-Neue-aspekte-der-segmentalen-neuroanatomie-des-lendenbereiches-beim-hund.html (дата звернення: 07.04.2022).

2. Curtis D.W., da Costa R.C. Practical Guide to Canine and Feline Neurology. 3rd ed. New Delhi, Wiley Blackwell, 2015.

3. Pan D., Mackinnon S.E., Wood M.D. Advances in the repair of segmental nerve injuries and trends in reconstruction. *Muscle Nerve*. 2020. Vol. 61(6). P. 726–739. DOI:10.1002/mus.26797. PMID: 31883129; PMCID: PMC7230025.

4. Wancura-Kampik I. Segment-Anatomie. Der Schlüssel zu Akupunktur, Neuraltherapie und Manualtherapie. München Jena: ElsevierUrban&Fischer; XII, 444 Seiten. 2017. 978-3-437-57972-1 (ISBN)

5. Röhrmann N., Mülling C.K.W., Bernigau D. Grossanatomical study of the thoracolumbar primary dorsal branches and their course from the spinal cord to the skin in the cat. *Anatomia, Histologia, Embryologia*. 2020. Vol. 49. P. 770–778. DOI:10.1111/ah.12574

6. Ambi U., Lopez M.D., Kasatkar T. Anaesthetic management of a patient with a sacral nerve stimulator or sacral neuromodulation. *Indian J Anaesth*. 2020. Vol. 64(2). P. 155–157. DOI:10.4103/ija.IJA_565_19. PMID: 32139938; PMCID: PMC7017656.

7. Roberts S. Ultrasonographic guidance in pediatric regional anesthesia. Part 2: techniques. *Paediatr Anaesth*. 2006. Nov. Vol. 16(11). P. 1112–1124. DOI: 10.1111/j.1460-9592.2006.02021.x. PMID: 17040299.

8. Rasmussen L.M., Lipowitz A.J., Graham L.F. Controlled, clinical trial assessing saphenous, tibial and common peroneal nerve blocks for the control of perioperative pain following femoro-tibial joint surgery in the nonchondrodystrophoid dog. *Vet Anaesth Analg*. 2006 Jan. Vol. 33(1). P. 49–61. DOI:10.1111/j.1467-2995.2005.00235.x. PMID: 16412132.

9. Lamont L.A., Lemke K.A. The effects of medetomidine on radial nerve blockade with mepivacaine in dogs. *Vet Anaesth Analg*. 2008. Jan. Vol. 35(1). P. 62–68. DOI:10.1111/j.1467-2995.2007.00349.x. PMID: 17565571.

10. Gurney M.A., Leece E.A. Analgesia for pelvic limb surgery. A review of peripheral nerve blocks and the extradural technique. *Vet Anaesth Analg*. 2014. Sep. Vol. 41(5). P. 445–458. DOI:10.1111/vaa.12184. PMID: 24962107.

11. Nur I.H., Pérez W., König H.E., Linton A. Origin and distribution of the lumbosacral plexus anatomy in Vancats. *International Journal of Morphology*. 2021. Vol. 39(3). P. 848–857. DOI:10.4067/S0717-95022021000300848

12. Beever L., Giles K., Meeson R. Postoperative complications associated with external skeletal fixators in cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2017. Vol. 19(7). P. 727–736. DOI:10.1177/1098612x17699466

13. Європейська конвенція про захист хребетних тварин, що використовуються в експериментальних і наукових цілях. Страсбург, 18 березня 1986 р. URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137#top (дата звернення: 07.04.2022)

14. Про захист тварин від жорстокого поводження: Закон України №3447-IV. Відомості Верховної Ради України. 2006. № 27. Ст. 230. URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/3447-15#Text (дата звернення: 07.04.2022)

15. Новак В.П., Бевз О.С., Мельниченко А.П., Кузьменко О.А., Мельниченко Ю.О., Нечипорук Є.В. Спосіб визначення дегенеративних змін у нервових волокнах ссавців. Патент України №142931, 10.07.2020, бюл. № 13. URL: https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1442773/ (дата звернення: 07.04.2022)

16. Chen P., Piao X., Bonaldo P. Role of macrophages in Wallerian degeneration and axonal regeneration after peripheral nerve injury. *Acta Neuropathol*. 2015. Vol. 130(5). P. 605–618. DOI:10.1007/s00401-015-1482-4.

17. Bolon B., Pardo I.D., Krinke G.J. The Science and Art of Nerve Fiber Teasing for Myelinated Nerves: Methodology and Interpretation. *Toxicol Pathol*. 2020. Vol. 48(1). P. 49–58. DOI:10.1177/0192623319850773.

18. Dyce K.M., Sack W.O., Wensing C.J.G. Textbook of Veterinary Anatomy. 4th ed. Philadelphia, PA: Sanders, Elsevier, 2000.

