

## § 20. Распространения автоволни в однородных средах

Математическое описание процессов распространения автоволни в активных средах связано с решением систем уравнений вида (6.3). Решение этих систем представляет значительные трудности. Поэтому для описания автоволновых процессов используются модели формальных активных сред, например, модель, предложенная Винером и Розенблютом, называемая  $\tau$ -моделью.

В этой модели постулируется, что каждая клетка, являющаяся элементом активной среды, может находиться в одном из трех состояний:

1) **возбуждение** –  $\tau$ , если ее  $\Phi_m > \Phi_m^{\text{пор}}$ ; в этом состоянии клетка не возбудима, но может возбудить соседнюю клетку, находящуюся в покое;

2) **“рефрактерный” хвост** –  $(R - \tau)$ , если  $\Phi_m^n < \Phi_m < \Phi_m^{\text{пор}}$ ; в этом состоянии эта клетка не возбудима, но не может возбудить клетку, находящуюся в покое;

3) **покой** – ее  $\Phi_m = \Phi_m^n$ ; в этом состоянии клетка может быть возбуждена соседней при условии, что трансмембранный потенциал соседней клетки выше значения порога рассматриваемой.

Значения  $\Phi_m$  для каждого из трех возможных состояний клетки сократительного миокарда представлены на рис. 6.2.

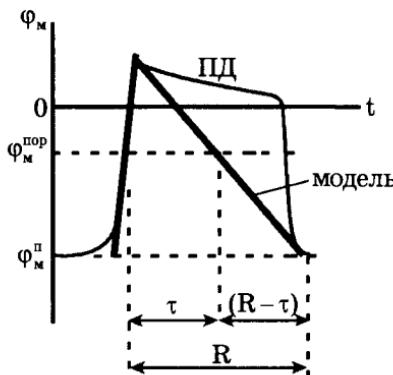
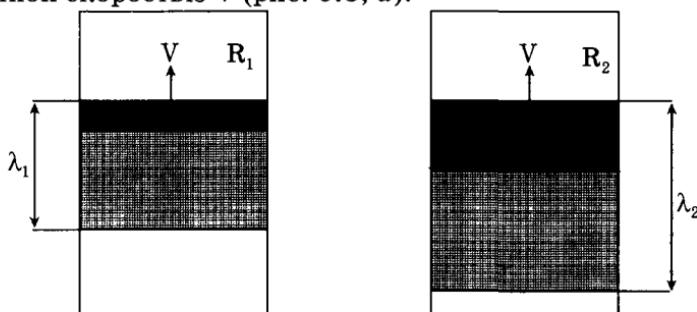


Рис. 6.2. Графическое представление  $\tau$ -модели,  $R$  – рефрактерность

**Допущения модели:**

а) конфигурация потенциала действия упрощена и близка к прямоугольному треугольнику; б) не учитываются состояния относительной рефрактерности, а весь период  $R$  считается абсолютно рефрактерным.

Тогда волну возбуждения можно представить в виде некоторой зоны, состоящей из  $n$  клеток, находящихся в рефрактерной фазе  $R$ , двигающейся по области покоящихся клеток с постоянной скоростью  $V$  (рис. 6.3, а).



**Рис. 6.3.** Плоская волна возбуждения в АС, распространяющаяся со скоростью  $V$ :  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – длина волн в средах с рефрактерностями клеток  $R_1$  и  $R_2$  соответственно,  $R_2 > R_1$

На рис. 6.3 в зоне темной штриховкой показаны клетки, находящиеся в состоянии возбуждения –  $\tau$ -зона. Светлой штриховкой обозначена зона, состоящая из клеток в состоянии ( $R - \tau$ ) – рефрактерный хвост, и незаштрихованное пространство – клетки, находящиеся в покое.

#### Основные свойства автоволни в АС.

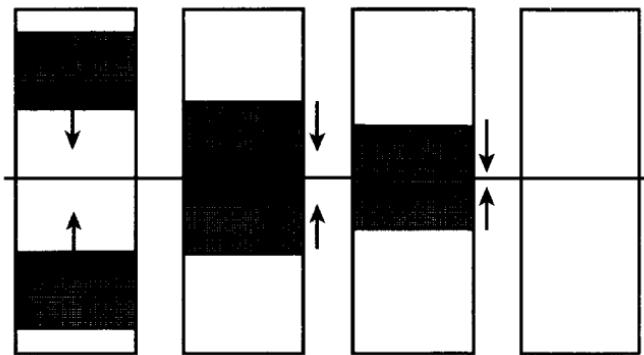
1. Автоволна распространяется без затухания.
2. Автоволны не интерферируют и не отражаются от препятствий.
3. Направление распространения автоволны определяется зонами рефрактерности и покоя.

Длина волны возбуждения  $\lambda$  определяется соотношением, введенным Винером:

$$\lambda = R \cdot V \quad (6.4)$$

Отсюда следует, что если рефрактерность клеток некоторого участка (рис. 6.3, б) повышена по сравнению с  $R_1$  на рис. 6.3, а (то есть длительность потенциала действия больше), то и длина волны возбуждения в этом участке больше:  $\lambda_2 > \lambda_1$ . Длины волн возбуждения для различных отделов сердца указаны в § 17.

В однородных средах, в которых  $R$  и  $V$  одинаковы в любом участке, длина волны возбуждения постоянна. В таких средах две встречные волны гасят друг друга, поскольку каждая из волн накладывается на невозбудимую зону встречной волны (рис. 6.4).



**Рис. 6.4. Аннигиляция плоских автоволн в АС**

Аналогично два встречных фронта пламени степного пожара гасят друг друга. Позади огненного фронта каждого остается черная, выжженная зона – зона рефрактерности, лишенная источников энергии.

В неоднородных средах процесс распространения автоволн усложняется.

Неоднородной называется активная среда, в различных участках которой значения  $R$  и  $V$  могут быть не одинаковыми. Активная среда организма, например мышечная ткань, неоднородна. В разных участках мышцы могут проходить кровеносные сосуды, нервные волокна и другие включения. При патологиях, например при возникновении зон некроза, свойства этих зон могут существенно отличаться и по рефрактерности  $R$ , и по скорости проведения волны  $V$  от этих параметров в участках нормальной мышцы. Очевидно (рис. 6.3), что длины автоволн в различных участках неоднородных активных сред будут неодинаковыми. При выполнении определенных условий это может приводить к сердечным аритмиям, некоторые механизмы которых рассматриваются ниже.

## § 21. Циркуляция волн возбуждения в кольце

В проводящей системе сердца, а также в самой сердечной мышце могут образовываться замкнутые пути, по которым циркулирует волна возбуждения. Модельно это явление можно представить последовательностью прохождения двух волн возбуждения в гипотетическом кольце. Если кольцо однородно по рефрактерности, то две волны возбуждения, идущие по кольцу от источника возбуждения А, аннигилируют в точке В (рис. 6.5).