


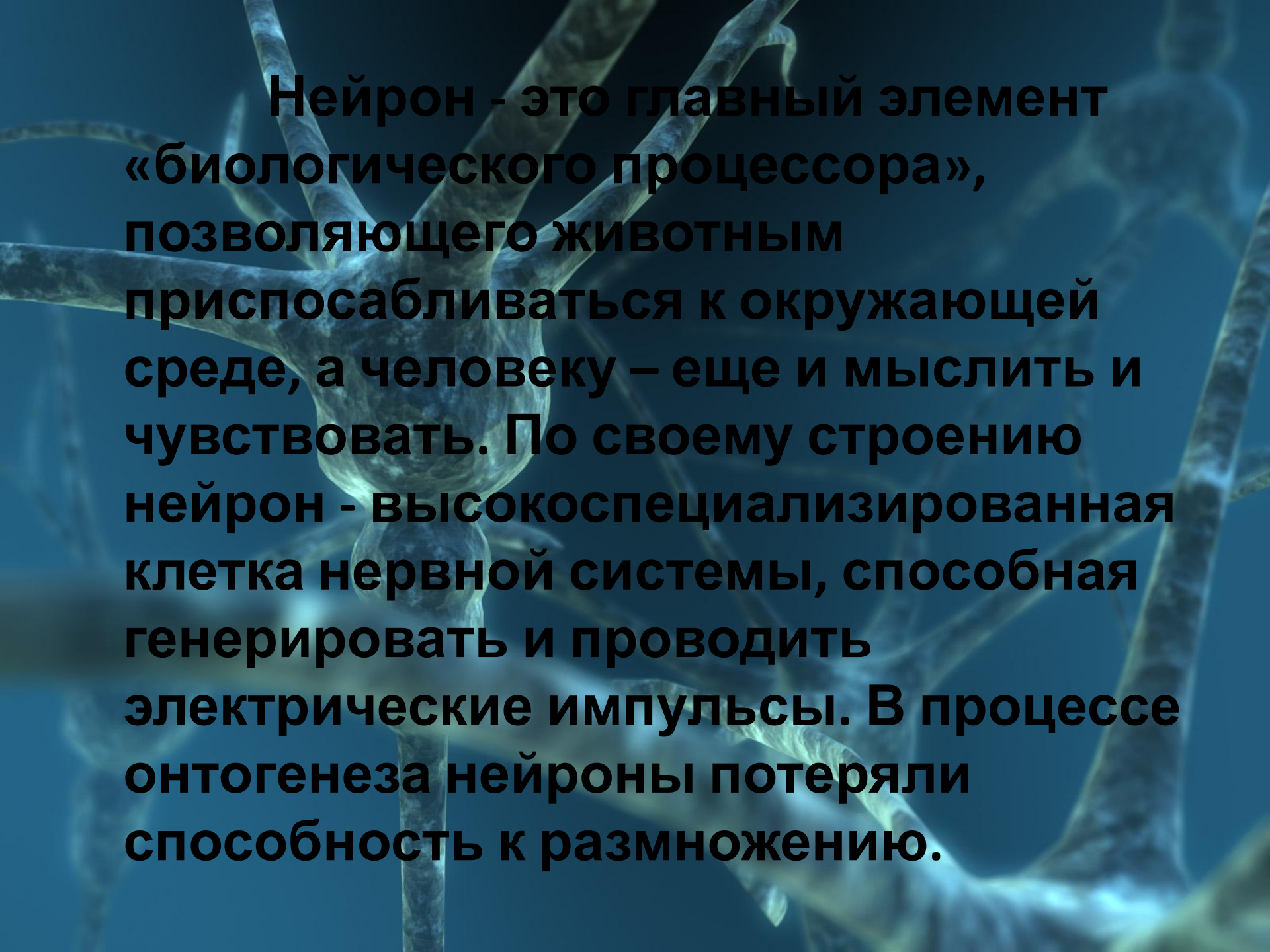
ФУНКЦИОНАЛЬЯ СХЕМА НЕЙРОНА



Нейрон. Его строение и функции

§ 1. Размер и форма

A 3D rendering of a neural network. The nodes are represented as multi-lobed, star-like structures with a textured, almost crystalline appearance. They are interconnected by a dense web of thin, glowing lines. The color palette is dominated by deep purples and magentas, with bright red and white highlights at the points where the connections meet the nodes, suggesting electrical activity or signal transmission. The background is dark, making the glowing network stand out prominently.



