

12. Лучків, Н. Особливості вікової та віталітетної структури ценопопуляції *Centaurea carpatica* (Perc.) Perc [Текст] / Н. Лучків // Вісник Львів. ун-ту. Серія біологічна. – 2010. – Вип. 52. – С. 36–43.
13. Царик, Й. В. Деякі аспекти вивчення внутрішньопопуляційного різноманіття [Текст] / Й. В. Царик // Вісник Львівського університету. Серія Біологічна. – 2004. – № 37. – С. 176–184.
14. Жилияев, Г. Г. Концепція життєздатності популяцій [Текст] / Г. Г. Жилияев, Й. В. Царик // Життєздатність популяцій рослин високогір'я Карпат. – Львів: Меркатор, 2009. – С. 7–17.
15. Бондарева, Л. М. Порівняльний аналіз віталітетної структури популяцій ценозоутворюючих злаків на територіях заказників заплави річки Сули та на ділянках із антропогенним використанням [Текст] / Л. М. Бондарева, С. С. Белан // Вісник СНАУ. – 2010. – Вип. 4 (19). – С. 15–21.
16. Гаврилова, М. Н. Віталітетна структура ценопопуляцій некоторых кустарников в разных районах республики Марий Эл [Текст] / М. Н. Гаврилова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2008. – Т. 7, № 1. – С. 106–111.
17. Злобин, Ю. А. Популяционная структура пойменных луговых фитоценозов [Текст] / Ю. А. Злобин, К. С. Кирильчук // Изв. ГГУ им. Ф. Скорины. – 2005. – № 6 (33). – С. 65–70.
18. Кашин, А. С. Состояние ценопопуляций *Antennaria dioica* (L.) Gaerth. в Саратовской области [Текст] / А. С. Кашин, Т. В. Жулидова, В. М. Пархоменко и др. // Поволжский экологический журнал. – 2009. – № 3. – С. 195–209.
19. Скляр, Ю. Л. Розмірно-віталітетна різноманітність популяцій *Potamogeton natans* L. басейну Десни [Текст] / Ю. Л. Скляр // Вісник державного агроетологічного університету. – 2002. – № 1. – С. 67–70.
20. Скляр, Ю. Л. Популяційна структура *Nuphar lutea* L. (Nymphaeaceae) басейну р. Десни [Текст] / Ю. Л. Скляр // Укр. ботан. журн. – 2003. – Т. 60, № 2. – С. 175–181.
21. Тхазаплизева, Л. Х. Віталітетна структура ценопопуляцій видів роду *Allium* L. в условиях Кабардино-Балкарии [Текст] / Л. Х. Тхазаплизева, В. А. Чадаева // Вестник Оренбургского гос. ун-та. – 2010. – № 6 (112). – С. 42–46.
22. Андрієнко, Т. Л. Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України (довідкове видання) [Текст] / Т. Л. Андрієнко, М. М. Перегрим. – К.: Альтерпрес, 2012. – 148 с.
23. Панченко, С. М. Флора, рослинність та популяції модельних видів Старогутського лісового масиву (Сумська область) [Текст]: автореф. дис. ... канд. біол. наук / С. М. Панченко. – К., 2000. – 19 с.

Рекомендовано до публікації д-р біол. наук Попович С. Ю.  
Дата надходження рукопису 25.01.2017

**Шерстюк Марина Юрійвна**, начальник наукового відділу, Гетьманський національний природний парк, вул. Миру, 6, м. Тростянець, Україна, 42600  
E-mail: maryna\_skliar@ukr.net

УДК 612.83

DOI: 10.15587/2519-8025.2017.93617

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ПОПЕРЕК ДОРСАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СПИННОГО МОЗГА ПРИ ТРАНСЕКЦИИ ДОРСАЛЬНЫХ КОРЕШКОВ

© О. О. Шугуров

*На кошках изучали распределение амплитуды вызванных потенциалов (ВП) поперек спинного мозга (СМ) при последовательной перерезке одного или нескольких соседних дорсальных корешков (ДК). Выявлено, что перерезки ДК приводят как к изменениям амплитуд компонент ВП, так и смещению точки максимума потенциала с ипсилатеральной (относительно места стимуляции) – на контралатеральную сторону дорсальной поверхности СМ*

**Ключевые слова:** вызванные потенциалы, амплитуда, поперечное распределение, деафферентация, дорсальный корешок, спинной мозг

