

# Молекулярная организация нервной системы

## 3: Ключевые компоненты нервной системы: нейроны

**Казанский медицинский  
университет**

**Казань**

**Лекция**

**18 сентября 2015**

**П.Д. Брежестовский**

Институт динамики мозга

Факультет медицины

Университет Aix-Marseille

Марсель, Франция

[piotr.bregestovski@univ-amu.fr](mailto:piotr.bregestovski@univ-amu.fr) [pbreges@gmail.com](mailto:pbreges@gmail.com)

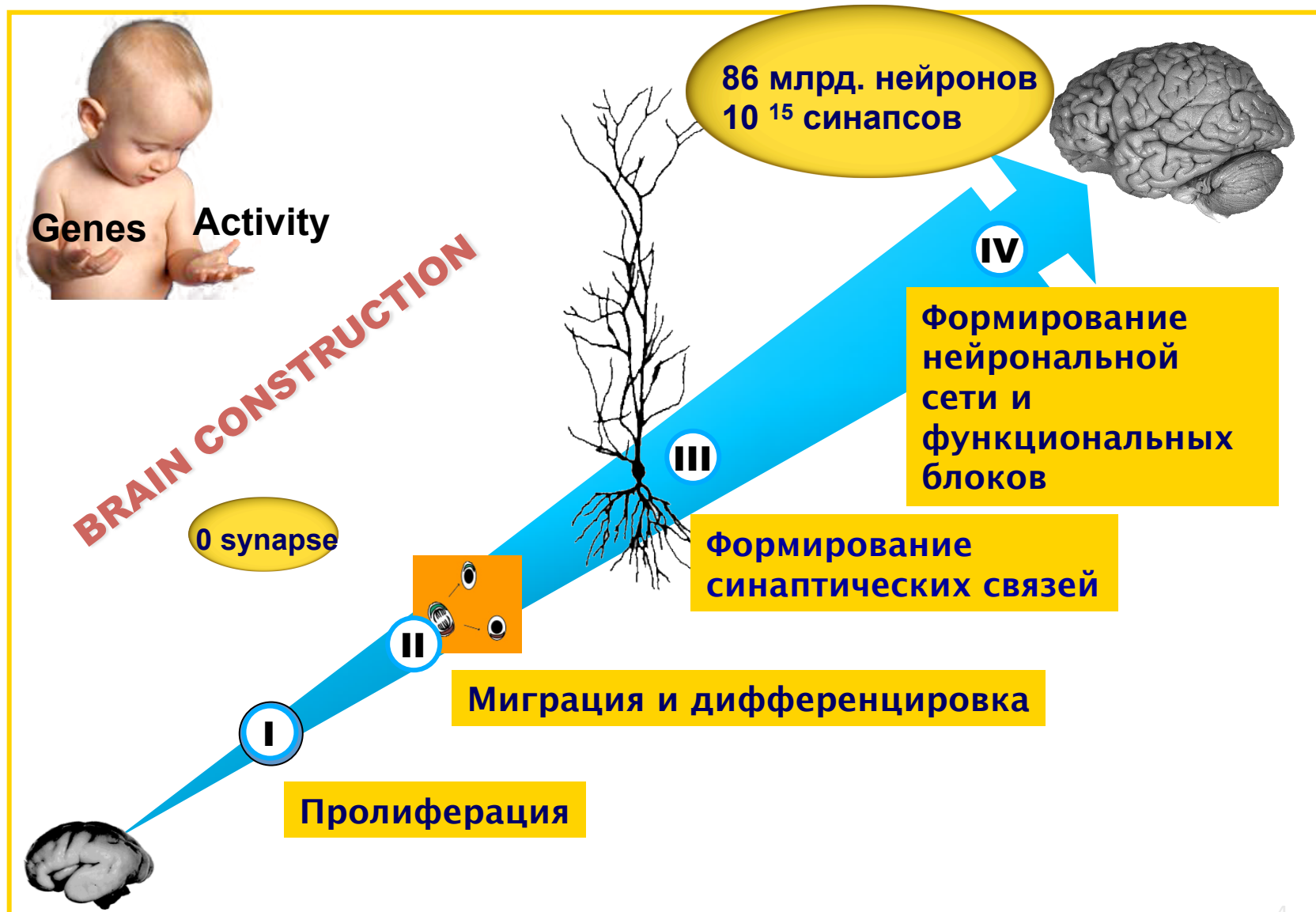
# На прошлой лекции

- Назначение нервной системы
- Эволюция нервной системы
- Иерархическая организация нервной системы

# Ключевые компоненты нервной системы и их функции

- Основные компоненты нервной системы:
  - Нейроны
  - Глиальные клетки:
- Классификация нейронов
- Организация нейронов
- Нейроны – элементарные аналогово-цифровые модули
- Нейрональные сети
- Классификация глиальных клеток
- Функции глиальных клеток
- Синапс – ключевой модуль нервной системы

