

vity failed to appear, the animal was
mechanisms are suggested to be respon-
delta-rhythm in the MMN.

УДК 612.832:612.81—001

И. Я. Сердюченко, П. И. Сябро, Е. А. Макий

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОТВЕТЫ ПЕРЕДНИХ КОРЕШКОВ ПРИ СТИМУЛЯЦИИ БУЛЬБАРНЫХ ПИРАМИД И ЛАБИРИНТА У ЖИВОТНЫХ С ДЕНЕРВИРОВАННОЙ КОНЕЧНОСТЬЮ

Нейрофизиологические исследования изменений в центральной и периферической нервной системе в процессе восстановления координированных движений представляют значительный теоретический и практический интерес. Установлена ведущая роль влияний супраспинальных структур в компенсации нарушений движений, обусловленных травмами спинного мозга [1, 2, 3, 4]. Спинальные механизмы восстановления движения конечности в процессе регенерации поврежденного нерва специально не изучались. Вместе с тем при повреждении нерва существенные изменения, по-видимому, происходят как в супраспинальных структурах, так и в нейронном аппарате спинного мозга [5].

Мы изучали изменения рефлекторной деятельности спинного мозга при активации некоторых супраспинальных структур и афферентных входов в период восстановления двигательной функции конечности после перерезки и сшивания седалищного нерва.

Методика исследований

Опыты проводили на крысах линии Вистар массой 200—220 г. Предварительно, в стерильных условиях, производили перерезку и сшивание седалищного нерва в верхней трети бедра или аутореplantation конечности. Через 40—60 дней после операции животных брали в острый опыт. Под эфирно-гексеналовым наркозом (50 мг/кг) производили ламинэктомию в шести поясничных сегментах спинного мозга, вскрывали твердую оболочку и выделяли корешки в 4 и 5 поясничном сегменте.

Афферентные раздражения одиночными или двоянными стимулами амплитудой 1,5—2 порога наносили на центральные отрезки задних корешков либо на большеберцовый и малоберцовый нервы. Это составляло для задних корешков 2—2,5 мкА, для интактных нервов — 25—30 мкА, для регенерированных — 40—45 мкА. Раздражение бульбарных пирамид осуществляли коаксиальным электродом, который подводили к отверстиям, просверленным по обе стороны гребешка основания затылочной кости. Наносили серию стимулов с частотой следования 200 имп/с, длительностью 25 мс, амплитудой 1,2—1,5 порога, что составляло 20—25 мкА. Раздражение круглого окна лабиринта осуществляли одиночными стимулами амплитудой 30—40 мкА, посредством коаксиального электрода, который подводили к круглому окну под операционным микроскопом. Отведение электрических ответов передних корешков начинали не ранее чем через 3 ч после ламинэтомии, с применением листенона и искусственного дыхания.

Усиленные ответы передних корешков или нервов фотографировали с экрана осциллографа CI-16. Всего проведено 12 серий экспериментов на 316 животных. Данные подвергнуты статистической обработке по Стьюденту и Вилкоксоу.

Результаты исследований и их обсуждение

Эксперименты проводили на интактных животных, а также на животных через 60 дней после денервации конечности. Регистрировали ответы передних корешков на раздражение бульбарных пирамид, круглого окна лабиринта, задних корешков, а также нервов сгибательных и разгибательных мышц задней конечности. Анализировали латентные периоды рефлекторных разрядов, их амплитуду. Исследовали также величину рефлекторных ответов при кондиционирующем раздражении кортико-спинальных путей (пирамидный тракт), вестибуло-спинальных путей при раздражении круглого окна лабиринта, а также при парном раздражении нервов или задних корешков.

Поступила 17.12.82

Было обнаружено, что амплитуда рефлекторных разрядов передних корешков, вызванных стимуляцией регенерированных нервов, через 60 дней после операции составляла $359 \text{ мкВ} \pm 28 \text{ мкВ}$, в то же время как у интактных животных она равнялась $633 \text{ мкВ} \pm 55 \text{ мкВ}$ (рис. 1, А).