### 1. Введение

В настоящее время спинальные травмы являются наиболее частыми из мозговых травм при повреждениях туловища человека. В проблемных случаях необходимо принятие неотложных мер для блокировки прогрессирования патологии, лечения и последующей реабилитации спинного мозга (СМ) [1]. Одной из диагностических проблем является факт, что в ряде случаев происходят не разрывы мозга или его корешков, а "вытягивание" нервных волокон из аксолеммы [2]. При этом могут наблюдаться локальные разрывы отдельных волокон в пучке или даже увеличение синаптического зазора,

что ведет к нарушениям в работе СМ. Макро- и микротравмы могут быть незаметны на томограммах, но обнаруживаются при оценке интегральных электрофизиологических реакций спинальных нейронов, осуществляющих обработку информации на входе СМ. Такой анализ может быть осуществлен путем сравнения вызванных потенциалов (ВП) спинного мозга в различных условиях тестовой стимуляции [3].

### 2. Литературный обзор

К настоящему времени анализ нейрональных систем с помощью их вызванных потенциалов раз-

работан достаточно хорошо [4]. Так, на крысах и на кошках показано, что ВП, зарегистрированные на дорсальной поверхности СМ способны проявить нормальную функциональность спинальных нейронов а также дать прогноз состояния мозга на ближайший период [3, 5]. В связи с тем, что СМ имеет достаточно протяженную структуру (длиной до 40–45 см у мужчин и 36–40 см у женщин), распределения ВП вдоль, поперек или даже вглубь мозга может дать трехмерную характеристику нормы работы мозга и стать базой для оценки его патологических состояний.

У кошек при стимуляции периферических нервов люмбо-краниальное продольное распределение таких потенциалов имеет несколько асимметричную колоколообразную форму с более высокими амплитудами в краниальном направлении [6]. Нарушение проведения импульсов по дорсальным корешкам (ДК) ведет к уменьшению величин компонентов ВП вдоль мозга на уровне деафферентированных сегментов с образованием локальных минимумов и максимумов [7]. Становится ясным, что многомерное нормальное распределение ВП СМ может существенно измениться после травматического внешнего воздействия на мозг. Следовательно, развитие общего представления об объеме характера распространения вызванных потенциалов СМ важно как для диагностики его состояния, так и для прогноза развития нейронального патологического процесса. Изменения величины ВП зависит не только от состояния афферентных входов, но и от конкретной точки, в которой производится его регистрация.

Из сказанного становится ясным, что для объяснения специфики изменений ВП после травматических влияний первоначально необходимо сформировать двухкоординатную карту их распределения в нормальных условиях. Поскольку продольное распределение в норме и после повреждений ДК были нами исследованы ранее [7], стало необходимым изучить распределение потенциалов поперек СМ в аналогичных условиях.

### 3. Цель и задачи исследования

Цель исследования – определение специфики изменения распределения амплитуд основных компонентов вызванного соматосенсорного потенциала поперек мозга в норме, и после искусственного повреждения (перерезок) соседних ДК СМ.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Найти точку на дорсальной поверхности в люмбо-сакральном утолщении СМ, в которой проявляется максимальный по амплитуде вызванный потенциал, генерируемый нейронами в ответ на стимуляцию толстых смешанных нервов;

2. Провести анализ изменения амплитуды основных компонентов ВП при сдвиге регистрирующего электрода поперек поверхности СМ в условиях целостности дорсальных корешков;

3. Изучить эффекты изменения поперечного распределения амплитуды компонентов ВП в усло-

виях трансекции дорсальных корешков данного и смежных сегментов.

### 4. Материалы и методы изучения распределения вызванных потенциалов поперек дорсальной поверхности спинного мозга

Потенциалы дорсальной поверхности (ПДП) СМ, являясь частным вариантом ВП, проявляет интегральное возбуждение нейронов II–VIII слоев (по Рекседу) дорсального рога. Величина каждого из компонентов ПДП, скорость нарастания и синхронность их появления могут проявить качество и количество афферентных волокон, которые активированы соответствующим рецепторным аппаратом.

