

---

# Обработка информации в мозге

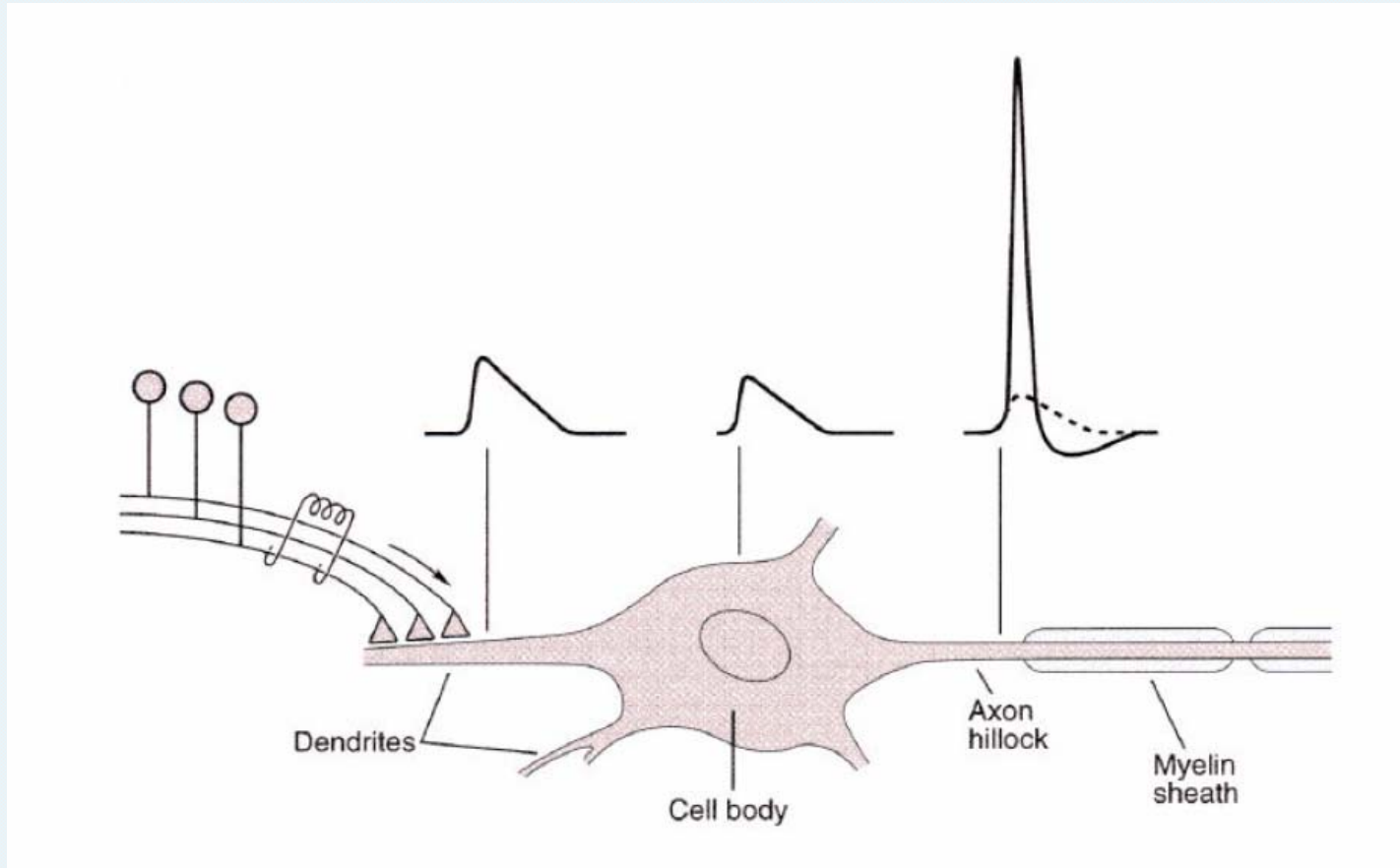
Лекция 5

---

# Обработка информации в одиночных нейронах

Лекция 5.1

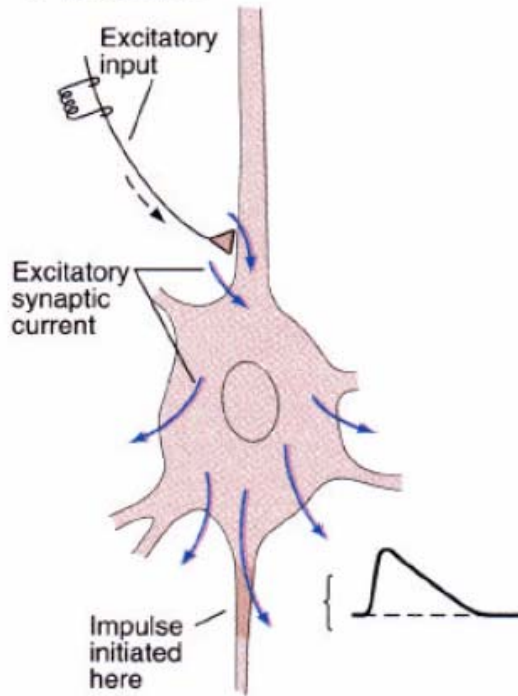
# Электротоническое распространение ПСП



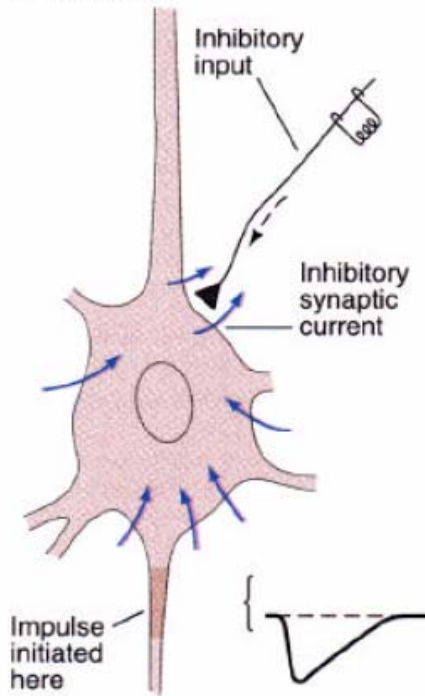
Постсинаптические потенциалы затухают с расстоянием и со временем  
Допущение: отсутствие активной проводимости в дендритах