Нейрон - это главный элемент «биологического процессора», позволяющего животным приспособливаться к окружающей среде, а человеку – еще и мыслить и чувствовать. По своему строению нейрон - высокоспециализированная клетка нервной системы, способная генерировать и проводить электрические импульсы. В процессе онтогенеза нейроны потеряли способность к размножению.

Как правило, нейрон имеет звездчатую форму, благодаря чему в нём различают тело (*сому*) и отростки (*аксон и дендриты*). Аксон у нейрона всегда один, хотя он может ветвиться, образуя два и более нервных окончания, а дендритов может быть достаточно много. По форме тела можно выделить звездчатые, шаровидные, веретенообразные, пирамидные, грушевидные ит.д. Некоторые разновидности нейронов, отличающихся по форме тела, приведены на рис №1.

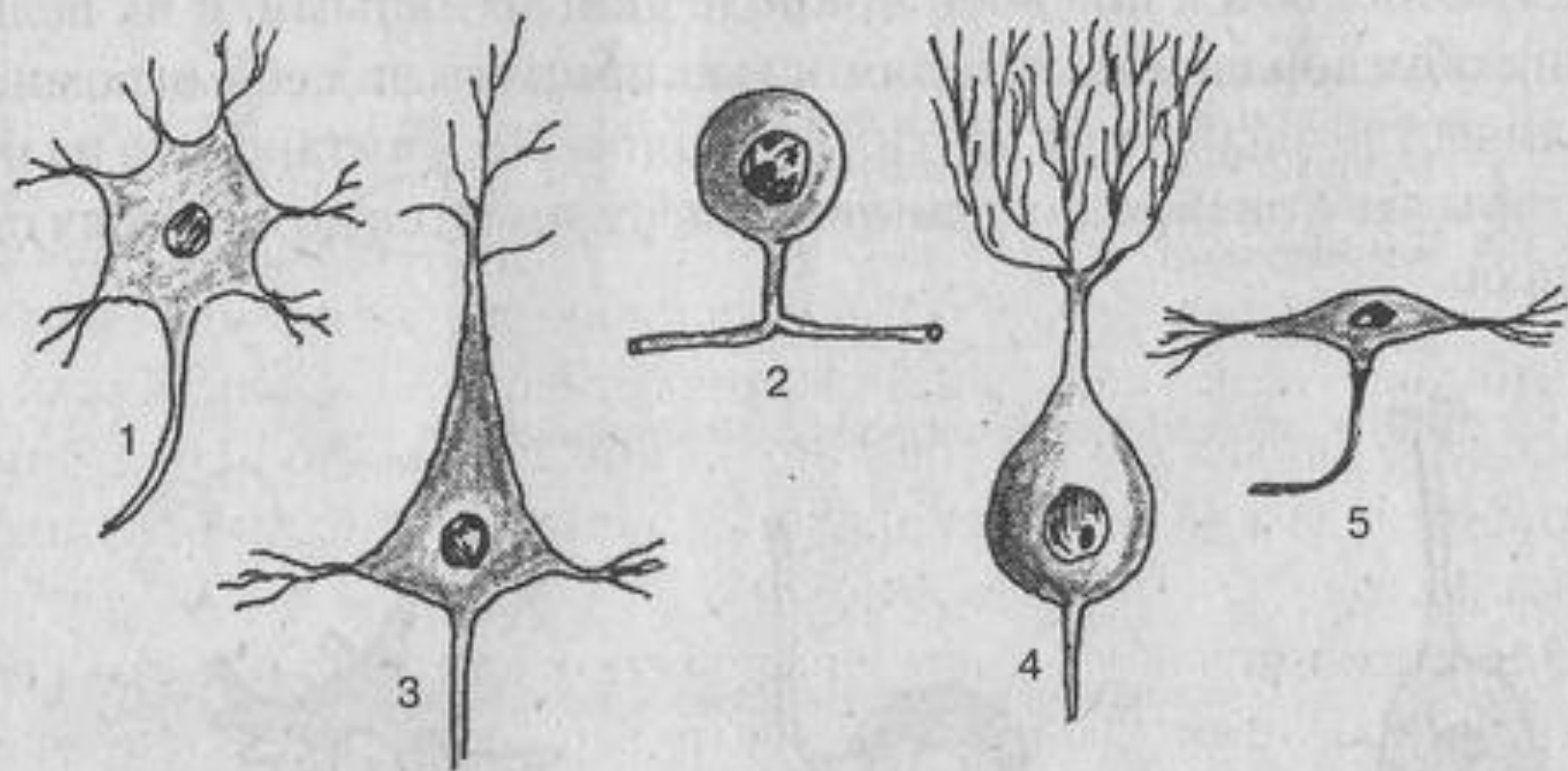
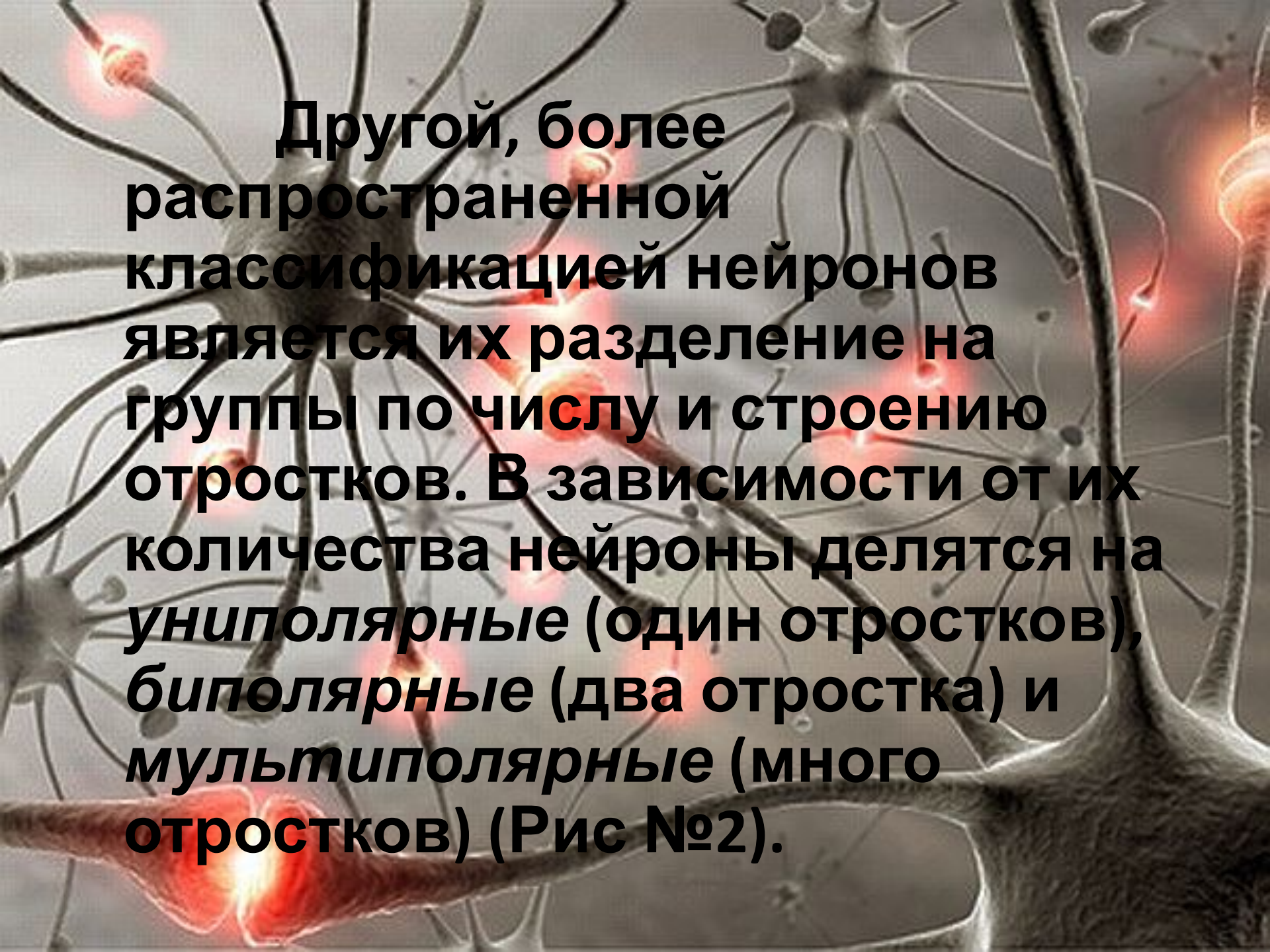