Латентный период ответов увеличивался с $3,37 \pm 0,23$ у интактных до $7,2 \text{ мс} \pm 0,4 \text{ мс}$ у оперированных животных. Латентный период рефлекторного ответа, вызванного раздражением заднего корешка и отведенного от переднего корешка L_5 , увеличился с $1,91 \pm 0,02$ до $2,9 \text{ мс} \pm 0,17 \text{ мс}$ ($p < 0,01$), а амплитуда рефлекторного разряда у оперированных животных составляла $423 \text{ мкВ} \pm 70 \text{ мкВ}$ (688 ± 55 у интактных животных).

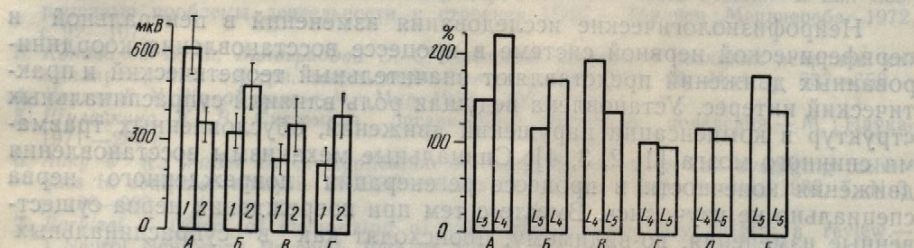


Рис. 1. Амплитуда переднорешковых ответов сегмента L_4 , L_5 при раздражении большеберцового нерва, бульбарных пирамид и круглого окна лабиринта у интактных животных (1) и у животных через 2 мес после рассечения и сшивания седалищного нерва (2).

А — при раздражении большеберцового нерва, отведение от переднего корешка сегмента L_5 ; Б — при раздражении бульбарных пирамид, отведение от переднего корешка сегмента L_4 ; В — L_5 ; Г — при раздражении круглого окна лабиринта, отведение от переднего корешка сегмента L_5 .

Рис. 2. Величина переднорешковых ответов сегментов L_4 , L_5 (в % по отношению к амплитуде ответа на одиночное тестирующее раздражение) при парном раздражении малоберцового (А), большеберцового (Б) нерва у интактных животных, через 2 мес после рассечения и сшивания седалищного нерва (Д), при предварительном раздражении бульбарных пирамид серией стимулов, амплитудой 1,2–1,5 порога и тестирующем раздражении через 4 мс от конца пачки большеберцового нерва у интактных животных (В) и у животных после рассечения и сшивания нерва (Г), при предварительном раздражении одиночными стимулами окна лабиринта и тестирующем раздражении с интервалом 2 мс (Е).

Левая диаграмма — у оперированных животных, правая — у интактных А, Б L_4 – L_5 , $p < 0,01$; В L_4 – L_5 , $p < 0,05$; В L_4 –Г L_4 , $p < 0,01$; Б L_4 –Д L_4 , $p < 0,05$; Е лев. — прав., $p < 0,01$.

Раздражение двигательной зоны или бульбарных пирамид пачкой стимулов у интактных животных приводило к появлению в переднем корешке разряда, состоящего из нескольких импульсов. Среднее значение амплитуды наиболее выраженного пика этой реакции, отведенной от L_4 и L_5 , составляло 343 ± 30 и 253 ± 26 , а у оперированных — $494 \pm 64,1$ и $377 \text{ мкВ} \pm 47,1 \text{ мкВ}$ соответственно (рис. 1, Б, В).

Латентный период ответа, вызванного раздражением бульбарных пирамид у интактных животных, составлял $8 \pm 0,32$, а у оперированных $7,9 \text{ мс} \pm 0,4 \text{ мс}$, т. е. практически не изменялся. Раздражение круглого окна лабиринта у интактных животных вызывало в переднем корешке разряд, состоящий из двух пиков. Амплитуда первого компонента этого разряда составляла $237 \text{ мкВ} \pm 31 \text{ мкВ}$, а величина латентного периода $5,1 \text{ мс} \pm 0,25 \text{ мс}$. Через 60 дней после перерезки нерва амплитуда ответа, вызванного стимуляцией лабиринта, значительно увеличилась до $418 \text{ мкВ} \pm 37 \text{ мкВ}$, $p < 0,05$ (рис. 1, Г). Латентный период этого ответа у оперированных животных достоверно не изменялся и составлял $4,17 \text{ мс} \pm 0,34 \text{ мс}$, $p < 0,05$. Величина облегчения переднорешковых ответов у интактных животных больше выражена в сегменте L_4 при двояном раздражении как малоберцового, так и большеберцового нервов (рис. 2, А, Б).

