

Г. А. Прудников

**КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННАЯ МУЛЬТИНЕЙРОННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ:
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СОРТИРОВКИ СПАЙКОВ**

Белорусский государственный медицинский университет

Описано определение общей чувствительности процесса сортировки спайков при компьютеризированной мультинейронной регистрации. Оценка общей чувствительности проводилась путем визуального сопоставления импульсных рядов и исходных записей, а также с помощью построения амплитудных гистограмм, отражающих количество идентифицированных, отсортированных, и не отсортированных спайков с различными амплитудами. Показано, что общая чувствительность сортировки имеет высокий уровень (80-100%) при компьютеризированной обработке мультинейронных записей.

Ключевые слова: спайки, сортировка, чувствительность.

H. A. Prudnikau

**COMPUTERIZED MULTIUNIT REGISTRATION: SENSITIVITY OF SPIKE
SORTING**

The assessment of overall sensitivity during performance of computerized multiunit registration was described. The sensitivity was estimated by visual analysis of original multineuronal records and detected spike rows as well as with using amplitude histograms which show the quantity of different amplitude spikes identified, sorted and rejected during sorting. It was shown the high level (80-100%) of overall sensitivity of spike sorting during computerized processing of digital multiunit records.

Keywords: spikes, sorting, sensitivity.

Проведение сортировки спайков является важным этапом обработки мультинейронных цифровых записей. При этом возможно появления ложноположительной ошибки, когда к импульсному ряду отдельного нейрона относят разряды других нейронов. Ложноотрицательная ошибка заключается в том, что разряды какого-либо нейрона не попали в соответствующий импульсный ряд, а были отнесены к импульсным рядам других нейронов или вообще не были отсортированы, поскольку не попали в дискриминационные окна [2].

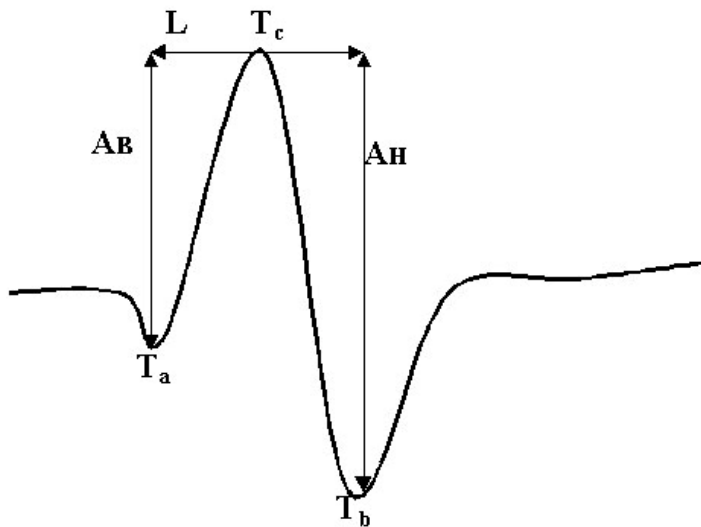
Цель настоящей работы состояла в разработке способа и определении возможного уровня чувствительности процесса сортировки спайков при компьютеризированной обработке цифровых мультинейронных записей.

Материалы и методы

Опыты проводились на 5 беспородных крысах (самцы, масса 290-330 г, возраст 6-7 месяцев), анестезированных внутривенным введением уретана (1.0 г/кг). Температура тела поддерживалась в пределах $37\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ с помощью портативного электрообогревателя и теплоизоляции животного. Координаты изучаемой области продолговатого мозга определялись по стереотаксическому атласу - 12.0 мм каудальнее от Брегма, 1.5 мм латеральнее сагитального шва и 5.7-6.1 мм от поверхности мозга, что соответствует расположению ядер солитарного тракта [3]. Шифры опытов – o12p3nn, o13p1nn, o40p1nn, 70p1nn, o90p1nn.

Мультинейронная активность записывалась с помощью остеклованного вольфрамового микро-электрода с сопротивлением 8-9 МОм. Далее сигнал от микро-электрода фильтровался (диапазон 200 - 10000 Гц), усиливался в 1000 раз, контролировался на осциллооскопе, оцифровывался с частотой дискретизации 22050 Гц и хранился на винчестере персонального компьютера.

Рисунок 1. Определяемые характеристики спайков



T_a - время начала;

T_b - время завершения;

T_c - время появления пика сигнала, это время в дальнейшем использовалось в качестве времени появления нейронного разряда для построения спайковых рядов;

$L = (T_b - T_a)$ - длительность;

A_v - амплитуда восходящей части;

A_n - амплитуда нисходящей части.