Рис. 4.5. Классификация нейронов по форме тела:

1 — звездчатые нейроны (мотонейроны спинного мозга); 2 — шаровидные нейроны (чувствительные нейроны спинномозговых узлов); 3 — пирамидные клетки (кора больших полушарий); 4 — грушевидные клетки (клетки Пуркинье мозжечка); 5 — веретенообразные клетки (кора больших полушарий)



Другой, более распространенной классификацией нейронов является их разделение на группы по числу и строению отростков. В зависимости от их количества нейроны делятся на *униполярные* (один отростков), *биполярные* (два отростка) и *мультиполярные* (много отростков) (Рис №2).

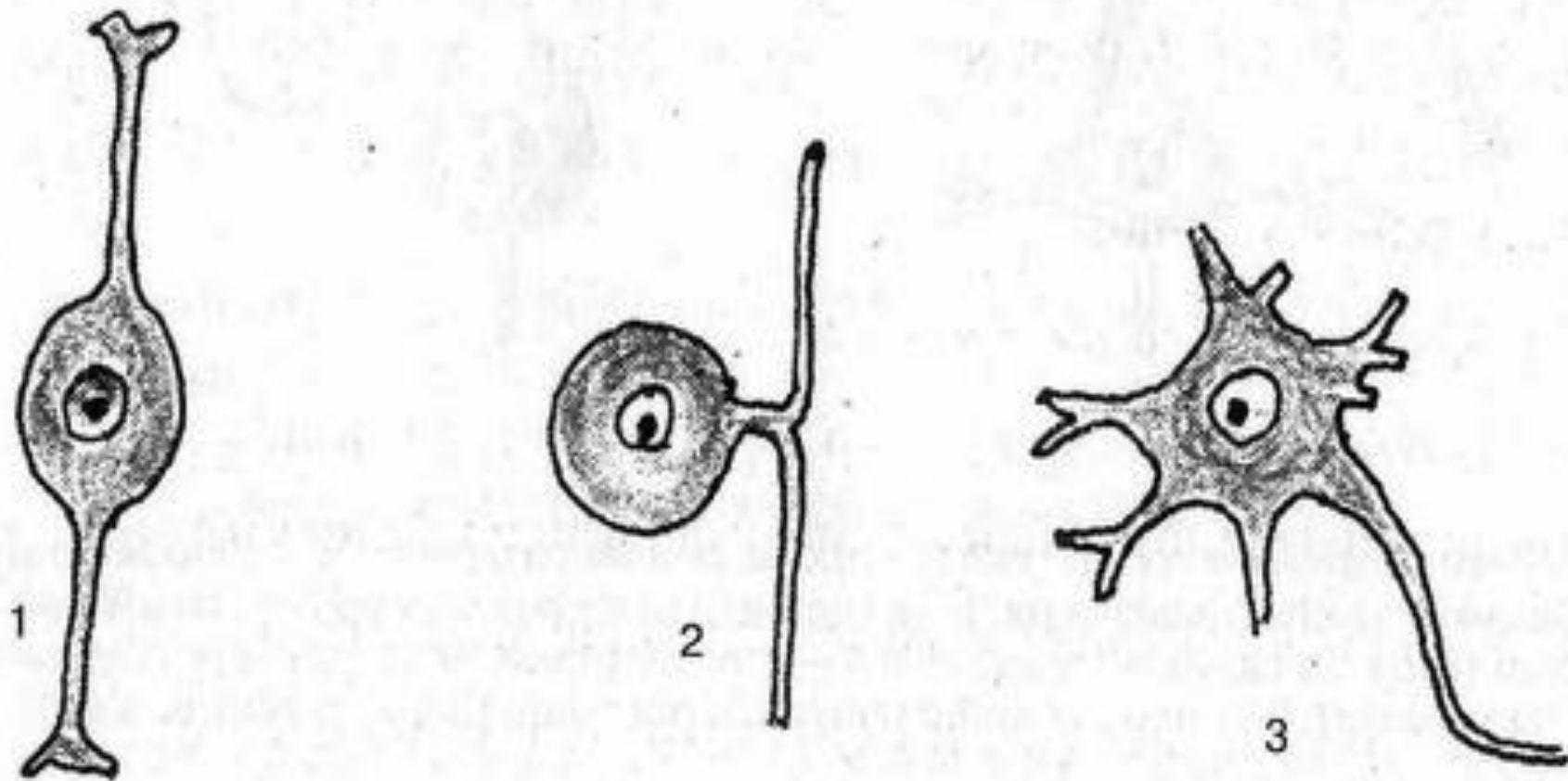


Рис. 4.6. Классификация нейронов по количеству отростков:
1 — биполярные нейроны; 2 — псевдоуниполярные нейроны;
3 — мультиполярные нейроны

Размеры нейронов колеблются от 5 до 120 мкм и составляют в среднем 10-30 мкм. Самыми большими нервными клетками человеческого тела являются мотонейроны спинного мозга и гигантские пирамиды Беца коры больших полушарий. И те и другие клетки являются по своей природе двигательными, и их величина обусловлена необходимостью принять на себя огромное количество аксонов от других нейронов. Подсчитано, что на некоторых мотонейронах спинного мозга имеется до десяти тысяч синапсов.

§2. Цвет нейронов

Цвет также разнообразен и может указывать на функцию клетки - например, нейроэндокринные клетки имеют белый цвет. Желтый, оранжевый, а иногда и коричневый цвет нейронов объясняется пигментами, которые содержатся в этих клетках. Размещение пигментов в клетке неравномерно, поэтому ее окраска различна по поверхности - наиболее окрашенные участки часто сосредоточены вблизи аксонного холмика. По-видимому, существует определенная взаимосвязь между функцией клетки, ее цветом и ее формой.