После кондиционирующего раздражения бульбарных пирамид отмечали более выраженное облегчение тех переднорешковых разря-

дов, которые возникали на тельных или разгибательных. У предварительно оперированных разрядов на повторную стимуляцию после предварительного разряда (рис. 2, Д, Г). В том случае раздражение лабиринта, облегченных тестирующим раздражением у оперированных животных. В экспериментах при интактных животных наблю-

Рис. 3. Величина облегчения ответного (1) и малоберцового (2) при парном раздражении с интервалом корешков сегментов L_4 , L_5 у интактных животных через 2 мес после предварительного раздражения тестирующим раздражением задних корешков (В) и у оперированных животных (Г).

А L_5 1–2, $p < 0,01$; А L_4 1–2, $p < 0,01$; Б L_5 1–2, $p < 0,05$; Г L_5 1–2, $p < 0,01$.

двигательных нервах. Величина облегчения при парном раздражении с интервалом 240 %, а в нервах разгибательных животных величина облегчения была различной. В нервах L_4 и L_5 .

При раздражении задних корешков сгибательных нервов величина облегчения была различной. В нервах L_4 и L_5 .

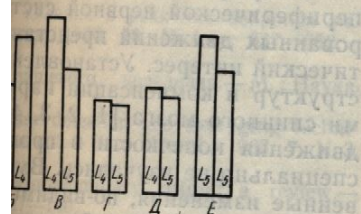
Предварительное раздражение задних корешков сгибательных нервов, величина облегчения была различной. В нервах L_4 и L_5 .

С целью выяснения роли при регенерации периферических нервов в серии экспериментов исследовали спинного мозга в области задних корешков.

Было показано, что раздражение нерва приводит к появлению в переднем корешке разряда, состоящего из нескольких импульсов. Среднее значение амплитуды наиболее выраженного пика этой реакции, отведенной от L_4 и L_5 , составляло 343 ± 30 и 253 ± 26 , а у оперированных — $494 \pm 64,1$ и $377 \text{ мкВ} \pm 47,1 \text{ мкВ}$ соответственно (рис. 1, Б, В).

Таким образом, анализ результатов экспериментов показывает, что, во-первых, значительное облегчение ответов на раздражение латентный период, резко выраженные разряды, а это по-

рефлекторных разрядов передних нервов, через $633 \text{ мкВ} \pm 28 \text{ мкВ}$, в то же время $633 \text{ мкВ} \pm 55 \text{ мкВ}$ (рис. 1, А). Латентный период рефлексии с $3,37 \pm 0,23$ у интактных животных. Латентный период рефлексии заднего корешка и ответился с $1,91 \pm 0,02$ до $2,9 \text{ мс} \pm$ заднего разряда у оперированных 688 ± 55 у интактных жи-



сегмента L_4 , L_5 при раздражении круглого окна лабиринта у интактных животных и сшивания седлищного

т переднего корешка сегмента L_5 ; Б — переднего корешка сегмента L_4 ; В — L_5 ; Г — от переднего корешка сегмента L_5 .

животных L_4 , L_5 (в % по отношению к раздражению) при парном раздражении у интактных животных, через $1,2-1,5$ порога и тестирования нерва у интактных животных (Г), при предварительном раздражении лабиринта и тестирующем раздражении (Е).

1 — у интактных А, Б L_4-L_5 , $p < 0,01$; Г L_5 1-2, $p < 0,05$; Е лев. — прав., $p < 0,01$.

бульбарных пирамид пачкой импульсов. Среднее значение этой реакции, отведенной у оперированных — $494 \pm 64,1$ (Б, В).