# Основные этапы развития мозга



# Этапы развития коры

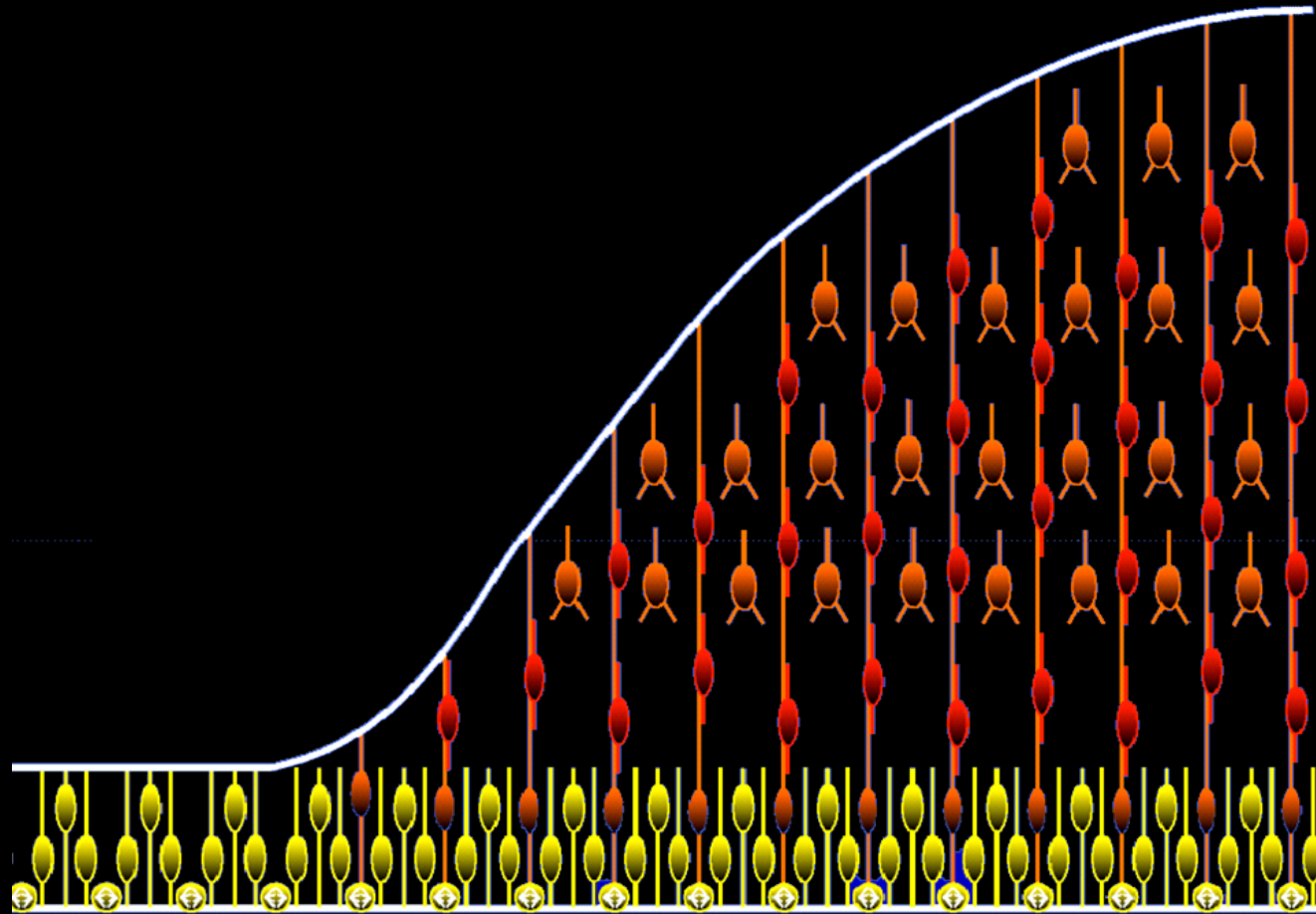
Пролиферация  
клеток



Дифференцировка и  
миграция

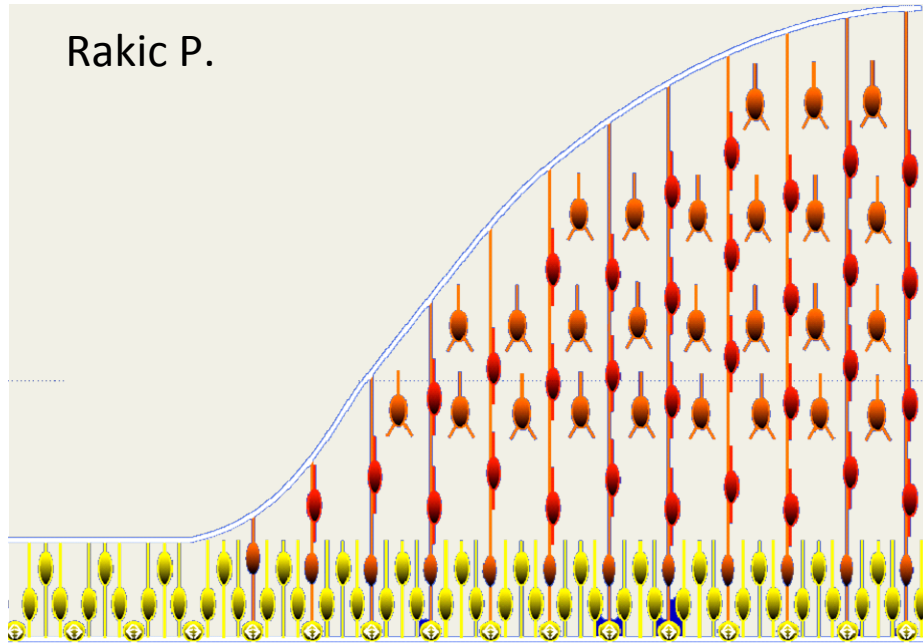


Конечная  
дифференцировка

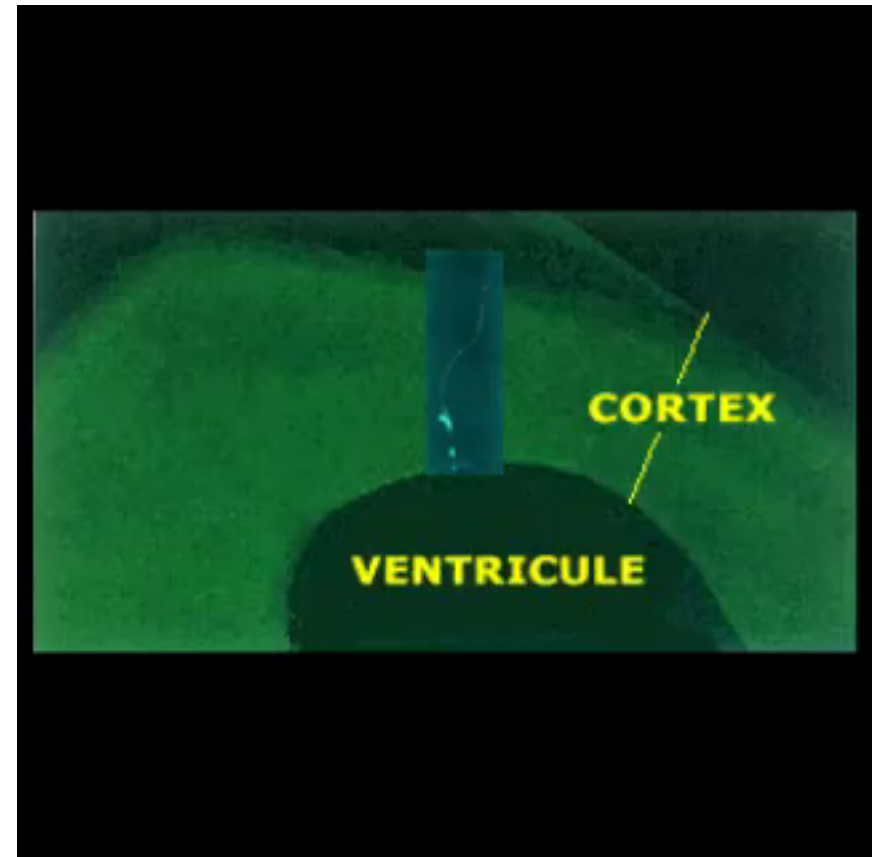


P. Rakic

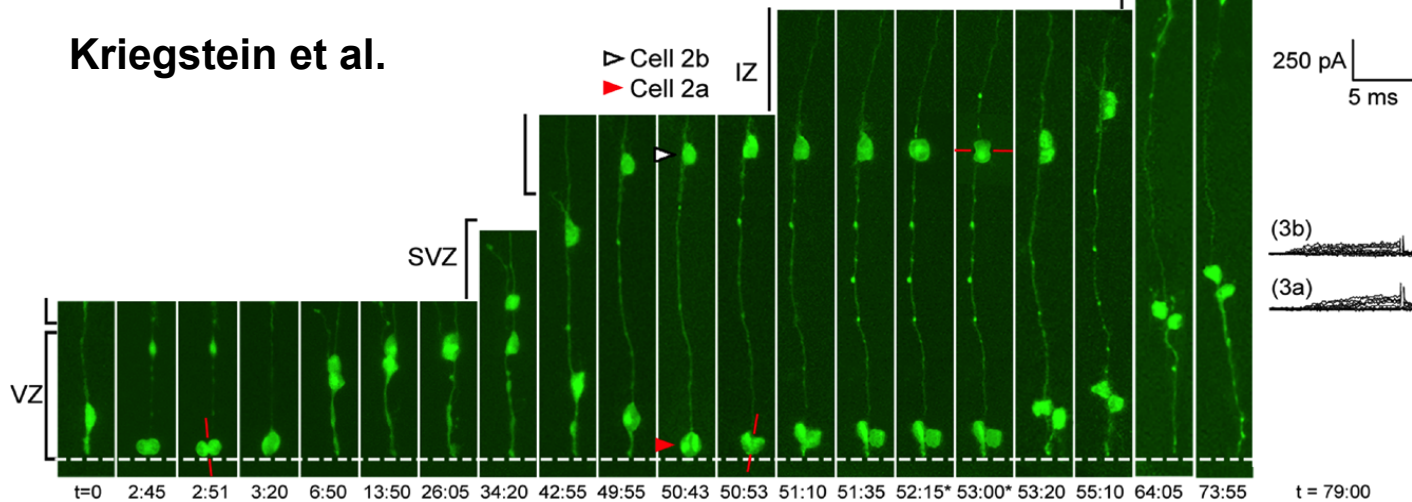
# Этапы развития коры

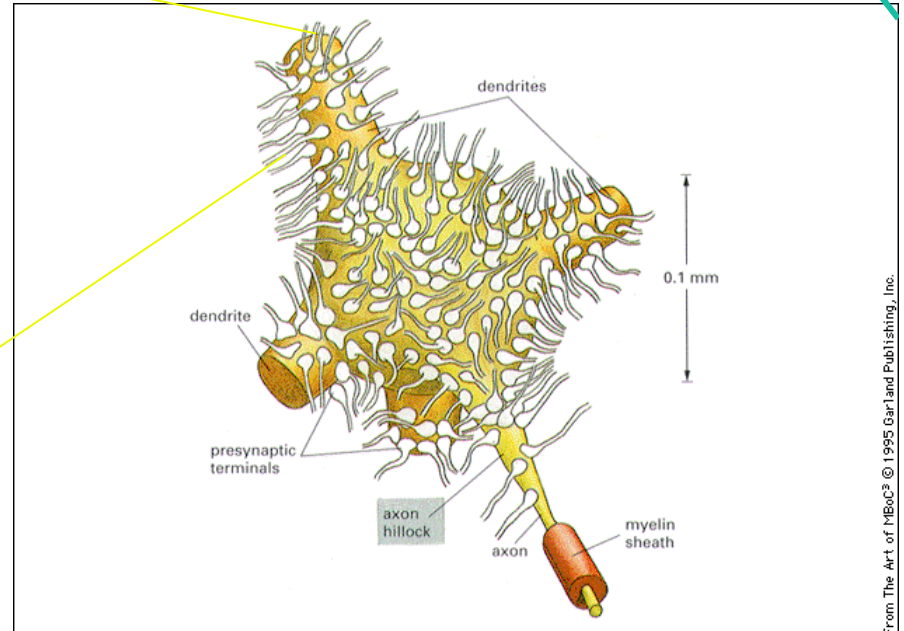
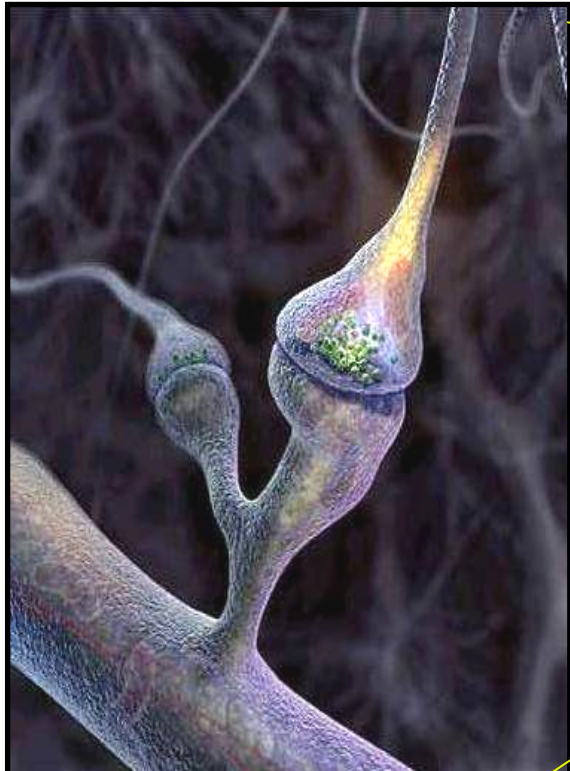
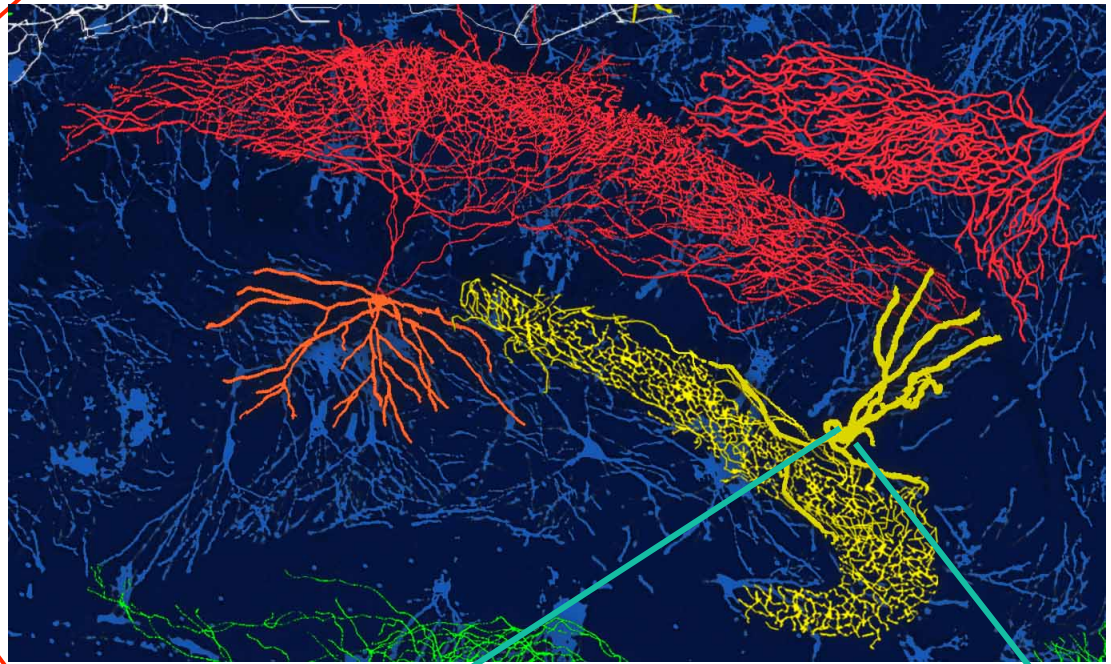
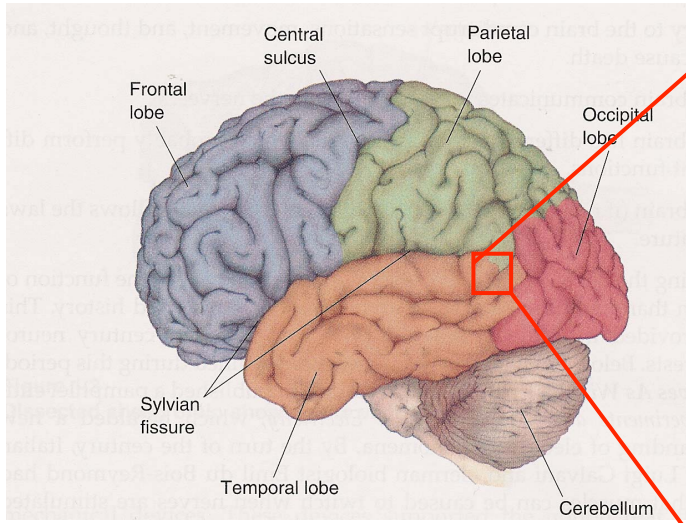


Time-Lapse imaging



Kriegstein et al.

