

туальные вопросы организации здравоохранения». – 2012. – № 3. – С. 10–14.

6. Организация Объединенных Наций. Генеральная ассамблея ООН. Глобальный кризис в области безопасности дорожного движения. Сессия 58, пункт 62. Доклад Генерального секретаря, 7 августа 2003 г.

7. Положение о студенческом спасательном отряде ГБОУ ВПО КубГМУ Минздрава России, утвержденное приказом ректора от 04.12.2013 г. № 890.

8. Программа первой помощи Общероссийской общественной организации «Российский союз спасателей». – М.: ООО «ИПП «КУНА», 2011.

Поступила 24.09.2015

Н. В. КОРНИЛОВА¹, В. Г. АБУШКЕВИЧ¹, А. Г. ПОХОТЬКО¹, Е. Г. ПОТЯГАЙЛО²

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ В СЕДАЛИЩНОМ НЕРВЕ ЛЯГУШКИ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

¹Кафедра нормальной физиологии Кубанского государственного медицинского университета, Россия, 350063, г. Краснодар, ул. Седина, 4; тел. (8988) 245-56-55. E-mail: abushkevich_V@mail.ru;

²кафедра нормальной и патологической физиологии Кубанского медицинского института, Россия, 350015, г. Краснодар, ул. Красная, 52; тел. 8918-211-55-65. E-mail: potyagaylo@kubannet.ru

С целью визуализации распространения возбуждения в седалищном нерве лягушки в высокочастотном электрическом поле были выполнены эксперименты на 90 лягушках *Rana temporaria*. У обездвиженных лягушек выделяли седалищный нерв и помещали его на сканер камеры газоразрядной визуализации установки КЭЛСИ, создающей высокочастотное электрическое поле (1024 Гц). Сканером с высокочувствительной телекамеры снимали 60-секундный видеофильм (частота кадровая съемки 1000 кадров в секунду). В высокочастотном электрическом поле вне раздражения в седалищном нерве лягушки наблюдали краевое свечение – эффект Кирлиан. При стимуляции нерва одиночными импульсами в нерве появлялись 4 очага внутреннего свечения. При прекращении стимуляции они исчезали. Этот факт указывает на то, что очаги свечения внутри нерва отражают процесс возбуждения нервных волокон. Скорость проведения очагов свечения соответствовало скорости распространения возбуждения в нерве в м/с: (очаг 1) $A\alpha = 46,2 \pm 0,4$; (очаг 2) $A\beta = 23,4 \pm 0,5$; (очаг 3) $A\gamma = 15,2 \pm 0,4$; (очаг 4) $B = 10,0 \pm 0,6$. Очаги свечения и их проекции различались по площади. Площадь очагов свечения на сканограмме в мм²: 1-й очаг – $8,0 \pm 0,4$; 2-й очаг – $4,3 \pm 0,4$; 3-й очаг – $3,2 \pm 0,2$; 4-й очаг – $2,4 \pm 0,4$. Наибольшую площадь из очагов свечения, движущихся к мышце, имеет очаг, соответствующий по скорости волокнам $A\alpha$, затем $A\gamma$ и $A\beta$. Наименьшую площадь – очаг свечения волокон группы B . Таким образом показана визуализация распространения возбуждения в седалищном нерве лягушки.

Ключевые слова: визуализация, очаги свечения, высокочастотное поле, нерв.

N. V. KORNILOV¹, V. G. ABUSHKEVICH¹, A. G. POHOTKO¹, E. G. POTYAGAILO²

VISUALIZATION OF INDUCTION FROG'S SCIATIC NERVE IN A HIGH-FREQUENCY ELECTRIC FIELD

¹Department of normal physiology of the Kuban state medical university, Russia, 350063, Krasnodar, Sedin str., 4; tel. (8988) 245-56-55. E-mail: abushkevich_V@mail.ru;

²department of normal physiology and patophysiology of the Kuban medical institutes, Russia, 350015, Krasnodar, Red str., 52; tel. 8918-211-55-65. E-mail: potyagaylo@kubannet.ru

In order to visualize distribution of induction frog's sciatic nerve in a high electric field experiments were performed on 90 frogs *Rana temporaria*. In immobilized frogs were isolated sciatic nerve and placed it on the scanner camera gas discharge visualization install KELSEY, which creates an electric field high-frequency (1024 Hz). The 60-second video movie (frequency-lapse shooting 1000 frames per second) was shot by scanner with a highly sensitive video cameras. The regional luminescence – effect Kirlian was observed in a frog's sciatic nerve in high-frequency electric field out of irritation. 4 hearth inner glows were appeared during nerve stimulation by single impulses. They disappeared after finishing the stimulation. This fact indicates that the inside of the nerve centers of luminescence reflects the induction of nerve fibers. The rate of emission of a luminescence corresponded to the speed of distribution induction in the nerve in m/s: (1 hearth) $A\alpha = 46,2 \pm 0,4$; (center 2) $A\beta = 23,4 \pm 0,5$; (hearth 3) $A\gamma = 15,2 \pm 0,4$; (hearth 4) $B = 10,0 \pm 0,6$. The centers of luminescence and their projections vary in size.

