

Модель нервного импульса (8 баллов)

Аксоны, по которым нейроны передают сигналы, представляют собой заполненные электролитом (аксоплазмой) микротрубки, в которых внутренняя проводящая среда отделена от межклеточного электролита мембраной. Возникающий при передаче сигнала электрический ток – движение ионов в аксоплазме по аксону – сталкивается с электрическим сопротивлением аксоплазмы и электростатическими эффектами, вызванными перераспределением зарядов на оболочке. При этом передача сигнала между последовательными элементами в такой цепи дискретна: т.е. каждый элемент (например, соседний нейрон) не включается до тех пор, пока на его «вход» не поступит достаточное напряжение с «выхода» предыдущего элемента. Упрощенно, электрическая схема такой последовательности может быть представлена следующим образом:

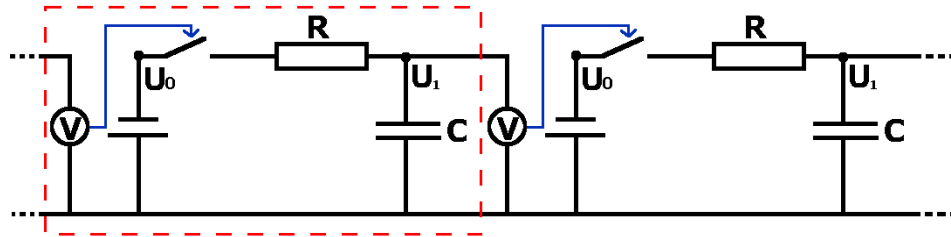
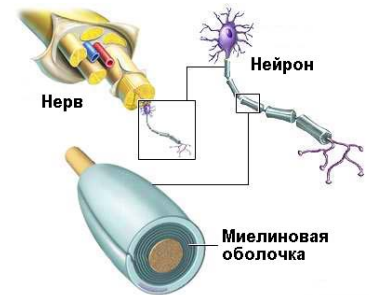


Рис.1 Электрическая схема модели передачи нервного импульса. Резистору условно соответствует электрическое сопротивление элемента R , а конденсатору – емкость его мембраны C . Следующий элемент включается тогда, когда напряжение на конденсаторе достигнет некоторого порогового значения (т.е. конденсатор зарядится).

1. Как будет меняться со временем напряжение U_1 на конденсаторе C при подаче на вход этого элемента напряжения U_0 ? Какую величину считают временем заряда конденсатора? (2,5 балла)

2. Если длина одного элемента равна l , какова будет скорость распространения сигнала по последовательности из таких элементов? (1 балл)

Отличительной особенностью некоторых аксонов позвоночных является наличие миелиновой оболочки – дополнительной электроизолирующей мембранной оболочки, многократно обернутой вокруг аксона подобно изоляционной ленте.



3. В рамках приведенной модели рассчитайте (4 балла) скорость распространения нервного импульса по покрытым и не покрытым миелиновой оболочкой аксонам, если:

- длина одного элемента $l = 1$ мм;
- радиус аксонов $r = 5$ мкм;
- толщина липидной мембраны $d_1 = 5$ нм;
- суммарная толщина липидной мембраны с миелиновым слоем $d_2 = 1$ мкм;
- диэлектрическая проницаемость липидов и миелина $\epsilon = 5 \cdot 10^{-11}$ Ф/м;
- удельное сопротивление аксоплазмы $\rho = 2$ Ом*м.

4. Исходя из полученного результата, поясните, с какой «электротехнической» целью природой были созданы миелиновые нанопокртия нервов. (0,5 балла)