

УДК 57.08+612

doi: 10.26907/2542-064X.2019.2.245-254

## **Elph: ПРОГРАММА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПИСЬЮ И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

*А.В. Захаров*

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия  
Казанский государственный медицинский университет, г. Казань, 420012, Россия*

### **Аннотация**

В статье дано описание программы Elph, предназначенной для записи и анализа электрофизиологических сигналов. Программа настроена на управление устройством сбора данных российского производства – ЛА-2USB. Хорошее соотношение цена/качество отечественного устройства сбора данных вместе с открытым кодом программы делает данный комплекс доступным и удобным инструментом для решения ряда исследовательских задач. В настоящее время данный комплекс применяется для проведения электрофизиологических экспериментов, включающих синхронную запись вызванных мембранных потенциалов и мышечных сокращений, детекцию и сбор спонтанных колебаний мембранного потенциала, мониторинг и непрерывную запись мембранного потенциала. Данная программа в комплексе с ЛА-2USB может применяться также в качестве цифрового осциллографа и быть полезной в случаях, где требуется непрерывная или эпизодическая запись аналогового сигнала. Кроме того, Elph даёт возможность с помощью ЛА-2USB управлять TTL-совместимыми устройствами.

**Ключевые слова:** сбор данных, Elph, управление устройством ЛА-2USB, аналого-цифровое преобразование, цифровой осциллограф

### **Введение**

Сбор данных в процессе научных экспериментов, в ходе производства или для автоматизированного учёта расхода ресурсов в быту и на производстве предполагает использование соответствующих специализированных аппаратно-программных комплексов. В научной сфере существует множество решений задачи оцифровки, записи и хранения экспериментальных данных. Специализация соответствующих аппаратных (усилители АЦП/ЦАП, фильтры) и программных средств связана с необходимостью фокусироваться на различных аспектах исследуемых объектов. Так, например, исследования электрической активности мозга предполагают многоканальную (до десятков и сотен каналов) запись сигналов с частотой дискретизации от 100 Гц до 40 кГц с длительностью записи до нескольких дней [1–5]. Исследование работы одиночных клеток и одиночных ионных каналов может предъявлять иные требования для записи сигналов с более высоким временным и амплитудным разрешением [6, 7] и иной длительностью [8, 9]. Кроме того, большинство экспериментальных подходов предполагает согласование процесса записи с запуском вспомогательных

устройств, таких как электростимуляторы или лазеры при оптогенетических исследованиях. Сегодня предлагается множество вариантов усилительно-регистрирующих устройств для разных условий эксперимента. Однако штатные программы производителей подобной аппаратуры либо не полностью удовлетворяют разнообразным запросам экспериментаторов по управлению процессом сбора данных, либо достаточно дороги.

В настоящей работе даётся описание специализированной программы с открытым кодом Elph, которая предназначена для управления устройством сбора данных российского производства ЛА-2USB. Данный аппаратно-программный комплекс позволяет качественно оцифровывать широкий спектр электрофизиологических сигналов и проводить их первичную математическую обработку.

### **Параметры АЦП в составе устройства сбора данных ЛА-2USB**

Аппаратно-программный комплекс Elph + ЛА-2USB изначально создавался как часть электрофизиологических установок, предназначенных для записи потенциалов действия мышечных и нервных клеток в условиях внеклеточной или внутриклеточной регистрации. В соответствии с этим было выбрано устройство сбора данных ЛА-2USB (ЗАО Руднев-Шиляев, <http://www.rudshel.ru>). Параметры АЦП в составе данного устройства позволяют без значительных потерь оцифровывать сигналы, получаемые на выходе электрофизиологических усилителей. Амплитуды таких сигналов лежат в диапазоне от десятых долей милливольт до нескольких милливольт, а длительности их фронтов начинаются от десятых долей миллисекунды [10–13]. 12–14-битное устройство сбора данных ЛА-2USB позволяет разрешать напряжение с шагом порядка 6–25 мкВ и оцифровывать входной сигнал с частотой до 400–500 кГц (в зависимости от модификации), что вполне удовлетворяет условиям качественной оцифровки типичных электрофизиологических сигналов. Используемый интерфейс USB 2.0 в совокупности с новейшей версией драйвера обеспечивает совместимость описываемого устройства сбора данных практически с любым компьютером, работающим под управлением операционной системы Windows XP/Vista/7/8.