Area of centers of luminescence in mm² 1 center – 8,0±0,4; 2 center – 4,3±0,4; 3 center – 3,2±0,2; 4 center – 2,4±0,4. The largest area of the centers of luminescence, moving to the muscle, has a center corresponding to the speed fiber A α , then A γ and A β . The list area – center luminescence fibers of group B. Thus the visualization indicates the spread of induction in the frog's sciatic nerve.

Key words: visualization, center of luminescence, high-frequency field, the nerve.

Актуальной является разработка метода оценки параметров распространения возбуждения в нервных стволах и, в частности, в седалищном нерве лягушки.

В настоящее время существует ряд методов регистрации распространения возбуждения в нервах. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Так, наряду с традиционной нейрографией широко используются методы компьютерного картирования с применением многоэлектродных матриц – щётки, погружаемых в нервный ствол [9, 10]. Недостатком таких методов является небольшая разрешающая способность, связанная с несоответствием размера нервных волокон и электродов [7].

Этот недостаток устраняется методами флуоресцентной визуализации. При флуоресцентной визуализации внешний свет определенной длины возбуждает флуоресцентные молекулы-мишени, способные в ответ испускать фотоны с большей длиной волны, регистрируемые детектором. Возможна детекция флуоресценции как от эндогенных молекул, так и от искусственно внедренных белков и флуорофоров [4, 8].

В частности, для изучения распространения возбуждения используется метод флуоресцентной визуализации – метод оптического потенциала. Наряду с преимуществами метод оптического потенциала имеет ряд недостатков. Он позволяет

осуществлять регистрацию только с поверхности органа. Флуоресцентные зонды оказывают влияние на ткани, метод дорогостоящий [3].

Другой разновидностью люминесцентной визуализации является свечение в высокочастотном электрическом поле [1]. Ранее при помощи высокочастотного электрического поля выполнены работы по визуализации распространения возбуждения в венозном синусе, в беременной матке [5], в желудке [2]. Визуализация распространения возбуждения в седалищном нерве в высокочастотном электрическом поле не изучалась.

Цель исследования – создать и апробировать метод визуализации распространения возбуждения в седалищном нерве лягушки в высокочастотном электрическом поле.

Материалы и методы исследования

Эксперименты были выполнены на 90 лягушках *Rana temporaria*. У обездвиженных лягушек выделяли на бедре седалищный нерв. Нерв помещали на сканер камеры газоразрядной визуализации установки КЭЛСИ (фирма «ЭЛСИС», г. Санкт-Петербург), создающей высокочастотное электрическое поле (1024 Гц). Сканером с высокочувствительной телекамерой снимали 60-секундный видеофильм (частота кадровая съемки 1000 кадров в секунду), во время которого регистрировались краевые