Исследования были проведены на 14 наркотизированных (гексенал или тиопентал натрия – 50 мг/кг веса животного, внутривенно) кошках по стандартной методике [6]. Ламинэктомию СМ осуществляли на уровне  $L_3-S_1$  сегментов. Активный шариковый хлорсеребряный электрод устанавливали в разных точках периметра мозга в сегмента с максимално возможной амплитудой ПДП (в основном –  $L_5$ ), референтный вкалывали в кость хребта в районе сегмента  $S_2$ . Также отпрепарировали толстые смешанные нервы – *n. tibialis communis (Tib)* и *n. peroneus communis (Com)*. Активацию нервов осуществляли прямоугольными импульсами от стимулятора ЭСУ-2 с длительностью в 0,3 мс и амплитудой в 3 порога (за 1 порог брали величину стимула, при которой начинал появляться первый негативный ( $N_1$ ) компонент ПДП СМ.

Поперечное картирование распределения потенциалов производили следующим образом. В указанном выше сегменте СМ на его поверхности находили точку, в которой амплитуда  $N_1$ -компонента ПДП при стимуле в 3 П была максимальной. Далее сдвигали активный электрод поперек мозга в контралатеральную или ипсилатеральную (относительно активируемого нерва) сторону с шагом 0,5 мм и производили следующую регистрацию сигнала.

По величинам соответствующих компонентов ПДП строили графики их распределения в норме, и после перерезок ипсилатеральных ДК данного и ближайшего сегментов. Регистрацию производили с использованием метода накопления и усреднения синхронизированных по времени потенциалов. Анализ сигналов проводили при использовании программы *AutoSignal v.1.6*, статистических погрешностей измерений – *Statistica 7*.

### 5. Распределение потенциалов поперек спинного мозга в условиях стимуляции целых и перерезанных дорсальных корешков

ПДП СМ является интегральным потенциалом, который включает в себя ряд суммарных ВПСП нейрональных пулов, возбуждение к которым приходит по афферентным волокнам с определенной скорости проведения [8]. Первый негативный ( $N_1$ ) компонент (направлен вверх относительно базиса на рис. 1) вызван потенциалами действия, пришедшими в мозг по волокнам группы  $A_\beta$  (по Дж. Эрлангеру и Х. Гассеру, 1937) и определен синхронным возбуж-

дением моносинаптических нейронов IV–VI слоев (по Рекседу). Следующий (менее амплитудный)  $N_2$ -компонент, вызванный активацией волокон гр.  $A_g$ ,  $A_d$ , сгенерирован полисинаптическими нейронами V–VII слоев. Медленная позитивная ( $P$ ) волна (направлена вниз относительно базиса) генерируется мелкими нейронами желатинозной субстанции СМ (II–III слоев) и отражает временную деполяризацию первичных афферентов, приводящую к угнетению афферентной эффективности [9, 10].

В наших опытах мы изучали изменения величины указанных компонентов при сдвигах активного электрода поперек СМ в области  $L_5$  сегмента (в данной зоне наблюдается развитие максимального по амплитуде ПДП) в норме (с целыми ДК, рис. 1), а также после перерезок ипсилатеральных относительно стороны возбуждения дорсальных корешков  $L_5$ ,  $L_6$  и  $L_7$ . Стимуляцию производили на указанные выше толстые нервы, которые дают нервные волокна в ряд смежных сегментов.

