

# **Закономерности и основные принципы распространения возбуждения и торможения в ЦНС. Координация в ЦНС**

Лекция № 6

1. Нервный центр и его свойства
2. Закономерности потенциала действия в НС
3. Закономерности проведения возбуждения по нервным волокнам
4. Торможение в НС
5. Интегративная деятельность ЦНС
6. Принципы координационной деятельности ЦНС

# 1. Нервный центр

**Нервный центр** - это совокупность нейронов, принимающих участие в осуществлении конкретного рефлекса (мигания, глотания, кашля и т. д.)

- функциональное объединение нейронов, расположенных на различных уровнях ЦНС
  - позволяет осуществлять наиболее адекватное для конкретных условий осуществления рефлекторной деятельности.

## Основные свойства НЦ:

1. *Одностороннее распространение возбуждения* - от рецептора к эффектору (синапсы).
2. *Замедленное проведение возбуждения* (синаптическая задержка) .
3. *Суммация возбуждений:*
  1. *временная или последовательная;*
  2. *пространственная или одновременная*

4. *Трансформация ритма возбуждения* - изменение количества импульсов возбуждения, выходящих из нервного центра, по сравнению с числом импульсов, приходящих к нему

- *понижающая трансформация* (суммация возбуждений - в ответ на несколько возбуждений, пришедших к нейрону, в нем возникает только одно возбуждение);
- *повышающая трансформация* (механизмы умножения (мультипликации) - резкое увеличение числа импульсов возбуждения).

5. *Рефлекторное последствие* - рефлекторная реакция заканчивается позже прекращения действия раздражителя:

- длительная следовая деполяризация мембраны нейрона,
  - пролонгирование выхода возбуждения к эффектору в результате циркуляции (реверберации) возбуждения в нейронной сети типа "нейронной ловушки»

6. Высокая чувствительностью к гипоксии
7. Высокой чувствительность к действию химических веществ, особенно ядов.
  - возможность управлять работой НЦ
8. Быстрая утомляемость
9. Низкая лабильность
10. Легко возникает процесс торможения.
11. Наличие тонического возбуждения (постоянные импульсы к рабочим органам).

12. **Низкая аккомодационная** способность (реагируют на раздражающие факторы, медленно нарастающие по силе).
13. **Пластичность** – способность изменять функциональное назначение и расширять свои функциональные возможности.
14. **Посттетаническая потенция** – усиление рефлекторного ответа после длительного ритмического раздражения нервного центра
  - обусловлено сохранением определенного уровня ВПСР на нейронах центра, что облегчает проведение последующих возбуждений через синапсы.



## **2. Закономерности распространения потенциала действия в НС**

**Закон «всё или ничего».**

**Закон силы–времени.**

**Закон аккомодации.**

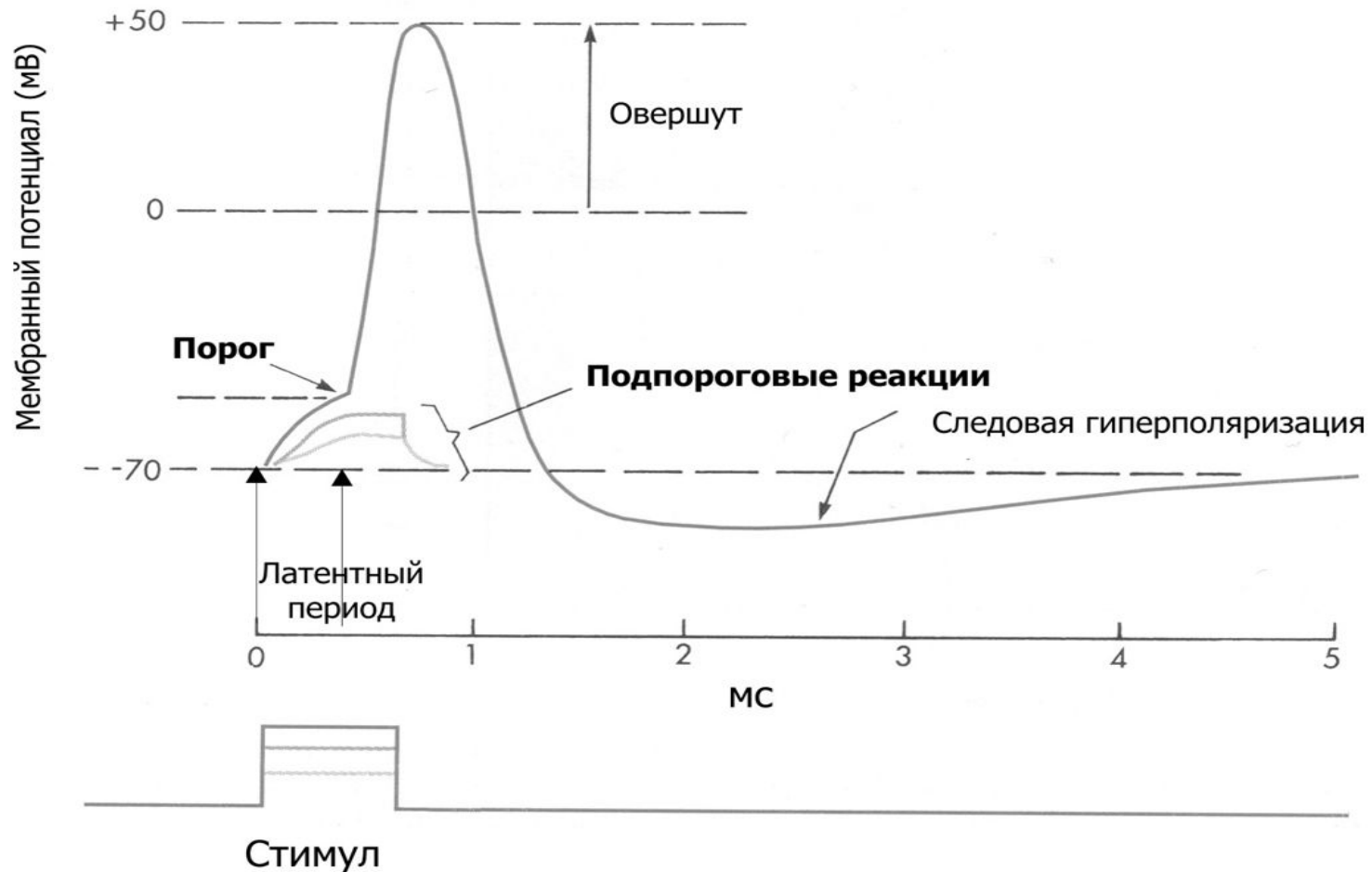
## **Закон «всё или ничего»**

При достижении пороговой силы раздражающего стимула дальнейшее увеличение его интенсивности или продолжительности раздражения не изменяет характеристик ПД нейрона.