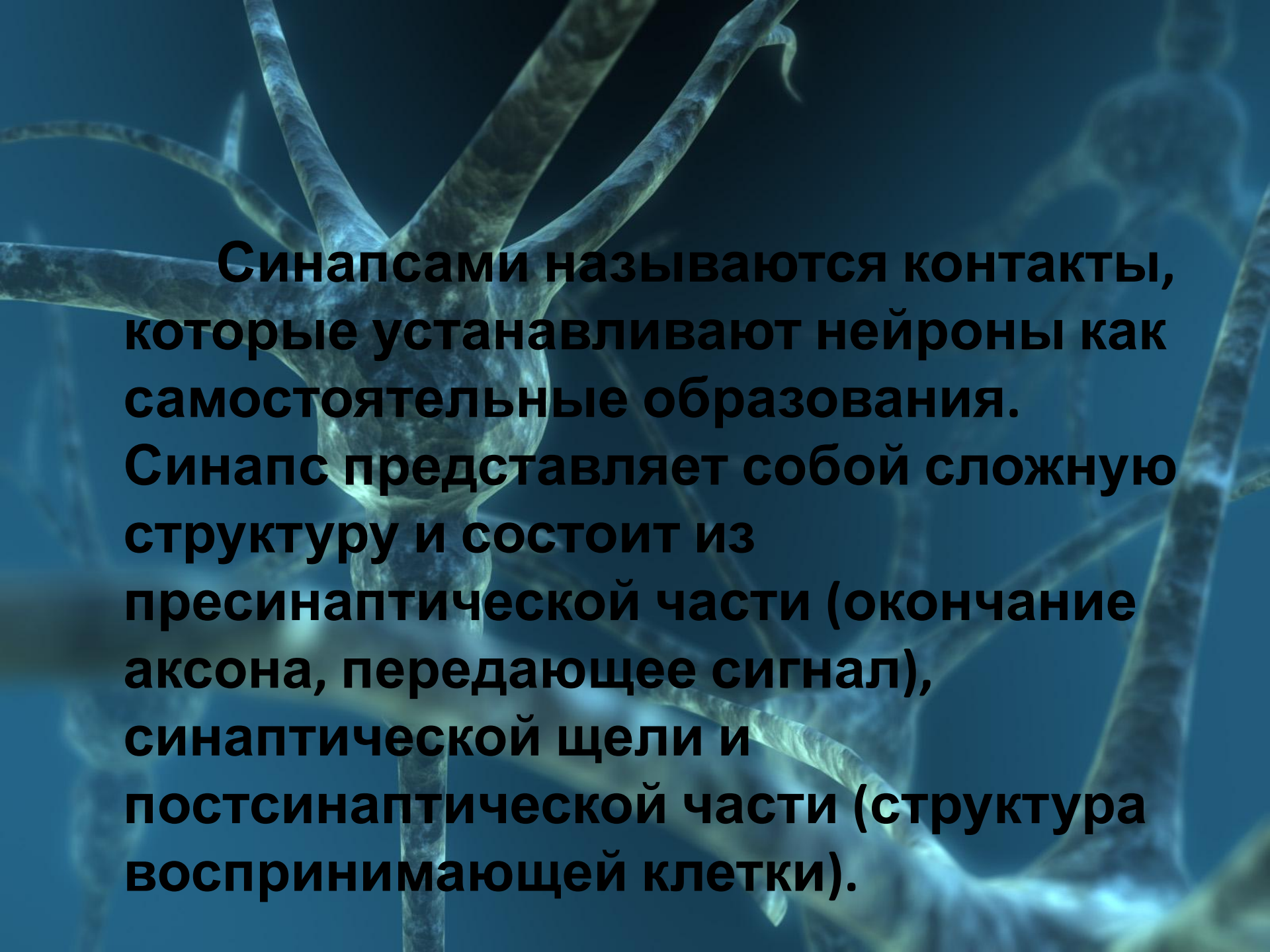
Тело клетки

§ 3. Синапсы

АКСОН

Дендриты


Синапс

A microscopic image of a neuron, showing a central cell body (soma) with several branching processes (dendrites and an axon) extending outwards. The neuron is stained in shades of blue and green, highlighting its complex structure. The background is dark, making the neuron stand out.

Синапсами называются контакты, которые устанавливают нейроны как самостоятельные образования. Синапс представляет собой сложную структуру и состоит из пресинаптической части (окончание аксона, передающее сигнал), синаптической щели и постсинаптической части (структура воспринимающей клетки).

Классификация синапсов

- По местоположению выделяют нервно-мышечные синапсы и нейронеурональные, последние в свою очередь делятся на аксосоматические, аксоаксональные, аксодендритические, дендросоматические.
- По характеру действия на воспринимающую структуру синапсы могут быть возбуждающими и тормозящими.
- По способу передачи сигнала синапсы делятся на электрические, химические, смешанные.

