

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).

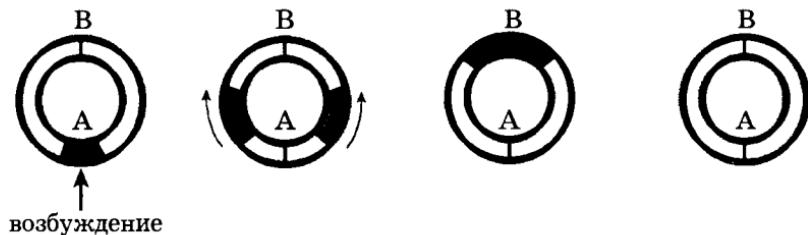


Рис. 6.5. Аннигиляция волн в кольце однородной активной среды

Если в кольце активной среды имеется участок СД, период рефрактерности элементов которого R_2 больше, чем период рефрактерности остальной среды R_1 (рис. 6.6), то в этом случае может возникнуть циркуляция возбуждения в нем. Это произойдет, если в точке внешнее воздействие создает подряд два возбуждения. Причем вторая волна возникает через время, меньшее периода рефрактерности участка СД: $T < R_2$. Тогда волна II может дойти до участка СД к моменту времени, когда он еще остается рефрактерным, и гасится. Остается одна волна I. Если она дойдет до участка СД через время, за которое он успеет прийти в состояние покоя, волна I пройдет дальше и в кольце так и будет продолжаться незатухающий процесс – циркуляция возбуждения (рис. 6.6).

Условия возникновения циркуляции:

1) время между посылкой двух импульсов возбуждения T должно быть меньше периода рефрактерности R_2 :

$$T < R_2 V.$$

2) длина окружности кольца $l = 2\pi r$ должна быть больше длины волны возбуждения:

$$l > \lambda.$$

Длина циркулирующей волны в путях проведения при $V \approx 3$ м/с и $R \approx 0,3$ с может составлять величину около 1 м, что анатомически исключает ее появление в этих путях. Однако в узлах медленного проведения возбуждения ($V \approx 0,01$ м/с) может иметь порядок нескольких миллиметров и в этом случае механизм циркуляции волны возбуждения может быть реализован в сердце.

Такая рециркуляция может наблюдаться в области атриовентрикулярного узла и в зонах с замедленным проведением автаволны.

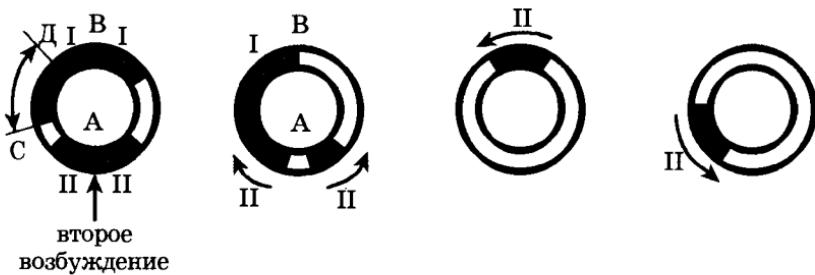


Рис. 6.6. Циркуляция возбуждения в кольце неоднородной по рефрактерности активной среды

§ 22. Ревербератор в среде с отверстием

На основе методов математического моделирования была показана возможность существования принципиально иного механизма циркуляции автоволн в активных средах.

В этой модели рассматривается плоская однородная активная среда, имеющая отверстие (например, отверстие, образованное полой веной в предсердии), вокруг которого циркулирует волна возбуждения. Важнейшая особенность такого процесса заключается в том, что фронт автоволны распространяется по активной среде не прямолинейно (рис. 6.2), а закручивается в виде спирали вокруг отверстия. Качественно процесс образования спиральной волны показан на рис. 6.7, результат эксперимента на форзаце табл. I. Автоволна касается края отверстия и, переходя от положения 1 к положению 2 и далее к 3, 4, вращается вокруг границы этого отверстия и становится источником циркулирующих спиральных волн в активной среде.

Ревербераторами называются источники спиральных волн в АС. Период вращения автоволны ревербератора:

$$T = \frac{l}{V},$$

где l – периметр отверстия или ядра ревербератора.

Величины l и V зависят от параметров активной среды. Показано, чем большую кривизну имеет фронт волны (она наибольшая на границе ядра), тем меньше его скорость, поэтому λ автоволны в этом случае может быть непостоянной.

Ядро ревербератора может представлять собой анатомическое отверстие (по Винеру), но может быть и невозбудимой зоной, или, наконец, зоной с существенно пониженной возбудимостью. Образованием таких зон могут сопровождаться сердечные патоло-