

УДК 612.831—005.98—073.731

Экспериментальное изучение влияния направленного магнитного поля на регенерацию нервов и реиннервацию мышц

Кардаш А.М.

Донецкий государственный медицинский университет им. М. Горького,
г. Донецк, Украина

Ключевые слова: магнитная стимуляция, регенерация, периферические нервы, потенциал действия.

Введение. Цель работы — изучить влияние изменяющегося во времени магнитного поля на процессы регенерации периферических нервов и реиннервацию мышц. Блестящим примером пластичности нервной системы является регенерация нерва. Аксональные ростки формируются в пределах нескольких часов из пораженного нерва и энергично растут в длину от центральной части поврежденного нерва через область рубца, чтобы достигнуть дистального отрезка нерва. Однако не всегда возобновление нерва проходит гладко. Есть аксоны, которые действительно пересекают рубец с некоторым раздвоением до вставания в дистальные эндоневральные каналы, но множество других теряют ориентацию и распространяясь в соединительную ткань, формируют так называемую, спираль. Поэтому восстановление пораженного нерва, особенно выполняющего смешанные функции, после повреждения бывает неполным. В настоящее время используется разнообразие подходов для стимуляции регенерации периферических нервов. Они включают использование электрических полей, фармакологических препаратов, физиотерапевтических средств и манипуляции шванновскими клетками [11, 12]. В этом ряду наиболее перспективной в клинической нейрофизиологии является магнитная стимуляция периферических нервов [27, 10, 14]. Использование коротких импульсов изменяющегося во времени магнитного поля позволяет неинвазивно возбуждать не только глубоко расположенные периферические нервы, но и двигательную область коры головного мозга [6]. Физический принцип такой магнитной стимуляции, ее клиническое применение подробно обсуждались нами ранее [1]. В настоящей работе мы использовали пульсирующее магнитное поле (ПуМП) для изучения его стимулирую-

щего действия на ускорение регенерации седалищного нерва у экспериментальных животных.

Материалы и методы. В эксперименте использовали 32 белые крысы линии “Вистар” обоего пола массой 250—350 гр. Операции выполняли на седалищных нервах. Крысам проводили внутривенный тиопенталовый наркоз (0,5% раствор, 1,5 мл интраперитонеально).

Операции на животных проводили с использованием микрохирургической техники (микроинструментарий, бинокулярная лупа с $\times 3$ и $\times 4,5$ увеличением, операционный микроскоп $\times 1,7$ — $\times 5$ с увеличением, а так же атравматические иглы 8/0 — 10/0).

В качестве источника направленного ПуМП использовали аппарат “Полнос-1”, индуктором являлся соленоид внутренним диаметром 50 мм и длиной 150 мм. Воздействие осуществляли таким образом, чтобы направление регенерации нерва соответствовало направлению магнитных силовых линий. Индукция ПуМП составила 10—12 мТл.

У крыс выделяли седалищные нервы слева и справа на уровне средней трети бедра (выше места деления их на ветви). Затем производили передавливание седалищных нервов зажимом специальной конструкции на участке 2 мм, этим добивались полного повреждения осевых цилиндров при сохранении эпиневральной оболочки. Рану зашивали послойно. В течение последующих 20 дней левую и правую конечности помещали ежедневно в соленоиды. Ток пропускали только через соленоид на правой конечности. При этом направление магнитных силовых линий совпадало с направлением регенерации.

Морфометрические методы. Извлеченные участки нервных стволов (1-я серия эксперимента) подопытных животных фиксиро-

вали в формалине, делали продольные и поперечные срезы, окрашивали гематоксилином и эозином, по Ван-Гизону, по Бильшовскому [4]. Помимо качественной оценки регенерации нервных волокон, по гистопрепаратам проводили морфологические исследования. По препаратам продольных срезов нервного ствола определяли направленность роста и скорость регенерации, по препаратам поперечных срезов ниже места сшивания нерва — плотность регенерации, т.е. количество нервных волокон на единицу площади.