# Суммация ВПСТ и ТПСТ

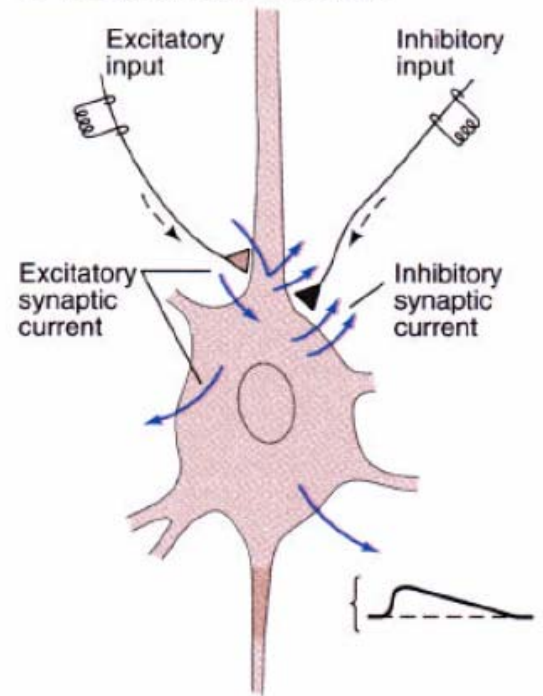
**A Excitation**



**B Inhibition**

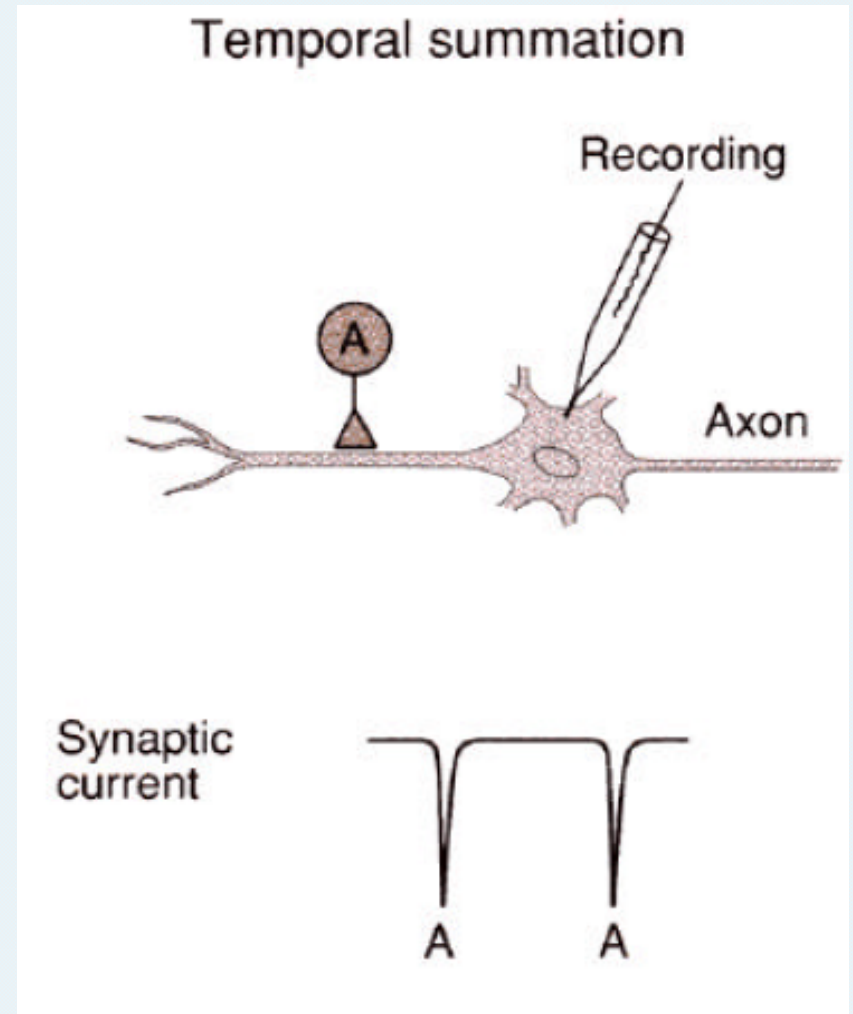


**C Excitation and inhibition**



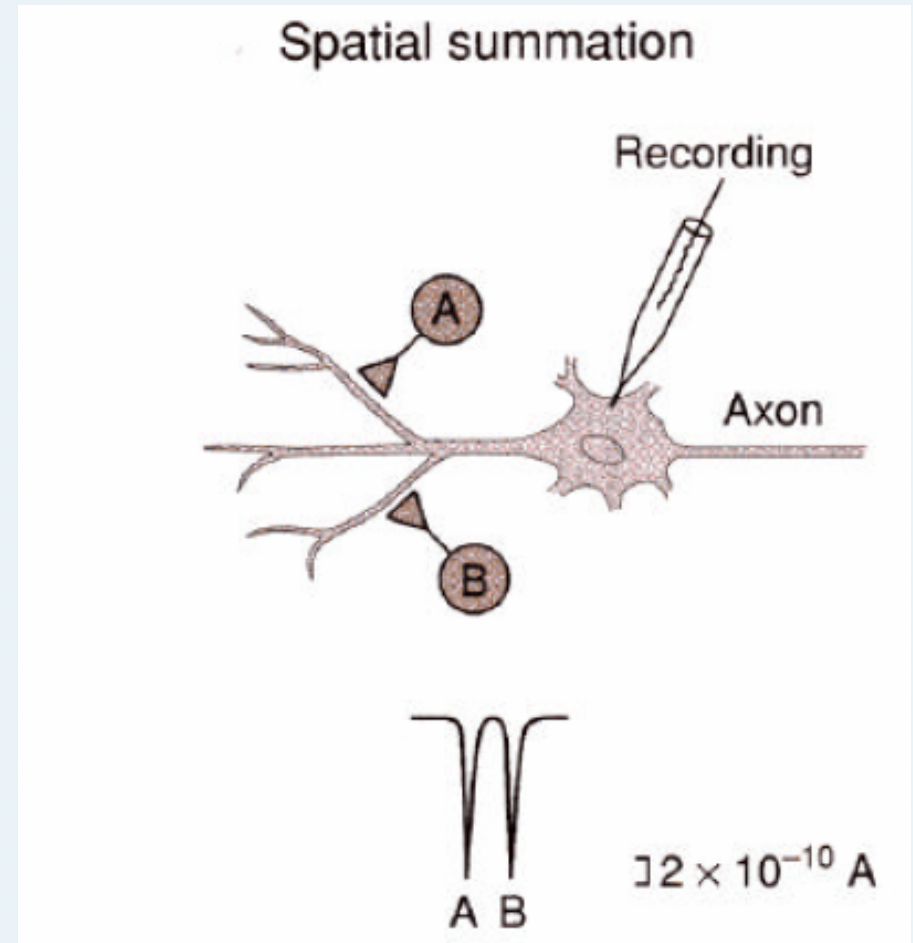
# Временная суммация

- Активация одного и того же синаптического входа второй раз, прежде чем первый ток затухает
- Постсинаптические потенциалы суммируются и приводят к генерации потенциала действия

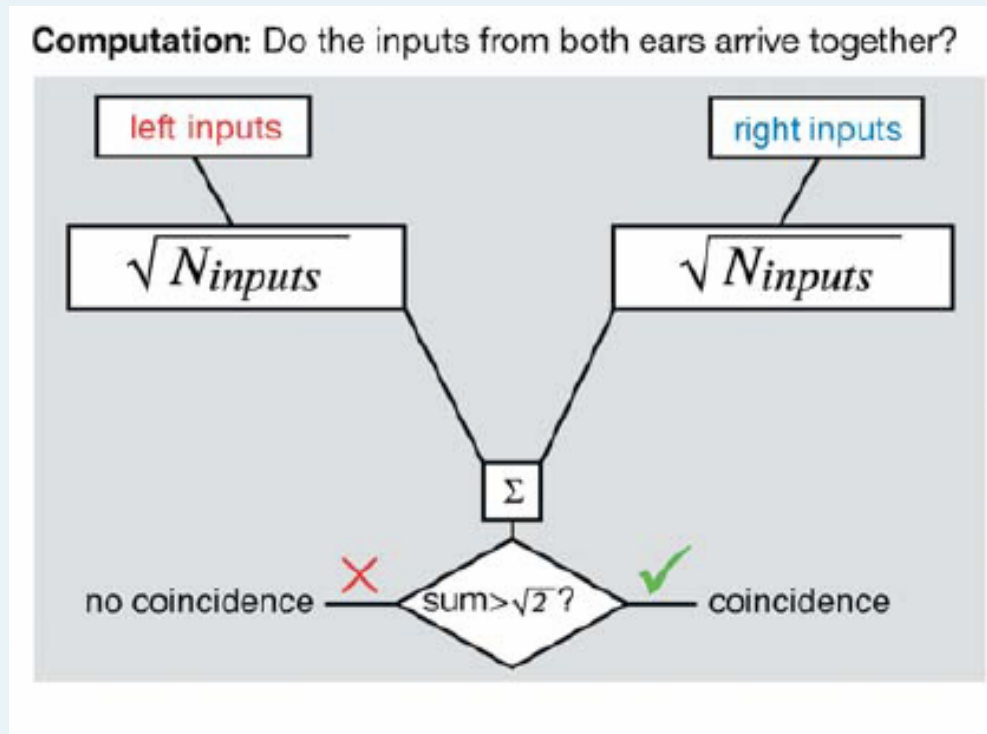


# Пространственная суммация

- Активация двух входов происходит одновременно
- События суммируются и происходит генерация потенциала действия в аксоне