### **Основные возможности программы Elph**

Исходный код программы Elph на языке C++ и исполняемый файл доступны по адресу <https://github.com/AndreyZakharovExp/Elph>. Перед началом работы с этой программой необходимо подключить устройство ЛА-2USB к компьютеру, на который установлен соответствующий драйвер. Подключение устройства не требуется, если программа используется только для обработки ранее созданных файлов.

Все элементы программы составлены так, чтобы максимально упростить и ускорить процедуру запись сигналов. Основные органы управления программы сгруппированы по функциональному назначению и располагаются в четырёх разделах главного окна (рис. 1). В разделе «Выполнить» находятся кнопки вызова осциллографа или окна предварительных настроек записи. В разделе «Настройки текущего эксперимента» производится задание режима генерации синхронизирующих импульсов для экспериментов с принудительной активацией возбудимых

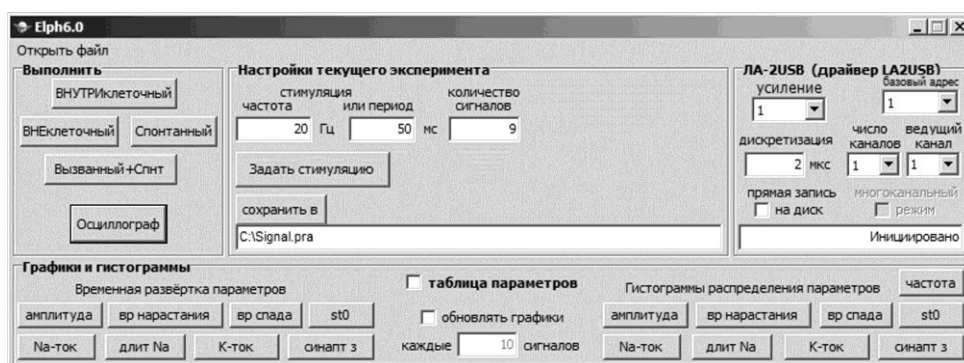


Рис. 1. Главное окно программы Elph

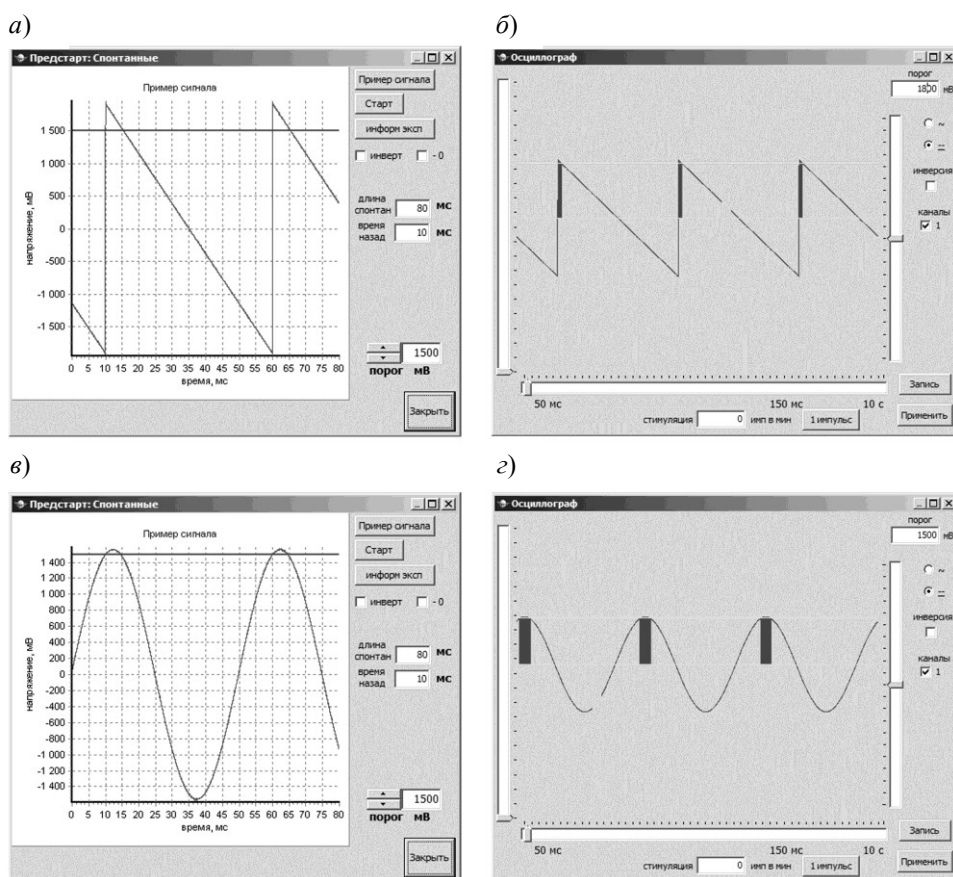