Для объективизации влияния различных экспериментальных факторов на регенерацию периферических нервов хорошо известен метод раздавливания седалищных нервов у крыс [9]. После передавливания седалищного нерва регенерация аксонов, ведущая к восстановлению рефлекса вытягивания пальцев стопы, происходит через $10,4 \text{ сут} \pm 1,7 \text{ сут}$, и если область передавливания раздражать в течение 0,25 — 1 час, то восстановление наблюдается через $4,14 \text{ сут} \pm 1,6 \text{ сут}$. В нашем эксперименте раздражающим фактором являлось ПуМП. Измерения проводили на 3, 5, 7, 9-й день после передавливания нервов.

Электрофизиологические методы. В остром опыте на крысах (2-я серия эксперимента) сравнивали электрофизиологические показатели функционирования вновь регенерированных мышц, афферентных и эфферентных нервов после регенерации и мотонейронов, связанных с регенерацией волокон в условиях как спонтанной регенерации, так и регенерации при воздействии направленного ПуМП.

В острый опыт животных брали через 3 нед после передавливания седалищных нервов. Под тиопенталовым наркозом в вышеуказанной дозе крысам обнажали седалищные нервы. Следует отметить, что в месте передавливания нерв, как правило, спаивался с подлежащими тканями, что помогало локализовать место передавливания. Далее производили ламинэктомию в проекции I—VI поясничных сегментов спинного мозга. После вскрытия твердой мозговой оболочки перерезали передние и задние корешки в V поясничном сегменте слева и справа. Волокна корешков этого сегмента формируют седалищный нерв [8]. Центральные отрезки перерезанных корешков помещали на биполярные раздражающие и отводящие электроды. Спин-

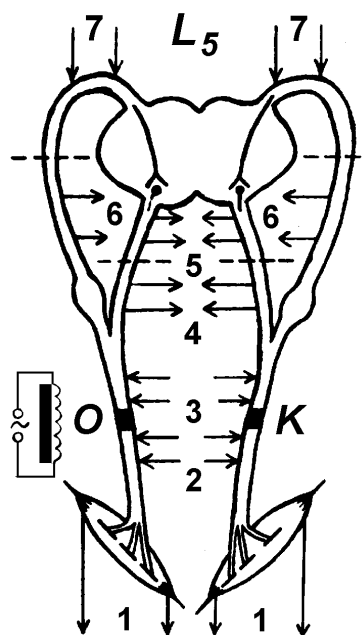


Рис. 1. Схема эксперимента. О — сторона опыта (воздействие ПуМП), К — контрольная сторона. Черным цветом обозначено место передавливания нервов; - - - - - место перереза корешков в остром эксперименте; стрелки: к объекту — раздражение, от объекта — отведение. Цифры на схеме — см. методику

ной мозг заливали вазелиновым маслом, температура которого составляла $37^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$ на протяжении опыта.

Общая схема эксперимента приведена на рис.1. Отведение потенциалов действия мышц производили с помощью игольчатых электродов, вкалываемых в брюшко икроножной мышцы (электроды 1). При отведении мышечных потенциалов действия раздражение нерва производили ниже и выше места передавливания (соответственно электроды 2 и 3). При раздражении седалищного нерва ниже места передавливания потенциалы действия эфферентных волокон регистрировали от периферического отрезка вентрального корешка (электроды 4), а афферентных волокон — от периферического отрезка дорсального корешка (электроды 6). Наконец регистрацию потенциалов действия мотонейронов производили путем регистрации ответов от центрального отрезка вентрального корешка (электроды 5) при раздражении центральных отрезков дорсального корешка (электроды 7).

Все раздражения нервов, корешков и отведения от них осуществляли биполярными серебряными хлорированными электродами. Сила раздражения являлась супрамаксималь-

Таблица 1. Средняя амплитуда и длительность потенциала действия икроножной мышцы белых крыс при супрамаксимальном раздражении седалищного нерва через 3 нед после двустороннего передавливания нервов и последующего ежедневного воздействия на одну из задних конечностей направленного ПуМП (в этой и последующих таблицах О — отведение на стороне воздействия ПуМП, К — контроль, без воздействия ПуМП. Цифры в скобках — число вариант.)