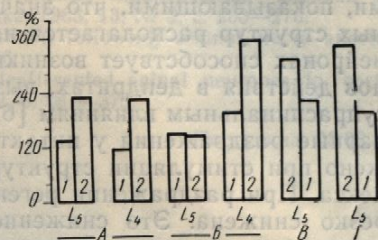
Раздражением бульбарных $8 \pm 0,32$, а у оперированных $8 \pm 0,32$, а у оперированных $8 \pm 0,32$. Раздражение круглого окна лабиринта в переднем корешке первого компонента этого латентного периода амплитуда ответа, значительно увеличилась до латентного периода этого ответа изменялся и составлял переднекорешковых отведена в сегменте L_4 при так и большеберцового бульбарных пирамид от переднекорешковых разря-

дов, которые возникали на тестирующее раздражение нервов сгиба- тельных или разгиба- тельных мышц и отводили в сегменте L_4 (рис. 2, В). У предварительно оперированных животных облегчение рефлекторных разрядов на повторную стимуляцию регенерированных нервов или после предварительного раздражения пирамид было заметно слабее (рис. 2, Д, Г). В том случае, когда производили предварительное раз- дражение лабиринта, облегчение моносинаптических ответов, выявлен- ных тестирующим раздражением задних корешков, было более выраже- но у оперированных животных (рис. 2, Е).

В экспериментах при двояном раздражении задних корешков у интактных животных наблюдалось выраженное облегчение ответа в

Рис. 3. Величина облегчения ответов большебер- цового (1) и малоберцового (2) нервов при двоя- ном раздражении с интервалом 2 мс, задних корешков сегментов L_4 , L_5 у интактных животных (А), у животных через 2 мес после операции (Б), при предварительном раздражении пирамид и тестирующем раздражении задних корешков у ин- тактных животных (В) и у оперированных жи- вотных (Г).

А L_5 1-2, $p < 0,01$; А L_4 1-2, $p < 0,01$; Б L_4 1-2, $p < 0,01$; В L_5 1-2, $p < 0,05$; Г L_5 1-2, $p < 0,05$.



двигательных нервах. Величина облегчения при этом зависела от функ- циональной принадлежности нервов. В нервах сгибателей оно достига- ло 240 %, а в нервах разгибателей — 130 % (рис. 3, А). У оперирован- ных животных величина облегчения ответа, отводимого от двигатель- ных нервов, была различной при раздражении задних корешков сегмен- тов L_4 и L_5 .

При раздражении заднего корешка сегмента L_5 она равнялась 140 % как в нервах сгибателей, так и разгибателей, при раздражении заднего корешка сегмента L_4 , величина облегчения зависела от функци- ональной принадлежности нерва, с которого регистрировался ответ. Облегчение ответа, регистрируемого с малоберцового нерва, достигало 360, с большеберцового — 200 % (рис. 3, Б).

Предварительное раздражение пирамид и тестирующее раздраже- ние задних корешков у интактных животных сопровождалось облегче- нием ответов, величина которого в малоберцовом нерве составляла 310, в большеберцовом — 220 %. У животных после операции этот показа- тель был равен 350 и 200 % соответственно (рис. 3, В, Г). Таким обра- зом, величина облегчения ответов была больше в нервах мышц сгиба- телей как у интактных, так и у опытных животных.

С целью выяснения состояния афферентной части рефлекторной дуги при регенерации пересеченного седлищного нерва в специальной серии экспериментов исследовали потенциал дорсальной поверхности спинного мозга в области вхождения задних корешков сегмента L_5 .

Было показано, что раздражение регенерированного участка седа- лищного нерва приводит к возникновению ПДП без афферентного пи- ка, раздражение нерва выше рассечения сопровождается возникнове- нием этого потенциала с резко уменьшенной амплитудой афферентного пика, а раздражение заднего корешка приводит к появлению ПДП с афферентным пиком, амплитуда которого достоверно снижена с 1037 ± 130 у интактных животных до $197 \text{ мкВ} \pm 46 \text{ мкВ}$ у опытных жи- вотных.