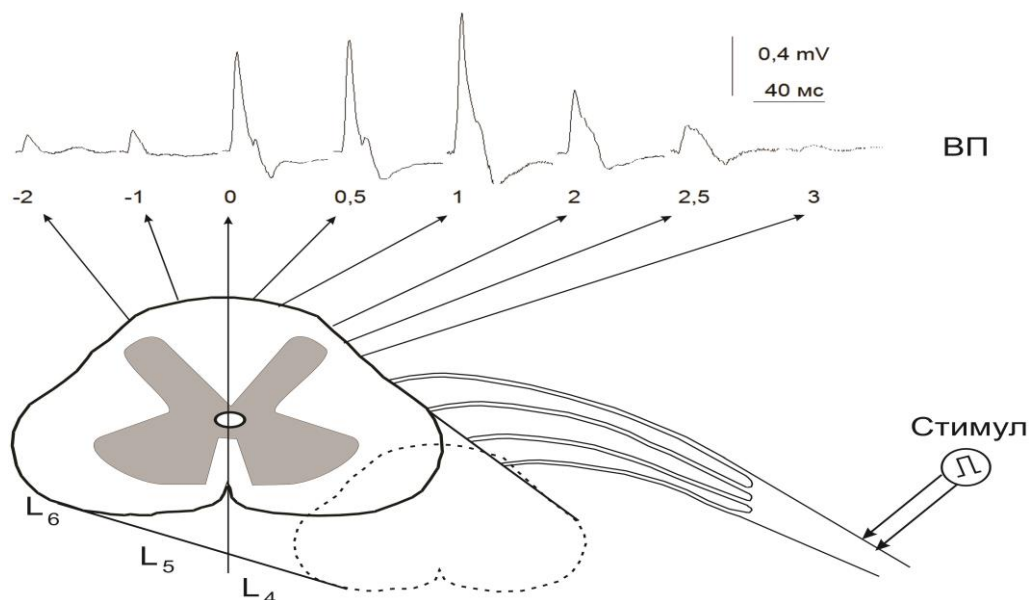


Рис. 1. ПДП, зарегистрированные в норме в различных точках периметра СМ. В качестве нуля принята верхняя точка мозга в сагиттальной плоскости. Цифры возле потенциалов – величина смещения активного электрода (в мм). На регистрациях негативные компоненты направлены вверх, для потенциалов приведена калибровка по амплитуде и времени

Измерения на уровне  $L_5$  сегмента показали, что в норме, при стимуляции целостных толстых нервов задней конечности, максимальная величина  $N_1$ -компонента проявляется не по центру СМ, а латерально на ипсилатеральной стороне поверхности в среднем на расстоянии 1–1,5 мм (рис. 1, рис. 2, а). В такой точке также регистрируется максимум для  $P$ -волны (рис. 2, б). В то же время амплитуда  $N_2$ -компонента здесь существенно снижена (рис. 2, в).

Сдвиг регистрирующего электрода в латеральную и медиальную сторону приводит в первую очередь к существенному снижению амплитуды  $N_1$ -компонента ("Norm", рис. 2, а), причем более интенсивное уменьшение отмечено для контралатерального направления. Снижение  $P$ -волны достигает 2-х крат для сдвига на 1 мм периметра дорсальной поверхности. В зонах уменьшения  $N_1$ - и  $P$ -волны наблюдается выраженное (20–30 % на мм сдвига) увеличение  $N_2$ -компонента ("Norm" на рис. 2, в). Соответственно, в нормальных условиях форма дорсального поперечного амплитудного распределения  $N_1$ - и  $P$ -волны имеет колоколообразную форму, и двугорбую – для  $N_2$ -компонента.

Перерезка ДК и уменьшение количества афферентов, несущих разряды к нейронам СМ, должно изменять "нормальные" формы распределения

потенциалов, отражающих интегральный эффект возбуждения нервных клеток его дорсальной части. Действительно, после транссекции ипсилатерального ДК  $L_6$  сегмента отмечено не только уменьшение на 55 % амплитуды  $N_1$ -компонента, но и определенное смещение (в среднем на  $0,5 \pm 0,3$  мм) точки "максимума" в медиальную сторону ( $L_6$  на рис. 2, а). Одновременно, амплитуда  $P$ -волны ПДП снижается на 15–17 % по отношению к норме (рис. 2, б) но и смещение точки максимума для этого компонента на  $1,1 \pm 0,2$  мм также в медиальную сторону.

Дополнительная транссекция соседнего ипсилатерального дорсального корешка сегмента  $L_5$  приводит к практически полному угнетению активности нейронов  $N_1$ -компонента на ипсилатеральной стороне мозга (до 10 % от начальной величины в точке изначального максимума ответа). При этом на контралатеральной стороне латеральнее срединной точки на 1 мм проявляется локальный максимум компонента, величина которого достигает  $20 \pm 3,5$  % абсолютного значения. Для  $P$ -волны также отмечен факт равного по величине смещения максимума на контралатеральную сторону мозга, однако здесь её величина снижена достаточно значительно – ответ сохраняется на уровне  $74 \pm 4,3$  %.