# Детектор совпадений у певчих птиц



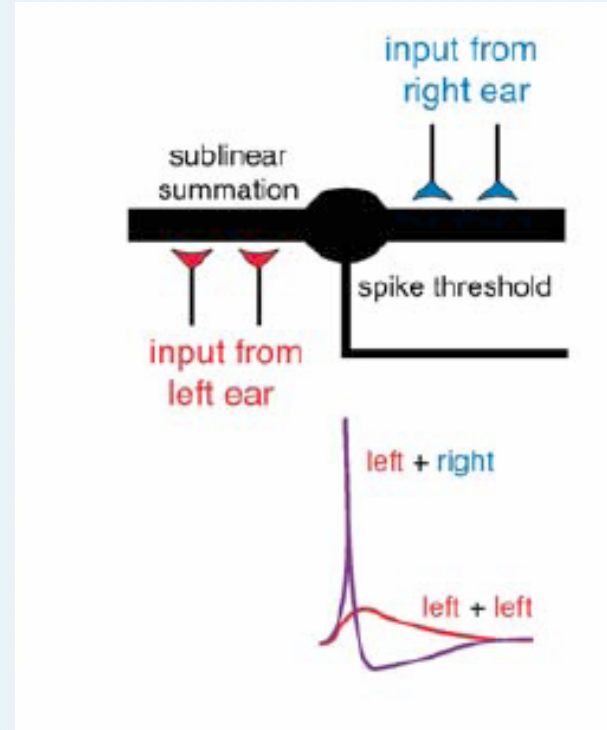
Детектирование совпадений в аудиторных нейронах ствола мозга птиц для определения пространственного расположения звукового сигнала:

Система отвечает только когда сигнал приходит с обеих ушей и совпадает в пределах 10-100 микросекунд. Позволяет избежать входа только с одного уха.

Алгоритм: входы на каждое ухо нелинейно суммируются, после чего сигналы с каждого уха линейно суммируются и сравниваются с порогом. Этот порог достигается только в случае если сигнал приходит на оба уха.

# Обработка сигналов в дендритах

В 1998 году Агмон-Снир с соавторами показали, что этот алгоритм может реализоваться на дендритах. Входы с каждого уха приходят на один дендрит и там нелинейно суммируются (нелинейная суммация связана со взаимным шунтированием). Порог определяется порогом генерации потенциала действия.



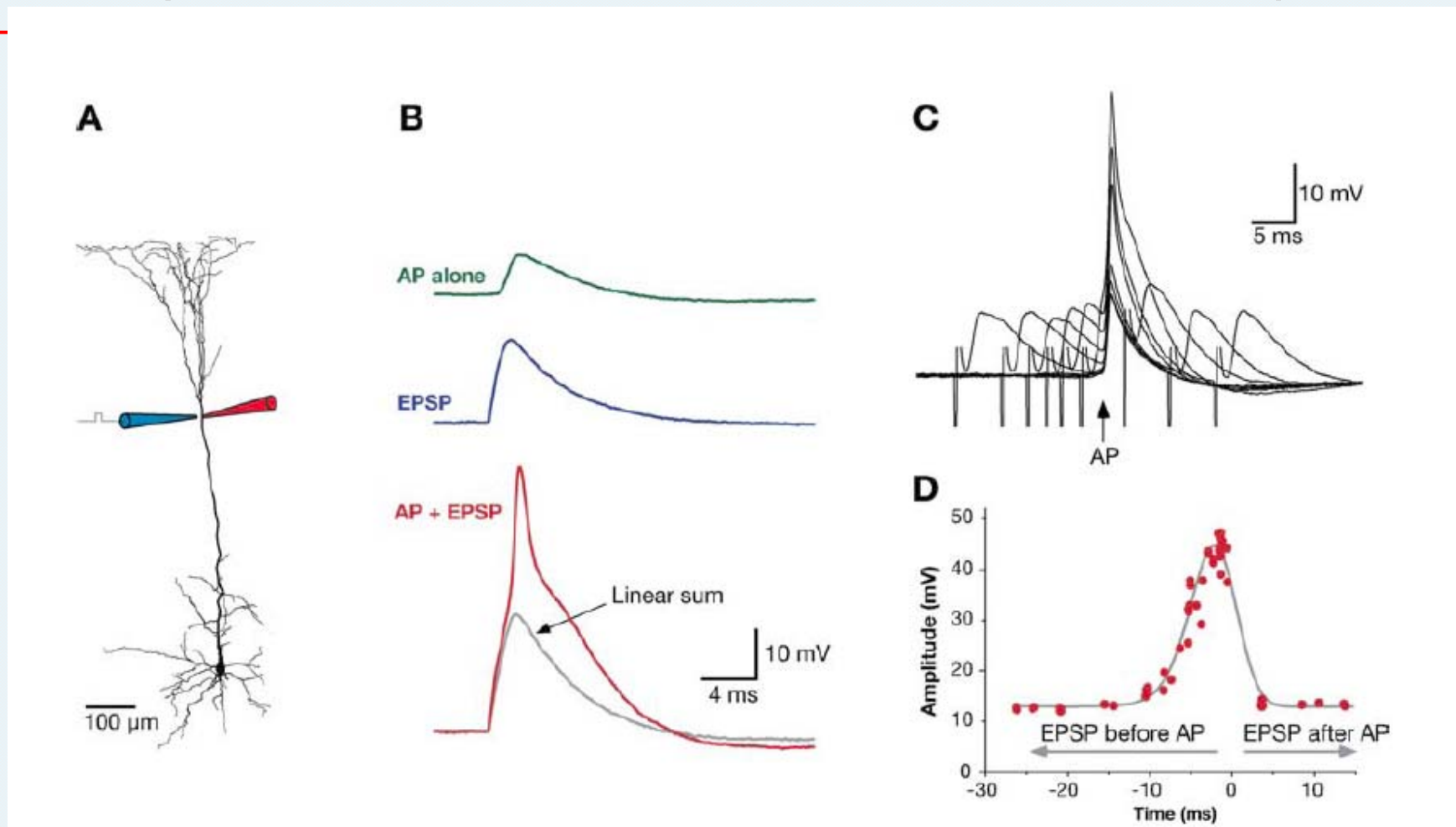


# Дендриты могут проводить ПД

---

- Потенциал действия генерируется в аксонном холмике и может распространяться по дендриту – обратно распространяющийся (backpropagating) потенциал действия
- Потенциал действия может генерироваться и в некоторых участках дендритов самостоятельно
- Ионные токи отличаются от ионных токов в аксоне ( $\text{Ca}^{2+}$  ток)