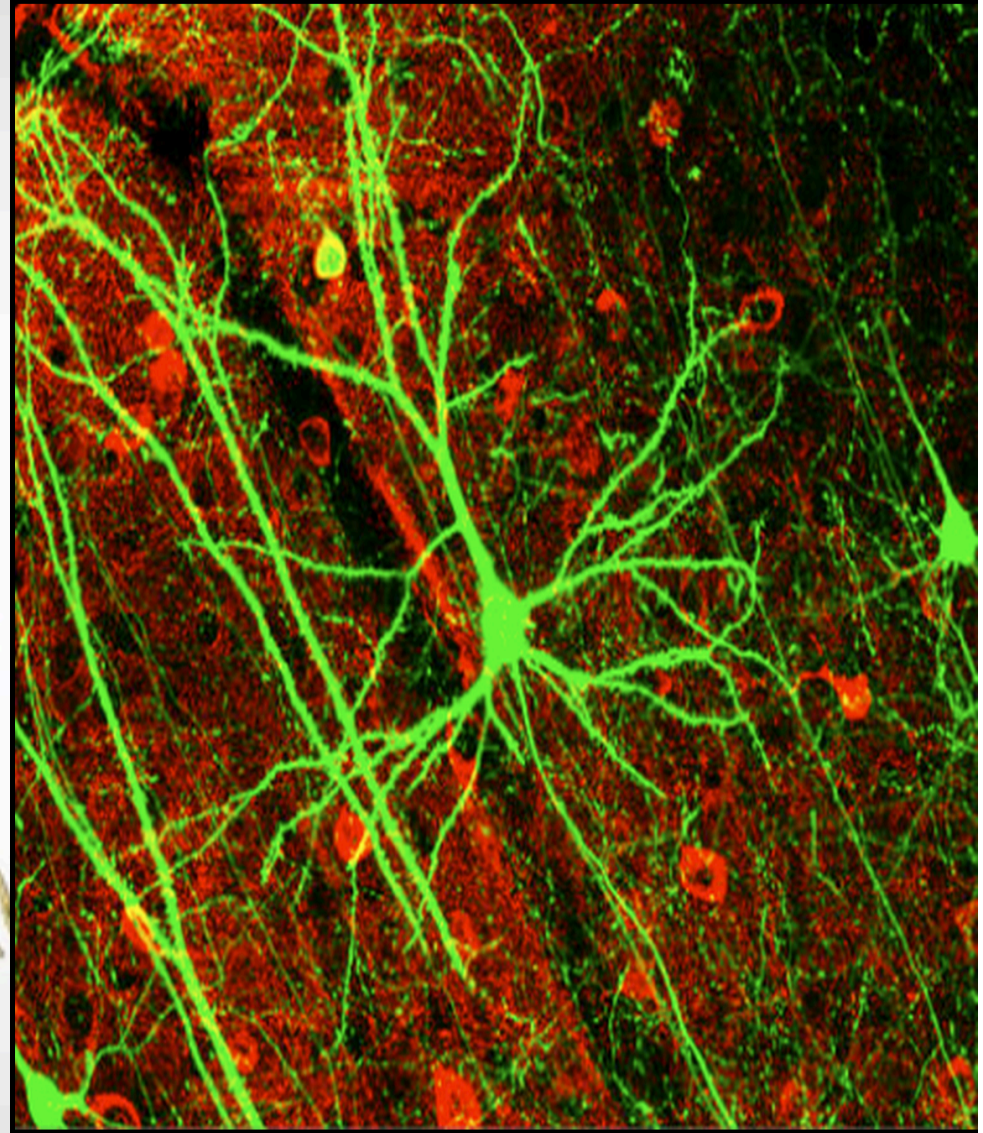




# Ключевые компоненты нервной системы

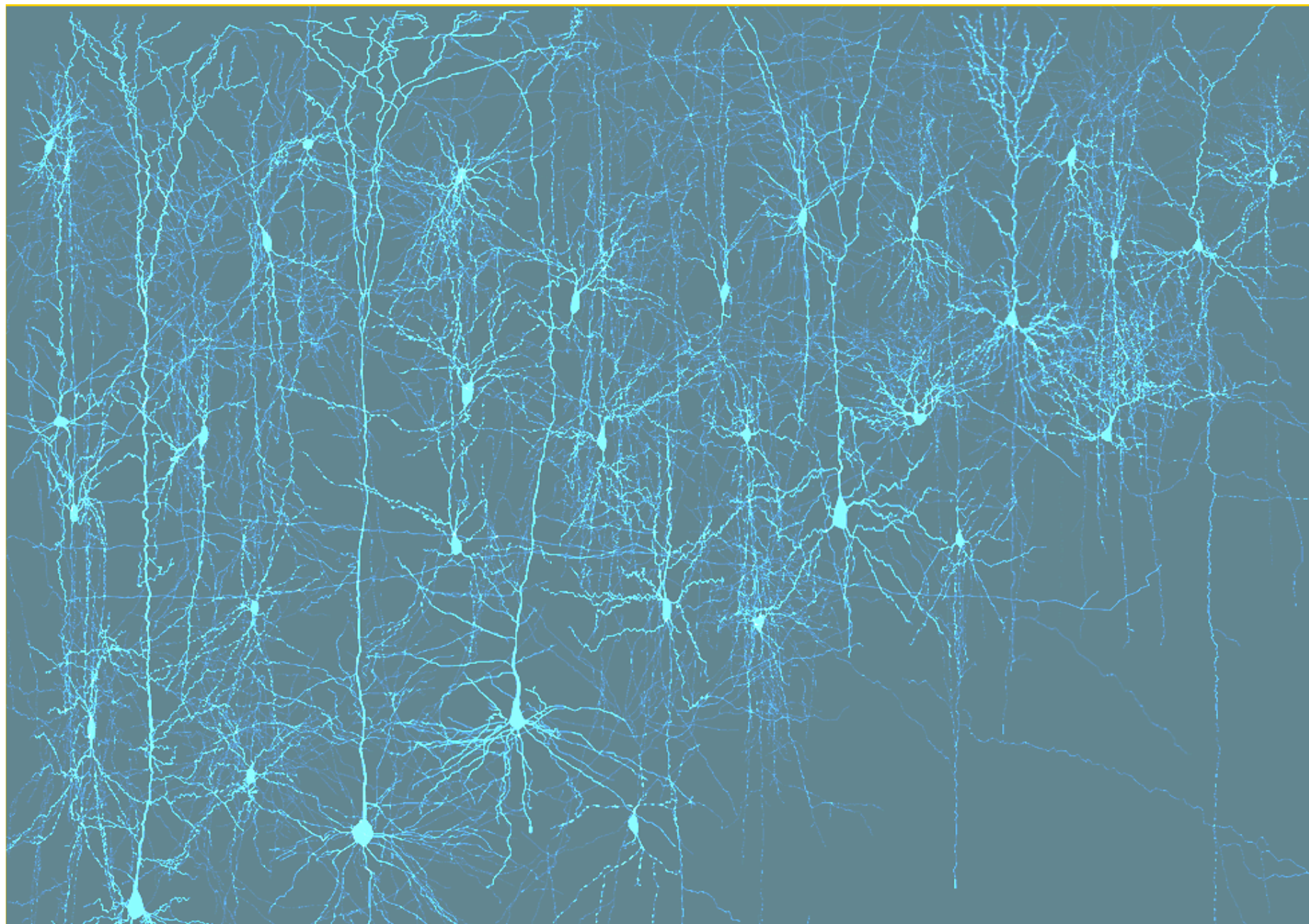


Нейроны





# Пирамидальные нейроны в разных слоях



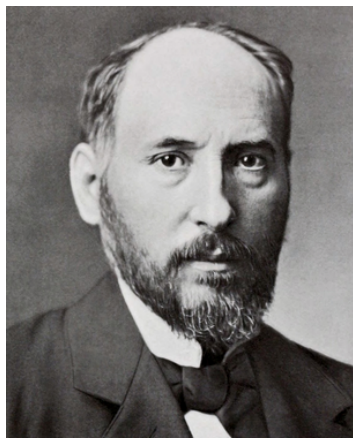
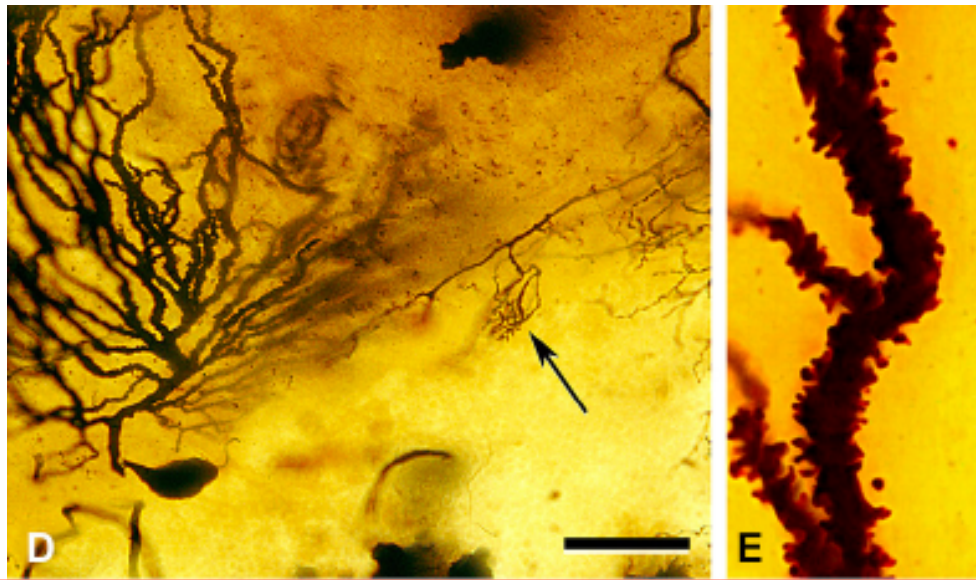
# Начало современной неврологии – **Анатомия клетки**

**Камильо Гольджи (Italy) и Сантьяго Рамон-и Кахаль (Spain) – Nobel Prize 1906**



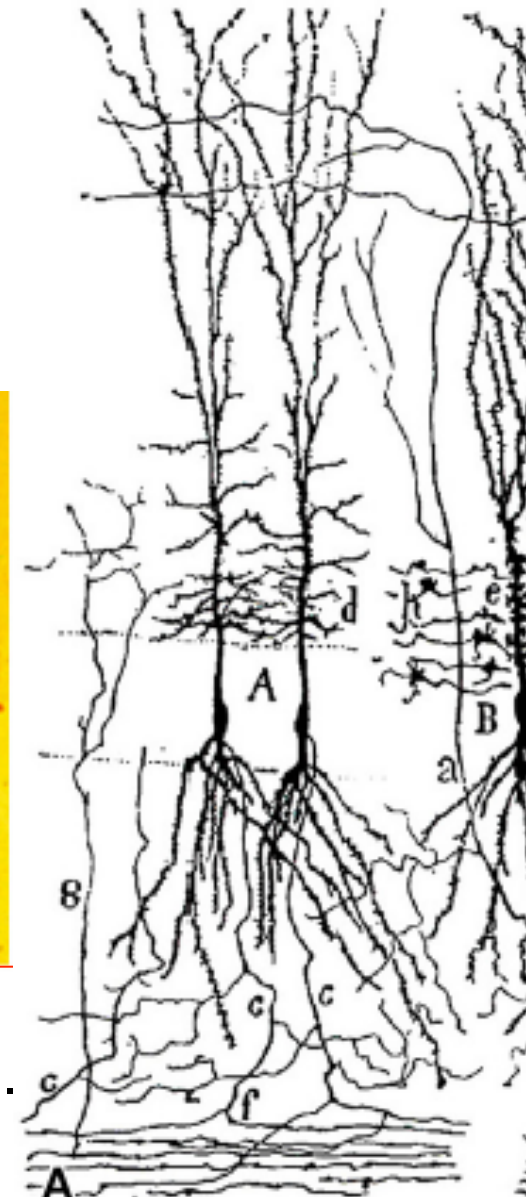
К. Гольджи  
(1843-1926)

«Черная реакция» окрашивания  
нервов и клеток (нитрат серебра)  
**Окрашивается 1-5 % клеток**



С. Рамон-и-Кажаль  
(1852-1934)

**Нейрональная доктрина,**  
Нервные клетки – отдельные элементы.  
Они соединены в цепи, передающие  
возбуждения от одной клетки к другой.



# Нобелевская премия в области физиологии и медицины -1906

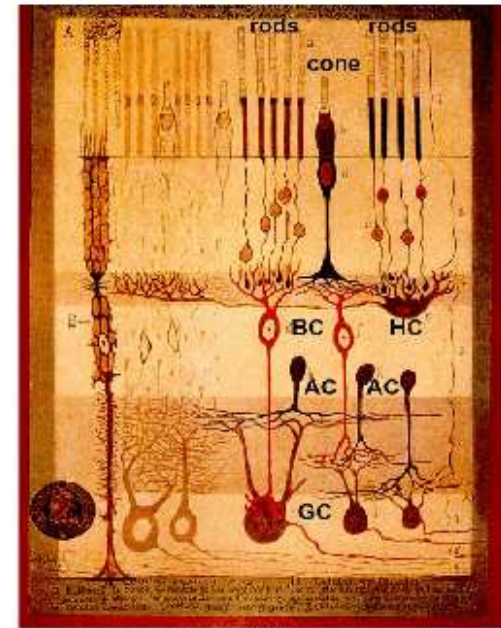
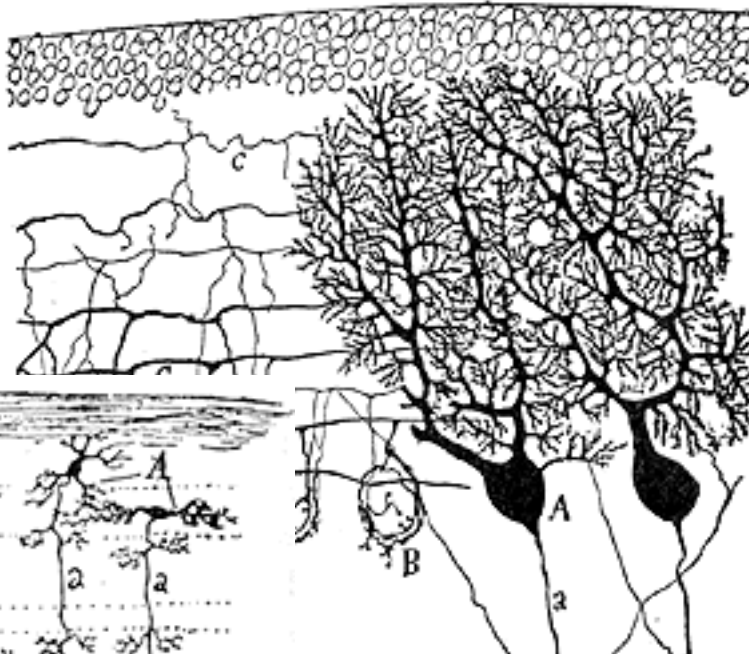
За работы по выяснению структурной организации нервной системы.



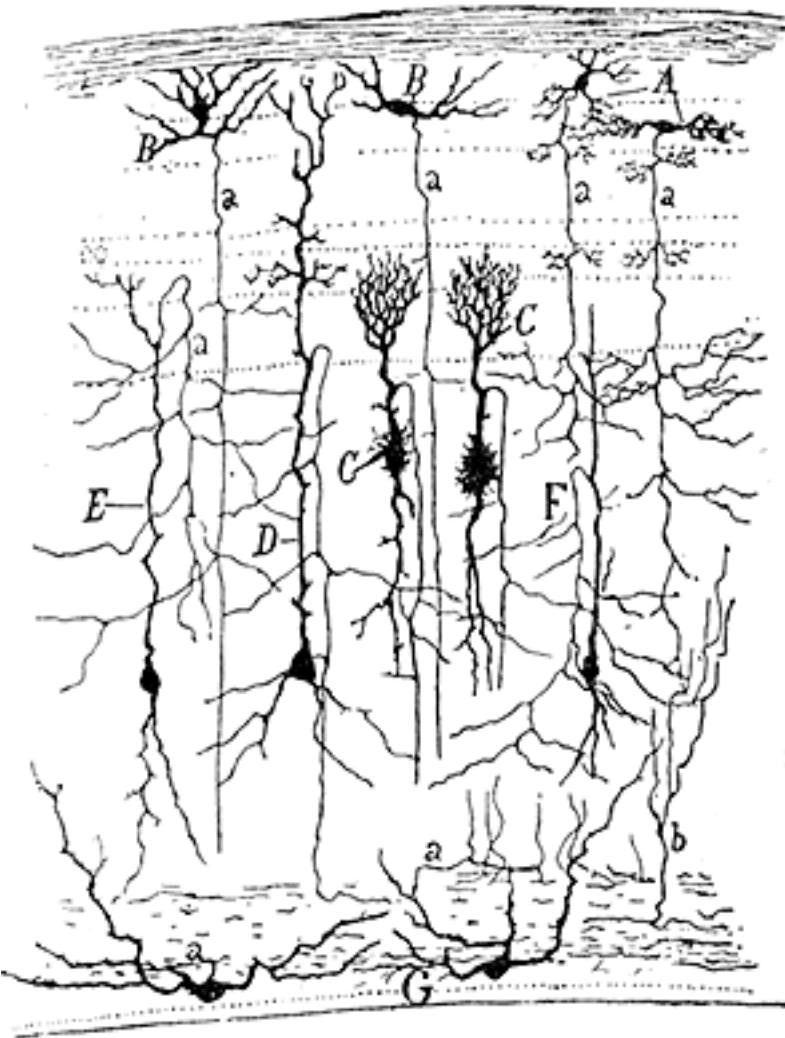
**Camillo Golgi**  
(1843-1926)



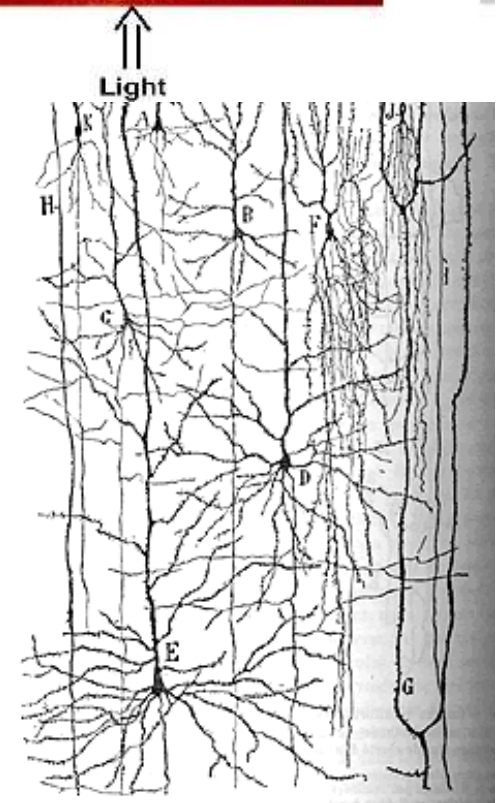
**Santiago Ramón y Cajal**  
(1852-1934)