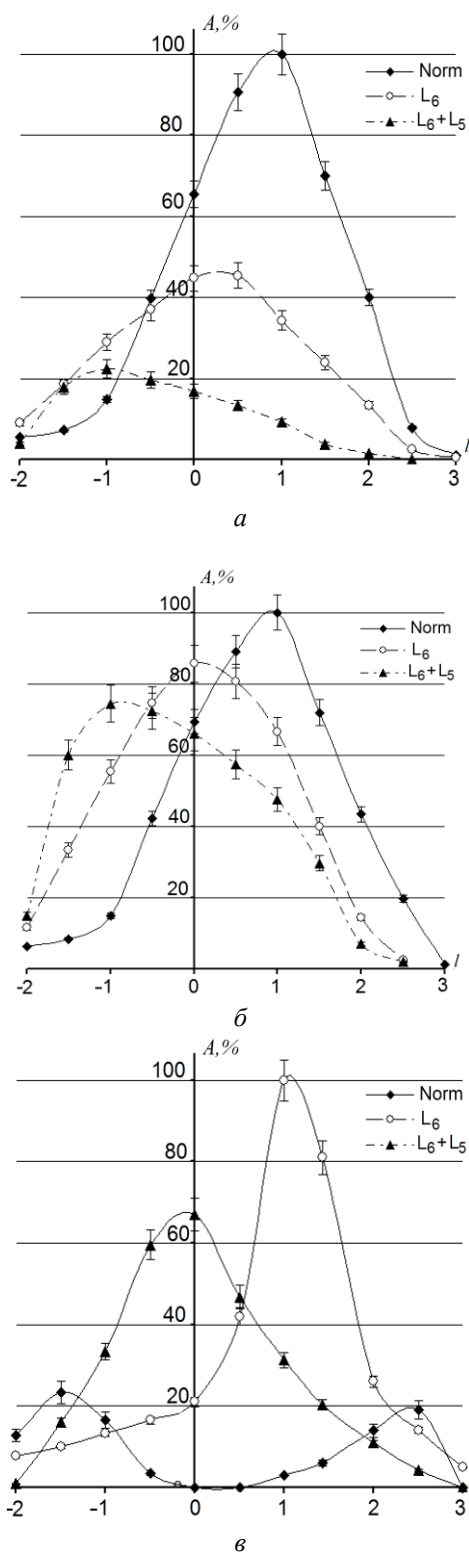


Рис. 2. Распределение амплитуды компонентов ПДП поперек спинного мозга в норме и после трансекции дорсальных корешков. а – график поперечного распределения амплитуды  $N_1$  компонента ПДП по дорсальной поверхности СМ в  $L_5$ -сегменте; б – график аналогичного распределения для  $P$ -волны; в –  $N_2$ -компонента. Во всех случаях осуществляли стимуляции нерва *Tib* без перерезок (*Norm*) и после перерезки ипсилатеральных ДК сегмента  $L_6$  ( $L_6$ ) и двух корешков –  $L_6$  и  $L_5$  ( $L_6+L_5$ ). На графиках: ось  $Y$  – амплитуда ( $A$ ) компонента, (%), оси  $X$  – периметр мозга ( $l$ ), в мм: указаны среднеквадратические отклонения по данным 14 опытов. За 100 % принято: для  $N_1$ -компонента – 1340 мВ;  $P$ -волны – 320 мВ;  $N_2$ -компонента – 310 мВ

Изменение  $N_2$ -компонента в случае перерезок ДК  $L_6$  и  $L_5$  имеет несколько другую характеристику. При первичной перерезке  $L_5$  происходит существенный рост компонента до максимальной (300–310 мВ) величины. Однако дополнительная перерезка ДК  $L_6$  приводит к последующему существенному (на 35–40 %) снижению амплитуды ответа на фоне сдвига точки максимума к центру дорсальной поверхности СМ.

При последующих перерезках корешков смежного сегмента ( $L_7$ ) происходило полное угнетение всех вышеперечисленных компонентов ПДП как на ипси- так и контралатеральной стороне дорсальной поверхности, что говорит о полном прекращении афферентного притока к нейронам СМ.

### 6. Обсуждение результатов изучения поперечного распределение вызванных потенциалов при перерезках дорсальных корешков СМ

Для рассмотрения специфики распределения потенциалов поперек дорсальной поверхности спинного мозга следует вспомнить специфику внутриспинального распространения возбуждения нейронов по интраспинальным путям [11]. Так, обнаружено большое количество межсегментарных связей, обеспечивающих проявление соматотопического представительства кожных дерматомов внутри серого вещества СМ [12], кроме того, существует ряд комиссуральных путей, позволяющих возбуждению переходить с "активированной" – на ипсилатеральную сторону мозга и обратно [13]. Такая структура нервно-нейронных связей ближайших сегментов (рис. 3) позволяет приводить в действие все регуляторные механизмы, имеющие отношение к чувствительной поверхности тела, где проявляется внешнее раздражающее действие.