Общая амплитуда, мВ (M±m)		Амплитуда отрицательной фазы, мВ (M±m)		Амплитуда положительной фазы, мВ (M±m)	
О	К	О	К	О	К
26,83±1,91 (32)	15,40±1,70 (32)	18,00±1,11 (32)	10,50±1,01 (32)	8,83±0,92 (32)	4,92±0,74 (32)
P<0,001		P<0,001		P<0,001	
Общая длительность, мс (M±m)		Длительность отрицательной фазы, мс (M±m)		Длительность положительной фазы, мс (M±m)	
О	К	О	К	О	К
7,06±0,46 (30)	6,79±0,47 (29)	3,37±0,15 (30)	3,47±0,27 (29)	3,69±0,37 (30)	3,32±0,47 (29)
P<0,05		P<0,05		P<0,05	

ной для исследуемой структуры и обычно не превышала трех порогов. Порог раздражения определяли в микроамперах по методике, предложенной Макий Е.А., Сябро П.И. [2] Цифровые параметры характеризующие биопотенциалы, обрабатывали статистически.

Применяли следующую нейрофизиологическую аппаратуру: Стимулятор ЭС-50-1, усилитель УБП-1-02, осциллограф С-1-18, фоторегистрирующее устройство ФОР-2. Исследуемые биопотенциалы фотографировали на фотопленку с экрана осциллографа при использовании 3—5 суперпозиций. После регистрации биопотенциалов определили массу икроножных мышц слева и справа, обычно в 2—3 приема с помощью торсионных весов типа ВТ.

Результаты и обсуждение. Исследовали следующие характеристики потенциалов действия реиннервированных мышц: амплитуду и длительность отрицательной и положительной фаз, латентный период, порог возникновения потенциалов действия. Обращает на себя внимание существенное повышение амплитуды потенциала действия на стороне воздействия ПуМП по сравнению с контролем (табл.1).

На рис.2 приведены потенциалы действия икроножных мышц, нервных волокон и мотонейронов после передавливания седалищных нервов у белых крыс через 3 нед. Введены следующие обозначения (схема острого эксперимента приведена на рис.1): Б — осциллограммы потенциалов действия икроножных мышц при раздражении нервов ниже (2) и выше (3) места передавливания нервов; В — осциллограммы потенциалов действия афферентных и эфферентных волокон седалищ-

ных нервов. Верхний луч — отведения от дорсального корешка (6), нижний луч — от вентрального (4) при раздражении седалищного нерва на уровне (2); Г — осциллограммы потенциалов действия дорсальной поверхности спинного мозга и рефлекторных ответов вентральных корешков. Верхний луч — отведение от дорсальной поверхности спинного мозга, нижний луч — отведение от вентрального корешка (5). Стимуляция дорсального корешка на уровне (7); Д — зависимость амплитуды потенциалов действия икроножных мышц крысы от расстояния между сведенными стимулами. По оси ординат отложена амплитуда ответа на второй стимул (в % по

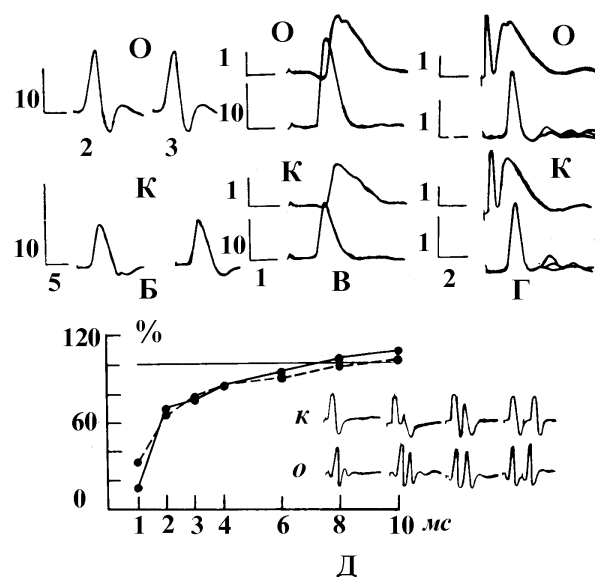


Рис.2. Характер потенциалов действия икроножных мышц, афферентных и эфферентных нервных волокон, мотонейронов через 3 нед после передавливания левого и правого седалищных нервов у белых крыс при ежедневном воздействии на стороне опыта направленным ПуМП. Описание см. в тексте