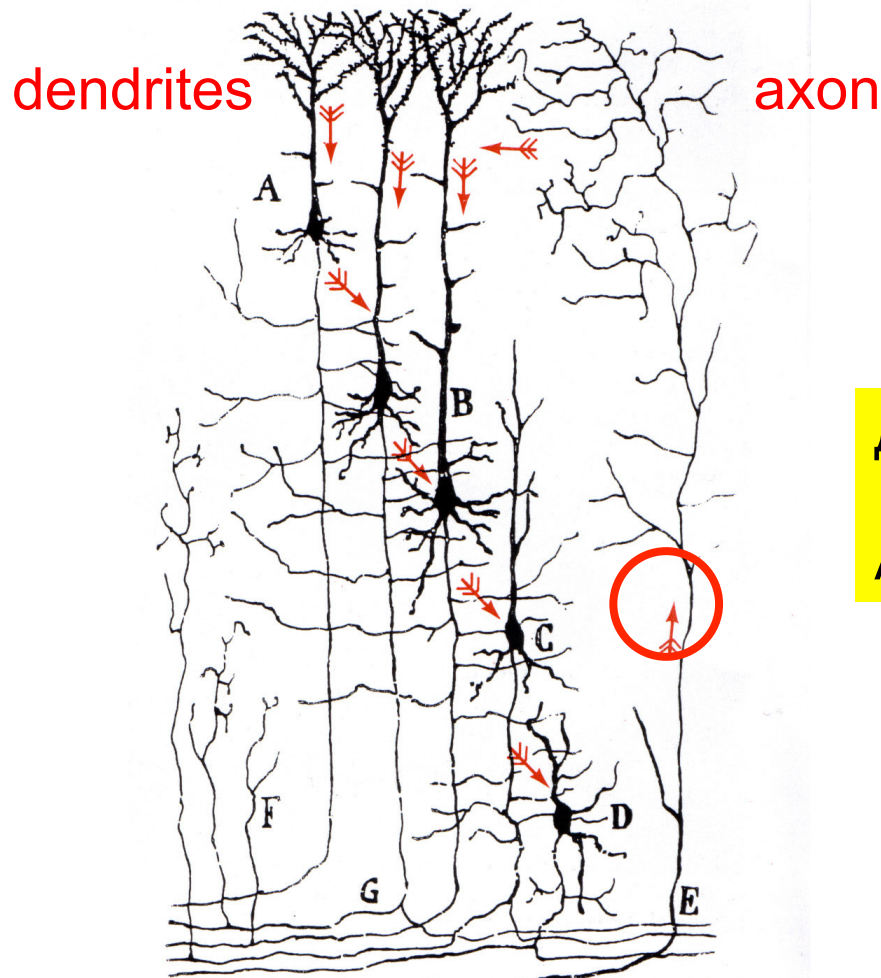
OS  
IS  
ONL  
OPL  
INL  
IPL  
GCL  
NFL



С. Рамон-и-Кахаль  
(1852-1934)



# Нейрональная доктрина или «Теория динамической поляризации»

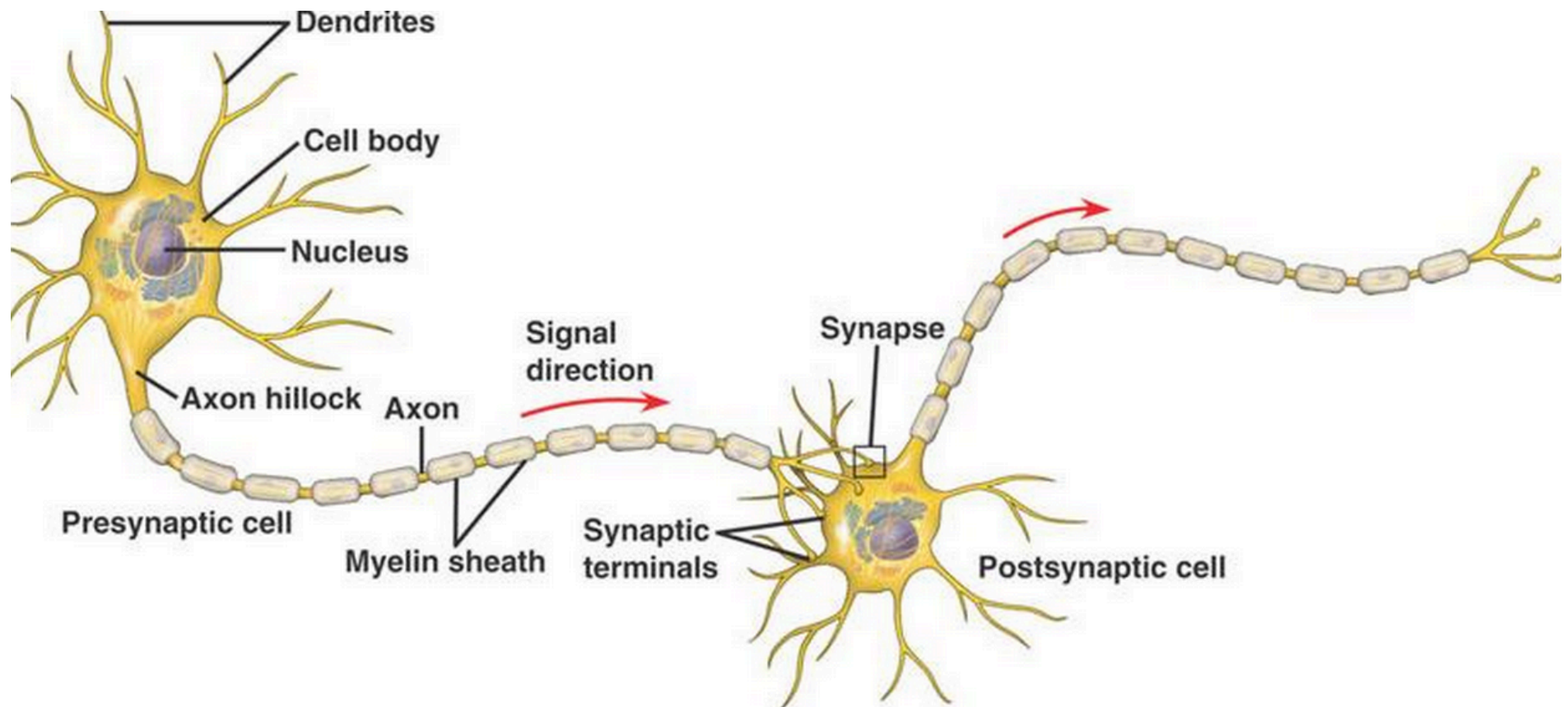


Дендриты принимают сигналы (вход)

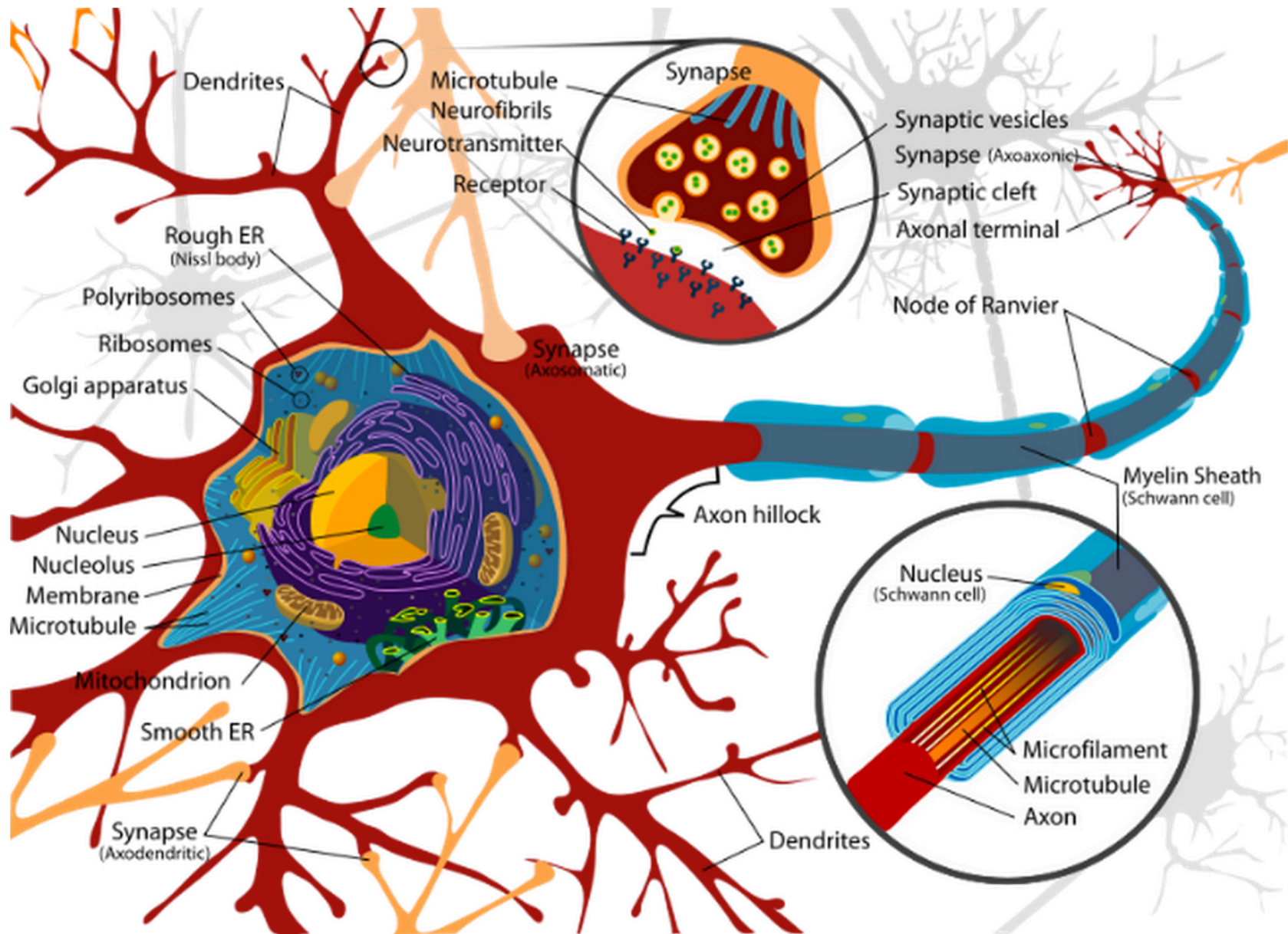
Аксоны передают сигналы (выход)

Рамон-и-Кахаль указал на возможное направление передачи электрического сигнала и аксонально – дендритные связи (синапсы)