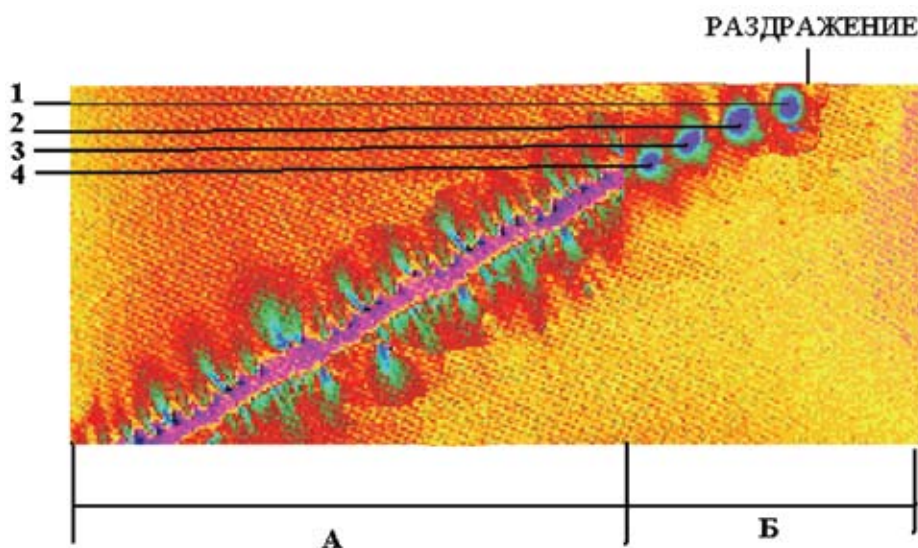


Рис. 1. Свечение седалищного нерва лягушки в высокочастотном электрическом поле. А – до раздражения нерва (эффект Кирлиан); Б – при раздражении центрального конца нерва; 1, 2, 3, 4 – очаги свечения в нерве

свечение (эффект Кирлиан) и очаги свечения в седалищном нерве. Оценивали количество светящихся очагов в нерве, их локализацию, направление их распространения, скорость их движения. При помощи компьютерной программы по интенсивности свечения проводили томографические срезы. Определяли площади проекций очагов свечения на каждом из срезов, расстояние между ними. Статистический анализ результатов исследования был проведен

с использованием программы «STATISTIKA 6,0 for Windows».

Результаты исследования и их обсуждение

В высокочастотном электрическом поле вне раздражения седалищного нерва лягушки в нерве наблюдали краевое свечение – эффект Кирлиан (рис. 1, фрагмент А).

При раздражении седалищного нерва одиночными импульсами с частотой 1 Гц

Таблица 1

Площади очагов свечения, движущихся в сторону спинного мозга, и их проекций в седалищном нерве лягушки при его стимуляции электрическими импульсами ($M \pm m$)

Показатели	Группы волокон по скорости проведения очагов свечения			
	А			В
	А α	АВ	А \dot{Y}	
	Номера очагов			
	1	2	3	4
Скорость проведения очагов свечения в м/с	46,2 \pm 0,4	23,4 \pm 0,5 $P_1 < 0,001$	15,2 \pm 0,4 $P_2 < 0,001$ $P_3 < 0,001$	10,0 \pm 0,6 $P_4 < 0,001$ $P_5 < 0,001$ $P_6 < 0,001$
Площадь очагов свечения на сканограмме в мм ²	8,0 \pm 0,4	4,3 \pm 0,4 $P_1 < 0,001$	3,2 \pm 0,2 $P_2 < 0,001$ $P_3 < 0,001$	2,4 \pm 0,4 $P_4 < 0,001$ $P_5 < 0,001$ $P_6 < 0,001$
Площадь проекций очагов свечения на сканограмме в мм ² 1	14,1 \pm 0,5	9,2 \pm 0,4 $P_1 < 0,001$	16,3 \pm 0,5 $P_2 < 0,001$ $P_3 < 0,001$	7,0 \pm 0,2 $P_4 < 0,001$ $P_5 < 0,001$ $P_6 < 0,001$
2	20,3 \pm 0,2	15,1 \pm 0,1 $P_1 < 0,001$	20,7 \pm 0,3 $P_2 < 0,001$ $P_3 < 0,001$	14,1 \pm 0,5 $P_4 < 0,001$ $P_5 > 0,05$ $P_6 < 0,001$
3	24,0 \pm 0,7	12,4 \pm 0,6 $P_1 < 0,001$	38,2 \pm 0,7 $P_2 < 0,001$ $P_3 < 0,001$	37,0 \pm 0,3 $P_4 < 0,001$ $P_5 < 0,001$ $P_6 > 0,05$
4	50,5 \pm 0,2	64,0 \pm 0,4 $P_1 < 0,001$	67,2 \pm 0,8 $P_2 < 0,001$ $P_3 < 0,001$	60,2 \pm 0,6 $P_4 < 0,001$ $P_5 < 0,001$ $P_6 < 0,001$
5	63,2 \pm 0,4	85,3 \pm 0,8 $P_1 < 0,001$	98,4 \pm 0,2 $P_2 < 0,001$ $P_3 < 0,001$	90,9 \pm 0,5 $P_4 < 0,001$ $P_5 < 0,001$ $P_6 < 0,001$
6	84,8 \pm 0,5	100,2 \pm 0,6 $P_1 < 0,001$	178,8 \pm 0,3 $P_2 < 0,001$ $P_3 < 0,001$	113,2 \pm 0,7 $P_4 < 0,001$ $P_5 < 0,001$ $P_6 < 0,001$

Примечание: P – достоверность между столбцами: P₁ – между 1 и 2, P₂ – между 3 и 1, P₃ – между 3 и 2, P₄ – между 1 и 4, P₅ – между 2 и 4, P₆ – между 3 и 4.

