

**Влияние граничных условий на проведение волн возбуждения в монослое кардиомиоцитов**

В.Н.Качалов<sup>1</sup>, В.А.Цвеляя<sup>1</sup>, Н.Н.Кудряшова<sup>1</sup>, К.И.Агладзе<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет).

Сердечные аритмии являются достаточно частой причиной смерти[1]. К возникновению аритмий могут приводить различные дефекты, например, шрамы, узкие места, неравномерности среды. Фундаментальные механизмы возникновения аритмий исследуются при помощи компьютерного моделирования [2] и экспериментально, в том числе при помощи монослоёв неонатальных кардиомиоцитов [3].

В данной работе мы разбирали вопрос, как следует моделировать границу монослоя и различные дефекты в среде кардиомиоцитов. В силу свойств уравнений, описывающих возбудимые системы, данный вопрос не важен на достаточно большом масштабе, когда рассматриваются процессы далеко от границы. Но он важен, когда волна проходит узкое место, либо некое уширение[4].

Чтобы решить вопрос того, стоит ли использовать граничные условия Неймана или же условия Дирихле, обратимся к работе Винфри[5], где показана разница между условиями при прохождении фронта вдоль границы (пример см. Рис.1 - компьютерное моделирование): первые создают как-бы зеркальную границу, второй случай порождает отставание фронта у границы. Чтобы отличить данные два случая, мы сделали образец в котором одна из границ была сформирована вдоль пластинки PDMS, а вторая была сформирована тонким надрезом.

При помощи оптического картирования монослоя кардиомиоцитов получим форму линии фронта. Из Рис.2 следует, что моделирование границ на дефектах невозможно при помощи условий Неймана, условия Дирихле тоже не является корректными так как они физически не оправданы — в реальности невозможно поставить на границе постоянный потенциал.

В данном случае нам стоит использовать смешанные условия Робена. Для того лучше понять характер проводимости в приграничной зоне, мы построили схему, изображённую на Рис.3. Таким образом построим график зависимости скорости распространения волны от ширины полосы. Один из таких графиков приведен на Рис.4. Графики построенные при помощи компьютерного моделирования изображены на Рис.5. Из Рис.4 и Рис.5, что недостаточно моделировать приграничную зону лишь при помощи постановки неких граничных условий. Если случай нормальной, необрезанной границы можно вполне описать Неймановскими условиями, то достаточно важный случай дефектов требует более детального подхода и

ввода полноценной приграничной зоны. Описание данных дефектов при помощи постановки тех или иных условий даст лишь качественный результат.

#### Список литературы

[1] GBD 2013 Mortality and Causes of Death Collaborators “Global, regional, and national age-sex specific all-cause and cause-specific mortality for 240 causes of death, 1990-2013: a systematic analysis for the global burden of disease study” 2013. Lancet.

[2] Aliev R.R., Panfilov A.V. “A simple two-variable model of cardiac excitation.” Chaos Solitons Fractals 1996;

[3] N. Bursac, K.K. Parker, S. Irvanian, L. Tung, “Cardiomyocyte Cultures With Controlled Macroscopic Anisotropy A Model for Functional Electrophysiological Studies of Cardiac Muscle” 2002 Circulation Research

[4] K. Agladze, S. Thouvenel-Romans, O. Steinbock “Electrochemical waves on patterned surfaces: propagation through narrow gaps and channels.” The Journal of Physical Chemistry 2001

[5] A. T. Winfree “Geometry of biological time”;

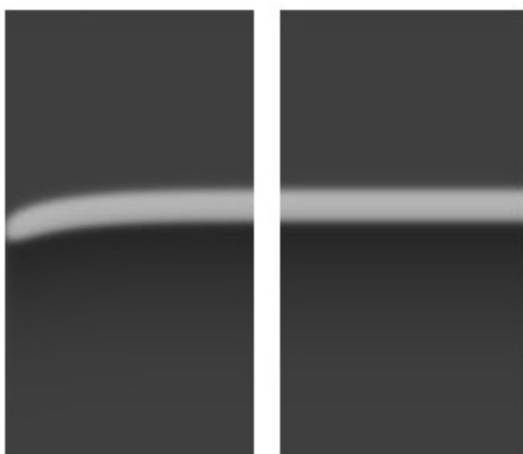


Рисунок 1: Форма линии фронта полученная при компьютерном моделировании. Слева случай условий Дирихле, справа Неймана.