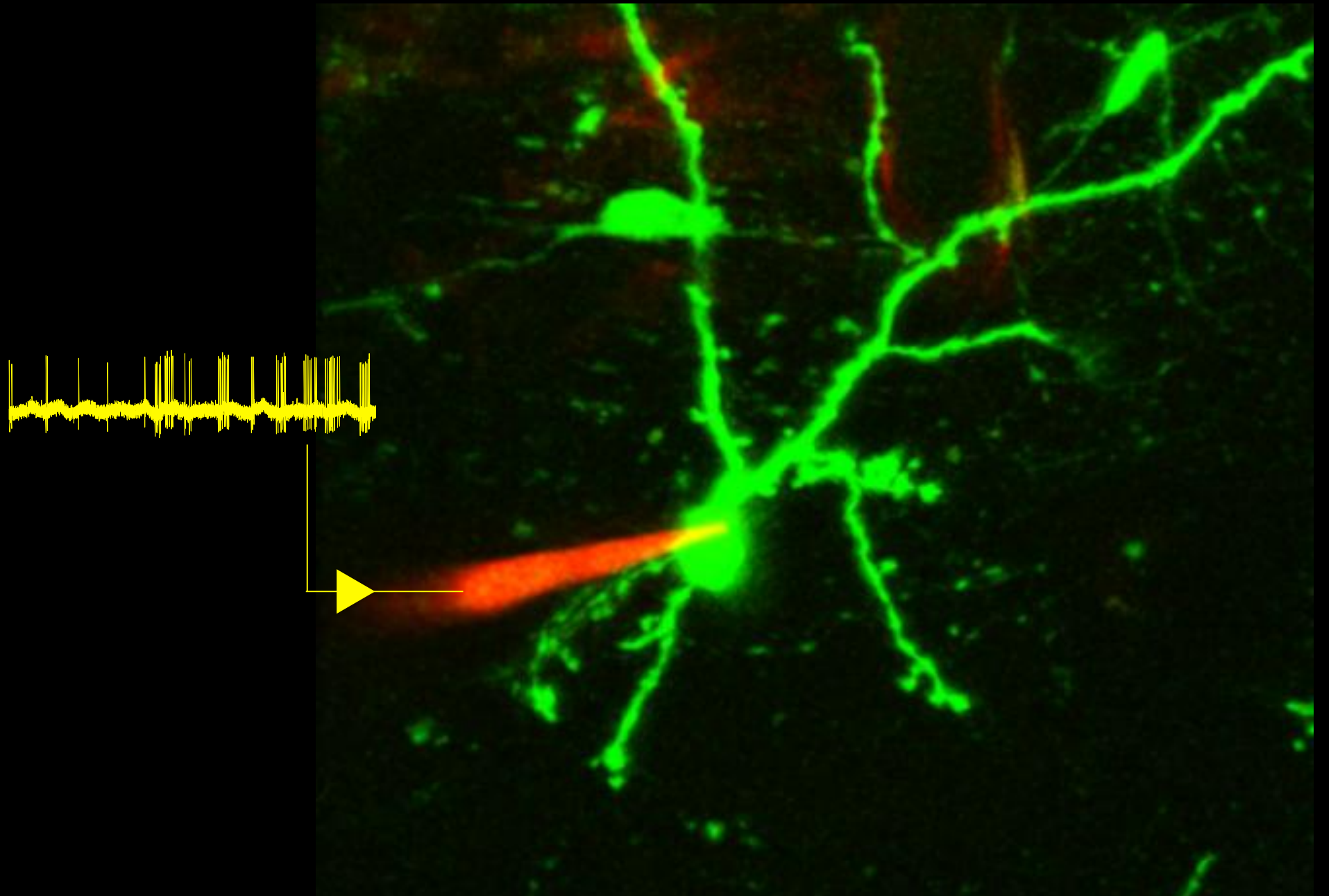
# Основные компоненты нейрона



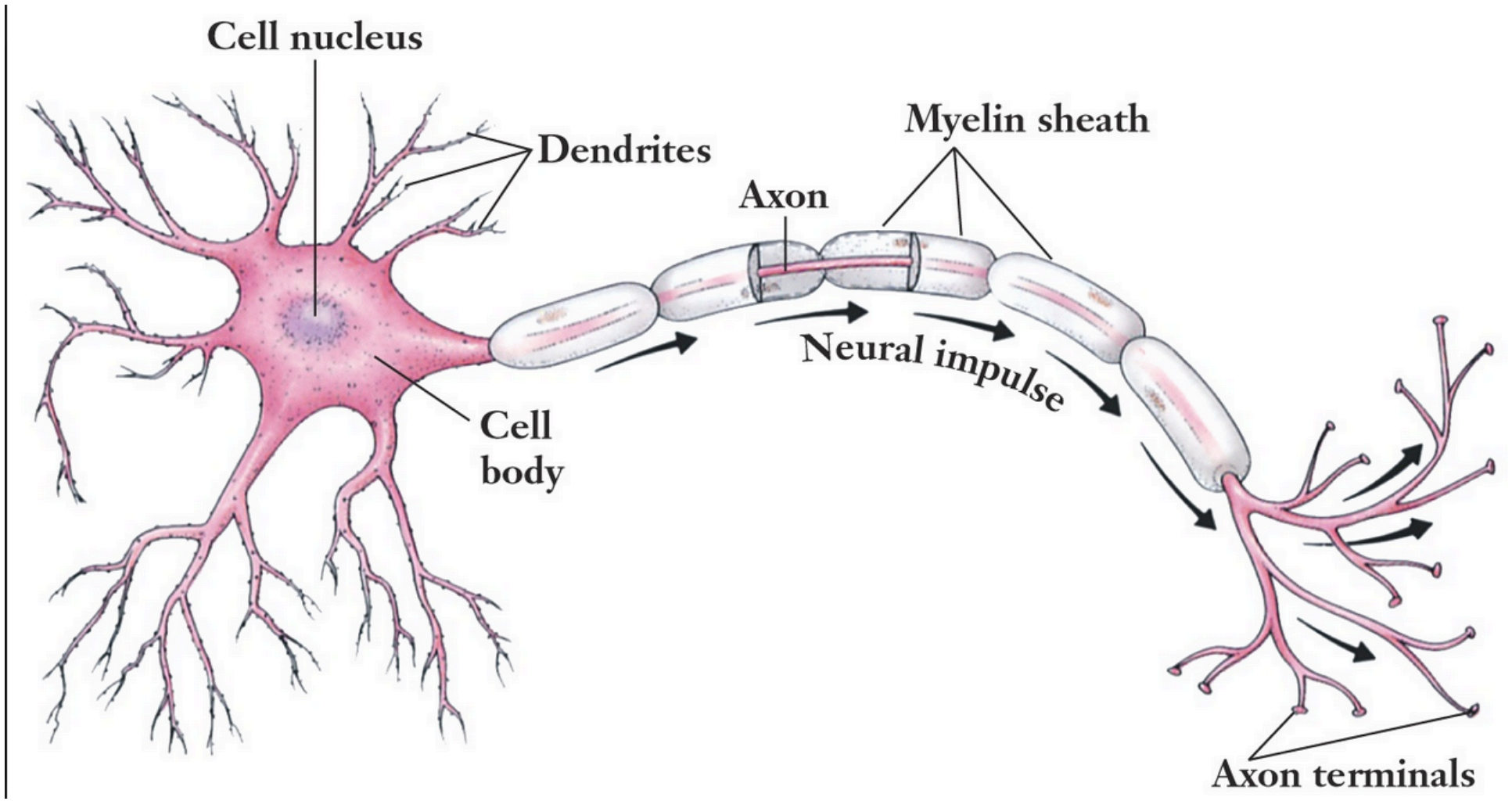
# Основные компоненты нейрона



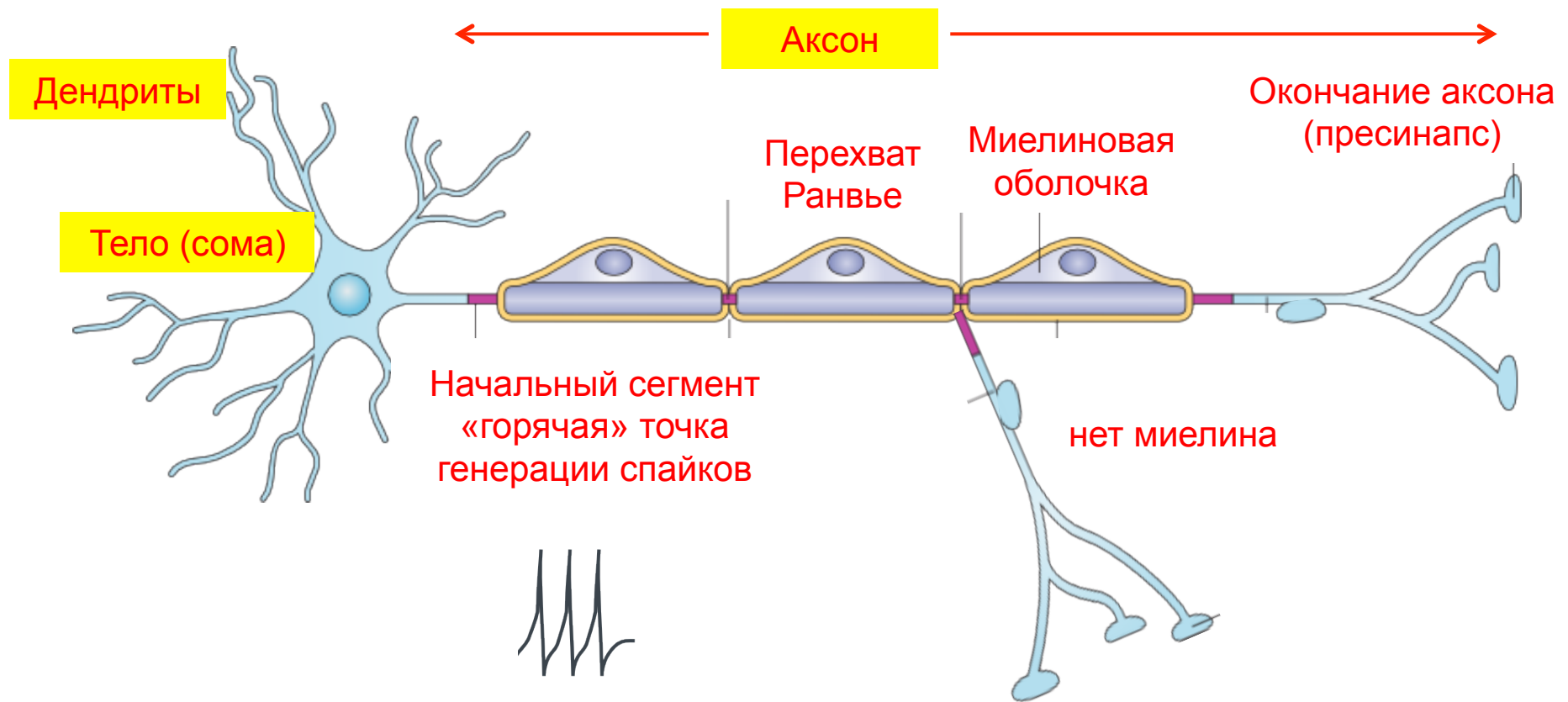
# Регистрация спайковой активности нейрона



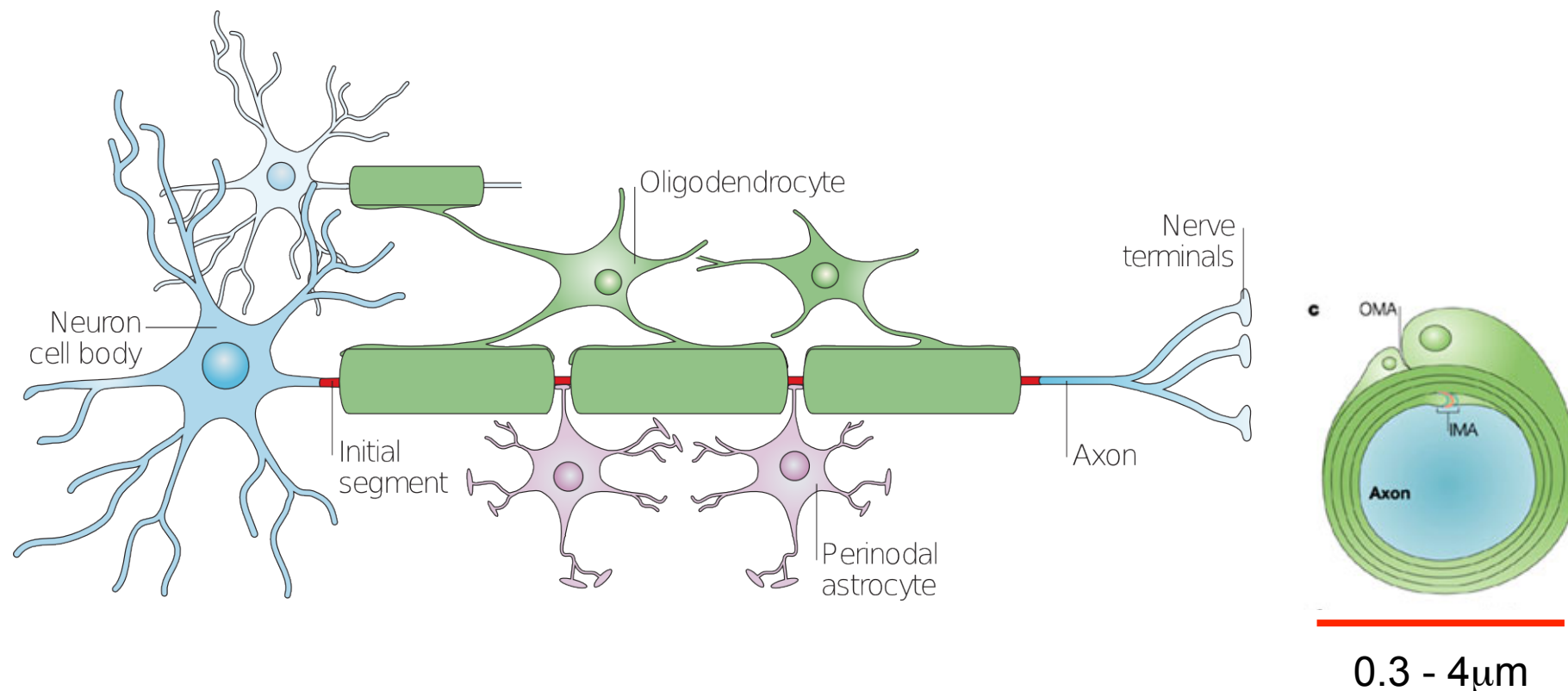




# Типичная морфология нейрона

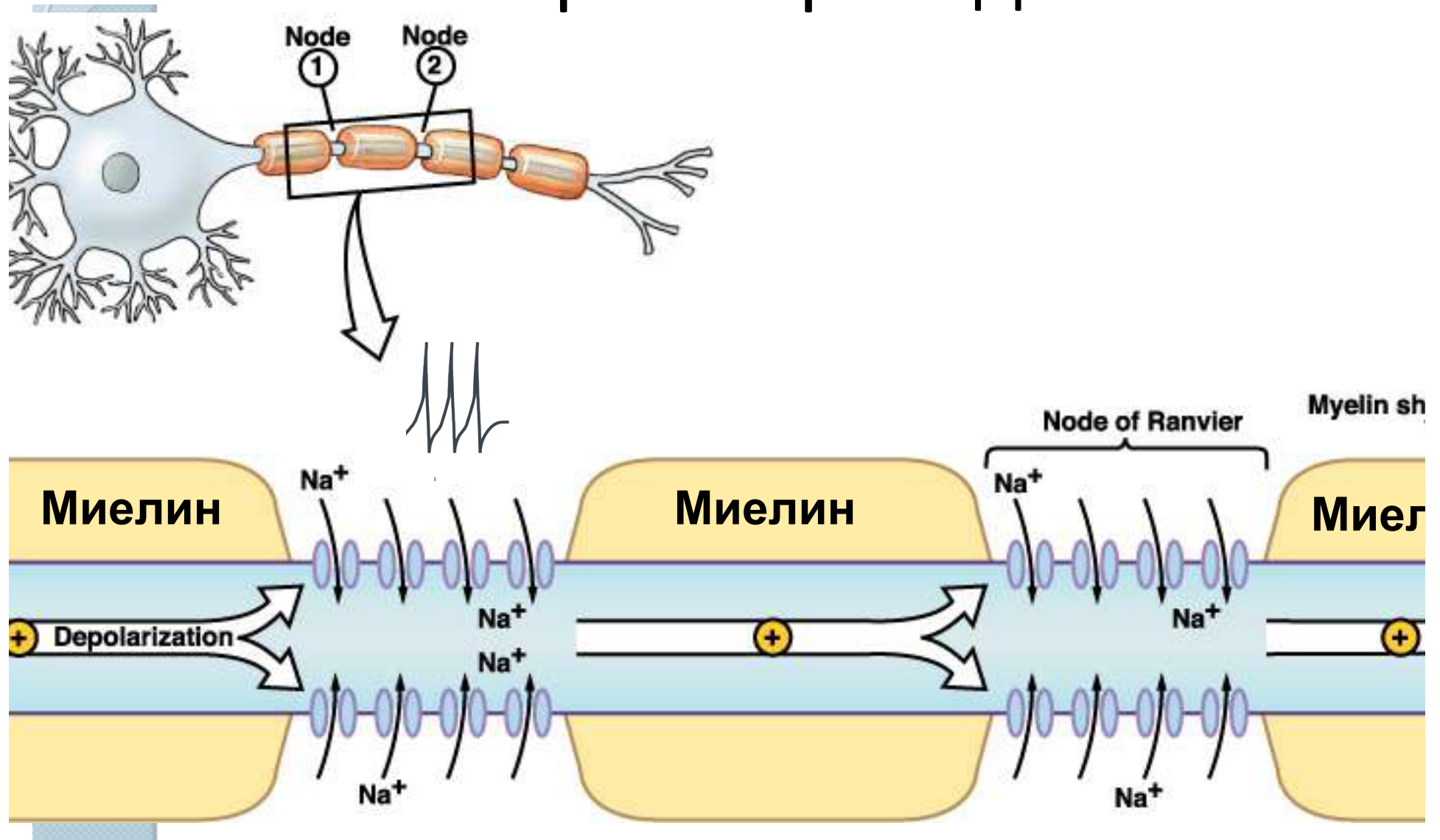


# Миелин аксонов



Олигодендроциты в Центральной НС или Шванновские клетки в Периферической НС формируют миелиновые оболочки закручиваясь в несколько слоев вокруг аксона