Таблица 2. Средние величины массы, порога возникновения и латентного периода потенциала действия икроножной мышцы у белых крыс через 3 нед после двустороннего передавливания седалищных нервов и последующего ежедневного воздействия на одну из задних конечностей направленного ПуМП

Масса мышцы, мг (M±m)		Латентный период потенциала действия, мс (M±m)	
О	К	О	К
1100±42 (32)	911,0±26,7 (32)	1,98±0,11 (32)	2,65±0,20 (32)
P<0,001		P<0,01	
Порог возникновения потенциала действия мышцы, мкА (M±m)			
Раздражение нерва выше места передавливания		Раздражение нерва ниже места передавливания	
О	К	О	К
14,50±2,08 (32)	14,50±1,75 (32)	14,40±1,50 (32)	16,32±3,21 (32)
P<0,001		P<0,01	

отношению к амплитуде ответа на первый стимул), а по оси абсцисс — интервал между стимулами (мс). Штриховая линия — отведение на стороне воздействия ПуМП, сплошная линия — отведение на контрольной стороне. Показаны осциллограммы потенциалов действия икроножных мышц крысы в ответ на двоянное раздражение нерва с интервалом в 1,2,3 и 6 мс.

Следует отметить, что как амплитуда потенциала действия мышцы, так и порог его возникновения, достоверно не различаются при раздражении нерва ниже и выше места передавливания (см. рис.2 и табл. 2). Это может свидетельствовать об отсутствии существенной помехи для регенерации волокон в месте передавливания нервов.

Длительность потенциалов действия реиннервированных мышц достоверно одинакова как на стороне воздействия ПуМП, так и на контрольной стороне (см. табл.1). По-видимому, воздействие ПуМП существенно не влияет на скорость распространения возбуждения в реиннервированной мышце.

Обнаружено четкое укорочение латентного периода потенциала действия мышцы на стороне воздействия магнитного поля (табл.2, ла-

тентный период; рис. 2, Б, осциллограммы О и К). Исходя из того что при непрямом раздражении мышцы латентный период потенциала действия определяется главным образом синаптической задержкой, можно предположить, что в присутствии ПуМП происходит более быстрое протекание синаптических процессов в реиннервированных мышцах.

И наконец, существенно увеличивается средняя масса икроножной мышцы на стороне воздействия ПуМП (см. табл.2, масса мышцы), что возможно при более раннем функционировании конечности после воздействия магнитным полем и более раннем восстановлении трофического действия нерва на мышцу.

Следующим этапом нашего исследования явилось изучение потенциалов действия афферентных и эфферентных волокон регенерирующего нерва в условиях воздействия на конечность ПуМП. При раздражении нерва (электроды 2) и отведении от дорсального и вентрального корешков (электроды 6 и 7 соответственно) средние значения амплитуды, длительности и латентного периода потенциала действия афферентных волокон достоверно не различаются на стороне воздействия

Таблица 3. Средние величины амплитуды, длительности и латентного периода потенциалов действия афферентных и эфферентных волокон при супрамаксимальном раздражении седалищного нерва через 3 нед после двустороннего передавливания нервов и последующего ежедневного воздействия на одну из задних конечностей направленного ПуМП

Отведение от дорсального корешка в V поясничном сегменте					
Амплитуда, мВ (M±m)		Длительность, мс (M±m)		Латентный период, мс (M±m)	
О	К	О	К	О	К
2,13±0,24 (25)	1,92±0,31 (25)	2,17±0,14 (25)	1,84±0,14 (25)	1,31±0,16 (25)	1,32±0,06 (25)
P<0,05		P<0,05		P<0,05	
Отведение от вентрального корешка в V поясничном сегменте					
Амплитуда, мВ (M±m)		Длительность, мс (M±m)		Латентный период, мс (M±m)	
О	К	О	К	О	К
12,98±1,52 (25)	11,26±1,10 (25)	1,15±0,10 (25)	1,03±0,06 (25)	1,18±0,04 (25)	1,15±0,05 (25)
P<0,05		P<0,05		P<0,05	

магнитного поля и на контралатеральной стороне (табл.3), хотя в отдельных опытах наблюдается некоторое превышение амплитуды на стороне воздействия ПуМП (см. рис.2, В, осциллограммы О и К, верхний и нижний лучи).