Рис. 2. Вид тестовых сигналов, записанных в режиме детекции спонтанных сигналов по амплитудному порогу (а, в) и в режиме «Осциллограф» (б, з). Параметры «пилы» на а и б: полный размах 3.8 В; период 50 мс. параметры «синусоиды» на в и з: полный размах 3.1 В; период 50 мс. Горизонтальные линии показывают уровень амплитудного порога детекции сигнала (1800 мВ на б, 1500 мВ на а, в и з)

клеток. Раздел «ЛА-2USB (драйвер LA2USB)» необходим для настройки основных параметров АЦП, таких как частота дискретизации, количество отображаемых и записываемых каналов и диапазон напряжений на аналоговых входах платы

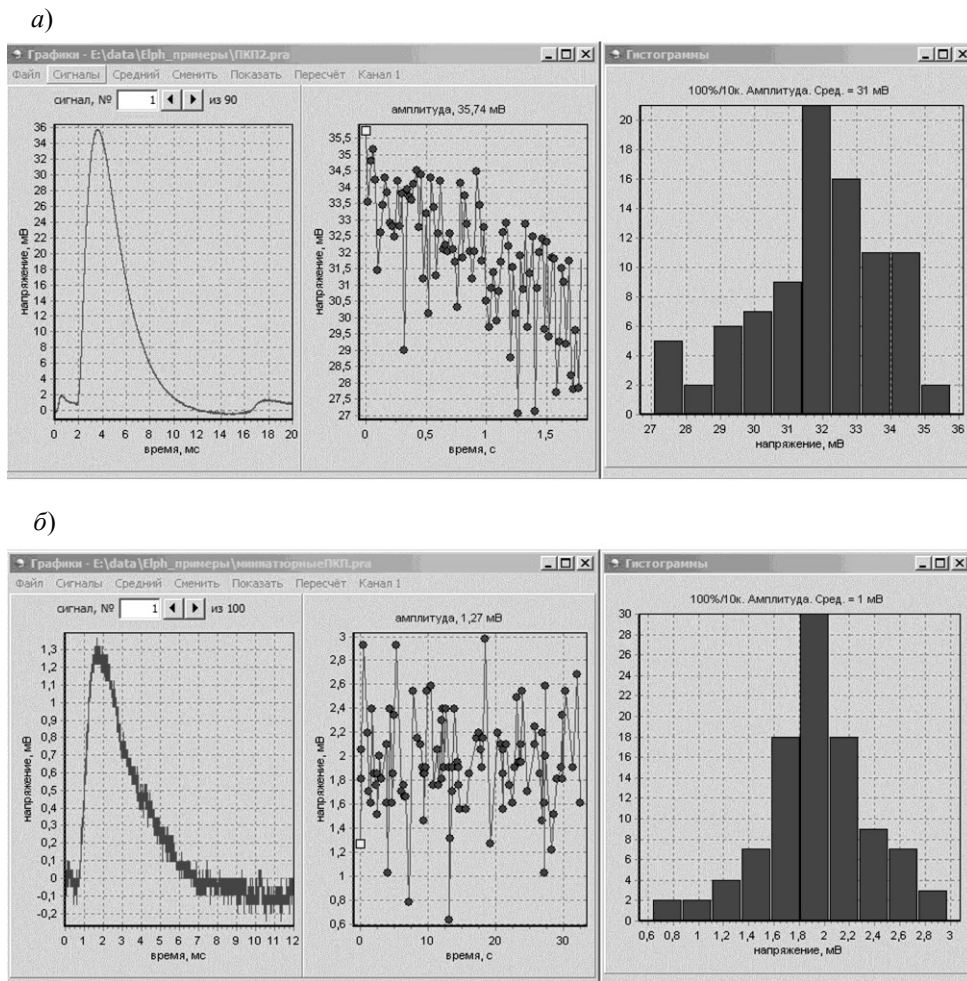


Рис. 3. Пример записи потенциалов концевой пластинки нервно-мышечного препарата мышцы. Показан одиночный вызванный (а, слева) и спонтанный (б, слева) сигнал. Центральные части отображают графики амплитуд вызванных и спонтанных сигналов соответственно. Справа показан вид гистограммы амплитуд сигналов, которая обновляется по мере накопления сигналов в эксперименте. (Данные предоставлены П.Н. Григорьевым, КГМУ)

(«усиление»). «Графики и гистограммы» содержит элементы управления визуализацией вычисляемых программой параметров записанных сигналов.