Такая форма реакции нервной клетки на раздражение получила название «всё или ничего» (либо ПД возникает, либо нет)

# Мембранный потенциал и потенциал действия в нервной ткани

На отметке  $-70$  мВ — исходный уровень МП; значение порога показано стрелкой в левой части рисунка, приведены записи подпороговых изменений МП.



## Закон силы–времени

Эффект раздражителя на нервную клетку зависит не только от силы раздражителя, но и от времени, в течение которого он действует;

- чем больше сила тока, тем меньше времени он должен действовать, чтобы возник процесс возбуждения, и наоборот.

Соотношение силы и длительности действия раздражителя может быть выражено в виде **гиперболической кривой** - **кривой силы-времени**

## Кривая «силы–времени».

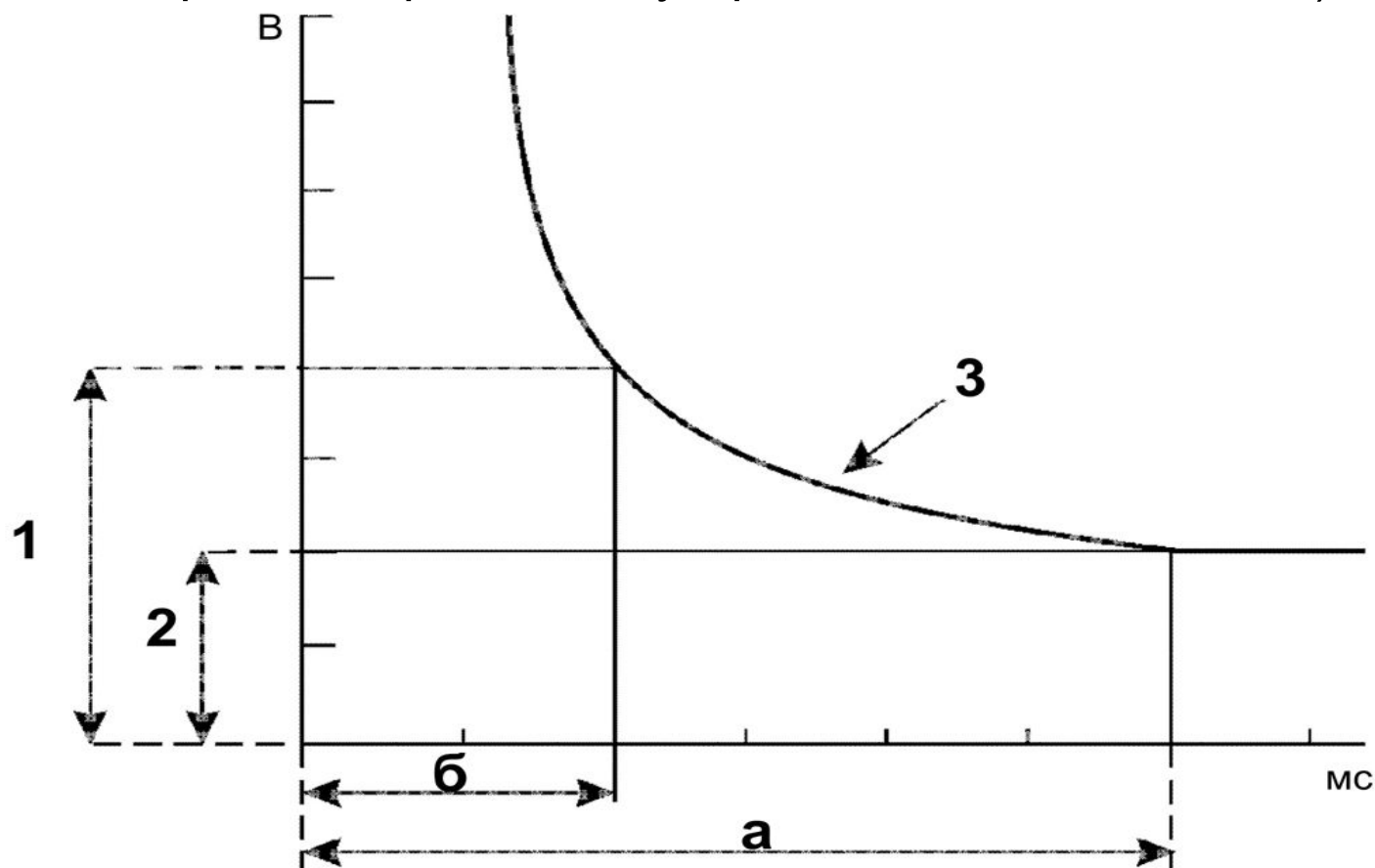
2 — **реобаза** (минимальная сила раздражителя, способная вызвать ПД);

1 — удвоенная реобаза; 3 — кривая «силы-времени»; а — **полезное время**

(минимальное время, в течение которого ток, равный одной реобазе,

вызывает генерацию ПД); б — **хронаксия** (минимальное время, в течение

которого ток, равный двум реобазам, вызывает ПД).



## Закон аккомодации.

Раздражающее действие тока зависит от скорости (крутизны) его нарастания во времени:

- чем быстрее это нарастание, тем сильнее выражено раздражающее действие тока
- при медленно нарастающей силе раздражителя генерации ПД не происходит, так как
  - возбудимая клетка «приспосабливается» к действию этого раздражителя, что и получило название **аккомодации**.