# Перехват Ранвье в аксонах и сальтаторное проведение



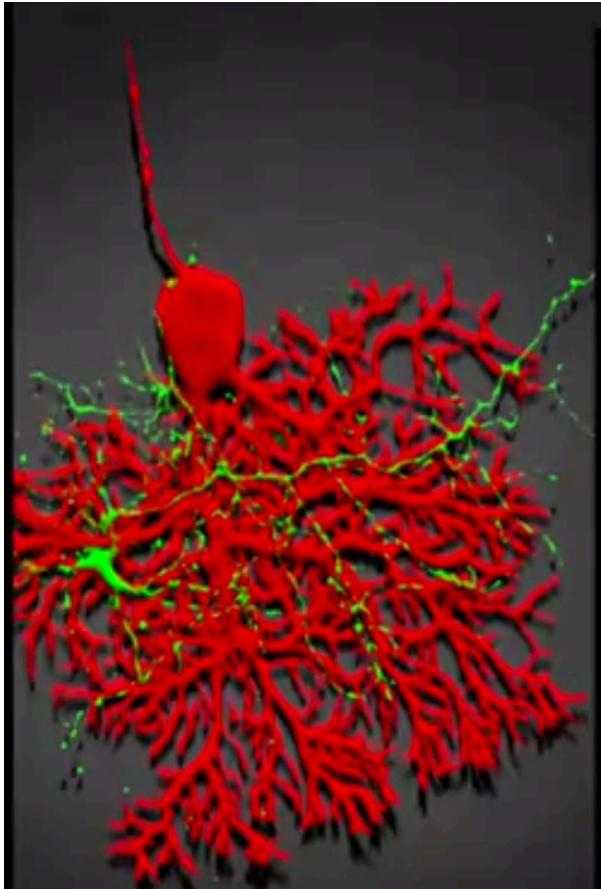
# На память

## Аксон в Центральной Нервной Системе

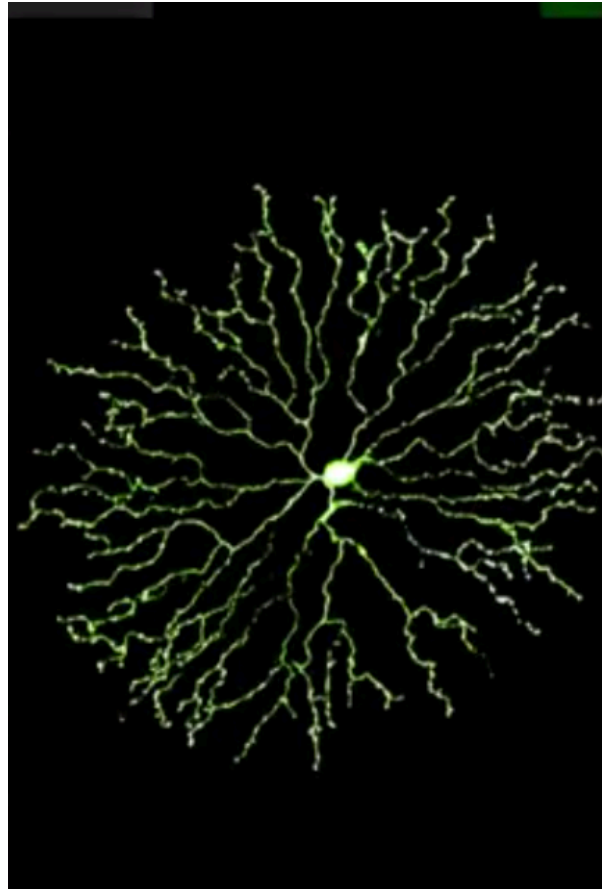
1. Одиночный, очень разветвленный, тонкий (мкм) отросток из сомы. Разветвляется локально, но может распространяться далеко (в сантиметры и даже на метры) от сомы
2. В начальном сегменте генерируются потенциалы действия (спайки), распространяющиеся вдоль аксона
3. Покрит миелином: изолирующей липидной оболочкой с маленькими промежутками (перехватами Ранвье) в которых находятся возбуждающие ионные каналы.
4. Заканчивается аксональными бутонами (пресинаптическими окончаниями) в которых находятся везикулы в нейромедиатором.

Аксон является устройством для передачи и выхода электрических сигналов. Он генерирует электрические импульсы, называемые потенциалами действия или спайками

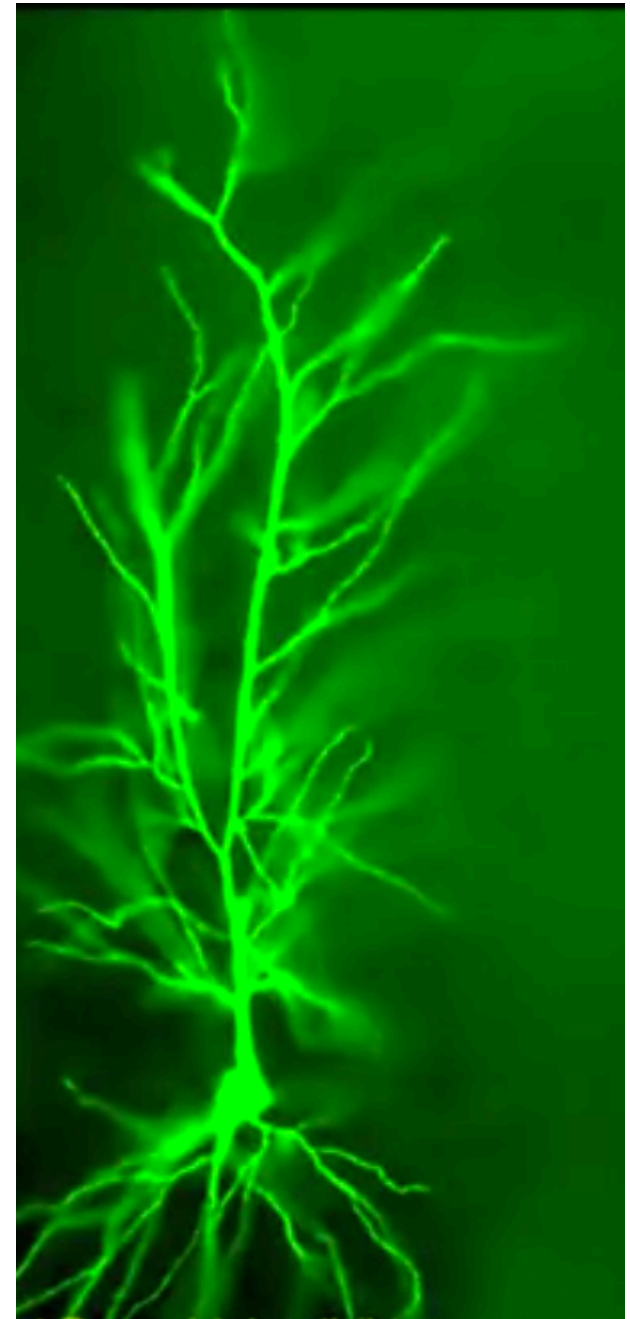
# Дендриты



Клетка Пуркинье  
(Мозжечек)

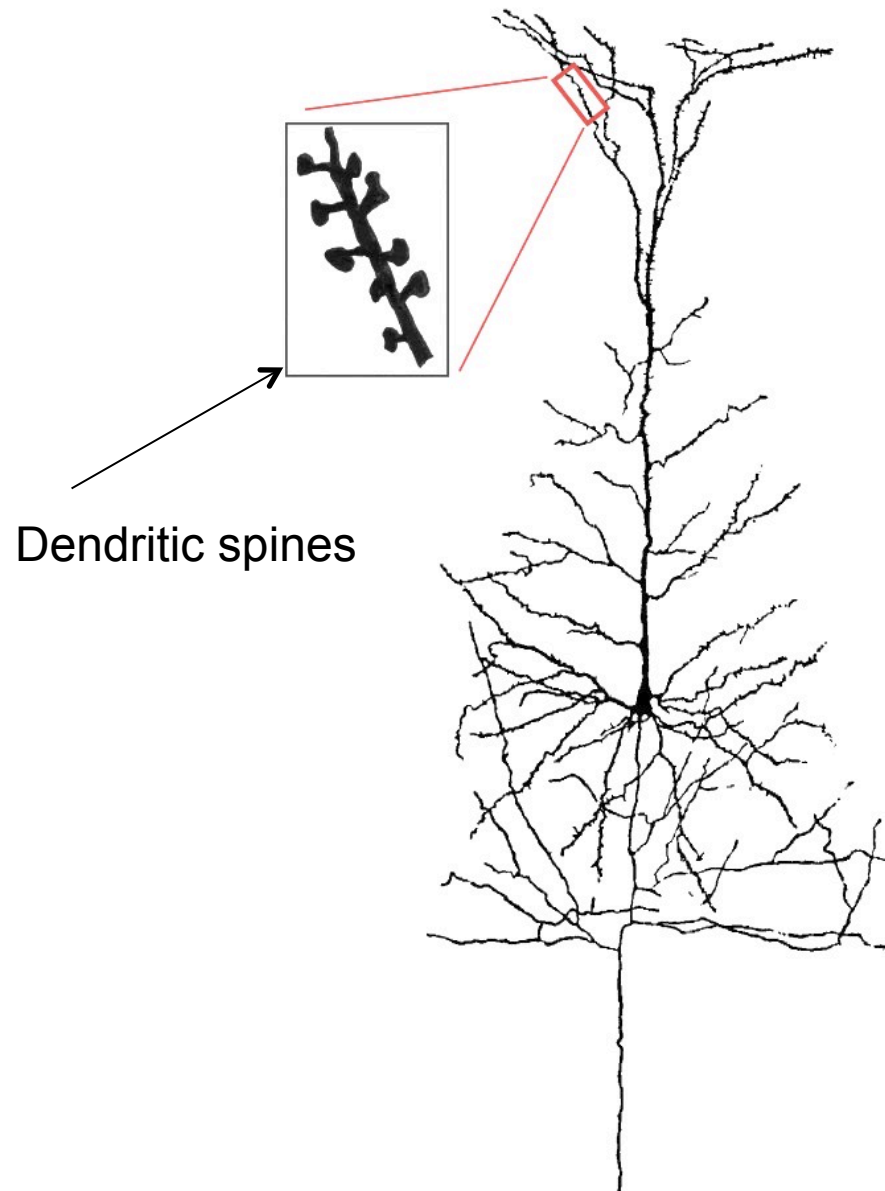


Амакринная клетка  
(Сетчатка)

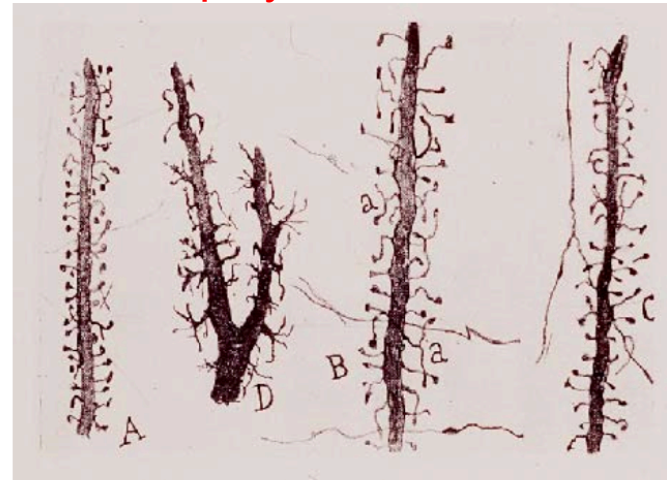


Пирамидная клетка  
(Гиппокамп)