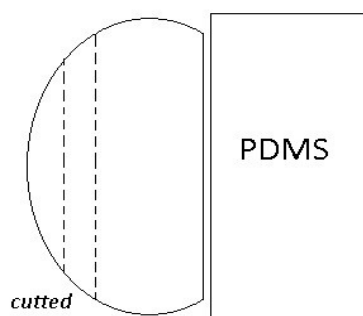


Рисунок 3: Схема эксперимента. Правая граница монослоя формируется вдоль пластинки PDMS, а левая обрезается.

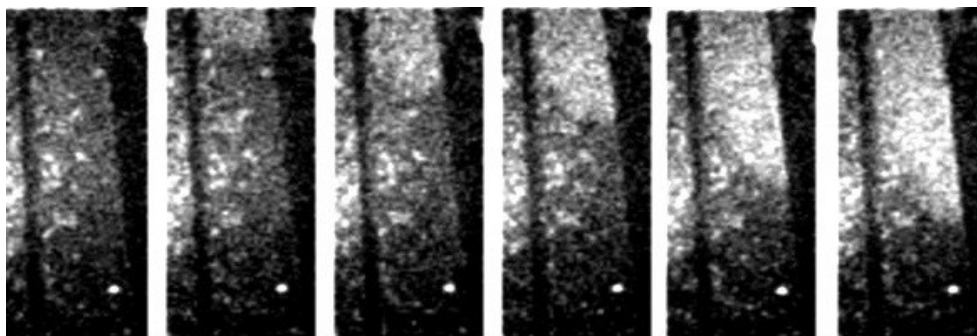


Рисунок 2: Форма линии фронта волны возбуждения полученная при помощи оптического картирования монослоя кардиомиоцитов.

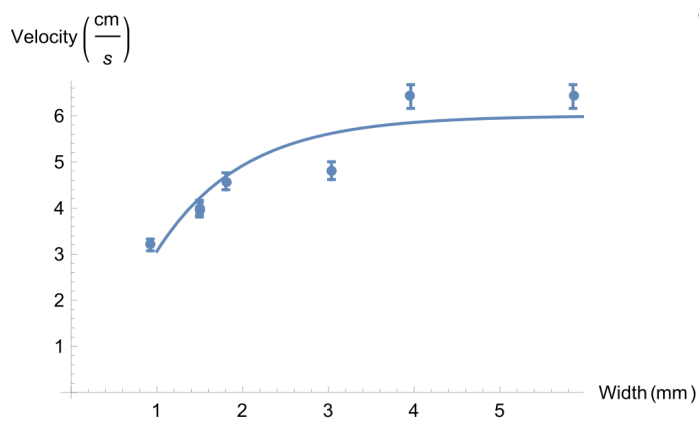


Рисунок 4: Зависимость скорости распространения волны от ширины полосы, полученная экспериментально.

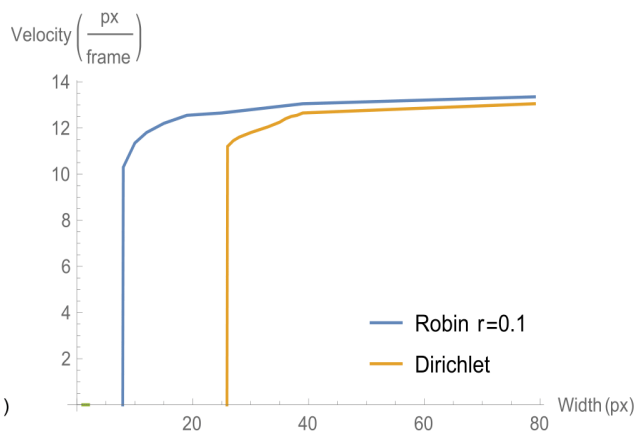


Рисунок 5: Зависимость скорости распространения волны от ширины полосы полученная при помощи компьютерного моделирования.