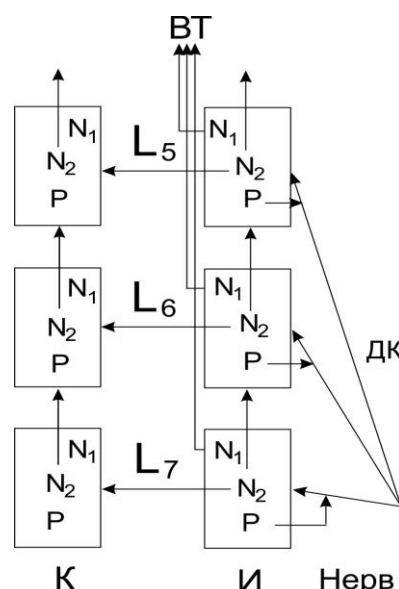


Рис. 3. Схема путей возбуждения разных групп нейронов ( $N_1$ ,  $N_2$ ,  $P$ ) сегментов  $L_5 - L_7$  при активации периферического нерва на ипсилатеральной стороне спинного мозга. И – ипсилатеральная, К – контралатеральная сторона СМ. VT – восходящие тракты, ДК – дорсальные корешки соответствующих сегментов. Стрелками указаны направления прихода входных сигналов

Очевидно, что, чем больше афферентных путей заходит в конкретный сегмент, тем больше должен быть выходной сигнал (суммарное возбуждение нейронов). Синхронность активации клеток отдельного нейронального пула определяется временем возбуждения волокон со сходной модальностью и скоростью проведения разрядов. Взаимодействие этих факторов приводит к тому, что в области сегмента  $L_5$  проявляется наиболее высокоамплитудный  $N_1$ -компонент ПДП, связанный с активацией волокон группы  $A_\beta$ . Следует отметить, что клетки данного компонента формируют быстрые восходящие к верхним шейным отделам и головному мозгу нервные тракты [6, 8] и не участвуют в повторных межсегментарных взаимодействиях (ВТ на рис. 3).

Мелкие клетки желатинозной субстанции (ЖС), формирующие  $P$ -волну ПДП в виде деполяризации первичных афферентов (стрелки от  $P$ -нейронов к ДК) [14], способны через продольные проприоспинальные пути (тракт Лиссауэра) развивать свою общую межсегментарную активность, влияющую и на ДК других сегментов. Средние по размерам нейроны  $N_2$ -компонента способны организовать полисинаптические дуги межнейронной передачи информации, включая проприоспинальные и комиссуральные пути.

При такой конфигурации путей межнейронной активности, при перерезке одного из ДК (например, сегмента  $L_5$ -сегмента), в первую очередь наблюдается локальное уменьшение амплитуды  $N_1$ -компонента в деафферентированном сегменте, то и подтверждается в наших опытах (рис. 2, *a*). Причем, образуются не только локальные провалы в распределении его амплитуды в продольном направлении [7], но и смещение точки максимума этого компонента к контралатеральной стороне поверхности мозга. Сходная тенденция (но в меньшей степени за счет проприоспинальных путей) наблюдается и для  $P$ -волны (рис. 2, *b*). Увеличение количества деафферентированных сегментов СМ приводит к еще большему смещению активности в контралатеральную сторону (рис. 2, *a, b*) вплоть до полного исчезновения этих компонентов при наращивании нарушений проведения по афферентным корешкам.

Несколько иная картина изменений отмечена для  $N_2$ -компонента при перерезках ДК. Характерно то, что уже при перерезке ДК  $L_5$ -сегмента наблюдался существенный рост (на 300–400 %) его амплитуды. Причина этого факта лежит в характере отношений между первым и вторым компонентом. Волокна, активирующие нейроны первого компонента, также возбуждают и клетки ЖС, производящих деполяризацию первичных афферентов и существенно блокирующих возбудительную способность более медленных волокон, активирующих нейроны  $N_2$ -компонента. Как следствие, угнетение афферентных импуль-

сации (при трансекции данного ДК) производит двойное действие – к снижению количества возбужденных клеток прямым образом, и растормаживанию их же после прихода стимулов по массе проприоспинальных путей (рис. 2, *в*). Дальнейшая перерезка других ДК однозначно (но с меньшей скоростью) ведет к угнетению и этого компонента.