# ВПСП усиливает потенциалы действия в дендритах

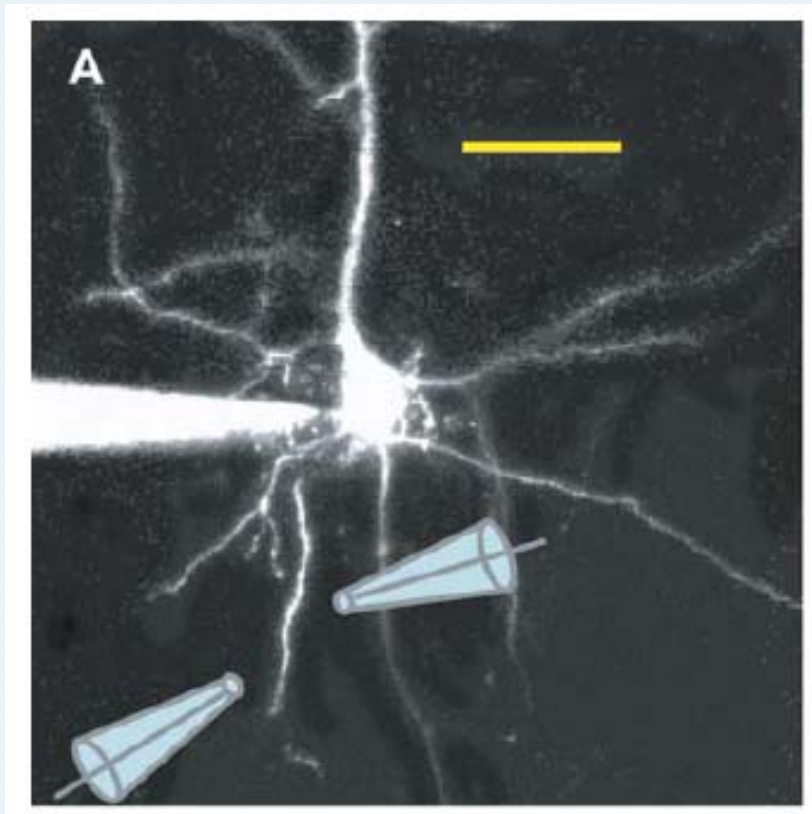


Детектор совпадений ВПСП и потенциала действия

Красная пипетка – запись с дендрита, голубая пипетка-активация локального синапса

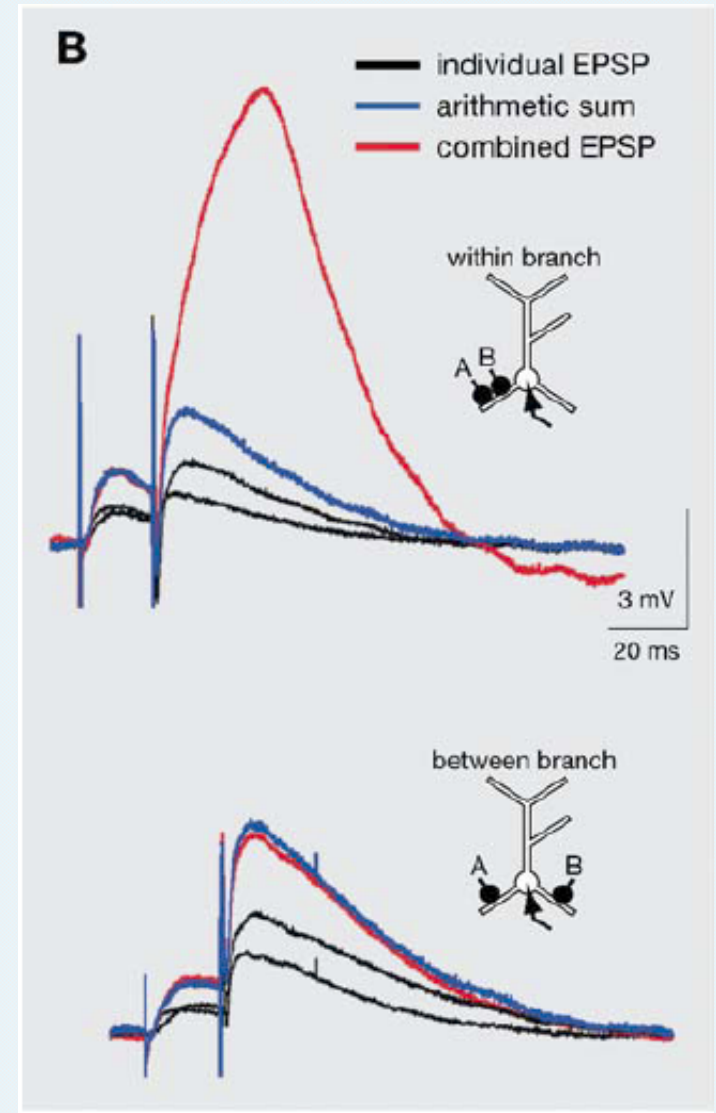
Потенциал действия в дендрите вызывается деполяризацией сомы и ВПСП стимуляцией синапса

# Операция умножения ВПСП внутри веток дендрита

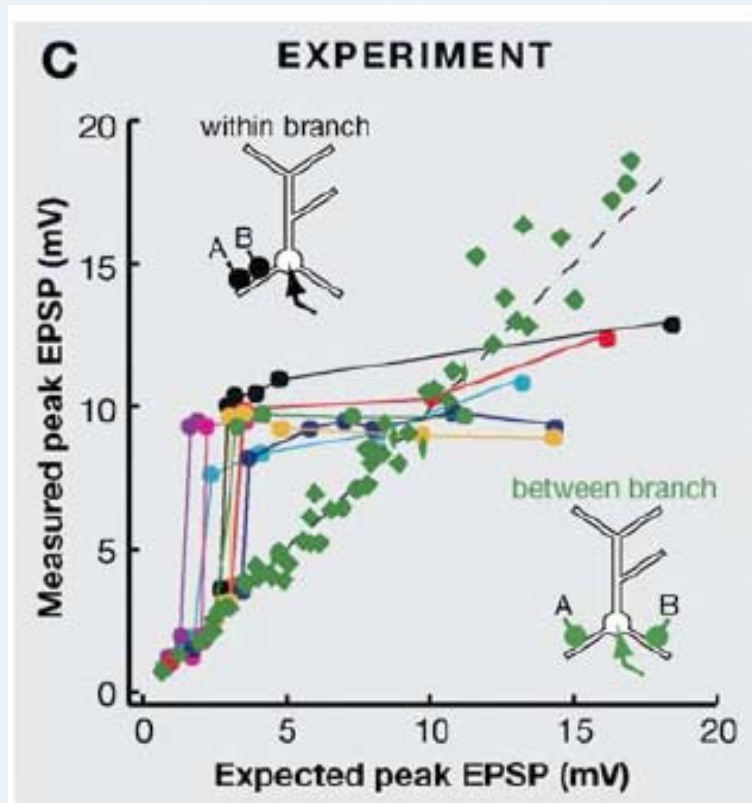


Суммация ВПСП вызванных внутри одной ветки дендрита и в разных ветках

В случае одной ветки ответ на второй стимул получается больше чем в арифметическая сумма. В случае разных веток – ответ равен арифметической сумме.