Кнопки «ВНУТРИклеточный», «ВНЕклеточный», «Спонтанный», «Вызванный+Спнт» открывают окно предварительных настроек записи вызванных и/или спонтанных сигналов. Вид данного окна с примером отображения тестового сигнала показан на рис. 2, а и в. Набор элементов управления в окне «Пред-старт» определяется тем, какой тип сигнала ожидается: спонтанный, вызванный и смешанный. Длительность записываемых отрезков, содержащих сигналы, определяется пользователем, при этом моменты начала записи этих отрезков определяются либо синхронизирующими импульсами, либо по амплитудному порогу в случае детекции спонтанных сигналов.

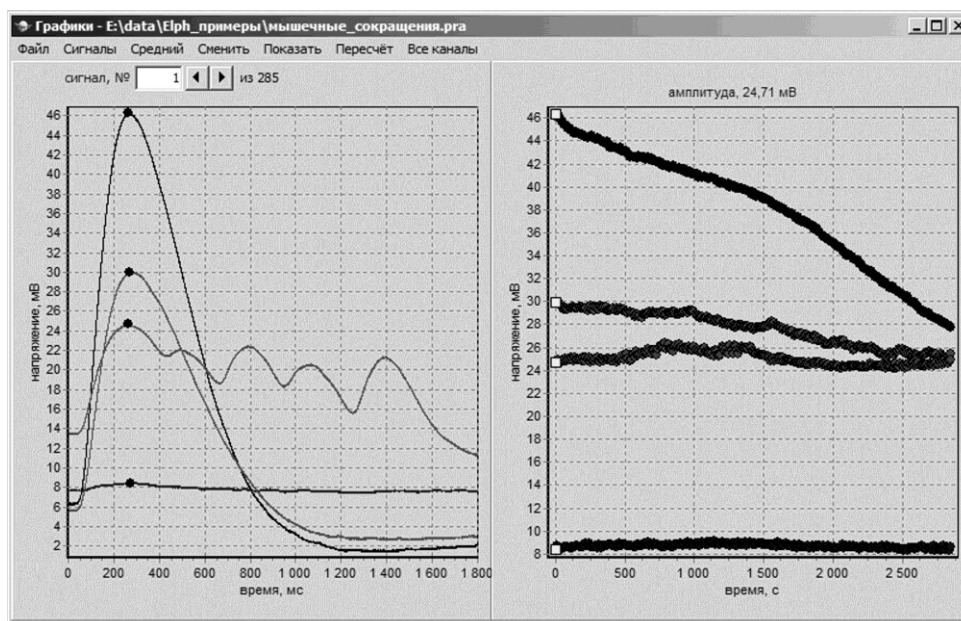


Рис. 4. Пример записи сокращений миокарда крысы (препарат желудочков). Слева отображены одиночные сокращения четырёх препаратов, записываем одновременно; справа – графики амплитуд сокращений соответствующих препаратов. (Данные предоставлены Н.Н. Хаертдиновым, КФУ)

Запись вызванных сигналов сопровождается выводом синхронизирующих импульсов на цифровой выход ЛА-2USB, с помощью которых можно управлять TTL-совместимыми устройствами. По умолчанию синхронизирующие импульсы следуют равномерно с указанным на главном окне периодом. В программе Elph предусмотрена также возможность задания сложного протокола стимуляции (кнопка «Задать стимуляцию» главного окна). В этом случае синхронизирующие импульсы могут следовать с переменными интервалами.

Возможность непрерывной записи всего, что поступает на аналоговые входы ЛА-2USB, также существует; она предоставляется при переходе в режим «Осциллограф». На рис. 2, б и г показан вид тестовых сигналов, записанных в этом режиме.

На рис. 3 приведены примеры микроэлектродной регистрации сигналов от нервно-мышечных препаратов с применением ЛА-2USB и программы Elph.

Пример многоканальной синхронной записи сигналов приведён на рис. 4. В данном случае регистрировалась сила сокращений препаратов миокарда посредством механоэлектрического преобразователя.