Таким образом, анализ электрической активности передних кореш- ков у животных с перерезанным и сшитым нервом позволил нам пока- зать, что, во-первых, значительно снижается амплитуда ответов перед- них корешков при нанесении афферентных раздражений, удлиняется их латентный период, резко уменьшается величина облегчения на повтор- ные раздражения, а это приводит к исчезновению зависимости амплиту-

ды ответов при раздражении нервов от принадлежности передних корешков сегментам L_4 или L_5 . Эти изменения связаны с нарушением проведения возбуждения в афферентной части рефлекторной дуги, что подтверждается экспериментами с регистрацией афферентного пика ПДП, а также неизбирательной регенерацией афферентных волокон.

Иная картина отмечается при анализе ответов на супраспинальные раздражения. В этом случае амплитуда разрядов значительно увеличена как при раздражении пирамид, так и при раздражении круглого окна лабиринта. По-видимому это связано с тем, что частично деафферентированные мотонейроны приобретают повышенную чувствительность к супраспинальным стимулам. Это подтверждается исследованиями, показывающими, что значительная часть окончаний супраспинальных структур располагается на дендритах [7], а хроматолиз в мотонейронах способствует возникновению распространяющихся потенциалов действия в дендритах, вызывающих повышение их возбудимости к супраспинальным влияниям [6, 8]. Облегчение рефлекторных ответов на парные раздражения у интактных животных в большей степени выражено при стимуляции структур рефлекторной дуги сгибаемого рефлекса. При раздражении регенерированных нервов величина суммации резко снижена. Это снижение обусловлено как уменьшением возбудимости регенерированных нервов, так и десинхронизацией афферентного возбуждения, о чем свидетельствует резкое уменьшение амплитуды афферентного пика ПДП при раздражении регенерированных нервов.

Резко выраженную величину облегчения рефлекторных ответов при раздражении задних корешков сегмента L_4 у оперированных животных можно, очевидно, объяснить увеличением количества мотонейронов в этом сегменте с подпороговым возбуждением как результат доминирования в иннервации мышц конечности нейронов сегмента L_5 .

Вместе с тем характер облегчения ответов при предварительном раздражении пирамид и пробном раздражении задних корешков у интактных животных и у животных после операции не изменялся.

Все это позволяет сделать вывод о том, что изменения рефлекторных ответов передних корешков, возникающих после стимуляции регенерировавшего нерва, обусловлены в большей степени изменениями сегментарного нейронного аппарата. Результаты проведенных экспериментов можно также рассматривать как доказательство того, что пирамидный и вестибуло-спинальный пути могут участвовать в формировании механизма, обуславливающего компенсацию нарушенных движений конечности после регенерации седалищного нерва.

I. Ya. Serdyuchenko, P. I. Syabro, E. A. Makiy

ELECTRIC RESPONSES OF ANTERIOR ROOTS TO BULBAR PYRAMID AND LABYRINTH STIMULATION IN ANIMALS WITH THE DENERVATED LIMB

Summary

Responses of anterior roots of segments L_4 , L_5 and motor nerves to stimulation of the bulbar pyramids, round window of the labyrinth, muscle nerves of flexors and extensors, posterior roots were studied in intact animals and in animals who had sciatic nerve transection and suturing two months ago. It is found that the amplitude of the anterior root responses in operated animals to stimulation of the pyramid and round window of the labyrinth increased as compared with the responses of the intact animals.

The magnitude of the anterior root response simplification in operated animals to twin stimulations of the nerves or preliminary stimulation of the pyramids and test stimulation of the nerves was reduced and to twin stimulation of the posterior roots, preliminary stimulation of the pyramids or round window of the labyrinth and test stimulation of the posterior roots was increased.

