

Введение в физиологию.  
Биоэлектрические процессы в  
живых тканях. Физиология  
возбудимых тканей.

Доц., к.м.н. Кострова Г.Н.

## Вопросы:

1. Понятие, предмет и основные разделы физиологии.
2. Свойства мембраны.
2. Транспорт веществ через биологические мембраны.
3. Свойства возбудимых тканей.
4. Мембранный потенциал покоя.
5. Потенциал действия.

# *Физиология*

- (от греч. *physis* — природа, *logos* — учение)
- — наука, изучающая нормальные функции живых организмов, а так же составляющих их систем, органов, тканей и клеток

# Предмет физиологии

- Процессы жизнедеятельности и изменения, происходящие в организме на протяжении жизненного цикла, их связь между собой,
- закономерности взаимодействия организма с окружающей средой, его поведения в различных условиях существования, происхождения и становления в процессе эволюции, а также индивидуального развития.

# Основная задача изучения физиологии

- Понимание механизмов функционирования каждого органа;
- Понимание взаимодействия органов и систем в зависимости от меняющейся ситуации в организме и во внешней среде.
- Знание функций органов является условием и основой понимания патогенеза нарушений и путей их коррекции

**Клиническая  
медицина**

**↑**  
**Физиология  
(нормальная,  
патологическая)**

←  
завершающие  
дисциплины  
доклинического  
образования

**морфология  
(анатомия,  
гистология)**

**биохимия**

**биофизика**

- *"Точное физиологическое знание, знакомство с функциями органов и взаимной связью этих функций, т. е. хорошая привычка физиологически думать, явится драгоценным пособием к чисто медицинскому знанию, ведя вас по цепи явлений до исходного пункта"*

# Биоэлектрические процессы в живых тканях

- Функции мембраны  
(плазмолеммы):