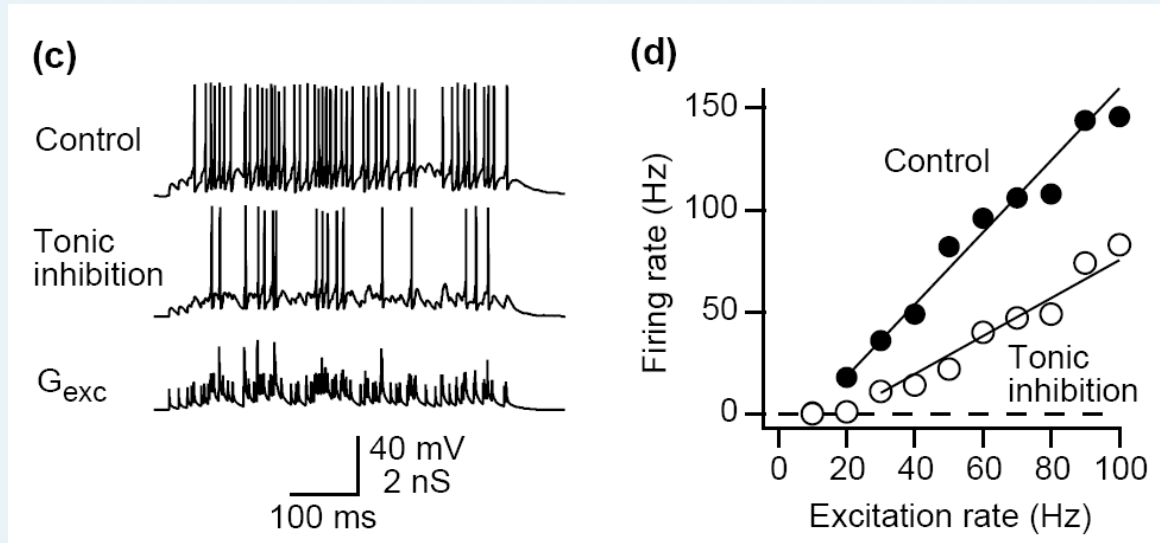


# Сигмоидная зависимость суммации внутри ветки дендрита



Пунктирная линия – линейная суммация

# Мультипликативные операции и тонический ток

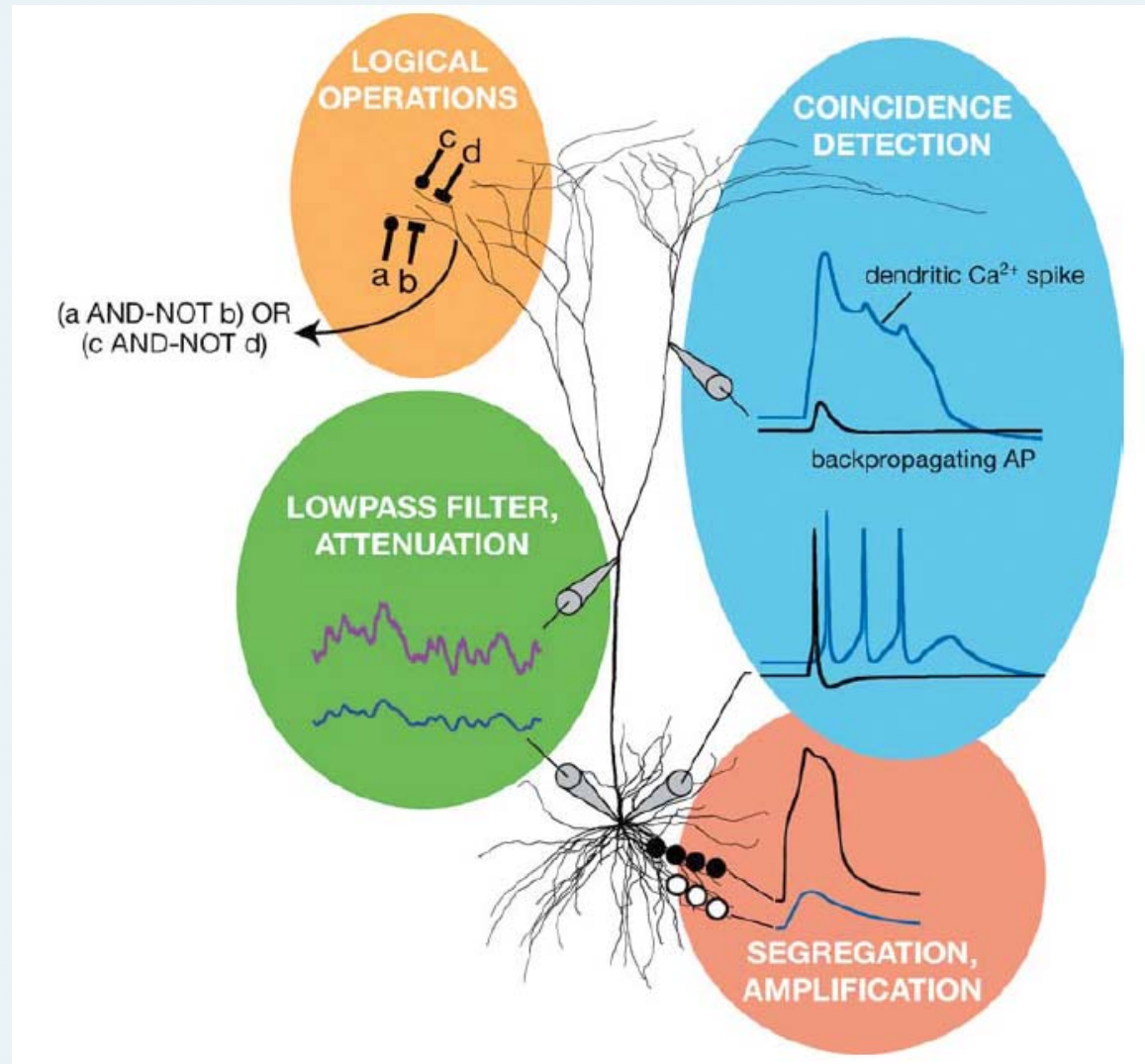


Передаточная функция нейрона – число спайков на число ВПСП

Изменение наклона соответствует операции деления или умножения

# Схема основных операций в дендритах

1. Пассивные дендриты действуют как фильтр низких частот (low pass filter) – высокочастотный входной сигнал ослабляется и сглаживается
2. Нелинейные взаимодействия между возбуждением и шунтирующим торможением могут позволять логические операции
3. Дендриты могут усиливать или ослаблять возбуждающие синаптические входы
4. Детектор совпадений потенциала действия и ВПСП в дендритах