A microscopic image of several neurons. The cell bodies (soma) are large and multipolar, with numerous branching processes (dendrites and axons) extending outwards. Some of the axons are highlighted with a bright yellow-orange glow, suggesting electrical activity or a specific focus of the study. The background is dark and slightly blurred, emphasizing the structure of the neurons.

§ 4

Электрическая возбудимость

Все функции, свойственные нервной системе, связаны с наличием у нервных клеток структурных и функциональных особенностей, обеспечивающих возможность генерации под влиянием внешнего воздействия особого сигнального процесса — нервного импульса, основными свойствами которого являются незатухающее распространение вдоль клетки, возможность передачи сигнала в необходимом направлении и воздействие с его помощью на другие клетки.

Способность к генерации нервной клеткой распространяющегося нервного импульса определяется особым молекулярным устройством поверхностной мембраны, позволяющим воспринимать изменения проходящего через нее электрического поля, изменять практически мгновенно свою ионную проводимость и создавать за счет этого трансмембранный ионный ток, используя в качестве движущей силы постоянно существующие между вне- и внутриклеточной средой ионные градиенты.

Этот комплекс процессов, объединяемых под общим названием "механизмы электрической возбудимости", является основной функциональной характеристикой нервной клетки. Возможность приема и направленного распространения нервного импульса обеспечивается наличием у нервной клетки ветвящихся отростков, нередко простирающихся на значительные расстояния от ее сомы и обладающих в области своих окончаний механизмом передачи сигнала через межклеточную щель на последующие клетки.

Внешняя мембрана нейронов чувствительна к действию специальных веществ, которые выделяются из пресинаптической терминали — нейромедиаторы. В настоящее время идентифицировано около 100 веществ, которые выполняют эту функцию. На внешней стороне мембраны расположены особые белковые молекулы-рецепторы, которые взаимодействуют с нейромедиаторами. В результате происходит открытие каналов специфической ионной проницаемости — только определенные ионы могут массированно проходить в клетку после действия медиатора. Развивается локальная деполяризация или гиперполяризация мембраны, которая называется постсинаптическим потенциалом (ПСП). ПСП могут быть возбуждающими (ВПСП) и тормозными (ТПСП). Суммация отдельных ВПСП и ТПС нейрона определяют потенциал его мембраны — МП. Амплитуда ПСП может достигать 20 мВ.



§ 5 Шейсмеркер

Один из удивительных видов электрической активности нейронов, регистрируемой внутриклеточным микроэлектродом, - это **пейсмекерные потенциалы**. А Арванитаки и И. Халазонитис впервые описали осциллирующие потенциалы нервной клетки, не связанные с поступлением к ней синаптических влияний. Эти колебания в ряде случаев могут приобретать такой размах, что превышают критический уровень потенциала необходимого для активации механизма электрической возбудимости. Наличие в some клетки таких волн мембранного потенциала было обнаружено на нейронах моллюсков. Они были расценены как проявление спонтанной, или ауторитмической, активности, имеющей эндогенное происхождение.

Аналогичные ритмические колебания были затем описаны и во многих других типах нейронов. Способность к длительной ритмической активности сохраняется у некоторых клеток в течение длительного времени после полного их выделения. Следовательно, в её основе действительно лежат эндогенные процессы, приводящие к периодическому изменению ионной проницаемости поверхностной мембраны.

Важную роль играют изменения ионной проницаемости мембраны под действием некоторых цитоплазматических факторов, например системы обмена циклических нуклеотидов. Изменения активности этой системы при действии на соматическую мембрану некоторых гормонов или других внесинаптических химических влияний могут модулировать ритмическую активность клетки (эндогенная модуляция).

- Запускать генерацию колебаний мембранного потенциала могут синаптические и внесинаптические влияния.

Л. Тауц и Г. М. Тершенфельд обнаружили, что соматическая мембрана нейронов моллюсков, не имеющая на своей поверхности синаптических окончаний, обладает высокой чувствительностью к медиаторным веществам и, следовательно, имеет молекулярные хемоправляемые структуры, свойственные постсинаптической мембране. Наличие внесинаптической рецепции показывает возможность модуляции пейсмекерной активности диффузным действием выделяющихся медиаторных веществ (лат. *diffusio* распространение, растекание).