Department of Normal Physiology,
Medical Institute, Dnepropetrovsk

1. Асратьян Э. А. Кора голо соврем. биологии, 1936, № 5
2. Иванова С. Н. Механизмы гемисекции спинного мозга.
3. Несмеянова Т. Н. Стимуляция мозга.— М.: Наука, 1971.—
4. Подачин В. П. Пластическ 237 с.
5. Сердюченко И. Я. Рефлек тельной функции пересаж с. 1151—1157.
6. Шаповалов А. И., Гранты хроматолизированные мото
7. Schemm G. W. The patter moses.— J. Neurosurg., 1961,
8. Theasdel R., Stavraky G. ospinal impulses.— J. Neuro

Каф. норм. физиологии
Днепропетров. мед. ин-та

СОКРАТИМОСТЬ

— Киев

В монографии представ диодинамики и сократитель лизирована роль основных диастолического наполнения витии нарушений кровообра между основными механиз ханизмом Франка—Старлинга Для патофизиологов, фи

принадлежности передних ко-
тия связаны с нарушением про-
асти рефлекторной дуги, что
трацией афферентного пика
ией афферентных волокон.
е ответов на супраспинальные
разрядов значительно увели-
и при раздражении круглого
о с тем, что частично деаф-
ют повышенную чувствитель-
одтверждается исследования-
сть окончаний супраспиналь-
[7], а хроматолиз в мото-
пространяющихся потенциа-
овышение их возбудимости к
ние рефлекторных ответов на
ых в большей степени выра-
ной дуги сгибательного реф-
х нервов величина суммации
но как уменьшением возбу-
десинхронизацией афферент-
резкое уменьшение амплиту-
ражении регенерированных

рефлекторных ответов при
у оперированных животных
количества мотонейронов в
ем как результат доминиро-
онов сегмента L_5 .
гветов при предварительном
ении задних корешков у
операции не изменялся.
, что изменения рефлектор-
щих после стимуляции реге-
шей степени изменениями
ьтаты проведенных экспери-
казательство того, что пира-
т участвовать в формировании
ацию нарушенных движе-
ного нерва.

bro, E. A. Makiy
ROOTS TO BULBAR
ATION IN ANIMALS
O LIMB

and motor nerves to stimulation
ath, muscle nerves of flexors and
als and in animals who had scia-
It is found that the amplitude of
stimulation of the pyramid and
with the responses of the intact

implication in operated animals
ulation of the pyramids and test
stimulation of the posterior roots,
dow of the labyrinth and test sti-

Список литературы

1. Асратьян Э. А. Кора головного мозга и пластичность нервной системы.— Успехи соврем. биологии, 1936, № 5, с. 803—823.
2. Иванова С. Н. Механизмы компенсации двигательных функций после латеральной гемисекции спинного мозга.— М.: Наука, 1980.—195 с.
3. Несмеянова Т. Н. Стимуляция восстановительных процессов при травме спинного мозга.— М.: Наука, 1971.—254 с.
4. Подачин В. П. Пластические свойства афферентных систем.— М.: Наука, 1974.—237 с.
5. Сердюченко И. Я. Рефлекторные реакции в ранний период восстановления двига- тельной функции пересаженной конечности.— Физиол. журн. СССР, 1976, 62, № 8, с. 1151—1157.
6. Шаповалов А. И., Грантынь А. А. Надсегментальные синаптические влияния на хроматолизированные мотонейроны.— Биофизика, 1968, 13, № 2, с. 260—276.
7. Schemm G. W. The pattern of cortical localisation following cranial nerve anasto- moses.— J. Neurosurg., 1961, 18, N 5, p. 593—596.
8. Theasdel R., Stavraky G. W. Responses of deafferented spinal neurones to corti- cospinal impulses.— J. Neurofisiol., 1953, 16, N 2, p. 367—375.

Каф. норм. физиологии
Днепропетров. мед. ин-та

Поступила 03.08.81

Мойбенко А. А., Казьмин С. Г.

СОКРАТИМОСТЬ МИОКАРДА И ТАМПОНАДА СЕРДЦА.

— Киев: Наук. думка, 1984.— 1 р. 50 к.

В монографии представлены данные о природе и механизмах нарушения кар-
диодинамики и сократительной функции миокарда при тампонаде сердца. Проана-
лизирована роль основных патогенетических факторов тампонады (уменьшения
диастолического наполнения сердца и ограничения коронарного кровотока) в раз-
витии нарушений кровообращения. Особое внимание уделено взаимоотношениям
между основными механизмами регуляции сократительной функции сердца — ме-
ханизмом Франка—Старлинга и инотропными влияниями на миокард.

Для патофизиологов, физиологов и кардиологов.