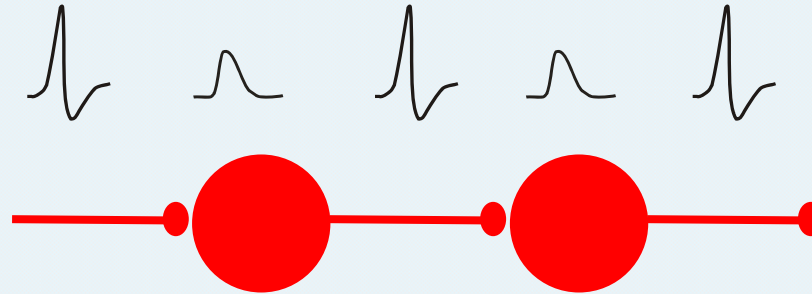


---

# Обработка информации в нейроглияльных сетях

Лекция 5.2

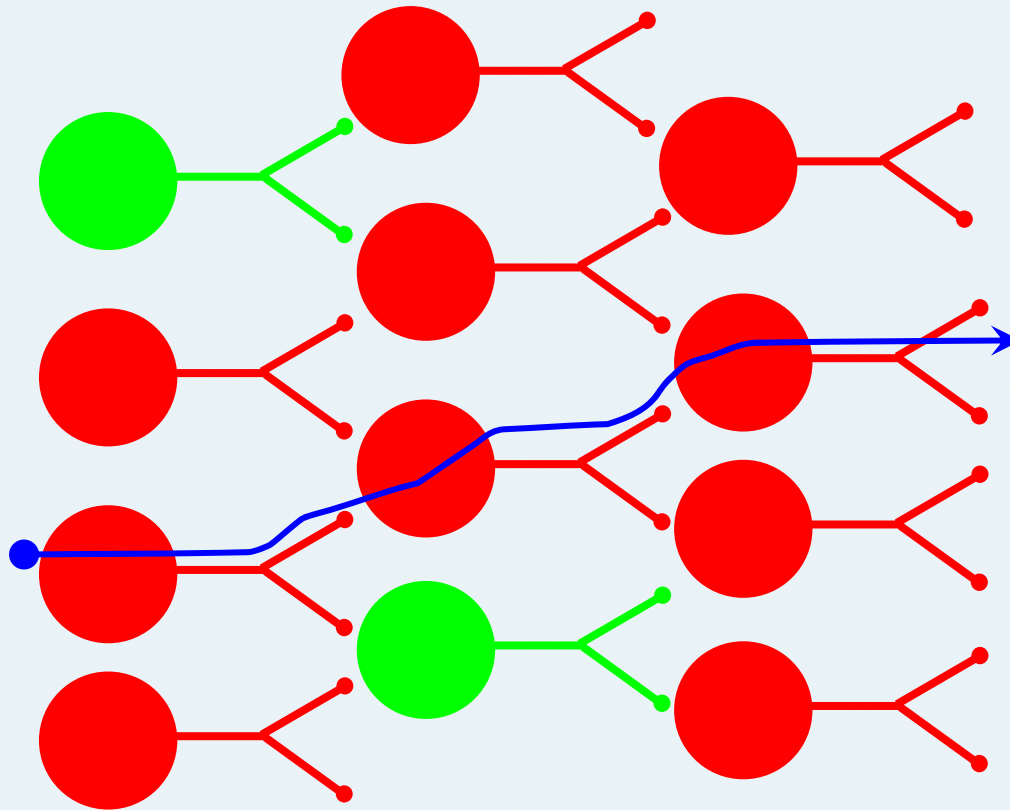
# Передача сигнала в цепочке возбуждающих нейронов



- Для каждого синапса может быть определена вероятность того что он вызовет потенциал действия (1 – каждый выброс медиатора вызывает постсинаптический ПД, 0,5 – ПД вызывается с вероятностью 50% и т.д.)
- Синаптическая потенция и депрессия меняют эту вероятность



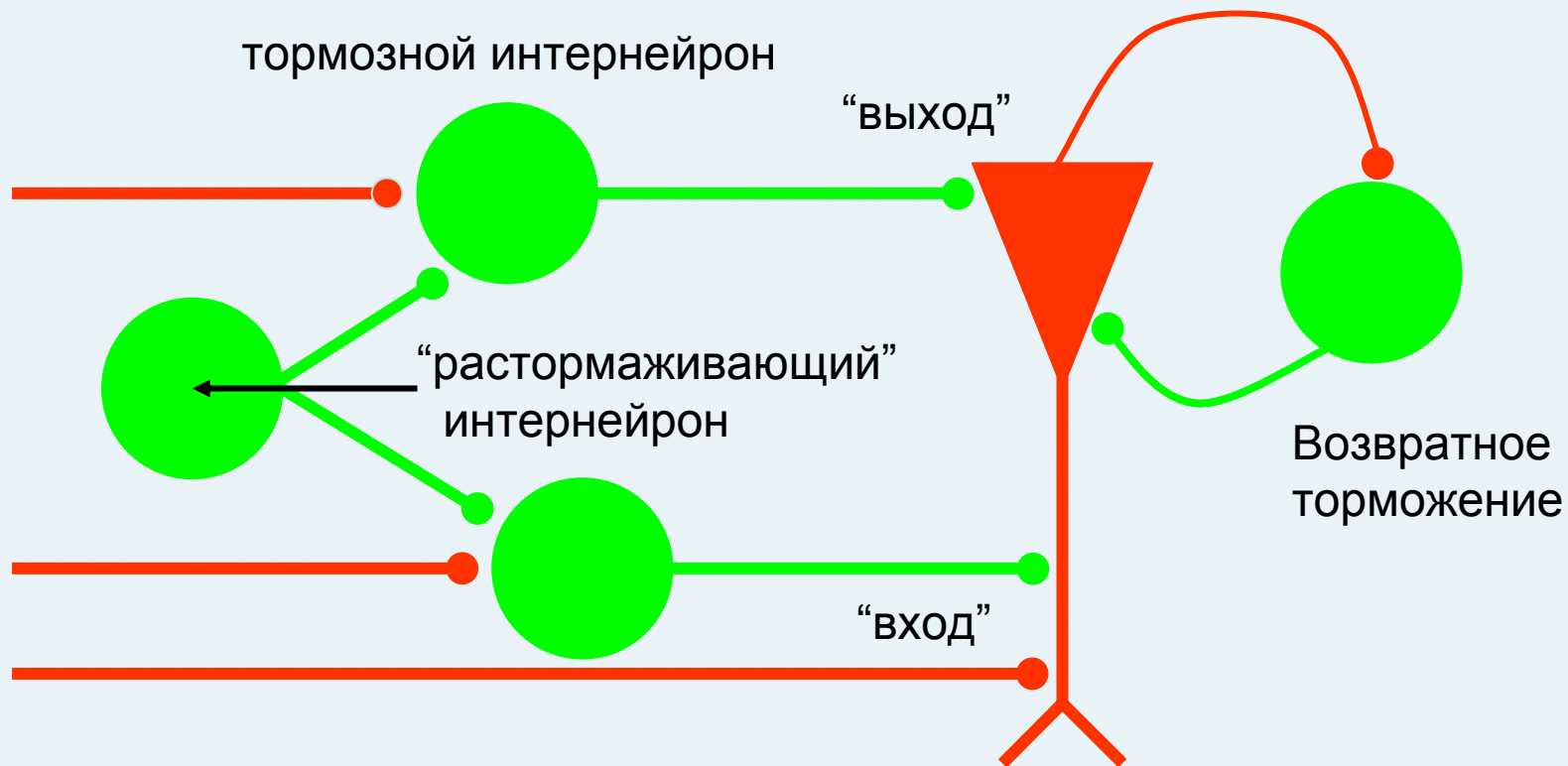
# Принципы передачи сигнала в синаптической сети



## Выбор пути наименьшего сопротивления

1. Комбинация возбуждающих и тормозных синапсов
2. Потенциация и депрессия синапсов
3. Пространственно – временная интеграция синаптических входов в отдельных нейронах