- Барьерная
- Транспортная
- Рецепторная
- Формирование биопотенциалов

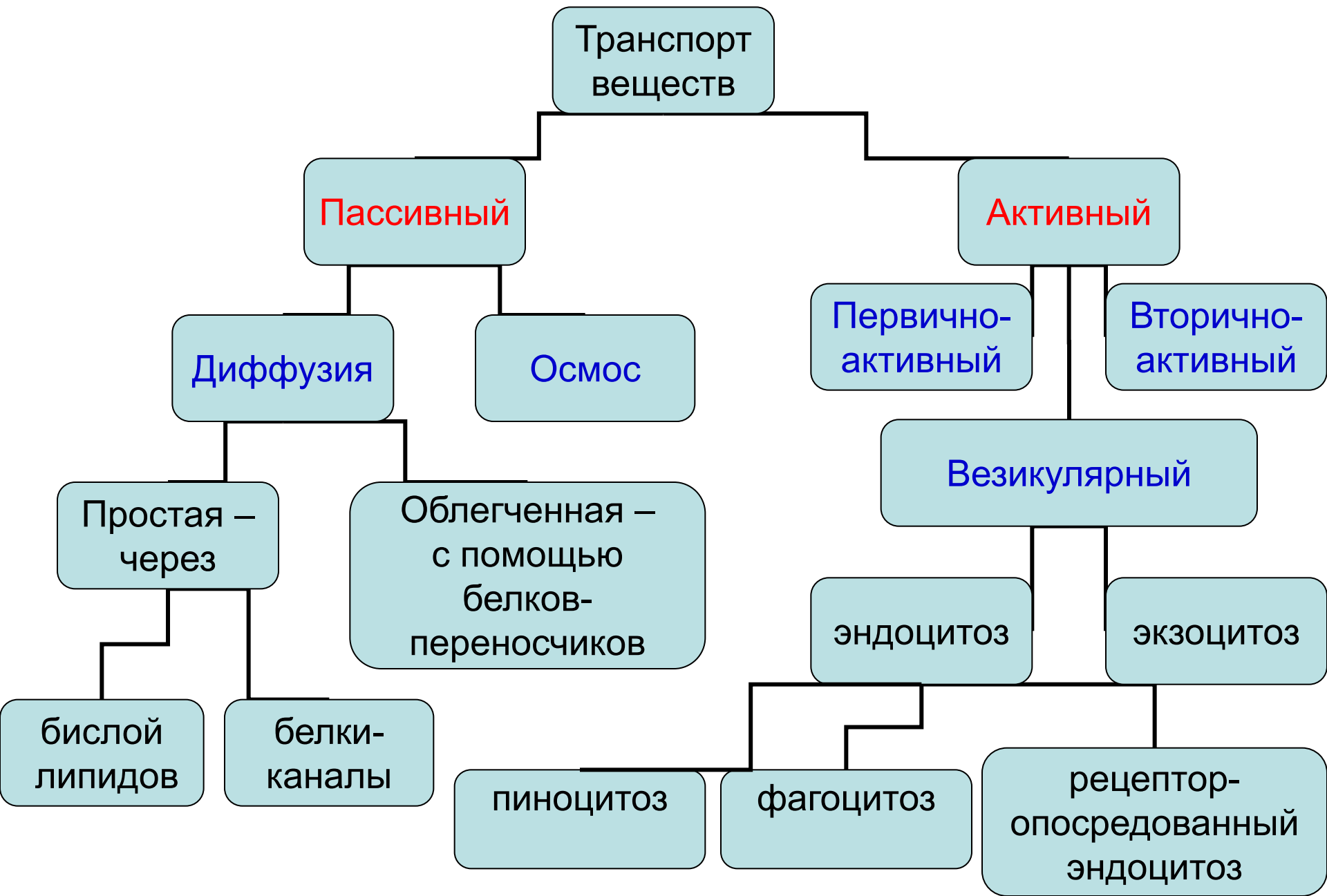


# СТРОЕНИЕ КЛЕТОЧНОЙ МЕМБРАНЫ



Функции интегральных белков:  
гидролитические ферменты, рецепторы клеточной поверхности, специфические белки-переносчики, каналы. Многие важные процессы сопровождаются или вызываются изменением способа укладки полипептидной цепи, т. е. изменением конформации белковых молекул в мембранах.

# ТРАНСПОРТ ВЕЩЕСТВ ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ





# Простая диффузия

- 1. транспорт соединений непосредственно через липидный бислой (водонерастворимые органические соединения и газы ( $O_2$  и  $CO_2$ ));
- 2. через ионные каналы клеточной мембраны, соединяющие цитоплазму клеток с внешней средой.

# Ионный канал

- - это белковая структура на основе мембранной  $\alpha$ -субъединицы, образованная доменами и имеющая вид, подобный пончику с отверстием в середине - порой, через которую движутся ионы.
- Клетки используют этот путь для транспорта преимущественно ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  .
- Это пассивный ионный транспорт, который определяется градиентами концентрации и электрического поля (электрохимическим градиентом).