Расстояния между каждым очагом свечения, движущимся в сторону мышцы, и его проекциями в седалищном нерве лягушки при его стимуляции электрическими импульсами ($M \pm m$)

Расстояние на сканограмме в мм	Группы волокон по скорости проведения очагов свечения			
	А			В
	А α	А β	А γ	
	Номера очагов свечения			
	1	2	3	4
Между очагом и проекцией № 1	22,1 \pm 0,4	23,0 \pm 0,9 $P_1 > 0,05$	24,2 \pm 0,8 $P_2 > 0,05$ $P_3 > 0,05$	23,3 \pm 0,6 $P_4 > 0,05$ $P_5 > 0,05$ $P_6 > 0,05$
Между проекцией № 1 и проекцией № 2	20,3 \pm 0,7	20,1 \pm 0,1 $P_1 > 0,05$	20,4 \pm 0,5 $P_2 > 0,05$ $P_3 > 0,05$	20,2 \pm 0,5 $P_4 > 0,05$ $P_5 > 0,05$ $P_6 > 0,05$
Между проекцией № 2 и проекцией № 3	20,0 \pm 0,2	20,2 \pm 0,6 $P_1 > 0,05$	20,0 \pm 0,4 $P_2 > 0,05$ $P_3 > 0,05$	20,4 \pm 0,3 $P_4 > 0,05$ $P_5 > 0,05$ $P_6 > 0,05$
Между проекцией № 3 и проекцией № 4	18,1 \pm 0,4	18,0 \pm 0,5 $P_1 > 0,05$	18,2 \pm 0,7 $P_2 > 0,05$ $P_3 > 0,05$	18,0 \pm 0,8 $P_4 > 0,05$ $P_5 > 0,05$ $P_6 > 0,05$
Между проекцией № 4 и проекцией № 5	16,3 \pm 0,2	16,5 \pm 0,3 $P_1 > 0,05$	16,1 \pm 0,6 $P_2 > 0,05$ $P_3 > 0,05$	16,7 \pm 0,5 $P_4 > 0,05$ $P_5 > 0,05$ $P_6 > 0,05$
Между проекцией № 5 и проекцией № 6	16,2 \pm 0,3	16,1 \pm 0,4 $P_1 > 0,05$	16,3 \pm 0,5 $P_2 > 0,05$ $P_3 > 0,05$	16,0 \pm 0,2 $P_4 > 0,05$ $P_5 > 0,05$ $P_6 > 0,05$

наблюдали мышечные сокращения лапки лягушки. Порог раздражения составлял 0,6 \pm 0,1 В.

При стимуляции нерва одиночными импульсами в нерве появлялись очаги внутреннего свечения (рис. 1, фрагмент Б). При прекращении стимуляции они исчезали.

При раздражении центрального конца нерва возбуждение распространялось в сторону мышцы.

Компьютерная программа по одинаковости интенсивности свечения выделяла 6 проекций очагов свечения (рис. 2).

Очаги свечения и их проекции различались по площади (табл. 1).

Как видно из таблицы 1, наибольшую площадь из очагов свечения, движущихся к спинному мозгу, имеет очаг, соответствующий по скорости волокнам А α , затем А γ и А β . Наименьшую площадь – очаг свечения волокон группы В.

Если исходить из того, что площадь очага свечения отражает количество вовлекаемых в процесс возбуждения волокон, то больше всего воз-

буждается А α волокон и меньше волокон группы В седалищного нерва лягушки.

На сканограмме (рис. 2) видно, что очаги свечения находятся не на одном уровне. Возможно они отражают распространение возбуждения в группах нервных волокон, идущих в толще нерва на разной глубине.

В то же время проекции очагов свечения указывают на одинаковость слоев залегания нервных пучков с разной скоростью проведения (табл. 2).

Таким образом, в работе показано, что:

1. В высокочастотном электрическом поле в седалищном нерве лягушки возникает краевое свечение (эффект Кирлиан).

2. При раздражении седалищного нерва электрическими пороговыми импульсами с частотой 1 Гц наряду с краевым свечением в нерве появляются очаги внутреннего свечения.

3. При раздражении центрального конца очаги свечения 1, 2, 3, 4 движутся в сторону мышцы.