Создается впечатление о достаточно высокой физиологической целостности как афферентных, так и эфферентных волокон через 3 нед регенерации; причем воздействие ПуМП не влияет на физиологические свойства нервных проводников.

При исследовании центральных процессов в рефлекторной дуге, связанной с регенерацией нерва (потенциал дорсальной поверхности спинного мозга — верхний луч, ответ вентрального корешка — нижний луч на рис.2, Г, осциллограммы О и К), нам не удалось выявить существенных различий между стороной опыта и контролем. По-видимому, магнитное поле не оказывает особого влияния на регенераторные процессы в спинном мозге и не препятствует восстановлению моносинаптической передачи, обычно нарушенной после травмы нерва [3].

При исследовании рефракторности нервно-мышечной передачи мы воспользовались методом сдвоенных стимулов. Обнаружено, что поведение амплитуды восстановления мышечного ответа на 2-й стимул в зависимости от расстояния между сдвоенными стимулами практически одинакова, за исключением интервала в 1 мс (см. рис.2, Д, график; табл.4).

Таблица 4. Средняя амплитуда потенциала действия икроножной мышцы при сдвоенных раздражениях седалищного нерва в ответ на 2-й стимул (в % по отношению к 1-му стимулу) у белых крыс через 3 нед после двустороннего передавливания нервов и последующего ежедневного воздействия на одну из конечностей направленным ПуМП

Интервал между стимулами, мс	Амплитуда ответа на 2-й стимул, % (M±m)		p
	О	К	
1	32,8±5,23 (30)	14,90±4,84 (30)	<0,05
2	63,8±2,6 (30)	64,5±4,4 (30)	<0,05
3	78,2±3,0 (31)	76,6±4,3 (31)	<0,05
4	85,9±3,1 (31)	86,8±3,3 (31)	<0,05
6	92,4±4,1 (31)	93,8±4,5 (31)	<0,05
8	99,5±1,7 (29)	102,8±2,7 (29)	<0,05
10	100,8±1,6 (28)	104,3±2,8 (28)	<0,05

Достоверное повышение амплитуды отсчета на 2-й стимул на стороне воздействия ПуМП при интервале между стимулирующими импульсами в 1 мс можно объяснить меньшим латентным периодом потенциала действия на стороне опыта (см. табл.2, латентный период).

Выводы. Таким образом, на стороне воздействия ПуМП увеличивается амплитуда потенциала действия икроножной мышцы, укорачивается латентный период возникновения потенциала действия и возрастает масса икроножной мышцы по отношению к контролю.

Мы считаем, что полученные результаты можно достаточно приемлемо объяснить повышением скорости регенерации двигательных и чувствительных волокон. В этом случае на стороне опыта раньше, чем в контроле, происходит новообразование нервно-мышечных синапсов. Известно, что в начале образования синапса восстанавливается некантовая секреция медиатора [5], являющаяся одним из возможных кандидатов на трофическое действие [13]. Поэтому увеличение массы мышц начинается еще до восстановления функции конечности. Более раннее восстановление функции конечности на стороне воздействия ПуМП дополнительно способствует увеличению массы мышцы.

Соответственно более ранним созреванием нервно-мышечного синапса в результате более быстрой реиннервации можно объяснить и укорочение латентного периода мышечного потенциала действия и увеличение его амплитуды. Возможно, в основе этого явления лежит большая скорость нарастания потенциала концевой пластинки и соответственно большая синхронизация мышечных потенциалов действия, укорочение времени возникновения потенциала действия.

Однако изучение более интимных процессов, в результате которых улучшается регенерация нерва и свойства нервно-мышечных соединений после воздействия ПуМП на регенерирующий нерв магнитным полем, требует дальнейших специальных исследований.