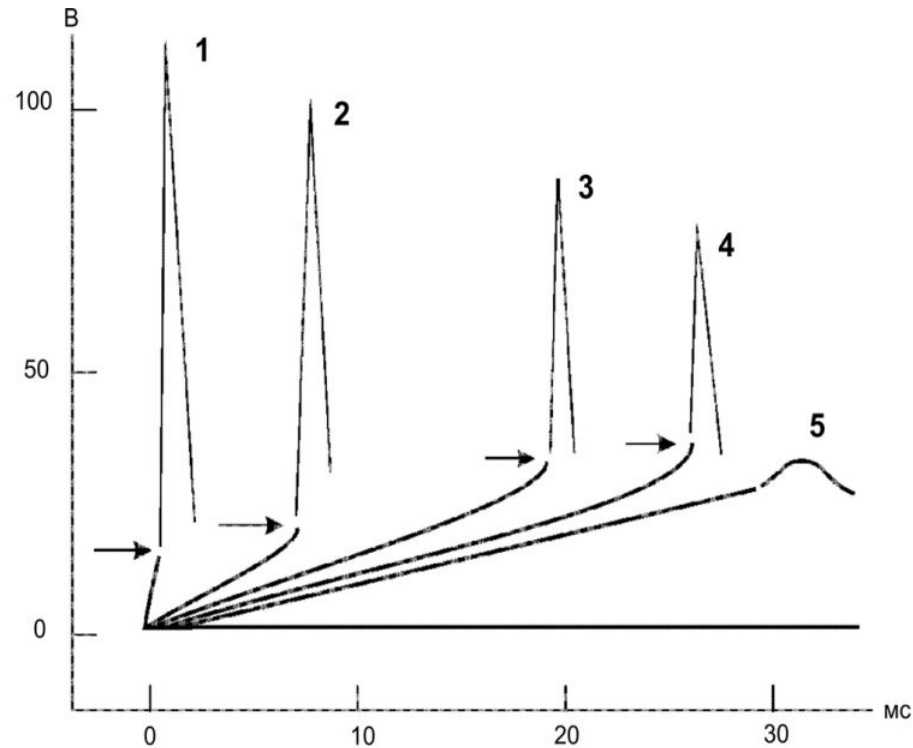
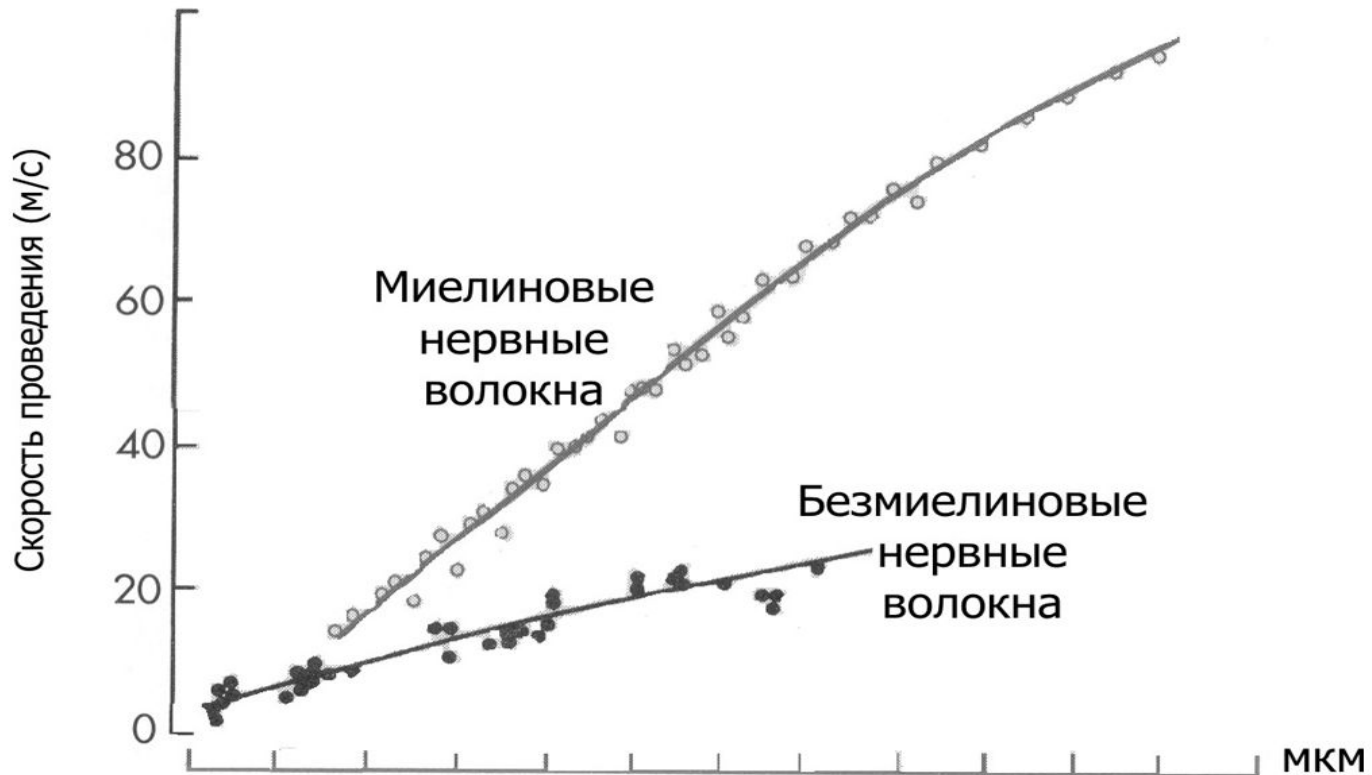


Рис. Изменение критического уровня деполяризации и амплитуды ПД (1-5) при раздражении нервной клетки линейно нарастающими токами различной крутизны