19. Rossignol S., Bouyer L. Adaptive mechanisms of spinal locomotion in cats. *Integrative and comparative biology*. 2004. Vol. 44. P. 71–79. DOI:10.1093/icb/44.1.71

20. Garosi L. Neurological lameness in the cat. Common causes and clinical approach. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2012. Vol. 14. P. 85–93. DOI: 10.1177/1098612X11432830

REFERENCES

1. Bernigau, D. (2013). Neue Aspekte der segmentalen Neuroanatomie des Lendenbereiches beim Hund. Leipzig, Germany: Universität Leipzig. 122 p. Available at: docplayer.org/3600809-Neue-aspekte-der-segmentalen-neuroanatomie-des-lendenbereiches-beim-hund.html (дата звернення: 07.04.2022).

2. Curtis, D.W., da Costa, R.C. (2015). Practical Guide to Canine and Feline Neurology. 3rd ed. New Delhi, Wiley Blackwell.

3. Pan, D., Mackinnon, S.E., Wood, M.D. (2020). Advances in the repair of segmental nerve injuries and trends in reconstruction. *Muscle Nerve*. Jun. Vol. 61(6), pp. 726–739. DOI:10.1002/mus.26797. PMID: 31883129; PMCID: PMC7230025.
4. Wancura-Kampik, I. (2017). *Segment-Anatomie. Der Schlüssel zu Akupunktur, Neuraltherapie und Manualtherapie*. München Jena: Elsevier Urban & Fischer; XII, 444 Seiten. 978-3-437-57972-1 (ISBN)
5. Röhrmann, N., Mülling, C.K.W., Bernigau, D. (2020). Grossanatomical study of the thoracolumbar primary dorsal branches and their course from the spinal cord to the skin in the cat. *Anatomia, Histologia, Embryologia*. Vol. 49, pp. 770–778. DOI:10.1111/ahc.12574
6. Ambi, U., Lopez, M.D., Kasatkar, T. (2020). Anaesthetic management of a patient with a sacral nerve stimulator or sacral neuromodulation. *Indian J Anaesth*. Feb. Vol. 64(2), pp. 155–157. DOI:10.4103/ija.IJA_565_19. PMID: 32139938; PMCID: PMC7017656.
7. Roberts, S. (2006). Ultrasonographic guidance in pediatric regional anesthesia. Part 2: techniques. *Paediatr Anaesth*. Nov. Vol. 16(11), pp. 1112–1124. DOI: 10.1111/j.1460-9592.2006.02021.x. PMID: 17040299.
8. Rasmussen, L.M., Lipowitz, A.J., Graham, L.F. (2006). Controlled, clinical trial assessing saphenous, tibial and common peroneal nerve blocks for the control of perioperative pain following femoro-tibial joint surgery in the nonchondrodystrophoid dog. *Vet Anaesth Analg*. Jan. Vol. 33(1), pp. 49–61. DOI: 10.1111/j.1467-2995.2005.00235.x. PMID: 16412132.
9. Lamont, L.A., Lemke, K.A. (2008). The effects of medetomidine on radial nerve blockade with mepivacaine in dogs. *Vet Anaesth Analg*. Jan. Vol. 35(1), pp. 62–8. DOI:10.1111/j.1467-2995.2007.00349.x. PMID: 17565571.
10. Gurney, M.A., Leece, E.A. (2014). Analgesia for pelvic limb surgery. A review of peripheral nerve blocks and the extradural technique. *Vet Anaesth Analg*. Sep. Vol. 41(5), pp. 445–458. DOI:10.1111/vaa.12184. PMID: 24962107.
11. Nur, I.H., Pérez, W., König, H.E., Linton, A. (2021). Origin and distribution of the lumbosacral plexus anatomy in Vancats. *International Journal of Morphology*. Vol. 39(3), pp. 848–857. DOI:10.4067/S0717-95022021000300848
12. Beaver, L., Giles, K., Meeson, R. (2017). Postoperative complications associated with external skeletal fixators in cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. Vol. 19(7), pp. 727–736. DOI:10.1177/1098612x17699466
13. Jevropejs'ka konvencija pro zahyst hrebetnyh tvaryn, shho vykorystovujut'sja v eksperymental'nyh i naukovykh ciljah. Strasburg, 18 bereznja 1986 r. [European Convention on the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Scientific Purposes. Strasbourg, March 18, 1986.]. Available at: zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137#top (date of application: 07.04.2022)
14. Pro zahyst tvaryn vid zhorstokogo povodzhenja: Zakon Ukrainy №3447-IV. Vidomosti Verhovnoi' Rady Ukrainy. 2006. № 27. St. 230. [On the protection of animals from cruel treatment: Law of Ukraine No. 3447-IV. Information of the Verkhovna Rada of Ukraine. 2006. No. 27. Art. 230.]. Available at: zakon.rada.gov.ua/laws/show/3447-15#Text (date of application: 07.04.2022)
15. Novak, V.P., Bezv, O.S., Mel'nychenko, A.P., Kuz'menko, O.A., Mel'nychenko, Yu.O., Nechyporuk, Ye.V. (2020). Sposib vyznachennja deheneratyvnykh zmin u nervovykh voloknakh ssavtsiv. Patent Ukrainy №142931, 10.07.2020, bjul. № 13. [A method of determining degenerative changes in mammalian nerve fibers. Patent of Ukraine No. 142931, 10.07.2020, Bull. No. 13]. Available at: sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1442773/(date of application: 07.04.2022)
16. Chen, P., Piao, X., Bonaldo, P. (2015). Role of macrophages in Wallerian degeneration and axonal regeneration after peripheral nerve injury. *Acta Neuropathol*. Vol. 130(5), pp. 605–18. DOI:10.1007/s00401-015-1482-4.
17. Bolon, B., Pardo, I.D., Krinke, G.J. (2020). The Science and Art of Nerve Fiber Teasing for Myelinated Nerves: Methodology and Interpretation. *Toxicol Pathol*. Vol. 48(1), pp. 49–58. DOI:10.1177/0192623319850773.
18. Dyce, K.M., Sack, W.O., Wensing, C.J.G. (2000). *Textbook of Veterinary Anatomy*. 4th ed. Philadelphia, PA: Sanders, Elsevier.
19. Rossignol, S., Bouyer, L. (2004). Adaptive mechanisms of spinal locomotion in cats. *Integrative and comparative biology*. Vol. 44, pp. 71–79. DOI:10.1093/icb/44.1.71
20. Garosi, L. (2012). Neurological lameness in the cat. Common causes and clinical approach. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. Vol. 14, pp. 85–93. DOI: 10.1177/1098612X11432830