Список литературы

1. Кардаш А.М., Дроботько В.Ф. Магнитная стимуляция и регенерация периферических нервов: основные понятия // Укр. нейрохір. журн. — 2000. — №4. — С.110—117.
2. Макий Е.А., Сябро П.И. Влияние антидромных и ортодромных раздражений на дифферен-

- цированные нейроны спинного мозга // Физиол. журн.— 1984.—Т.30,№2.—С.140—145.
3. *Мантуло П.М., Макий Е.А., Сердюченко И.Я.* Сегментарные рефлексорные реакции спинного мозга крыс после перерезки седалищного нерва и введение тироксина // Физиол. журн.—1979.—Т.25,№5.—С.492—496.
 4. *Меркулов Г.А.* Курс патологической техники.—М, 1969.—321 с.
 5. *Никольский Е.Е., Воронин В.А., Оранская Т.И.* Восстановление спонтанной ква *Никольский Е.Е., Воронин В.А., Оранская Т.И.* Восстановление спонтанной квантовой и неквантовой секреции медиатора из двигательных нервных окончаний в ходе реиннервации диафрагмальной мышцы мыши // Докл. АН СССР.—1985.—Т.285, №1. —С.246—249.
 6. *Barker A.T., Freeston I.L., Jalinous R. et al.* Clinical evaluation of conduction time measurements in central motor pathways using magnetic stimulation of the human brain // *Lancet.* —1986.—V.1.—P.1325—1326.
 7. *Jaskolski K.J., Jarrat J.A., Jakubowski J.* Magnetic stimulation of the human nervous system. Theoretic basis and clinical application // *Neurol.Neurochir.pol.*— 1990. — V. 24(5—6).— P.339—346.
 8. *Kaizawa J., Takahashi J.* Fiber analysis of the lumbar spinal roots and their sciatic brouches in rats // *Tohoku J. Exp. Med.*— 1970. —V. 100. —N1. — P.61—74.
 9. *Pokett S., Gavin R.W.* Acceleration of peripheral nerve regeneration after crush injury in rat // *Neurosci. Lett.*— 1945. —59, —N2.—P.221—224.
 10. *Puvanendran K., Pavanni R.* Clinical study of magnetic stimulation of peripheral nerves / *Ann. Acad.Med.Singapore.*— 1992.—V. 21—N3.— 349—53.
 11. *Rattay F.* The basic mechanism for the electrical stimulation of the nervous system // *Neuroscience.* — 1999. — V.89.—N2.— P.335—346.
 12. *Roth B.J.* Mechanism for electrical stimulation of excitable tissue // *Crit. Rev. Biomed. Engng.*—1994.— V. 22.— P. 253—305.
 13. *Thesleff S.* Kifferent Kinds of acetylcholine release from the motor nerve // *Int. Rev. Neurobiol.* — 1986.— V.28. — P.59—88.
 14. *Wikswa J.P. J.r, van-Egeraat J.M.* Cellular magnetic fields: fundamental and applied measurements on nerve axons, peripheral nerve bundles, and skeletal muscle // *J.Clin.Neurophysiol.*— 1991.—V 8, N2.—P. 170—188.

Експериментальне вивчення впливу
спрямованого магнітного поля на регенерацію
нервів та реінервацію м'язів

Кардаш А.М.

Вивчається вплив спрямованого магнітного поля на процеси регенерації сідничних нервів та реінервацію м'язів у щурів. Як джерело спрямованого пульсуючого магнітного поля використовується апарат "Поліус-1", в соленоїді якого утворюється магнітна індукція 10—12 мТл. Для спостереження за регенерацією периферичних нервів та реінервацією м'язів застосовані морфологічні та електрофізіологічні методи. Визначено направленість, щільність та швидкість регенерації сідничних нервів. Показано, що з боку впливу магнітного поля зростає амплітуда потенціалу дії м'яза литки, зменшується латентний період виникнення потенціалу дії та зростає маса м'яза литки у відношенні до контролю.

Experimental study of influence of the
directional magnetic field on regeneration of
nerves and reinnervation of muscles

Kardah A.M.

The influence of a magnetic field, changed in time, on processes of regeneration of sciatic nerves and reinnervation of muscles at rats was investigated. The magnetic induction 10—12 mT of a directional pulsatory magnetic field was obtained by the device "Pole-1". The regeneration of peripheral nerves and reinnervation of muscles was studied by morphological and electrophysiological methods. krientation, density and velocity of regeneration of sciatic nerves were evaluated. The increase of amplitude of action potential of the leg muscle, the decrease of latency period of originating of action potential and body height of mass of the leg muscle on the party action of magnetic field has been established.