# 3. Закономерности проведения возбуждения по нервным волокнам

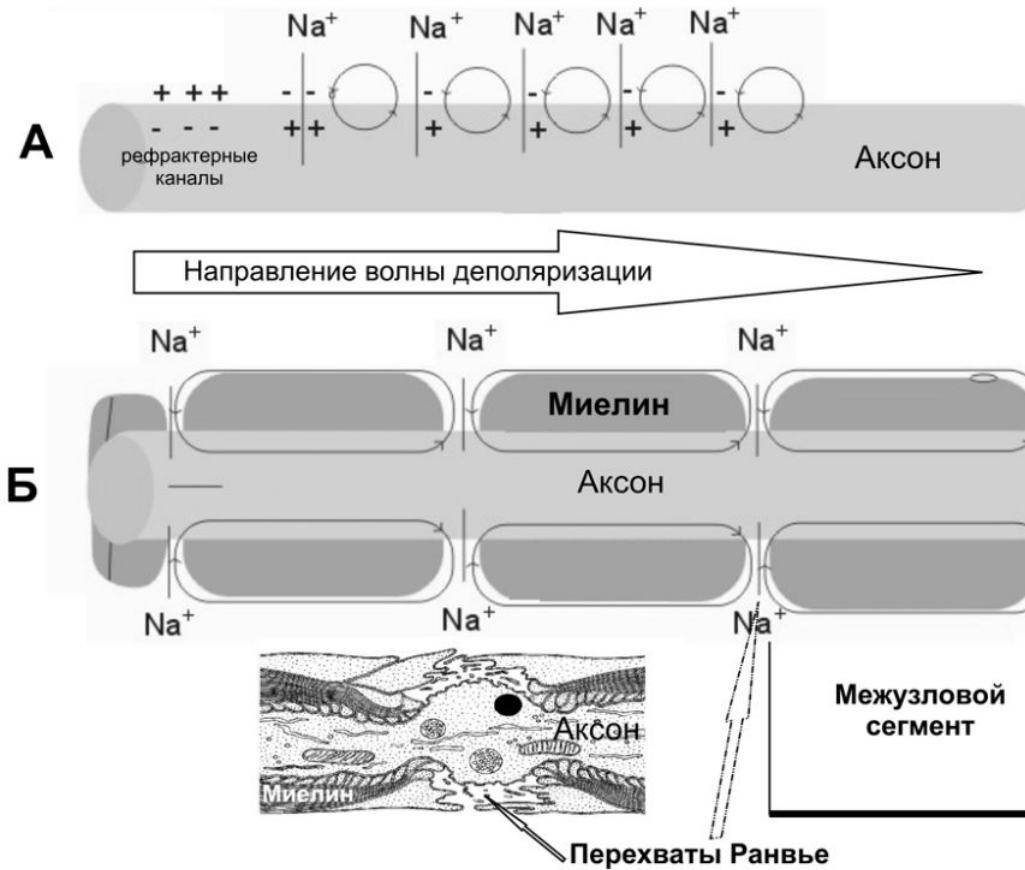
1. **Скорость** проведения ПД зависит от толщины и структуры нервного волокна
2. Структура нервного волокна определяет **характер проведения нервного импульса** - ПД
  1. **электротоническое**,
  2. **сальтаторное**
3. **Бездекрементное** проведение возбуждения по НВ
4. **Изолированное** проведение возбуждения по НВ в пучке
5. **Физиологическая и анатомическая целостность** нервного волокна – абсолютно необходимое условие проведения нервного импульса

Скорость проведения пропорциональна диаметру нервного волокна и в миелиновых волокнах выше, чем в безмиелиновых.





# Электротоническое и сальтаторное проведение возбуждения в нервных волокнах



- А — безмиелиновое волокно (электротоническое проведение),
- Б — миелиновое волокно (сальтаторное/скачкообразное проведение). Миелин - электрический изолятор, а межклеточная жидкость в перехватах Ранвье — проводник

## **Бездекрементное проведение возбуждения**

- амплитуда ПД в различных участках нерва одинакова, т. е.
  - нет затухания в проведении возбуждения.

## **Изолированное проведение возбуждения**

- нервные стволы - пучки нервных волокон. ПД каждого из них не передаются на соседние вследствие:
  - 1)наличия оболочек у каждого нервного волокна,
  - 2)сопротивления межклеточной жидкости.

## **Физиологическая и анатомическая целостность нервного волокна**

- травмы и ЛС могут нарушать физиологическую целостность нервных волокон
  - напр., местные анестетики (новокаин, лидокаин, и др.) блокируют потенциалозависимые  $\text{Na}^+$ -каналы.

## 4. Синаптическое торможение в ЦНС

1863г.- И.М. Сеченов – явления подавления активности спинного мозга при раздражении структур среднего мозга

**Торможение** – влияние пресинаптического нейрона , предотвращающее или прекращающее возбуждение постсинаптического нейрона.

**Торможение** – активный процесс, результатом которого является прекращение или ослабление возбуждения.

# Общая характеристика торможения в ЦНС

## Роль торможения в ЦНС

- факторы **обеспечения координационной деятельности ЦНС** (судороги при недостаточности Т.),
- **охранительная роль** (недостаточность Т. – истощение медиатора и прекращение деятельности НС),
- **обработка информации**, выделение наиболее существенных сигналов, отсеивание менее значимой информации

## Классификация центрального торможения

Торможение в ЦНС можно классифицировать по различным признакам:

- по электрическому состоянию мембраны - деполяризационное и гиперполяризационное;
- по отношению к синапсу - пресинаптическое и постсинаптическое;
- по нейрональной организации - поступательное, латеральное (боковое), возвратное, реципрокное.