# СТРОЕНИЕ ИОННОГО КАНАЛА

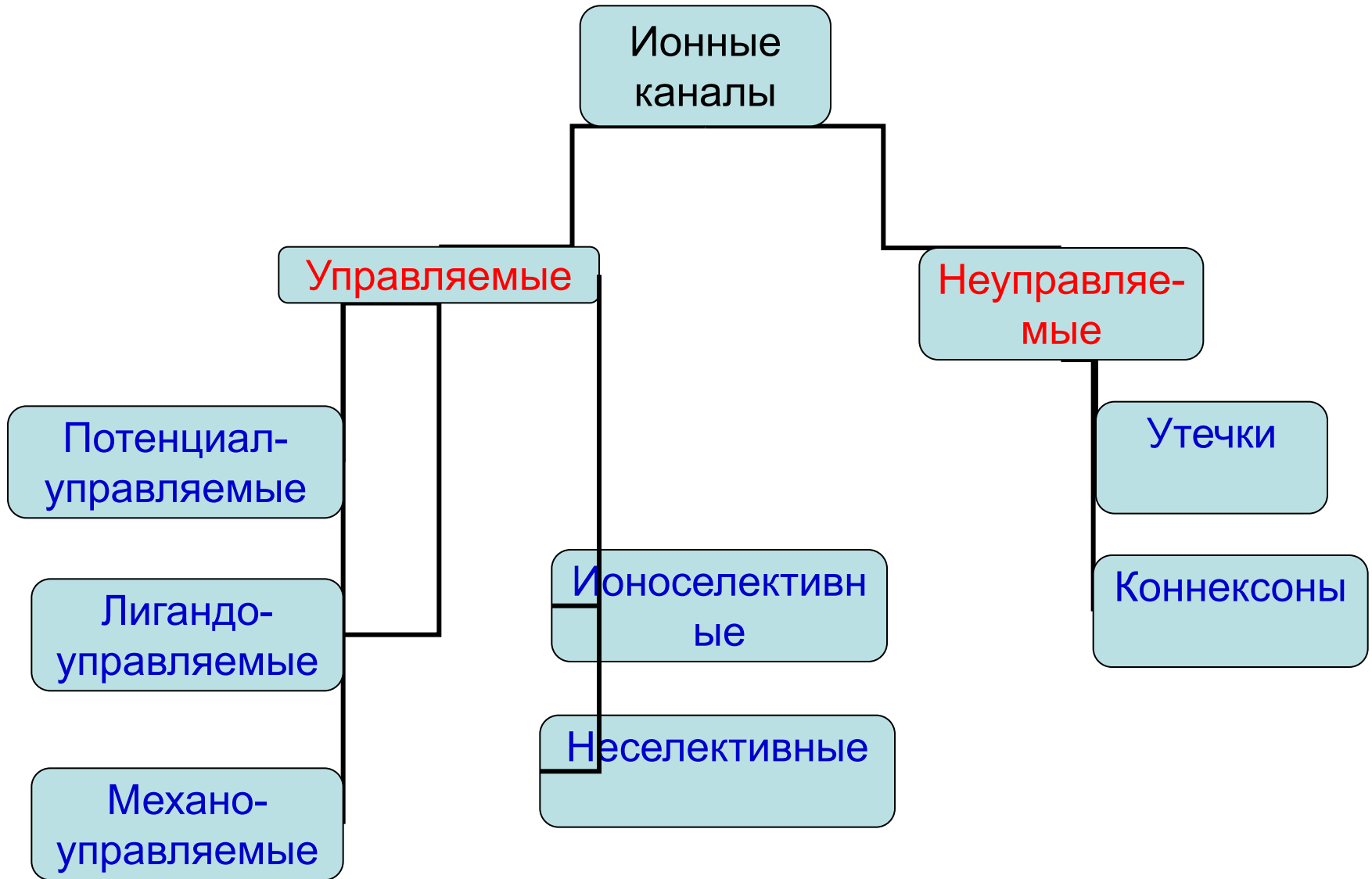


- $\text{Na}^+$ -канал состоит из широко разветвленной  $\alpha$ -субъединицы, молекулярная масса которой приблизительно равна 260 кДа.
- Разветвленная  $\alpha$ -субъединица связана с добавочными  $\beta$ -субъединицами

ГИПОТЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИОННОГО  
КАНАЛА

СТРУКТУРА ИОННОГО КАНАЛА

# КЛАССИФИКАЦИЯ КАНАЛОВ



- в ответ на действие электрического раздражителя,
- т. е. на изменение трансмембранного потенциала, происходит изменение конформации белка **потенциалуправляемого канала**.
- Эти конформационные изменения регулируются электрическим полем внутри мембраны и протекают за время от 30 мкс до 10 мс.
- электрическое поле действует на сенсор напряжения, который определяет трансмембранный потенциал.
- сенсор напряжения должен передает эту информацию на саму канальную молекулу для ее конформационной перестройки и соответствующего открытия и закрытия канала.