Комментарий

к статье А.М.Кардаша “Экспериментальное изучение влияния направленного магнитного поля на регенерацию нервов и реиннервацию мышц”

В настоящее время накопилось большое количество клинических сообщений, отражающих благотворное влияние магнитных полей на лечение различных видов поражений человеческого организма. Не все сообщения подтверждены независимыми исследованиями, мало экспериментальных исследований, почти отсутствуют фундаментальные исследования и поэтому до настоящего времени не ясен вопрос, на какие структуры клетки влияет магнитное поле и в чем выражается его влияние (механизм действия). Вместе с тем применение магнитных полей при некоторых патологических процессах, например, при переломах костей конечностей, после ряда независимых исследований одобрена административными медицинскими организациями США и используется в медицинской практике.

Независимыми исследованиями также поддержана эффективность влияния магнитных полей на заживление хронических ран (пролежней) [Jeran M., 1990], нейронную регенерацию [Korl J., Jto.H., Basset.C., 1980; Sisken B.F., 1990; Kavid W. Ramey K.V., 1998].

В этой связи данная работа является весьма актуальной и продвигает понимание механизмов магнитной стимуляции поврежденных периферических нервов. Процессы исследования хорошо разработаны, результаты увеличения амплитуды потенциала действия икроножной мышцы, возрастание ее массы и уменьшение латентного периода при магнитной стимуляции подтверждены независимыми испытаниями. Потребовалось много усилий для оптимизации таких переменных, как сигнальная конфигурация магнитного поля и продолжительность его воздействия на пораженный седалищный нерв у крыс, прежде чем был получен положительный результат пульсирующей магнитной терапии.

Чл.-кор. АМН Украины, профессор Ельский В.Н.
Донецкий государственный медицинский университет им. М. Горького

Комментарий

к статье А.М. Кардаша “Экспериментальное изучение влияния направленного магнитного поля на регенерацию нервов и реиннервацию мышц.”

Нормальные функции живых клеток в тканях человеческого тела невозможны без электрических зарядов, токов и электрических полей, вырабатываемых самими клетками в процессе их жизнедеятельности. Так как внешнее воздействие, поддерживаемое электромагнитными полями, ведет к образованию индуцированных электрических токов и полей во всех органах и клетках тела, эффекты суперпозиции их на те, которые являются частью процесса жизнедеятельности, имеют главный научный интерес.

Наиболее широко в медицине изучается применение магнитных полей в лечении рассеянного склероза, поражения спинного мозга и различных травм. Биологические эффекты пульсирующего электромагнитного поля обусловлены скорее индуцированными в тканях тела электрическими полями и токами, чем магнитными силами. Однако основное преимущество пульсирующей магнитной стимуляции состоит в глубине ее проникновения и способности ее проникать через внутренние ткани независимо от их электрического сопротивления. Поэтому магнитная стимуляция является многообещающей относительно способности неинвазивно активизировать как глубоко лежащие периферические нервы, так и области головного мозга.

В статье достоверно показана такая возможность использования пульсирующего магнитного поля индукцией 10—12 мТл, длительностью импульса — 1 мс и частотой повторения — 50 Гц для стимуляции регенерации седалищного нерва у крыс. Под действием пульсирующего магнитного поля увеличивается амплитуда потенциала действия икроножной мышцы с $15,4 \pm 1,7$ мВ до $26,83 \pm 1,91$ мВ, укорачивается латентный период возникновения потенциала действия с $2,65 \pm 0,20$ мсек до $1,98 \pm 0,11$ мсек и возрастает масса икроножной мышцы от $911,0 \pm 26,7$ мг до 1100 ± 42 мг по отношению к контролю. Эти результаты дополняют литературные данные по инактивации электрическими полями ионного движения через клеточную мембрану, магнитной стимуляции переключающимися градиентными полями при МРТ-диагностике и более эффективном возбуждении потенциалов действия при магнитной стимуляции периферических нервов, чем при электрической стимуляции.

Канд. физ.-мат. наук Дроботько В.Ф.
Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина Национальной АН Украины