Как пре- так и постсинаптическое торможение могут реализовываться через ГАМК

ГАМК1-рецепторы локализованы на нейронах гиппокампа, мозжечка, гипоталамуса, коры большого мозга;

ГАМК2-рецепторы расположены на терминалях моноаминергических нервных волокон;

ГАМК-ергические интернейроны – основная масса тормозных нейронов ЦНС;

ГАМК – «сопровождает» глутамат, ограничивая его возбуждающее д-е

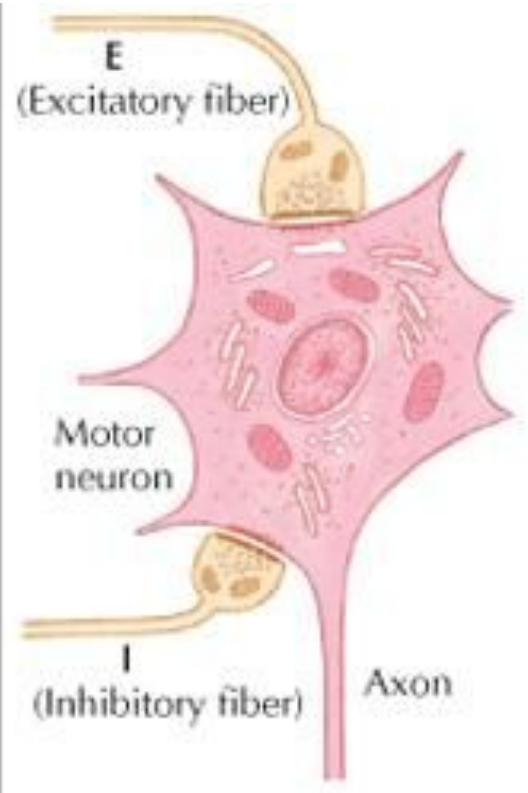
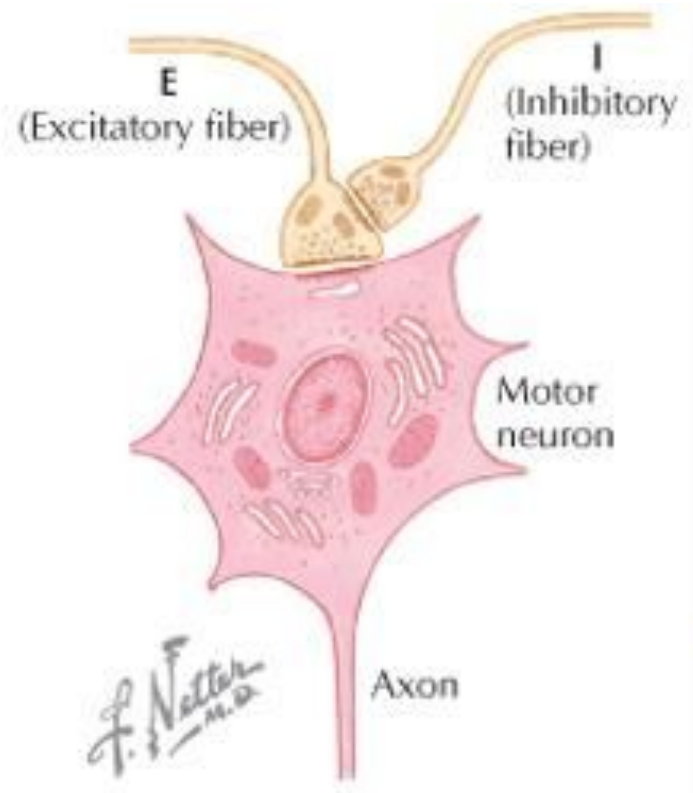
Глицин – медиатор постсинаптического торможения (клетки Реншоу, нейроны ствола мозга),

Блокада торможения:

- Бикукуллином – пресинаптическое,
- Стрихнином – постсинаптическое,
- Столбнячным токсином – оба вида Т. (нарушается выделение тормозного медиатора)

Известно три вида тормозных вставочных нейронов:

- ГАМК-ергические,
- Глицин-ергические,
- Смешанные (выделяют ГАМК и глицин)





# Общая характеристика синаптического торможения в ЦНС

<b>Вид торможения</b>	<b>Нейроны</b>	<b>Рецепторы</b>	<b>Ионный механизм</b>	<b>Блокаторы</b>
Пресинаптическое	ГАМК-ергические	ГАМК1	Cl-	Бикукуллин, Столбнячный токсин
Постсинаптическое	ГАМК-ергические, глицинергические	ГАМК1, ГАМК2 Глицин-рецепторы	Cl- K+ Cl-	Стрихнин, Столбнячный токсин