Служившаяся концепция о двух типах мембранных структур - электровозбудимой и электроневозбудимой, но химически возбудимой - заложила основу представлений о нейроне как пороговом устройстве, обладающем свойством суммации возбуждающих и тормозных синаптических потенциалов. Принципиально новое, что вносит эндогенный пейсмекерный потенциал в функционирование нейрона, заключается в следующем: **пейсмекерный потенциал превращает нейрон из сумматора синаптических потенциалов в генератор.** Представление о нейроне как управляемом генераторе заставляет по-новому взглянуть на организацию многих функций нейрона.

- Пейсмекерными потенциалами в собственном смысле этого слова называют близкие к синусоидальным колебания частотой 0,1-10 Гц и амплитудой 5-10 мВ. Именно эта категория эндогенных потенциалов, связанных с активным транспортом ионов, образует механизм внутреннего генератора нейрона, обеспечивающего периодическое достижение порога генерации ПД в отсутствие внешнего источника возбуждения. В самом общем виде нейрон состоит из электровозбудимой мембраны, химически возбудимой мембраны и локуса генерации пейсмекерной активности. Именно пейсмекерный потенциал, взаимодействующий с хемовозбудимой и электровозбудимой мембраной, делает нейрон устройством со «встроенным» управляемым генератором .

Если локальный потенциал является частным случаем механизма генерации ПД, то пейсмекерный потенциал принадлежит к особому классу потенциалов - **электрогенному эффекту активного транспорта ионов**. Особенности ионных механизмов электрической возбудимости соматической мембраны лежат в основе важных свойств нервной клетки, в первую очередь ее способности генерировать ритмические разряды нервных импульсов. Электрогенный эффект активного транспорта возникает в результате несбалансированного переноса ионов в разных направлениях. Широко известен гиперполяризационный постоянный потенциал как результат активного вывода ионов натрия, суммирующийся потенциалом Нернста [Ходоров, 1974]. Дополнительное включение активного насоса ионов натрия создает фазические медленные волны гиперполяризации (негативные отклонения от уровня мембранного потенциала покоя), обычно возникающие вслед за высокочастотной группой ПД, которая приводит к избыточному накоплению натрия в нейроне.

- Несомненно, что некоторые из компонентов механизма электрической возбудимости соматической мембраны, а именно электроуправляемые кальциевые каналы, вместе с тем являются фактором, сопрягающим мембранную активность с цитоплазматическими процессами, в частности с процессами протоплазматического транспорта и нервной трофики. Детальное выяснение этого важного вопроса требует дальнейшего экспериментального изучения.

Пейсмекерный механизм, являясь эндогенным по происхождению, может активироваться и инактивироваться (частичная или полная потеря биологически активным веществом или агентом своей активности.)на длительное время в результате афферентных воздействий на нейрон. Пластические реакции нейрона могут обеспечиваться изменениями эффективности синаптической передачи и возбудимости пейсмекерного механизма (Соколов, Тавкхелидзе, 1975).

Пейсмекерный потенциал является компактным способом передачи внутринейронной генетической информации. Приводя к генерации ПД, он обеспечивает возможность выхода эндогенных сигналов на другие нейроны, в том числе и эффекторные**, обеспечивающие реакцию. Тот факт, что генетическая программа включает звено управления пейсмекерным потенциалом, позволяет нейрону реализовывать последовательность своих генетических программ. Наконец, пейсмекерный потенциал в той или иной степени может подвергаться синаптическим влияниям. Этот путь позволяет интегрировать генетические программы с текущей активностью, обеспечивая гибкое управление последовательными программами. Пластические изменения пейсмекерного потенциала еще больше расширяют возможность приспособления наследственно фиксированных форм к потребностям организма. Пластические изменения развиваются в этом случае не в геноме, а на пути выхода наследственной программы на реализацию (на уровне генерации ПД).