В наших исследованиях показано, что при любой перерезке ДК точка максимальной активности (потенциала) смещается в контралатеральную сторону (рис. 2, *a–в*). Очевидно, что при отдельной стимуляции выделенного нерва перерезка всех ДК, включающих афференты данного нерва, приведет к полной деградации нейронной активности СМ (полного угнетения всех компонентов ПДП). В реальности, обнаруженный факт означает, что комиссуральные пути действуют на уровне всех сегментов и при повреждении любых ипсилатеральных ДК нейронная активность переводится на контралатеральную ("неповрежденную") конечность.

## 7. Выводы

Нарушение проведения афферентов дорсальных корешков в пояснично-крестцовом отделе СМ приводит не только к уменьшению наиболее высокоамплитудных (негативного и позитивного) компонентов потенциала дорсальной поверхности, но и к смещению точки максимума ответа поперек мозга в контралатеральную сторону на 1–1,5 мм на один смежный деафферентированный сегмент.

Деградация при локальной деафферентации сегментов  $N_1$ -компонента ПДП существенно больше, чем у связанной с ним по времени  $P$ -волной. Этот факт определяется спецификой распространения деполяризации в общей области афферентного притока и спецификой активации нейронов желатинозной субстанции по проприоспинальным путям.

Растормаживание нейронов, генерирующих поздние негативные компоненты ПДП (например,  $N_2$ ), может означать нарушения в подаче активности к моносинаптическим нейронам (ответственным за восходящую к головному мозгу информацию), или изменения в работе нейронов желатинозной субстанции, ответственных за функционирование механизма пресинаптического торможения на входе спинного мозга. Для данного компонента также отмечен факт смещения остаточной активности на контралатеральную сторону поверхности мозга.

Угнетение всех компонентов ПДП а также обнаружение максимумов ответов на контралатеральной (относительно диагностируемой) стороне поверхности мозга после спинальных травм может служить доказательством массовых разрывов дорсальных корешков.

## Литература

1. Sabapathy, V. Cell therapy augments functional recovery subsequent to spinal cord injury under experimental conditions [Text] / V. Sabapathy, G. Tharion, S. Kumar // Stem Cells Internation. – 2015. – Vol. 2015. – P. 1–12. doi: 10.1155/2015/132172
2. Qin, W. Bone and muscle loss after spinal cord injury: organ interactions [Text] / W. Qin, W. A. Bauman, C. Cardozo // Annals of the New York Academy of Sciences. – 2010. – Vol. 1211, Issue 1. – P. 66–84. doi: 10.1111/j.1749-6632.2010.05806.x
3. Bazley, F. A. Electrophysiological evaluation of sensory and motor pathways after incomplete unilateral spinal cord contusion [Text] / F. A. Bazley, C. Hu, A. Maybhate, A. Pourmorteza, N. Pashai, N. V. Thakor et. al. // Journal of Neurosurgery: Spine. – 2012. – Vol. 16, Issue 4. – P. 414–423. doi: 10.3171/2012.1.spine11684