# Нейрональная классификация

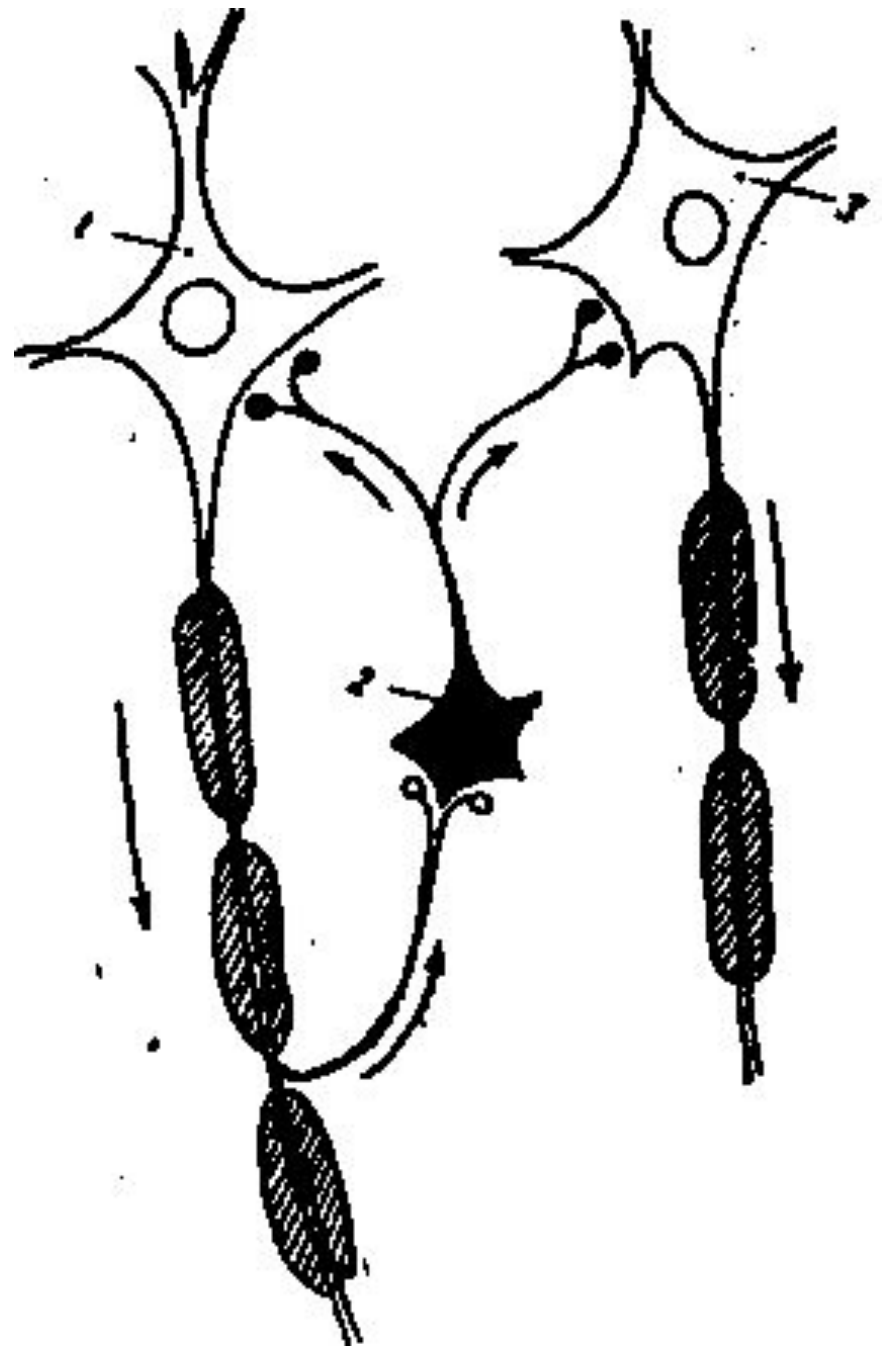
## Поступательное торможение

- обусловлено включением тормозных нейронов (Т) на пути следования возбуждения



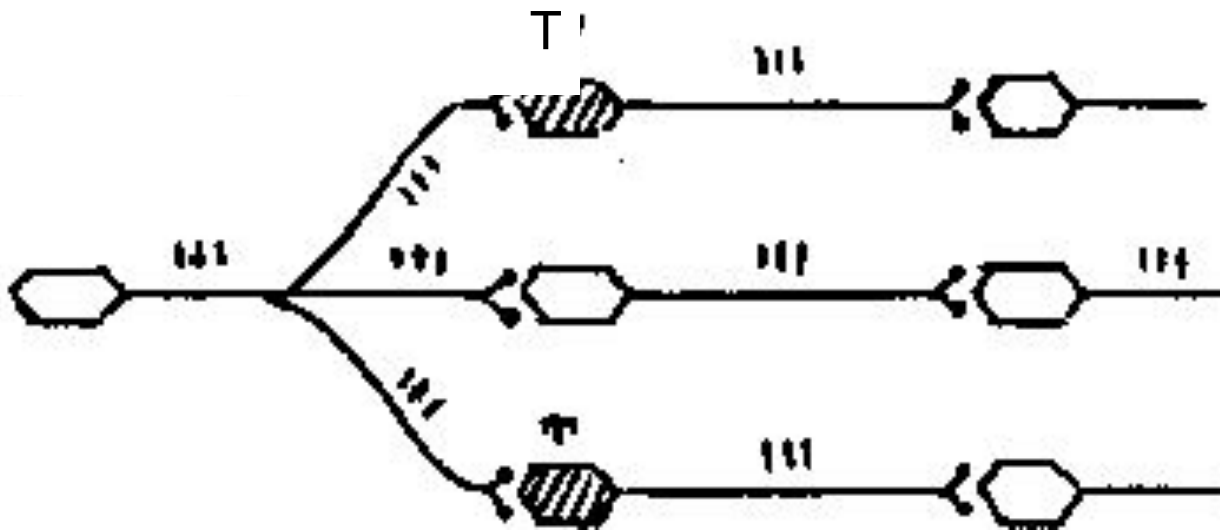
## Возвратное торможение

- реализуется за счет тормозных синапсов, образованных **вставочным нейроном - клеткой Реншоу (2)** на теле активирующего ее мотонейрона (1),
- из двух нейронов формируется контур с **отрицательной обратной связью**, которая дает возможность стабилизировать частоту разряда мотонейрона и подавлять избыточную его активность