# Состояние покоя

# СОСТОЯНИЯ ИОННОГО КАНАЛА

***АКТИВИ-  
РОВАННЫЙ  
КАНАЛ***

***ИНАКТИВИ-  
РОВАННЫЙ  
КАНАЛ***





# СТРОЕНИЕ КАЛИЕВОГО КАНАЛА

$K^+$

# Электрические процессы в тканях

- Мембраны всех живых клеток поляризованы, т.е. обладают мембранным потенциалом покоя.
- В клетках нервных, мышечных и железистых тканей величина потенциала меняется в зависимости от их активности, они обладают способностью генерировать потенциал действия и называются возбудимыми тканями.

# Типы электрических сигналов

- 1. Локальные
  - (не распространяются на большие расстояния), градуальные
  - (зависят от силы раздражителя),
  - длительные, низкоамплитудные
  - **Рецепторные и синаптические потенциалы**
- 2. Высокоамплитудные, короткие, неградуальные, быстро распространяющиеся на большие расстояния
  - **Потенциалы действия**

- Все электрические сигналы в живых организмах являются результатом временного изменения электрических токов, текущих в клетку и из клетки;
- В живых объектах все электрические сигналы обеспечиваются движением ионов через мембрану



- Луиджи Гальвани (Luigi Galvani, 1737—1798) — итальянский врач, анатом, физиолог и физик, один из основателей электрофизиологии и учения об электричестве, основоположник экспериментальной электрофизиологии.
- «Трактат о силах электричества при мышечном движении» 1791 г.





- *«Из того, что мы до сих пор узнали и исследовали, можно, я полагаю, с достаточным основанием заключить, что животным присуще электричество, которое мы позволили себе обозначить вместе с Бертолонием и другими некоторым общим названием «животного»»*

## Первый «балконный» опыт Л.Гальвани (1786 г).

- Гальвани повторил этот опыт в условиях лаборатории, прикасаясь к препаратам пинцетом, сделанными из различных металлов.
- Лучший эффект возникал если использовался пинцет сделанный из меди и цинка.

А - одна бранша пинцета (1) контактирует с препаратом в области крестцового нервного сплетения, а другая (2) – не контактирует.

Б - сокращение мышц конечности при контакте с препаратом обеих бранш.

# ВОЛЬТА (Volta) Алессандро (1745-1827 )

- Прodelав ряд опытов, Вольтa пришел к выводу, что никакого «животного электричества», возникающего в самом организме, нет.
- Ток вызывается соприкосновением двух разнородных металлов, разделенных влажной прокладкой. Сама же препарированная лягушка служит своеобразным измерителем возникшего тока — «животным электрометром», гораздо более чувствительным, чем любой иной электрометр.

Alessandro Volta,  
1745-1827

- Спор о причинах наблюдаемого явления между А.Вольта и Л. Гальвани оказал огромное влияние на развитие физиологии.
- А.Вольта создал генератор электрического тока – гальванический элемент (вольтов столб).
- Ввел понятие об электродвижущей силе, предложил ее единицу – Вольт.

# Карло Маттеуччи

- в 1844 доказал существование «животного» электричества
- доказал наличие электрических потенциалов между поврежденной и неповрежденной частями МЫШЦЫ

итальянский физик

# Опыт Маттеуччи

Используя гальванометр зарегистрировал ток покоя (ток, текущий между поврежденной и неповрежденной частью мышцы).

Косвенно показал наличие разности потенциалов между внеклеточной и внутриклеточной средой (МПП)

# Эмиль Генрих Дюбуа-Реймон

- немецкий физиолог
- доказал его наличие электричества в мышцах, нервах, железах, коже, сетчатке глаза и др. тканях.
- Ввел понятия «возбуждение» и «возбудимые ткани»
- В 1843 году опубликовал «Предварительный очерк исследования о так называемом лягушачьем токе и об электромоторных рыбах», посвященный известным электрическим явлениям в живых организмах.
- Этот труд положил начало современной электрофизиологии.