Segmental formation of the main nerves of the sacral plexus

Novak V., Bezv O., Melnychenko A., Ilnitsky M., Prysyazhnyuk N.

The study of segmental innervation may be of practical interest, as pathological processes involving organs and tissues can be caused by damage to both peripheral and individual segmental nerves. Also, the occurrence of a pathological condition of the pelvic limb structures can be associated with various injuries, damage to the spinal cord, roots and segmental nerves of the sacral spine. The aim of the experimental research was to study the segmental formation of the main nerves of the sacral plexus – n. ischiadicus, n. tibialis, n. peroneus communis in cats. Unilateral extravertebral gangliectomy of the lumbosacral segments – L₄, L₅, L₆, L₇, S₁, S₂ was performed for the study. Samples of the main nerves were examined in polarized light to detect signs of Wallerian's degeneration at x400 magnification. This method allows you to easily distinguish degenerated nerve fibers at different stages of degeneration from normal. The micromorphology of the initial stages of degeneration is characterized by uneven thickening of the fibers, smoothing of the Ranvier nodes, dilated Schmidt-Lanterman notches, an increase

in the number of myelin segments. At later stages of Wallerian's degeneration, the following are observed: edema and significant thickening of the myelin sheath, smoothing of fiber contours, formation of ovoids and fragmentary glow of myelin. Statistical analysis of the results was performed using Student's t-test. In the course of research, it was found that in the formation of the main nerves of the sacral plexus: n. ischiadicus, n. tibialis, n. peroneus communis involves 6 segments of the lumbosacral spine - from L₄ to S₂. These nerves of the sacral plexus are polysegmental, which indicates their compensatory properties. The highest percentage of degenerated nerve fibers for the main nerves of the

sacral plexus gives the 6th lumbar segment L₆, which is the axial nerve. The obtained results can expand the knowledge of principles of segmentation in anatomy, to become a reference point for sacral regional epidural anesthesia for orthopedic operations on the pelvic limbs, nerve blockade to increase patient comfort in the postoperative period, lumbar puncture, neurotherapy. The method of polarization microscopy can be used as a clinically useful test for peripheral nerve biopsy to assess the state of neurodegenerative changes, monitoring regenerative and neuroprotective effects.

Key words: Wallerian degeneration, segmental innervation, sacral plexus, polarization microscopy, cats.



Copyright: Новак В.П. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Новак В.П.

<https://orcid.org/0000-0002-4741-648X>

Бевз О.С.

<https://orcid.org/0000-0003-0218-1784>

Мельниченко А.П.

<https://orcid.org/0000-0002-1157-1672>

Ільніцький М.Г.

<https://orcid.org/0000-0001-6130-6001>

Присяжнюк Н.М.

<https://orcid.org/0000-0002-4737-0143>