# Функциональные типы тормозных интернейронов

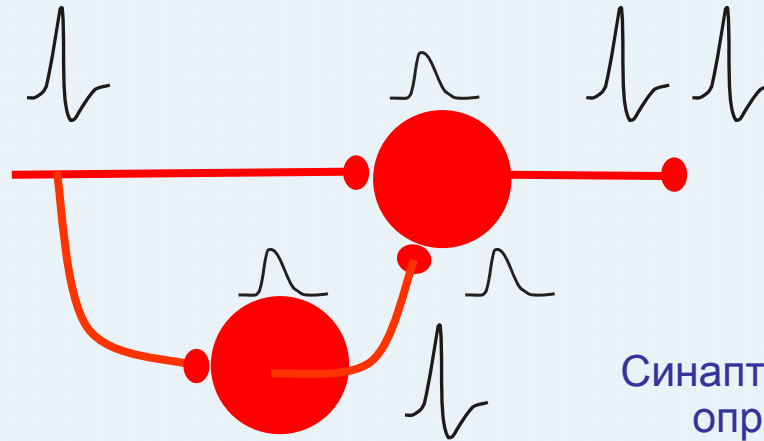


# Математические операции

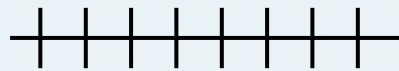
---

- Сложение и вычитание
  - Интеграция синаптических входов на одном нейроне
- Мультипликативные операции
  - Благодаря диффузному сигналу, изменяющему биофизические свойства одиночного нейрона
  - За счет нейронной организации локальной сети

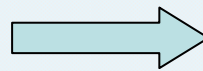
# Схема умножения частоты



Синаптическая задержка  
определяет интервал между  
выходными спайками



8

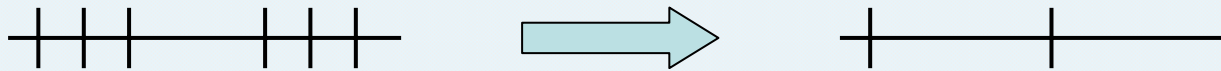
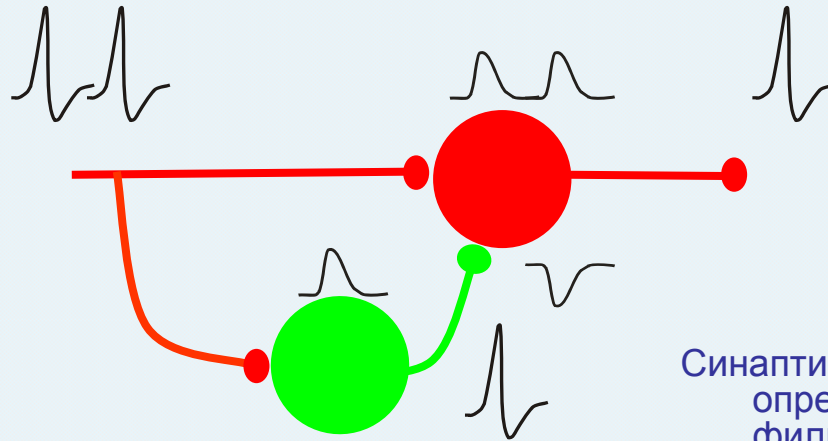