- **Возбудимость** — способность ткани отвечать на раздражение специфической реакцией — возбуждением, т.е. способностью формировать потенциал действия.
- Возбуждение (или потенциал действия) — это сложный биологический процесс, который характеризуется специфическим изменением обмена веществ, временной деполяризацией мембраны клеток (потенциалом действия) и являющейся инициатором специализированной реакции ткани.
- Возбудимые ткани:
  - нервная,
  - мышечная,
  - железистая.



# ***КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ***

- По силе:
- Пороговые
- Подпороговые
- Сверхпороговые.
- По природе:
- физические (механические, температурные, звуковые, световые, электрические);
- химические (щелочи, кислоты, гормоны, продукты обмена веществ и др.);
- физико-химические (изменение осмотического давления, pH среды, ионного состава и др.).

- Адекватные
- неадекватные.

# ***СВОЙСТВА ВОЗБУДИМЫХ ТКАНЕЙ***

- **Раздражимость** — способность клетки отвечать на действие раздражающих факторов изменением структурных и функциональных свойств.
- **Раздражимостью обладают ВСЕ** ткани организма.

## ***СВОЙСТВА ВОЗБУДИМЫХ ТКАНЕЙ (2)***

- **Возбудимость** — способность ткани отвечать на раздражение специализированной реакцией — возбуждением ( генерацией потенциала действия).
- **Рефрактерность** - свойство ткани временно терять способность реагировать на раздражение.

- **Проводимость** - способность передавать возбуждение.
- **Лабильность (или функциональная подвижность)** - способность к ритмической активности.
- **Сократимость** - способность мышцы развивать силу или напряжение при возбуждении.

# Мембранный потенциал покоя

- это разность электрических потенциалов между внутренней и наружной средой клетки в состоянии покоя.
- Трансмембранный потенциал устанавливается таким образом, что внутренняя часть мембраны заряжена -, а наружная +, т.е. мембрана поляризована.
- Величина ПП составляет от  $-30$  до  $-90$  мВ ( в нейронах  $-70$  мВ, в сердечной мышце  $-80-90$  мВ).

# ***ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ПОКОЯ***

# Мембранно-ионная теория происхождения потенциала покоя

- Концепция Ходжкина –Хаксли
- МПП поддерживается благодаря активному транспорту и диффузии ионов через мембрану.



# **Механизм возникновения МПП**

- **1) Ионные градиенты (неодинаковая концентрация) анионов и катионов внутри и вне клетки.**

- Имеет место различное распределение ионов между внутри и внеклеточной средами.
- Так, содержание калия в клетке примерно в 30-35 раз выше, чем вне ее, а среди внутриклеточных анионов преобладают белки.
- Ионы натрия в основном находятся во внеклеточной среде, где их содержание сбалансировано присутствующими анионами хлора.

Механизм формирования ионных градиентов (преобладание калия внутри, а натрия снаружи клетки)

- 1) Работа натрий/калиевого насоса

# Механизм работы Na-K-насоса

- существуют электрохимические градиенты ионов, обусловленные их электрическими и химическими свойствами, которые влияют на диффузию иона через мембрану.
- Электрические свойства ионов определяются их зарядами: одноименные заряды отталкиваются, противоположные – притягиваются.
- На движение ионов влияет их концентрация в растворе. Ион имеет тенденцию перемещаться по градиенту концентрации.
- Результирующее движение зависит от соотношения зарядов и концентраций по обе стороны мембраны.