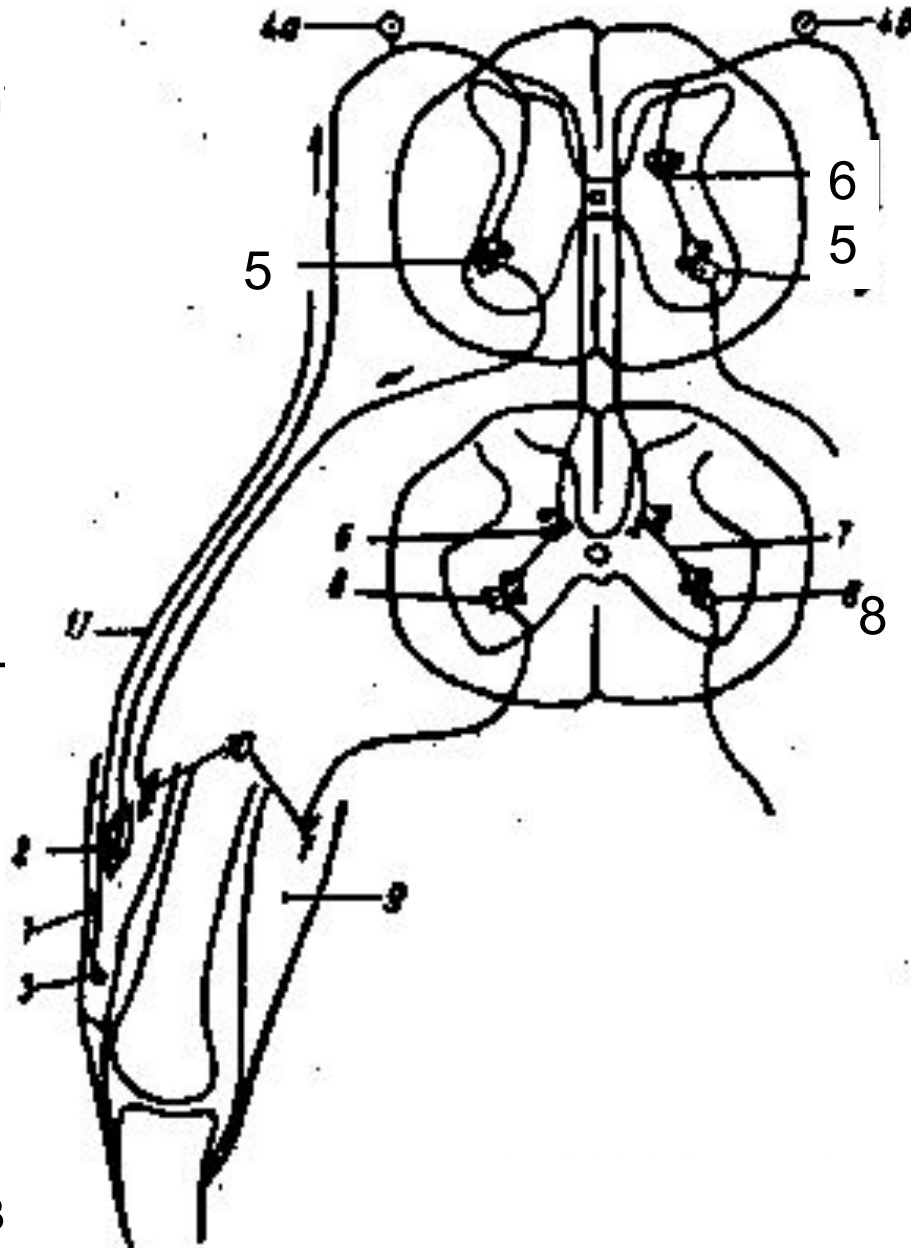
## Латеральное (боковое) торможение

- вставочные клетки (Т) формируют тормозные синапсы на соседних нейронах,
  - блокируя боковые пути распространения возбуждения
- возбуждение направляется только по строго определенному пути
- обеспечивает, в основном, системную (направленную) иррадиацию возбуждения в ЦНС.



## Реципрокное торможение

- торможение центров мышц антагонистов
- возбуждение проприорецепторов мышц-сгибателей (8) одновременно активирует мотонейроны данных мышц и вставочные тормозные нейроны (6)
- возбуждение вставочных нейронов приводит к постсинаптическому торможению мотонейронов мышц-разгибателей (5).



## 5. Интегративная роль НС

НС объединяет организм в единую функциональную систему – организм благодаря:

- 1) участию ЦНС в управлении опорно-двигательным аппаратом;
- 2) регуляции функций всех тканей и внутренних органов с помощью ВНС;
- 3) Наличие прямых и обратных связей ЦНС со всеми соматическими и вегетативными эффекторами

## Четыре уровня ЦНС в интегративной деятельности:

- 1) **Нейрон** – взаимодействие возбуждающих и тормозных входов, субсинаптических нейрорхимических процессов → та или иная последовательности ПД на выходе нейрона;
- 2) **Нейрональный ансамбль** (модуль) – появление качественно иных (в отличие от нейрона) свойств и качеств → один и тот же модуль участвует в деятельности различных центров НС → сложные реакции ЦНС;
- 3) **Нервный центр** – автономные командные устройства, управляющие процессами на периферии за счет множества прямых, обратных, реципрокных связей в ЦНС, наличие прямых и обратных связей с периферическими органами;
- 4) **Высшие центры интеграции** (лимб. система, ретик. формация, подкорковые обр-я, неокортекс) – все центры регуляции, объединенные корой большого мозга, организующей поведенческие реакции и их вегетативные

# 6. Общие принципы координационной деятельности ЦНС



**Координационная деятельность ЦНС** – это  
согласование деятельности различных отделов ЦНС  
с помощью упорядочения распространения  
возбуждения между ними

взаимодействие процессов возбуждения и торможения

!

взаимодействие между собой нервных центров,

!

центров и рабочих органов,

!

формирование приспособительной деятельности  
организма

# **Факторы, обеспечивающие процессы координации в ЦНС**

**Фактор субординации** – подчинение нижележащих отделов ЦНС вышележащим.

Эволюция в НС → повышение роли вышележащих отделов НС (цефализация) с преобладанием тормозных влияний → поддержание активности НЦ, посылающих импульсы к нижележащим отделам НС.

**Фактор силы процесса возбуждения** – НЦ реагирует на наиболее сильное возбуждение из числа всех (принципы общего конечного пути и доминанты), поступающих к нему. Более сильное – более биологически важное.

**Фактор одностороннего проведения возбуждения в синапсах ЦНС** → упорядоченность распространения возбуждения и предупреждение иррадиации.

## Фактор структурно-функциональной связи между центрами

- **прямая связь** (команды от НЦ к другому НЦ или эффекторному органу),
- **обратная связь** (афферентные импульсы от эффекторов в НЦ),
- **возвратная связь** (возвратное торможение – вслед за возбуждением),
- **реципрокная** (взаимная) связь (торможение центра-антагониста),
- **модульная структурно-функциональная организация** ЦНС (модуль – нейронный ансамбль, обрабатывающий и передающий информацию)

## Синаптическая потенция –

- улучшение проведения в синапсах вследствие накопления  $Ca^{++}$  в пресинаптических окончаниях →
  - улучшение процесса выработки навыков вследствие более быстрого и точного распространения импульсов по проторенным путям

# Принципы координации

**Принцип доминанты** (А. А. Ухтомский) – выделение ведущего (наиболее значимого) НЦ → автоматизированное выполнение двигательных актов, повышение их точности, экономичности

- доминантный очаг возбуждения характеризуется следующими свойствами:
  - повышенной возбудимостью;
  - стойкостью возбуждения (инертностью), т. к. трудно подавить другим возбуждением;
  - способностью к суммации субдоминантных возбуждений;
  - способностью тормозить субдоминантные очаги возбуждения, в функционально различных нервных центрах.