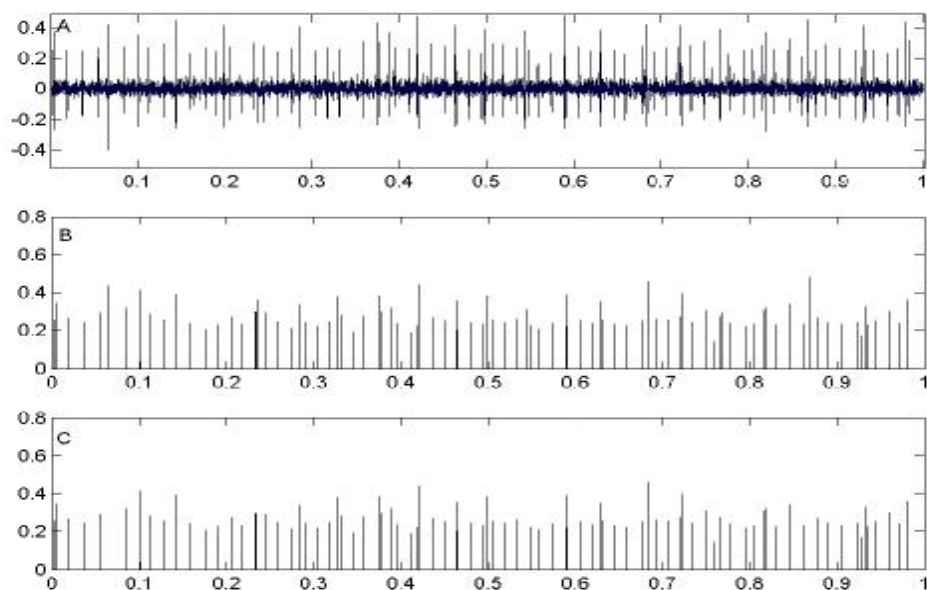
Автоматическая детекция и сортировка спайков осуществлялась авторской программой [1]. За спайк принималась его высокочастотная часть, как наименее подверженная искажениям. Цифровая обработка записей (рисунок 1) включала:

- поиск времени начала спайка T_a , за которое принималось время ближайшего предшествующего минимума от зарегистрированного пика сигнала;
- поиск времени завершения спайка T_b , за которое принималось время ближайшего последующего минимума от зарегистрированного пика сигнала;

- определение времени появления пика сигнала T_c , это время в дальнейшем использовалось в качестве времени появления нейронного разряда для построения спайковых рядов;
- вычисление длительности спайка $L = T_b - T_a$;
- определение амплитуды восходящей части A_b , как разницы амплитуд сигнала в области его пика и ближайшего предшествующего минимума;
- определение амплитуды нисходящей части A_n , как разницы амплитуд сигнала в области его пика и ближайшего последующего минимума. Сортировка спайков проводилась по их трем параметрам - амплитуда восходящей и нисходящей части, длительность.

Для оценки качества процесса сортировки была реализована возможность визуального сопоставления обнаруженных и отсортированных спайков с исходными цифровыми записями мультинейронной активности и с графиками сигналов идентифицированных в качестве спайков (рисунок 2).

Рисунок 2. Контроль качества процесса сортировки с помощью сопоставления спайковых рядов с исходными цифровыми записями мультинейронной активности



Ось абсцисс - время регистрации, с. Ось ординат - амплитуда сигнала, мВ.

А - исходная цифровая запись мультинейронной активности;

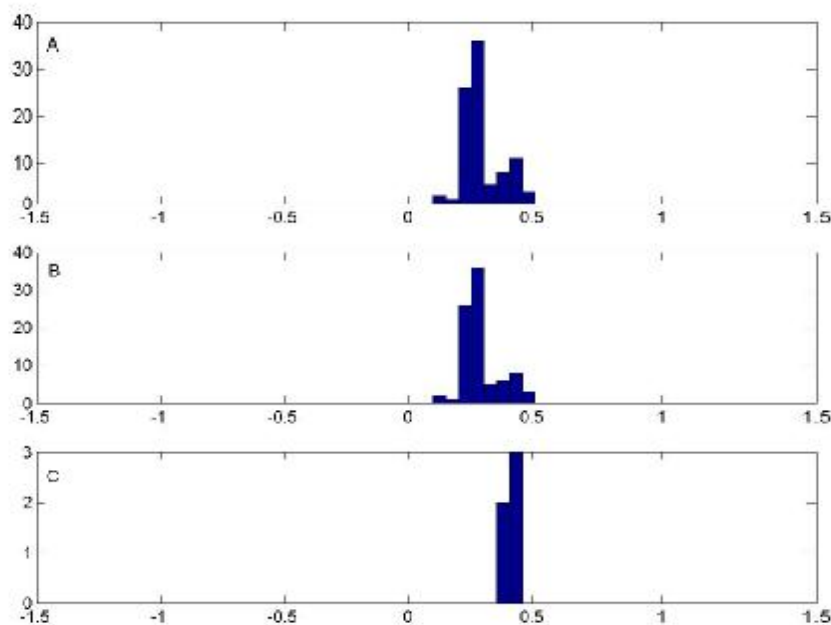
В - обнаруженные спайки;

С - отсортированные спайки.