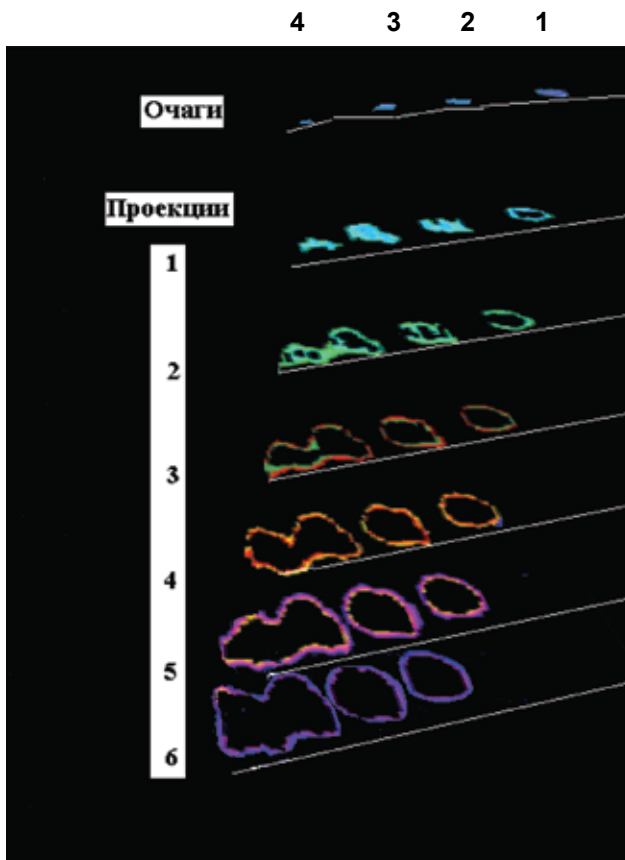


Рис. 2. Соотношение расстояний между очагами свечения и проекций очагов свечения в седалищном нерве

4. По скорости движения очагов свечения выделяют волокна группы А (А α , А γ , А β) и волокна группы В.

5. Наибольшую площадь имеет очаг свечения 1, у которого наибольшая скорость распространения.

6. Наименьшую площадь имеет очаг свечения 4, у которого наименьшая скорость распространения.

7. Разные очаги свечения располагаются на разной глубине в седалищном нерве, а проекции разных очагов свечения располагаются в одной плоскости.

8. Площади проекций очагов свечения увеличиваются при приближении к поверхности нерва.

Однако динамика проекций очагов свечения в разных слоях неодинакова.

9. Проекции очагов свечения на поверхности седалищного нерва не отражают площадь очагов свечения в глубине нерва.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойченко А. П., Шустов М. А. Основы газоразрядной фотографии. – Томск, 2004. – С. 316.
2. Грицаев Е. И., Абушкевич В. Г. Визуализация пейсмекера желудка крысы в высокочастотном электрическом поле в исходном состоянии и при стимуляции блуждающего нерва // Кубанский научный медицинский вестник. – 2013. – № 1 (136). – С. 68–71.
3. Иванова С. В., Кирпиченко Л. Н. Использование флуоресцентных методов в медицине // Медицинские новости. – 2008. – № 12. – С. 56–61.
4. Кучмий А. А., Ефимов Г. А., Недоспасов С. А. Методы молекулярной визуализации in vivo // Биохимия. – 2012. – Т. 77. Вып. 12. – С. 1603–1620.
5. Перов В. Ю., Арделян А. Н., Сомов И. М., Перова М. Ю. К методике применения эффекта Кирлиан для изучения свойств матки крыс // Современные проблемы науки и образования. – М., 2006. – № 4. – С. 157–158.
6. Перова М. Ю., Абушкевич В. Г., Федунова Л. В., Перов В. Ю. Визуализация процесса возбуждения в пейсмекере венозного синуса сердца лягушки // Кубанский научный медицинский вестник. – 2008. – № 6 (105). – С. 49–51.
7. Сафин Д. Р., Пильщиков И. С., Ураксеев М. А., Мигранов Р. М. Современные системы управления протезами // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2009. – № 4. – С. 60–68.
8. Степаненко О. В., Верхуша В. В., Кузнецова И. М., Туроверов К. К. Флуоресцентные белки: физико-химические свойства и использование в клеточной биологии // Цитология. – 2007. – Т. 49. № 5. – С. 395–420.
9. Schwartz A. B., Gu X., Weber D. J., Moran D. W. Brain-controlled interfaces: movement restoration with neural prosthetics // Neuron. – 2006. – V. 52. № 1. – P. 205–220.
10. Warwick K., Gasson M., Hutt B., Goodhew I., Kyberd P., Andrews B., Teddy P., Shard A. The application of implant technology for cybernetic systems // Arch. neurrol. – 2003. – V. 60. № 10. – P. 1369–1373.

Поступила 20.08.2015