x2

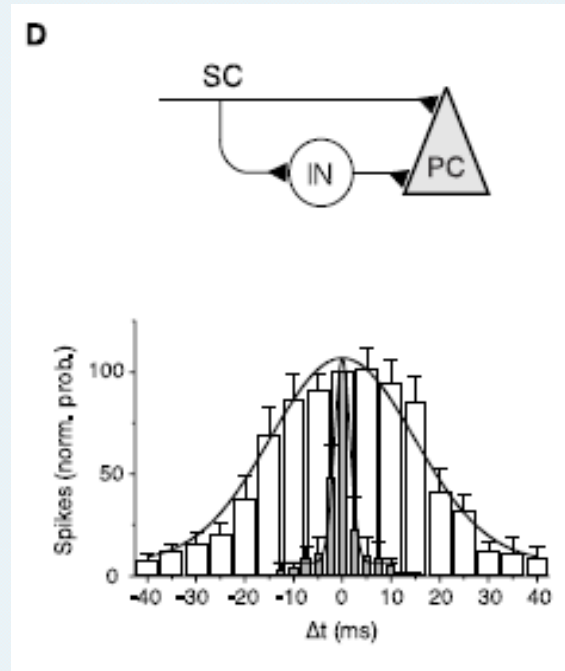


=16

# Конвертер пачек в одиночные спайки

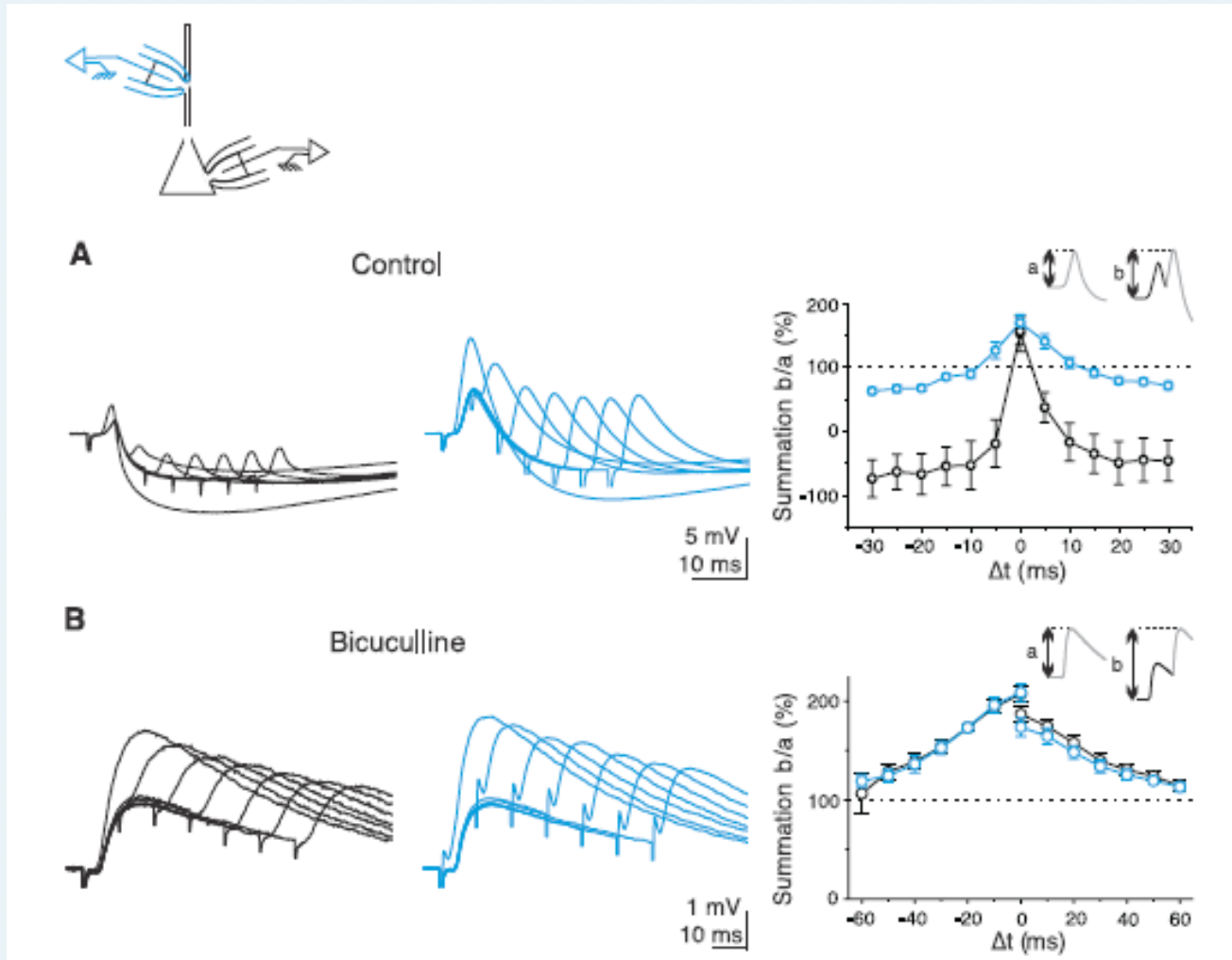


# Детектор совпадений в сети с тормозными интернейронами



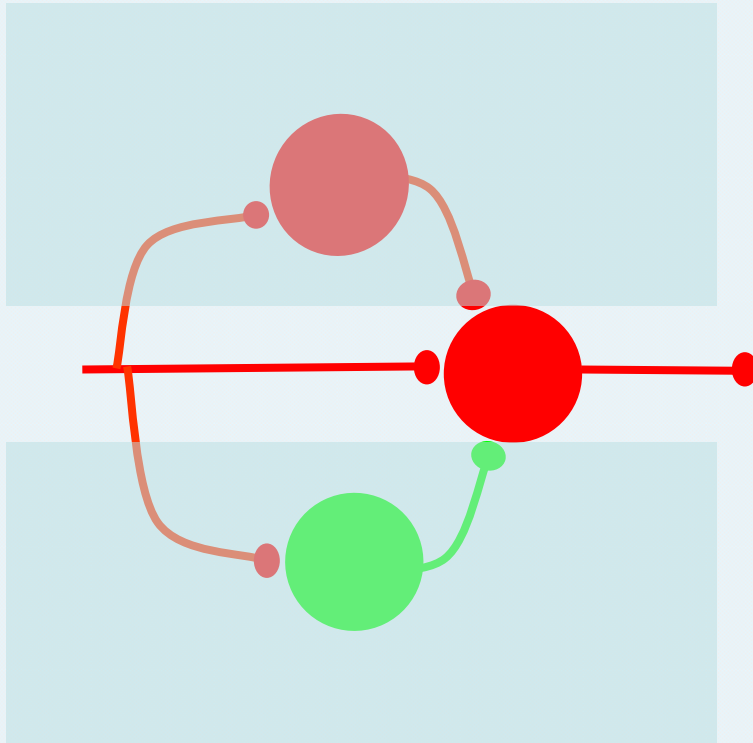
- Изменяющееся окно интеграции синаптических входов позволяет измерять интервалы между входящими синаптическими сигналами

# Детектор совпадений в сети с тормозными интернейронами



- Окно интеграции зависит от клеточного компартмента: дендрит или сома

# Диффузный сигнал определяет путь обработки информации



- Усложнение нейронной сети требует математического моделирования (можно посмотреть поведение сетей из сотен и тысяч нейронов).
- Традиционно информация “кодируется” изменениями силы синаптических связей

Диффузный сигнал так же может определять каким образом кодируется информация:

- Определять направление прохождения сигнала
- Изменять свойства нейронов
- Генерировать собственный пространственно временной паттерн возбуждения



# Принципы кодирования информации в диффузном сигнале

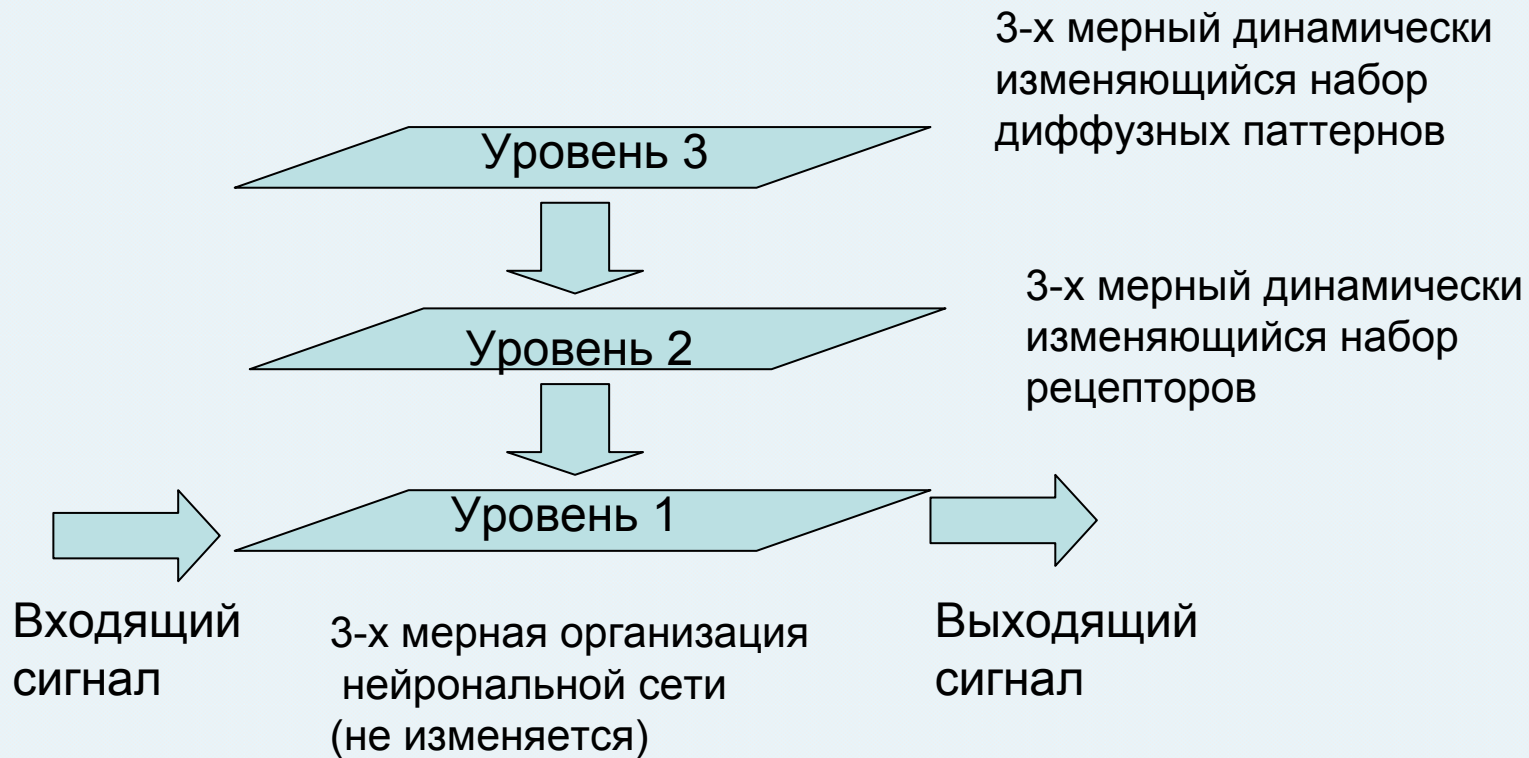
---

- Клетки обладают различной чувствительностью к диффузному сигналу
  - разные по аффинности рецепторы
  - разная поверхностная плотность рецепторов
  - разное распределение рецепторов (аксональные, соматические рецепторы)

*Следствие: равномерный диффузный сигнал вызовет разный ответ в разных клетках – информация хранится на клеточном уровне*
- Профиль диффузного сигнала
  - места высвобождения и интенсивность высвобождения
  - диффузия и обратный захват

*Следствие: профиль диффузного сигнала несет в себе информацию*
- Качество диффузного сигнала
  - диффузный сигнал может быть как возбуждающим, так и тормозным

# Уровни обработки информации



Уровни 2 и 3 позволяют добиться более высокого пространственно-временного разрешения диффузного сигнала в биологической системе и имеют разные механизмы регуляции