При этом оценивалось количество идентифицированных и отсортированных спайков со значительной амплитудой (более 50% от максимальной амплитуды сигналов) на ограниченном диапазоне записей, равном 1с.

Качество процесса сортировки оценивалось также с помощью построения гистограмм, на которых по оси абсцисс откладывались амплитуды идентифицированных спайков на ограниченном диапазоне записей, равном 1с, а по оси ординат - число идентифицированных, идентифицированных и отсортированных, и число не отсортированных спайков (рисунок 3).

Рисунок 3. Амплитудные гистограммы



Ось абсцисс - амплитуда зарегистрированных потенциалов.

Ось ординат:

А - число идентифицированных спайков;

Общий показатель чувствительности рассчитывался, как выраженное в процентах отношение числа идентифицированных и отсортированных спайков во всех импульсных рядах к числу сигналов идентифицированных как спайк.

Результаты и обсуждение

В проведенных опытах были получены следующие результаты:

- число сигналов со значительной амплитудой, идентифицированных в качестве спайков, составило 19, 28, 18, 63, 4 для каждого опыта и 132 во всех опытах;
- число сигналов со значительной амплитудой, идентифицированных как спайк и отсортированных составило для каждого опыта 15, 27, 18, 58, 4 и 122 во всех опытах; общий показатель чувствительности - 78.9%, 96.4%, 100%, 92.0%, 100% и 92.4%, соответственно.
- число сигналов, с амплитудой большей, чем нижний порог дискриминации и идентифицированных в качестве спайков, составило 26, 38, 50, 90, 30 для каждого опыта и 234 во всех опытах.
- число сигналов, с амплитудой большей, чем нижний порог дискриминации, идентифицированных в качестве спайков и отсортированных, составило 21, 37, 50, 85, 20 для каждого опыта и 213 во всех опытах. Общий показатель чувствительности - 80.8%, 97.4%, 100%, 94.4%, 100% и 91.0%, соответственно.

Приведенные результаты показывают, что компьютеризированная сортировка спайков со значительной амплитудой происходила со значительной чувствительностью (78.9-100%, среднее значение – 92.4%).

Чувствительность этапа сортировки сигналов, с амплитудой большей, чем нижний порог амплитудной дискриминации, была также существенной и находилась в диапазоне 80.8-100% (среднее значение – 91.0%).

Из приведенных данных видно, что общая чувствительность процесса сортировки спайков имела достаточно высокий уровень и мало зависела от амплитудного диапазона сигналов.

Необходимо отметить, что определение чувствительности процесса сортировки спайков имеет достаточную важность при изучении нейронных популяций. Например, по данному показателю исследователь получает информацию о возможном характере интерпретации, получаемых в дальнейшем статистических данных. Так, при низком уровне чувствительности сортировки (< 95%), исследователь практически не может достоверно судить о точном пространственно-временном кодировании (precise spatio-temporal coding) информации в локальных нейронных сетях или об особенностях памяти на конкретные предметы и явления [4].

Таким образом, в разработанной компьютеризированной системе мультинейронной регистрации включена возможность определения общей чувствительности процесса сортировки спайков. Это достигается путем визуального сопоставления импульсных рядов и исходных записей, а также с помощью построения амплитудных гистограмм, отражающих количество идентифицированных, отсортированных и не отсортированных спайков с различными амплитудами. Общая чувствительность сортировки имеет высокий уровень (80-100%) при компьютеризированной обработке мультинейронных записей.

Литература

1. *Прудников, Г. А.* Программный комплекс для регистрации активности нейронных ансамблей / Г. А. Прудников // Вестник РГМУ. 2004. № 3, Вып. 34. С. 179.
2. *Kennet, H.* Accuracy of tetrode spike separation as determined by simultaneous intracellular and extracellular measurements / H. Kennet [et al.] // J. Neurophysiology. 2000. Vol. 84. P. 401–414.

3. *Paxinos, G. The Rat Brain in Stereotaxic Coordinates /G. Paxinos, Ch. Watson. 1998. 474p.*
4. *Takahashi, S. Automatic sorting for multi-neuronal activity recorded with tetrode in the presence of overlapping spikes / S. Takahashi, Y. Anzai, Y. Sakurai // J. Neurophysiology. 2003. Vol. 89. P. 2245–2258.*