### Область применения

Первоначально описываемый комплекс Elph + ЛА-2USB создавался как замена программ и АЦП предыдущего поколения, настроенных на работу с редкими в настоящее время компьютерными интерфейсами, такими как ISA. При этом сохранялась основная экспериментальная задача – сбор и анализ потенциалов

действия возбудимых клеток. Выбор ЛА-2USB в качестве АЦП обусловлен тем, что его амплитудно-временное разрешение соответствует характеристикам потенциалов действия и позволяет без потерь оцифровывать весь спектр физиологических колебаний мембранного потенциала. Кроме того, широко распространённый интерфейс USB упрощал подбор ЭВМ для комплектации экспериментальных установок. К настоящему времени с помощью программы Elph и устройства сбора данных ЛА-2USB осуществлён ряд исследовательских проектов. В части из них производилась регистрации мембранных потенциалов мышечных и нервных клеток в различных режимах [10, 11, 14, 15]. Данный аппаратно-программный комплекс был задействован также в миографических исследованиях [16–20], где показал высокую эффективность, в том числе в условиях многоканальной регистрации.

Кроме того, ЛА-2USB под управлением программы Elph применяется в качестве цифрового осциллографа, поэтому данный комплекс может быть использован в научной и прикладной деятельности, предполагающей мониторинг аналоговых сигналов, параметры которых входят в диапазон возможностей АЦП в составе ЛА-2USB, либо их непрерывную, либо эпизодическую запись.

**Благодарности.** Работа выполнена за счёт средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности № 6.5520.2017/9.10.

#### Литература

1. Drake K.L., Wise K.D., Farraye J., Anderson D.J., BeMent S.L. Performance of planar multisite microprobes in recording extracellular single-unit intracortical activity. // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 1988. – V. 35, No 9. – P. 719–732. – doi: 10.1109/10.7273.
2. Bragin A., Hetke J., Wilson C.L., Anderson D.J., Engel J., Buzsáki G. Multiple site silicon-based probes for chronic recordings in freely moving rats: Implantation, recording and histological verification // J. Neurosci. Methods. – 2000. – V. 98, No 1. – P. 77–82. – doi: 10.1016/s0165-0270(00)00193-x.
3. Mitrukhina O., Suchkov D., Khazipov R., Minlebaev M. Imprecise whisker map in the neonatal rat barrel cortex // Cereb. Cortex. – 2015. – V. 25, No 10. – P. 3458–3467. – doi: 10.1093/cercor/bhu169.
4. Leuthardt E.C., Schalk G., Wolpaw J.R., Ojemann J.G., Moran D.W. A brain-computer interface using electrocorticographic signals in humans // J. Neural. Eng. – 2004. – V. 1, No 2. – P. 63–71. – doi: 10.1088/1741-2560/1/2/001.
5. Sasai-Sakuma T., Inoue Y. Differences in electroencephalographic findings among categories of narcolepsy-spectrum disorders // Sleep Med. – 2015. – V. 16, No 8. – P. 999–1005. – doi: 10.1016/j.sleep.2015.01.022.
6. Neher E., Sakmann B. Single-channel currents recorded from membrane of denervated frog muscle fibres // Nature. – 1976. – V. 260, No 5554. – P. 799–802. – doi: 10.1038/260799a0.
7. Maki B.A., Cummings K.A., Paganelli M.A., Murthy S.E., Popescu G.K. One-channel cell-attached patch-clamp recording // J. Vis. Exp. – 2014. – V. 88. – Art. e51629, P. 1–10. – doi: 10.3791/51629.