## An example: The layer 5 cortical pyramidal cell (the “psychic” cell by Cajal)

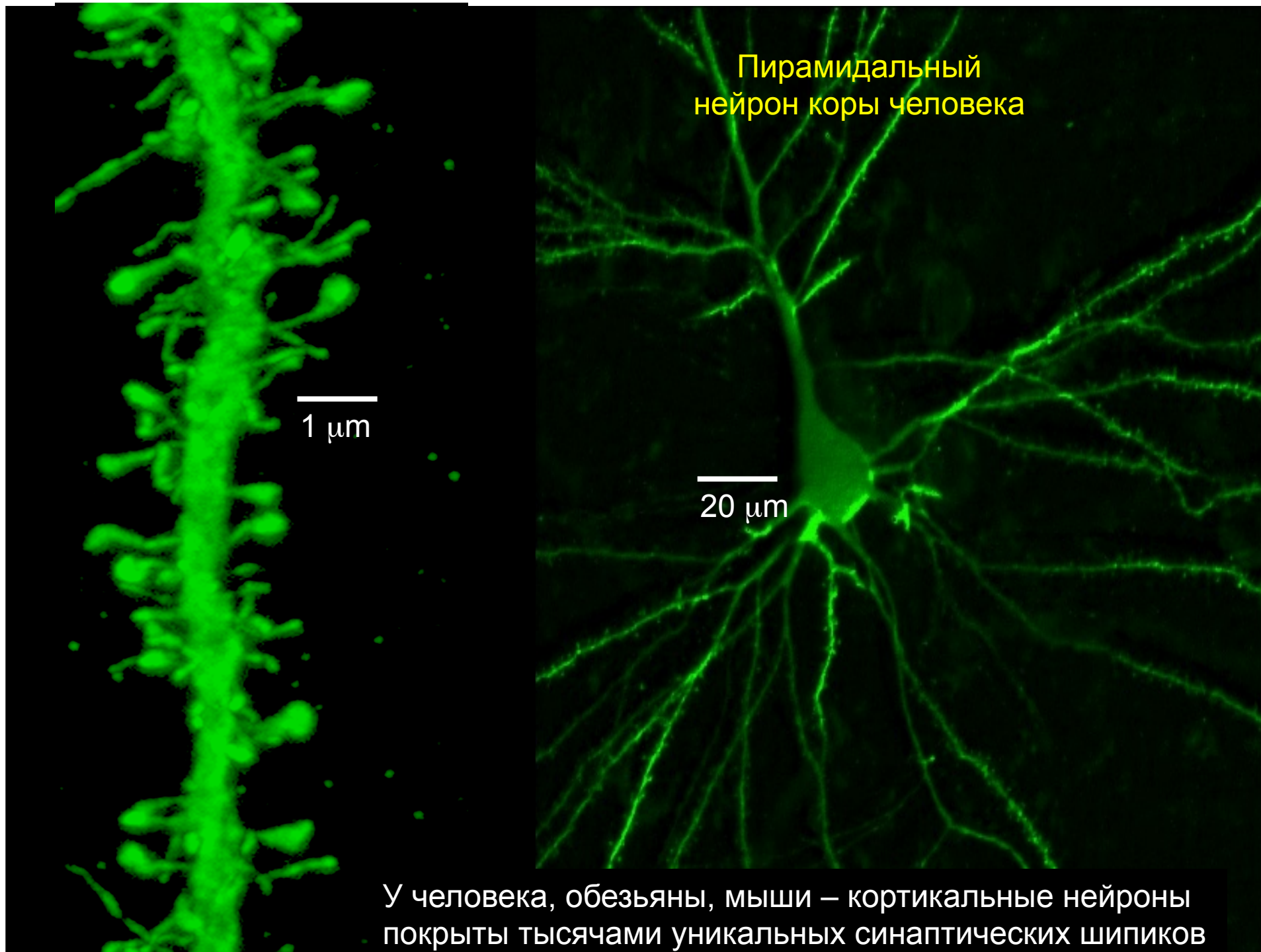


Dendrites with spines  
Spiny neurons



Обычно 5-10 тыс, но м.б. о 200 тыс  
синаптических входов на клетку  
(клетки Пуркинье)

- Примерно 60% площади нейронов – дендриты
- Площадь шипика  $1 \text{ мкм}^2$
- Общая площадь шипиков в нейроне  $20\,000 \text{ мкм}^2$

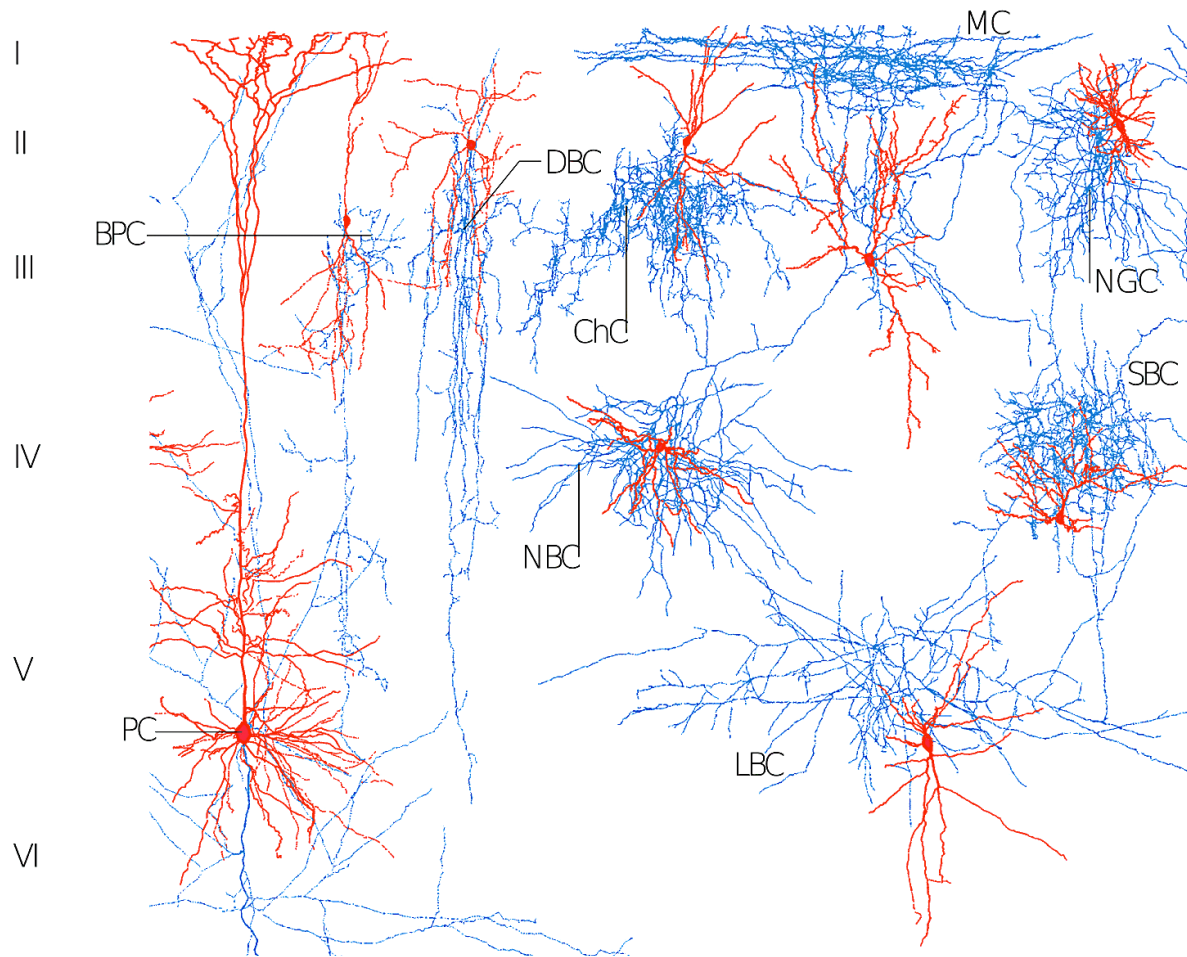




# Классификация нейронов

- По **анатомическим** свойствам (дендриты и аксоны)
- По **функциональным** свойствам (**Возбуждающие** или **Тормозные**)
- По характеру электрической активности (**генерации спайков**)
- По химическим свойствам (**глутаматергические, ГАМК-эргические**)

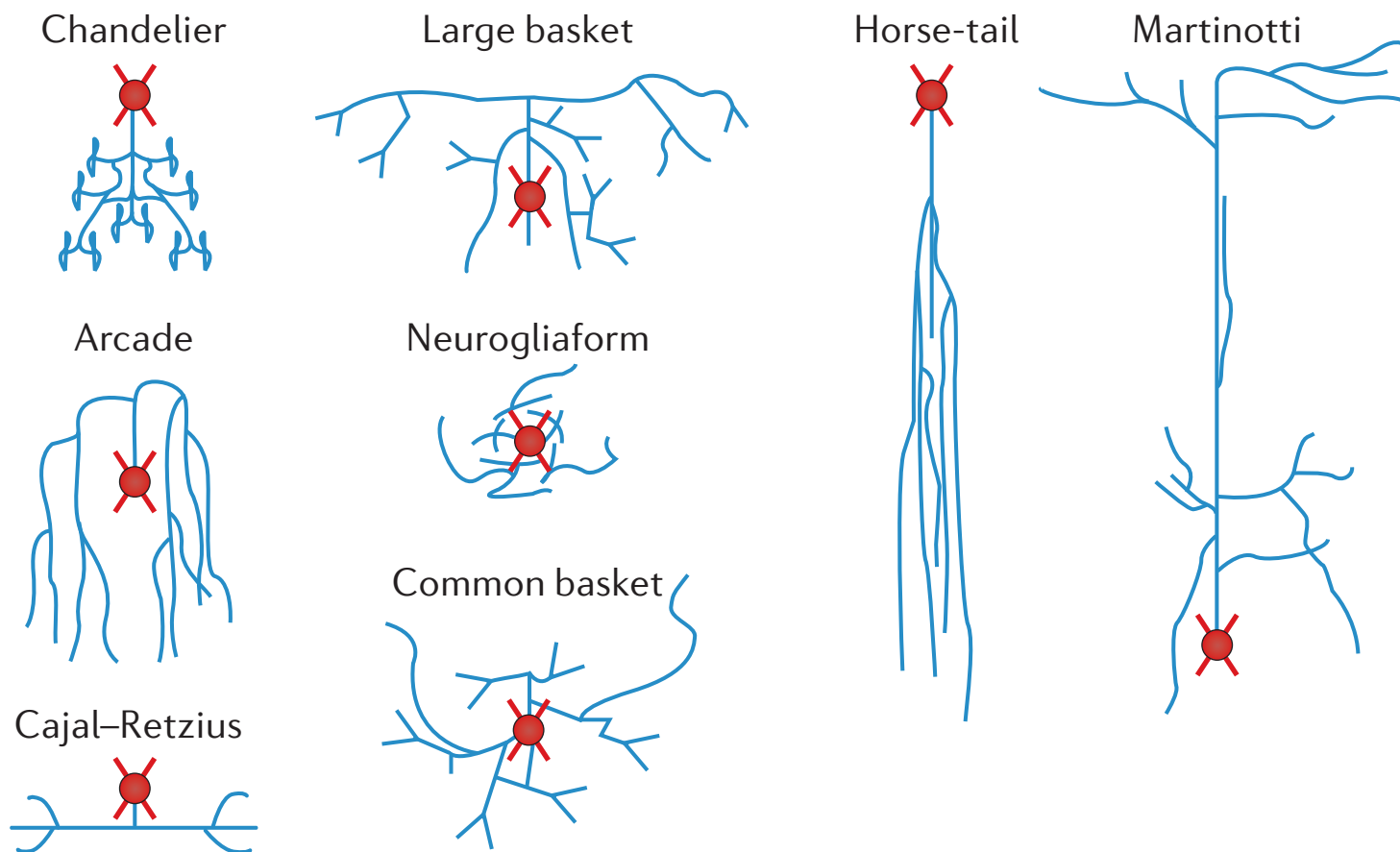
# Пирамидальные нейроны и интернейроны



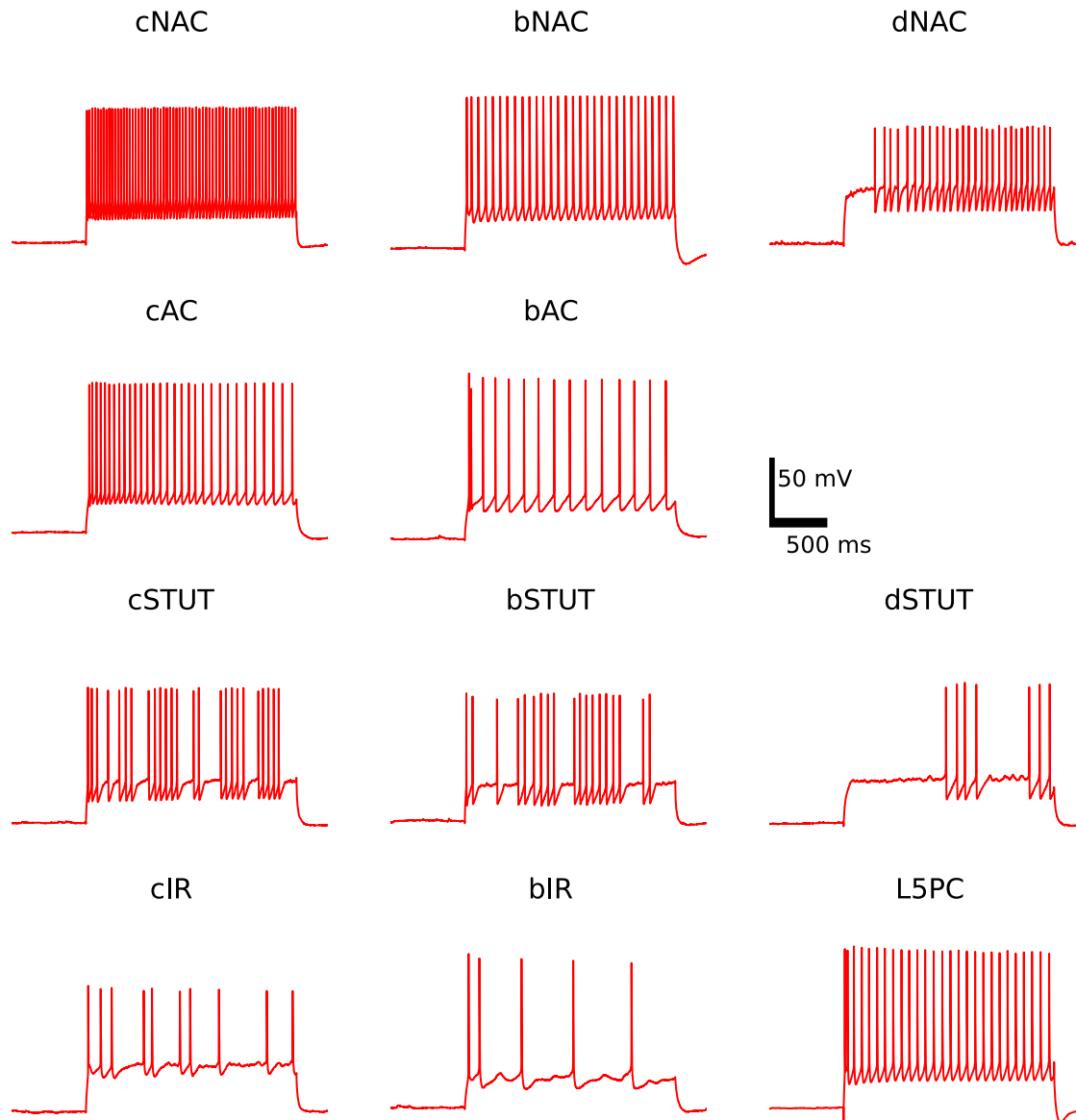
**Principal neurons**  
(excitatory) - axon projects  
to other brain regions