## Принцип пространственного облегчения

- суммарный ответ при одновременном действии 2 слабых раздражителей  $>$  суммы ответов при их раздельном действии;
  - аксон афф. нейрона в ЦНС синаптирует с группой клеток, в которой выделяют
    - **центральную (пороговую) зону**
    - **периферическую (подпороговую) «кайму»**
  - при одновременном раздражении афферентных нейронов ПД генерируются и нейронами подпороговой зоны.
    - выраженность такого суммарного рефлекторного ответа будет больше
      - *центральное облегчение.*
  - наблюдается при действии на организм слабых раздражителей.



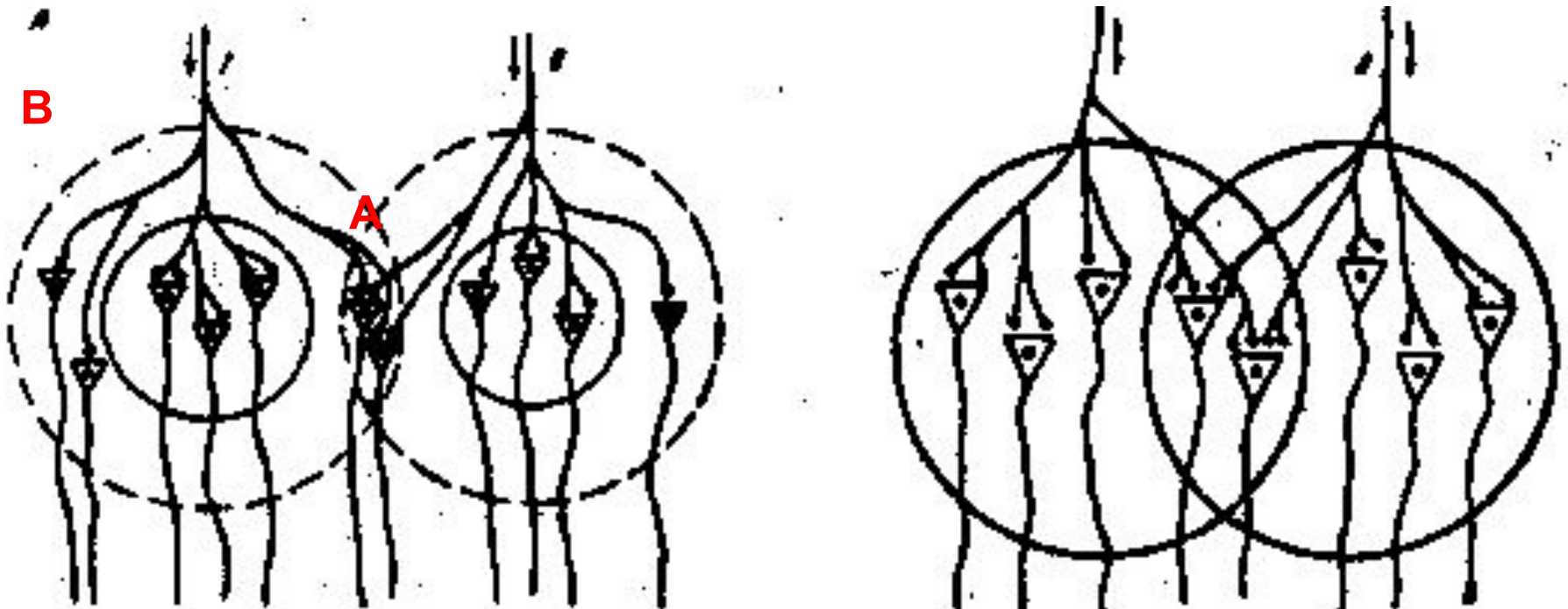
## Пространственное облегчение

### А.центральна (пороговая) зона

достаточное количество синаптических окончаний для формирования ПД

### В.периферическая (подпороговая) «кайма»

меньшее число окончаний,  
недостаточно для генерации ПД (подпороговое возбуждение)



## Принцип окклюзии

- противоположен пространственному облегчению
- два афферентных входа совместно возбуждают меньшую группу мотонейронов по сравнению с эффектами при отдельной их активации,
- причина
  - афферентные входы в силу конвергенции отчасти адресуются к одним и тем же мотонейронам, которые затормаживаются при активации обоих входов одновременно.
- явление окклюзии проявляется в случаях применения сильных афферентных раздражений.

## Принцип обратной связи

- автоматическая саморегуляция процесса
- позволяет соотнести выраженность изменений параметров системы с ее работой в целом.
- *положительная обратная связь,*
  - *В основном в патологии*
- *отрицательная обратная связь*
  - улучшает устойчивость системы, т. е. ее способность возвращаться к первоначальному состоянию после прекращения влияния возмущающих факторов.

## **Принцип реципрокности** (сочетанности, сопряженности, взаимоисключения)

- отражает характер отношений между центрами ответственными за осуществление противоположных функций (вдоха и выдоха, сгибание и разгибание конечности и т. д.)
  - например, активация проприорецепторов мышцы-сгибателя одновременно возбуждает мотонейроны мышцы-сгибателя и тормозит через вставочные тормозные нейроны мотонейроны мышцы-разгибателя
- играет важную роль в автоматической координации двигательных актов.

# Принцип общего конечного пути

- эффлекторные нейроны ЦНС (мотонейроны сп.мозга) - конечные в цепочке афферентных, промежуточных и эффлекторных нейронов
  - например, на мотонейронах пер. рогов сп. мозга, иннервирующих мускулатуру конечности, оканчиваются волокна афф. нейронов, нейронов пирамидного тракта и экстрапирамидной системы (ядер мозжечка, ретикулярной формации и многих других структур)
- поэтому
  - эти мотонейроны, обеспечивающие рефлекторную деятельность конечности, рассматриваются как конечный путь для общей реализации на конечность многих нервных влияний.