8. *Valiullina F., Akhmetshina D., Nasretdinov A., Mukhtarov M., Valeeva G., Khazipov R., Rozov A.* Developmental changes in electrophysiological properties and a transition from electrical to chemical coupling between excitatory layer 4 neurons in the rat barrel cortex // *Front. Neural Circuits.* – 2016. – V. 10. – Art 1, P. 1–13. – doi: 10.3389/fncir.2016.00001.
9. *Jappy D., Valiullina F., Draguhn A., Rozov A.* GABABR-dependent long-term depression at hippocampal synapses between CB1-positive interneurons and CA1 pyramidal cells // *Front. Cell. Neurosci.* – 2016. – V. 10. – Art. 4, P. 1–9. – doi: 10.3389/fncel.2016.00004.
10. *Giniatullin A., Petrov A., Giniatullin R.* The involvement of P2Y12 receptors, NADPH oxidase, and lipid rafts in the action of extracellular ATP on synaptic transmission at the frog neuromuscular junction // *Neuroscience.* – 2015. – V. 285. – P. 324–332. – doi: 10.1016/j.neuroscience.2014.11.039.
11. *Shakirzyanova A., Valeeva G., Giniatullin A., Naumenko N., Fulle S., Akulov A., Atalay M., Nikolsky E., Giniatullin R.* Age-dependent action of reactive oxygen species on transmitter release in mammalian neuromuscular junctions // *Neurobiol. Aging.* – 2016. – V. 38. – P. 73–81. – doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2015.10.023.
12. *Петров А.М., Касимов М.Р., Гиниатуллин А.Р., Тараканова О.И., Зефирова А.Л.* Роль холестерина в процессах экзо- и эндоцитоза синаптических везикул в двигательном нервном окончании лягушки // *Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова.* – 2009. – Т. 95, № 7. – С. 762–772.
13. *Зефирова А.Л., Захаров А.В., Мухаметзянов Р.Д., Петров А.М., Ситдикова Г.Ф.* Везикулярный цикл в двигательных нервных окончаниях диафрагмы мыши // *Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова.* – 2008. – Т. 94, № 2. – С. 129–141.
14. *Darios F., Wasser C., Shakirzyanova A., Giniatullin A., Goodman K., Munoz-Bravo J.L., Raingo J., Jorgacevski J., Kreft M., Zorec R., Rosa J.M., Gandia L., Gutierrez L.M., Binz T., Giniatullin R., Kavalali E.T., Davletov B.* Sphingosine facilitates SNARE complex assembly and activates synaptic vesicle exocytosis // *Neuron.* – 2009. – V. 62, No 5. – P. 683–694. – doi: 10.1016/j.neuron.2009.04.024.
15. *Ситдикова Г.Ф., Герасимова Е.В., Хаертдинов Н.Н., Зефирова А.Л.* Роль циклических нуклеотидов в эффектах сероводорода на освобождение медиатора в нервно-мышечном синапсе лягушки // *Нейрохимия.* – 2009. – Т. 26, № 4. – С. 312–317.
16. *Ситдикова Г.Ф., Хаертдинов Н.Н., Зефирова А.Л.* Исследование роли кальциевых и калиевых каналов в эффектах сероводорода на сократимость миокарда лягушки // *Бюл. эксперим. биол. и медицины.* – 2011. – Т. 151, № 2. – С. 124–128.
17. *Хаертдинов Н.Н., Ахметшина Д.Р., Зефирова А.Л., Ситдикова Г.Ф.* Сероводород в регуляции сократимости миокарда лягушки // *Биол. мембраны.* – 2012. – Т. 29. – С. 231–237.
18. *Лифанова А.С., Хаертдинов Н.Н., Захаров А.В., Гиззатуллин А.Р., Ситдикова Г.Ф.* Роль калиевых каналов в отрицательном инотропном эффекте сероводорода в предсердии мыши // *Гены и клетки.* – 2014. – Т. 9, № 3. – С. 94–98.
19. *Хаертдинов Н.Н., Лифанова А.С., Гиззатуллин А.Р., Ситдикова Г.Ф.* Роль К(АТФ)-каналов в эффектах сероводорода на сократимость миокарда желудочка крысы // *Гены и клетки.* – 2015. – Т. 10, № 4. – С. 103–105.
20. *Lifanova A., Khaertdinov N., Sitdikova G.* Interplay between hydrogen sulfide and adrenergic and muscarinic receptors in the mouse atrium // *BioNanoScience.* – 2017. – V. 7, No 2. – P. 306–308. – doi: 10.1007/s12668-016-0355-1.

**Захаров Андрей Викторович**, кандидат биологических наук, научный сотрудник НИЛ нейро-биологии; ассистент кафедры нормальной физиологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
Казанский государственный медицинский университет  
ул. Бутлерова, д. 49, г. Казань, 420012, Россия  
E-mail: [AnVZaharov@kpfu.ru](mailto:AnVZaharov@kpfu.ru)

ISSN 2542-064X (Print)  
ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI  
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2019, vol. 161, no. 2, pp. 245–254

doi: 10.26907/2542-064X.2019.2.245-254

### **Elph: An Open-Source Program for Acquisition Control and Analysis of Electrophysiological Signals**

*A.V. Zakharov*

*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*  
*Kazan State Medical University, Kazan, 420012 Russia*  
E-mail: [AnVZaharov@kpfu.ru](mailto:AnVZaharov@kpfu.ru)

Received November 14, 2018

#### **Abstract**

The Elph program designed for acquisition and analysis of electrophysiological signals using an analog-to-digital converter LA-2USB (Rudnev-Shelyaev, Russia) was described. This program has been implemented in various electrophysiological studies, including synchronous recordings of evoked electromyographic responses and muscle contractions, monitoring and continuous recording of membrane potential, as well as for detection, acquisition, and analysis of spontaneous and evoked neuronal action potentials and postsynaptic responses. In addition, as a software tool for LA-2USB, the program enables to control TTL-compatible devices. It can also be used as a digital oscilloscope in a wider range of applications where a continuous or episodic recording of analogous signals is required.