**Interneurons** (inhibitory) –  
local axonal projection

# Разнообразие аксо-дендритных разветвлений в интернейронах (морфометрическая классификация)

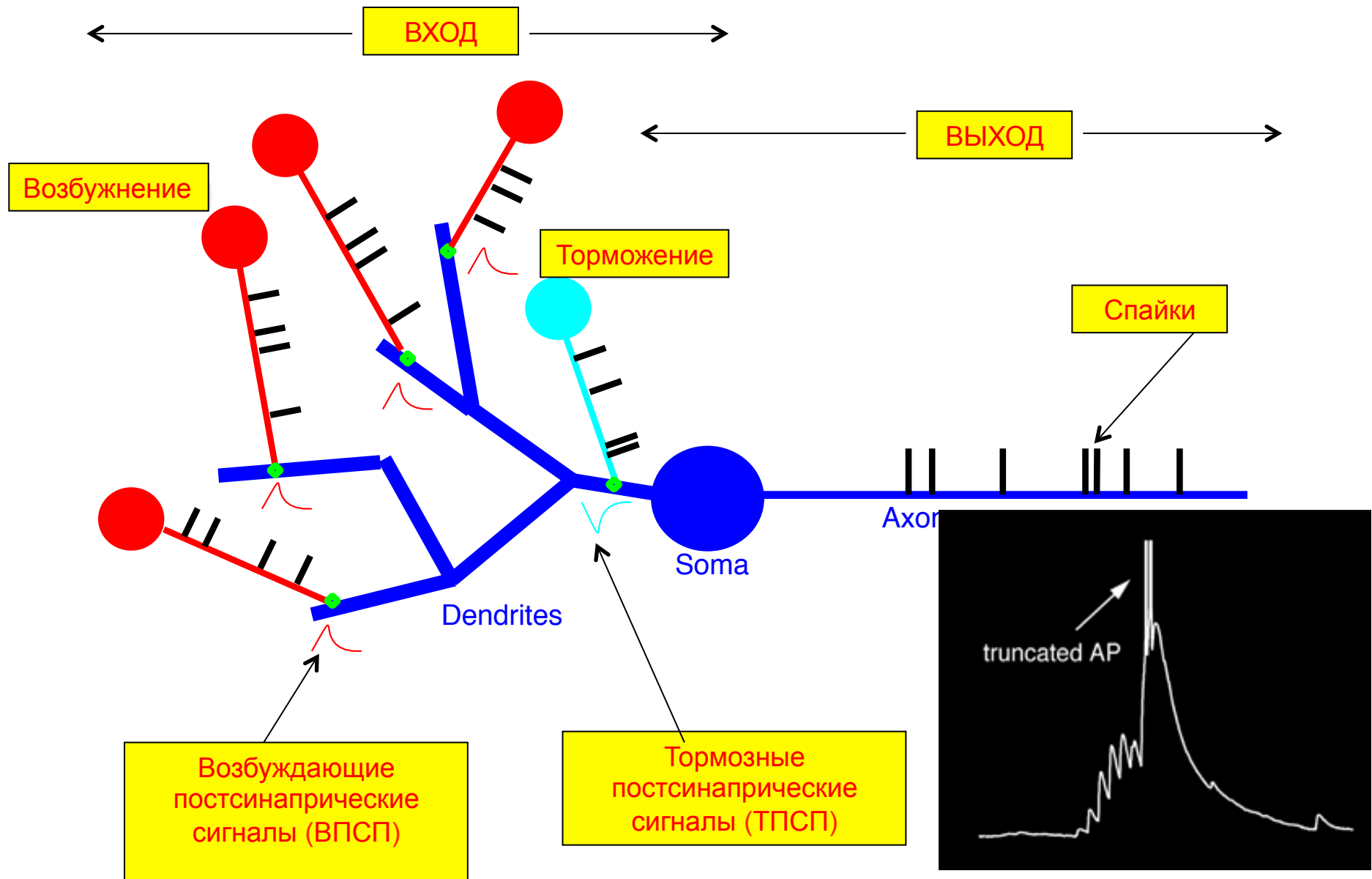


# Electrically-based neuron classification (based of spiking patterns)

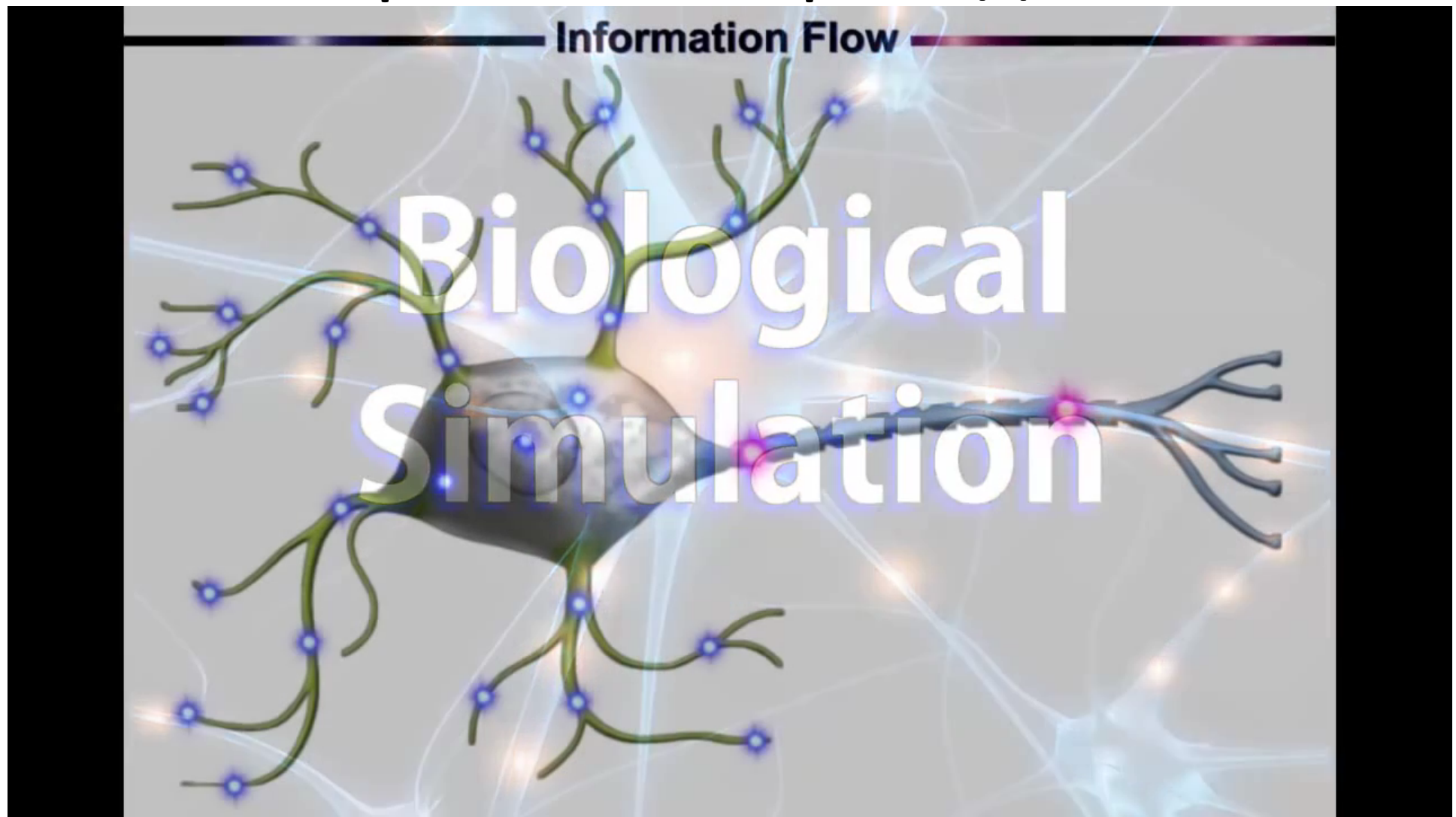


Courtesy of the Blue Brain data-base

# Нейроны являются «аналогово-цифровыми» преобразователями электрических сигналов



# Направление проведения



# На память

- Каждый нейрон имеет индивидуальную анатомию (морфология), связи и электрические свойства
- Дендриты и сома воспринимают и интегрируют градуальные сигналы, а аксоны генерируют потенциалы действия одинаковой амплитуды, но разной частоты.
- Нейроны – аналогово-цифровые преобразователи

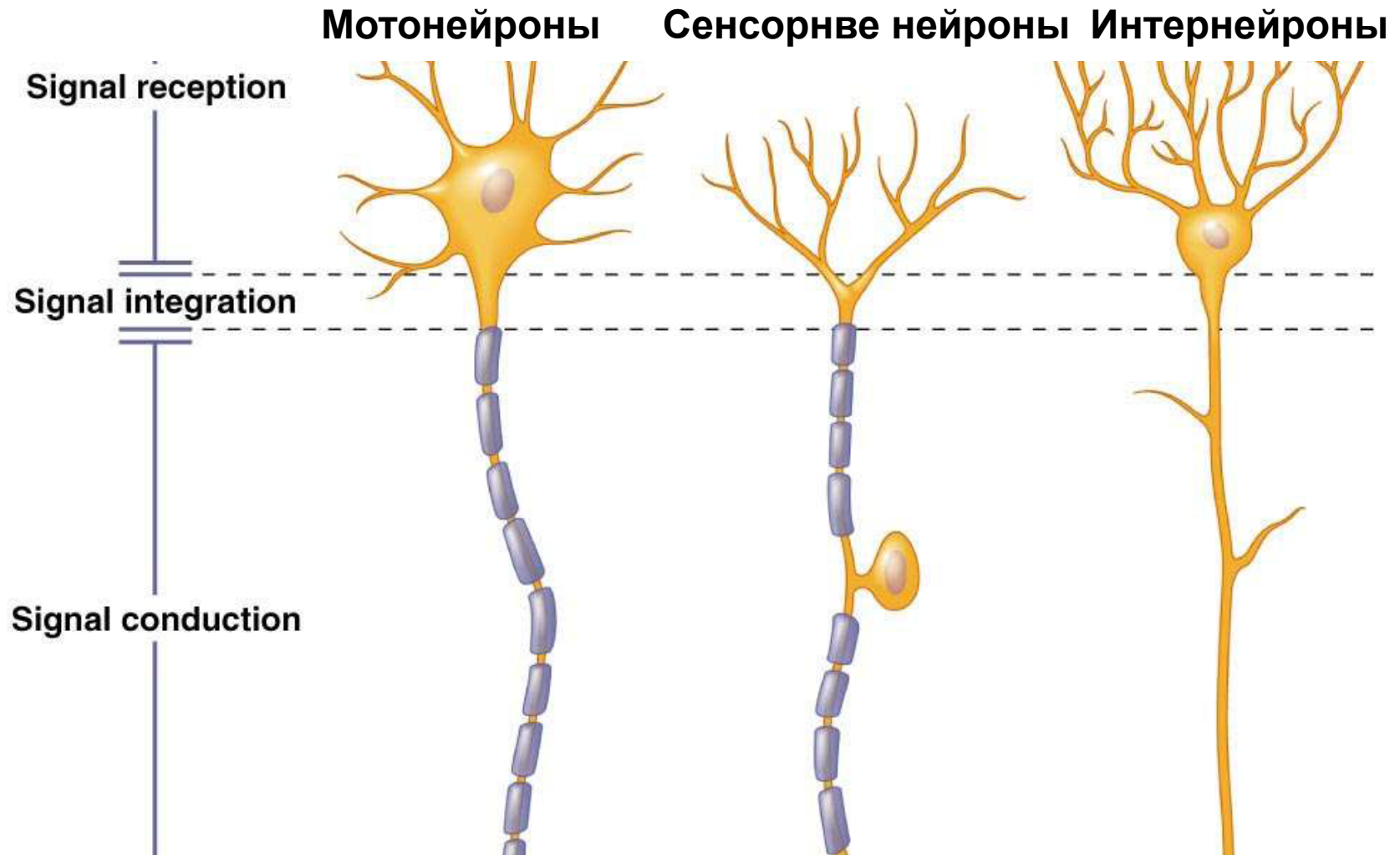
# На память

- Каждый нейрон имеет индивидуальную анатомию (морфология), связи и электрические свойства
- Дендриты и сома воспринимают и интегрируют градуальные сигналы, а аксоны генерируют потенциалы действия одинаковой амплитуды, но разной частоты.
- Нейроны – аналогово-цифровые преобразователи



- Дендриты – прием информации
- Сoma – интеграция информации
- Аксоны – передача информации
- Окончания аксонов – выброс нейромедиатора

# На память



# Основные типы нейронов

- Нейроны позвоночных:
  - **Сенсорные нейроны** (афферентные нейроны)
    - передача импульсов к ЦНС
  - **Мотонейроны** (эфферентные нейроны) –  
передача импульсов от ЦНС к эффекторам  
(мышцам и железам)
  - **Интернейроны** (ассоциативные нейроны)  
обеспечивают более сложные рефлекторные и  
ассоциативные функции (обучение и память)