4. Regan, D. Evoked potentials: recording methods [Text] / D. Regan, M. P. Regan // Encyclopedia of Neuroscience. – 2009. – P. 29–37. doi: 10.1016/b978-008045046-9.00317-x
5. Шугуров, О. О. Викликані потенціали спинного мозку при дії на нього механічних подразнень [Текст] / О. О. Шугуров // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Медицина. – 2011. – № 2. – С. 125–129.
6. Шугуров, О. А. Вызванные потенциалы спинного мозга [Текст] / О. А. Шугуров, О. О. Шугуров. – Днепропетровск: Наука и образование, 2006. – 319 с.
7. Шугуров, О. О. Идентификация поврежденных дорсальных корешков по характеру продольного распределения вызванных потенциалов спинного мозга [Текст] / О. О. Шугуров // ScienceRise. – 2016. – Т. 2, № 1 (19). – С. 16–22. doi: 10.15587/2313-8416.2016.60275
8. Quiroz-Gonzalez, S. Cord dorsum potentials evoked by electroacupuncture applied to the hind limbs of rats [Text] / S. Quiroz-Gonzalez, B. Segura-Alegria, J. C. Guadarrama-Olmos, I. Jimenez-Estrada // Journal of Acupuncture and Meridian Studies. – 2014. – Vol. 7, Issue 1. – P. 25–32. doi: 10.1016/j.jams.2013.06.013
9. Grunewald, B. Measuring spinal presynaptic inhibition in mice by dorsal root potential recording in vivo [Text] / B. Grunewald, C. Geis // Journal of Visualized Experiments. – 2014. – Vol. 85. – P. e51473. doi: 10.3791/51473
10. Carlton, S. M. Nociceptive primary afferents: they have a mind of their own [Text] / S. M. Carlton // The Journal of Physiology. – 2014. – Vol. 592, Issue 16. – P. 3403–3411. doi: 10.1113/jphysiol.2013.269654
11. Cote, M.-P. Plasticity in ascending long propriospinal and descending supraspinal pathways in chronic cervical spinal cord injured rats [Text] / M.-P. Cote, M. R. Detloff, R. E. Wade, M. A. Lemay, J. D. Houle // Frontiers in Physiology. – 2012. – Vol. 3. – P. 330. doi: 10.3389/fphys.2012.00330
12. Wang, G. Development of “normal” dermatomes and somatotopic maps by “abnormal” populations of cutaneous neurons [Text] / G. Wang, S. A. Scott // Developmental Biology. – 2002. – Vol. 251, Issue 2. – P. 424–433. doi: 10.1006/dbio.2002.0824
13. Laumonerie, C. Commissural axonal corridors instruct neuronal migration in the mouse spinal cord [Text] / C. Laumonerie, Y. G. Tong, H. Alstermark, S. I. Wilson // Nature Communications. – 2015. – Vol. 6. – P. 7028. doi: 10.1038/ncomms8028
14. Rudomin, P. In search of lost presynaptic inhibition [Text] / P. Rudomin // Experimental Brain Research. – 2009. – Vol. 196, Issue 1. – P. 139–151. doi: 10.1007/s00221-009-1758-9

Дата надходження рукопису 18.01.2017

**Шугуров Олег Олегович**, доктор біологічних наук, професор, кафедра загальної біології та водних біоресурсів, Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара, пр. Гагарина, 72, г. Днепр, Україна, 49010  
E-mail: shugu@yandex.ru

УДК 575.224.4:504.5:633.11

DOI: 10.15587/2519-8025.2017.93799

## THE ANALYSIS OF MUTATION VARIABILITY OF WINTER WHEAT UNDER SOIL CONTAMINATION WITH HEAVY METALS OF INDUSTRIAL DISCHARGES

© R. Yakymchuk, S. Sorokina

*Вивчено на прикладі озимої пшениці генетичні наслідки забруднення важкими металами територій впливу викидів промислових підприємств. Частота видимих мутацій перевищує контрольні показники в 2,1–4,9 рази. Типовий спектр їх типів – пізньостиглість, високо- і низькорослість, довгий, щільний, нещільний колос, може бути використаний як індикатор забруднення навколишнього середовища важкими металами*

**Ключові слова:** *Triticum aestivum*, мутаційна мінливість, важкі метали, мутації, мутагени, генетичні наслідки

### 1. Introduction

The ecological situation in Ukraine is characterized with considerable anthropogenic loads of the environment in the form of mutagens of physical and chemical nature. Total contamination of air, soil, drinking water and foodstuffs with xenobiotic substances resulted in genetically explained pathology, which can be seen in inborn defects of the development, cytogenetic disorders in germinal and somatic cells [1]. The situation is particularly dangerous in the areas of intensive industrial production – Zaporizhia, Dnipropetrovsk, Donetsk, Ivano-Frankivsk, Luhansk and Kharkiv regions, where discharges of industrial businesses amount to 8 % of contaminating substances of the country, and discharges per person are 140.2 kg [2]. A large share of them belongs to

heavy metal ions which enter the atmosphere as spray and remain in large amounts in the soil; the latter proves the main tendencies in long-term contamination processes [3, 4]. To prevent negative biological consequences of the industrial effect on the environment, it is expedient to make mutagen estimation of soil surface with the possibility to further predict inherited changes in the generations to come [5, 6].

### 2. Literature review

One of the pre-conditions of the analysis and prediction of the contamination level in industrial centers is a thorough control over the concentration of heavy metal ions, as the most toxic and aggressive contaminating substances [7]. Their entry into the plants is accompanied by