**Keywords:** data acquisition, Elph, LA-2USB device driving, digitization, digital oscilloscope

**Acknowledgments.** This work was supported by the subsidy allocated to Kazan Federal University for the state assignment in the sphere of scientific activities (project no. 6.5520.2017/9.10).

#### **Figure Captions**

- Fig. 1. Home screen of the Elph program.
- Fig. 2. Test signals recorded in the regimes of detection of the limiting thresholds of spontaneous responses (*a*, *c*) and “Oscillograph” (*b*, *d*). “Saw” parameters in *b* and *d*: peak-to-peak 3.1 V; cycle 50 ms. Horizontal lines show the limiting threshold for signal detection (1800 mV in *b*, 1500 mV in *a*, *c*, and *d*).
- Fig. 3. Example of the recorded neuromuscular end-plate potentials in a mouse. Single evoked (*a*, on the left) and spontaneous (*b*, on the left) responses. The central areas represent the diagrams showing the amplitude curves of evoked and spontaneous signals, respectively. Right part – histogram of the signal amplitudes, which is updated as signals accumulate in the experiment (data provided by P.N. Grigor’ev, Kazan State Medical University).
- Fig. 4. Example of the recorded myocardial contractility (ventricle preparation) in rats. Left part – single contractions in four preparations, recorded simultaneously. Right part – diagrams showing the amplitude of contractions in the corresponding preparations (data provided by N.N. Khaertdinov, Kazan Federal University).



## References

1. Drake K.L., Wise K.D., Farraye J., Anderson D.J., BeMent S.L. Performance of planar multisite microprobes in recording extracellular single-unit intracortical activity. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 1988, vol. 35, no. 9, pp. 719–732. doi: 10.1109/10.7273.
2. Bragin A., Hetke J., Wilson C.L., Anderson D.J., Engel J., Buzsáki G. Multiple site silicon-based probes for chronic recordings in freely moving rats: Implantation, recording and histological verification. *J. Neurosci. Methods*, 2000, vol. 98, no. 1, pp. 77–82. doi: 10.1016/S0165-0270(00)00193-X.
3. Mitrukina O., Suchkov D., Khazipov R., Minlebaev M. Imprecise whisker map in the neonatal rat barrel cortex. *Cereb Cortex*, 2015, vol. 25, no. 10, pp. 3458–3467. doi: 10.1093/cercor/bhu169.
4. Leuthardt E.C., Schalk G., Wolpaw J.R., Ojemann J.G., Moran D.W. A brain-computer interface using electrocorticographic signals in humans. *J. Neural. Eng.*, 2004, vol. 1, no. 2, pp. 63–71. doi: 10.1088/1741-2560/1/2/001.
5. Sasai-Sakuma T., Inoue Y. Differences in electroencephalographic findings among categories of narcolepsy-spectrum disorders. *Sleep Med.*, 2015, vol. 16, no. 8, pp. 999–1005. doi: 10.1016/j.sleep.2015.01.022.
6. Neher E., Sakmann B. Single-channel currents recorded from membrane of denervated frog muscle fibres. *Nature*, 1976, vol. 260, no. 5554, pp. 799–802. doi: 10.1038/260799a0.
7. Maki B.A., Cummings K.A., Paganelli M.A., Murthy S.E., Popescu G.K. One-channel cell-attached patch-clamp recording. *J. Vis. Exp.*, 2014, vol. 88, art. e51629, pp. 1–10. doi: 10.3791/51629.
8. Valiullina F., Akhmetshina D., Nasretidinov A., Mukhtarov M., Valeeva G., Khazipov R., Rozov A. Developmental changes in electrophysiological properties and a transition from electrical to chemical coupling between excitatory layer 4 neurons in the rat barrel cortex. *Front. Neural Circuits*, 2016, vol. 10, art. 1, pp. 1–13. doi: 10.3389/fncir.2016.00001.
9. Jappy D., Valiullina F., Draguhn A., Rozov A. GABABR-dependent long-term depression at hippocampal synapses between CB1-positive interneurons and CA1 pyramidal cells. *Front. Cell. Neurosci.*, 2016, vol. 10, art. 4, pp. 1–9. doi: 10.3389/fncel.2016.00004.
10. Giniatullin A., Petrov A., Giniatullin R. The involvement of P2Y12 receptors, NADPH oxidase, and lipid rafts in the action of extracellular ATP on synaptic transmission at the frog neuromuscular junction. *Neuroscience*, 2015, vol. 285, pp. 324–332. doi: 10.1016/j.neuroscience.2014.11.039.
11. Shakirzyanova A., Valeeva G., Giniatullin A., Naumenko N., Fulle S., Akulov A., Atalay M., Nikolsky E., Giniatullin R. Age-dependent action of reactive oxygen species on transmitter release in mammalian neuromuscular junctions. *Neurobiol. Aging*, 2016, vol. 38, pp. 73–81. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2015.10.023.
12. Petrov A.M., Kasimov M.R., Giniatullin A.R., Tarakanova O.I., Zefirov A.L. The role of cholesterol in the exo- and endocytosis of synaptic vesicles in frog motor nerve endings. *Neurosci. Behav. Physiol.*, 2010, vol. 40, no. 8, pp. 894–901. doi: 10.1007/s11055-010-9338-9.
13. Zefirov A.L., Zakharov A.V., Mukhametzyanov R.D., Petrov A.M., Sitdikova G.F. The vesicle cycle in motor nerve endings of the mouse diaphragm. *Neurosci. Behav. Physiol.*, 2009, vol. 39, no. 3, pp. 245–252. doi: 10.1007/s11055-009-9122-X.
14. Darios F., Wasser C., Shakirzyanova A., Giniatullin A., Goodman K., Munoz-Bravo J.L., Raingo J., Jorgacevski J., Kreft M., Zorec R., Rosa J.M., Gandia L., Gutierrez L.M., Binz T., Giniatullin R., Kavalali E.T., Davletov B. Sphingosine facilitates SNARE complex assembly and activates synaptic vesicle exocytosis. *Neuron*, 2009, vol. 62, no. 5, pp. 683–694. doi: 10.1016/j.neuron.2009.04.024.
15. Sitdikova G.F., Gerasimova E.V., Khaertdinov N.N., Zefirov A.L. The role of cyclic nucleotides in the effects of hydrogen sulfide on the release of a mediator in the neuromuscular synapse of a frog. *Neurochem. J.*, 2009, vol. 3, no. 4, pp. 282–287. doi: 10.1134/S1819712409040072.
16. Sitdikova G.F., Khaertdinov N.N., Zefirov A.L. Role of calcium and potassium channels in effects of hydrogen sulfide on frog myocardial contractility. *Bull. Exp. Biol. Med.*, 2011, vol. 151, no. 2, pp. 163–166. doi: 10.1007/s10517-011-1280-5.
17. Khaertdinov N.N., Akhmetshina D.R., Zefirov A.L., Sitdikova G.F. Hydrogen sulfide in regulation of frog myocardial contractility. *Biochem. (Moscow) Suppl. Ser. A: Membr. Cell Biol.*, 2013, vol. 7, no. 1, pp. 52–57. doi: 10.1134/S1990747812030117.

18. Lifanova A.S., Khaertdinov N.N., Zakharov A.V., Gizzatullin A.R., Sitdikova G.F. The role of potassium channels in the negative inotropic effect of hydrogen sulfide in the mouse atrium. *Geny Kletki*, 2014, vol. 9, no. 3, pp. 94–98. (In Russian)
19. Khaertdinov N.N., Lifanova A.S., Gizzatullin A.R., Sitdikova G.F. The role of K(ATP)-channels in the effects of hydrogen sulfide on myocardial contractility of rat ventricles. *Geny Kletki*, 2015, vol. 10, no. 4, pp. 103–105. (In Russian)
20. Lifanova A., Khaertdinov N., Sitdikova G. Interplay between hydrogen sulfide and adrenergic and muscarinic receptors in the mouse atrium. *BioNanoScience*, 2017, vol. 7, no. 2, pp. 306–308. doi: 10.1007/s12668-016-0355-1.

---

⟨ **Для цитирования:** Захаров А.В. Elph: программа для управления записью и анализа электрофизиологических сигналов // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2019. – Т. 161, кн. 2. – С. 245–254. – doi: 10.26907/2542-064X.2019.2.245-254. ⟩

⟨ **For citation:** Zakharov A.V. Elph: An open-source program for acquisition control and analysis of electrophysiological signals. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2019, vol. 161, no. 2, pp. 245–254. doi: 10.26907/2542-064X.2019.2.245-254 (In Russian) ⟩