## 2) Различная проницаемость мембраны для ионов

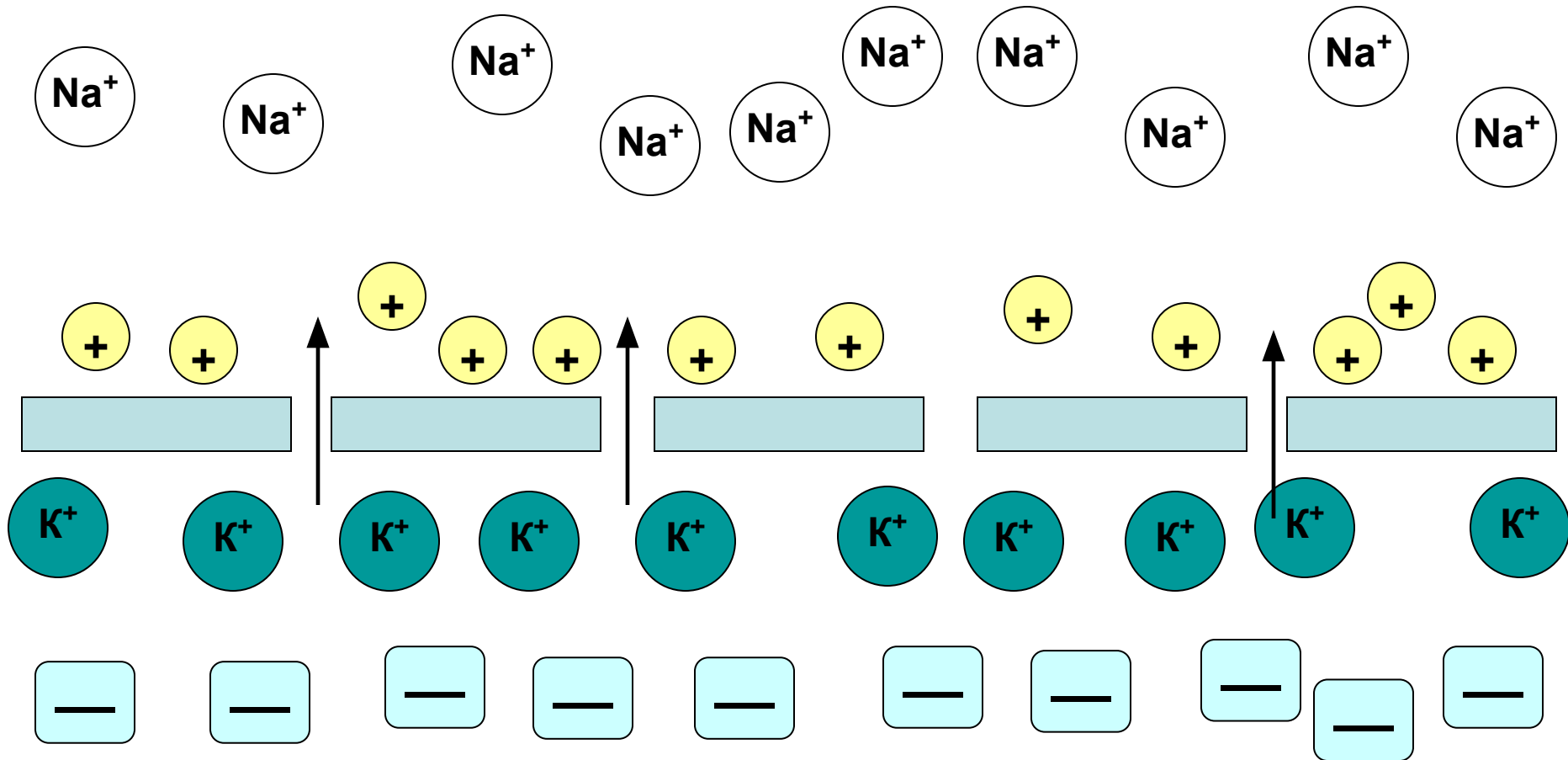
- Определяется наличием ионных каналов, их количеством и состоянием
- В состоянии покоя в клеточных мембранах открыто больше калиевых, чем натриевых каналов, таким образом, проницаемость для ионов К превышает таковую для Na ( в нервных и мышечных клетках 25:1).

- Из-за различий в концентрации ионы калия стремятся выходить из клетки.
- Однако выход положительно заряженных ионов калия ограничивается отрицательно заряженными анионами белков, которые из-за своих размеров не могут пройти через мембрану.
- Выход из клетки ионов калия приводит к накоплению в ней отрицательных зарядов.
- Таким образом, по отношению к окружению внутриклеточная среда приобретает отрицательный заряд.

# Формирование МПП

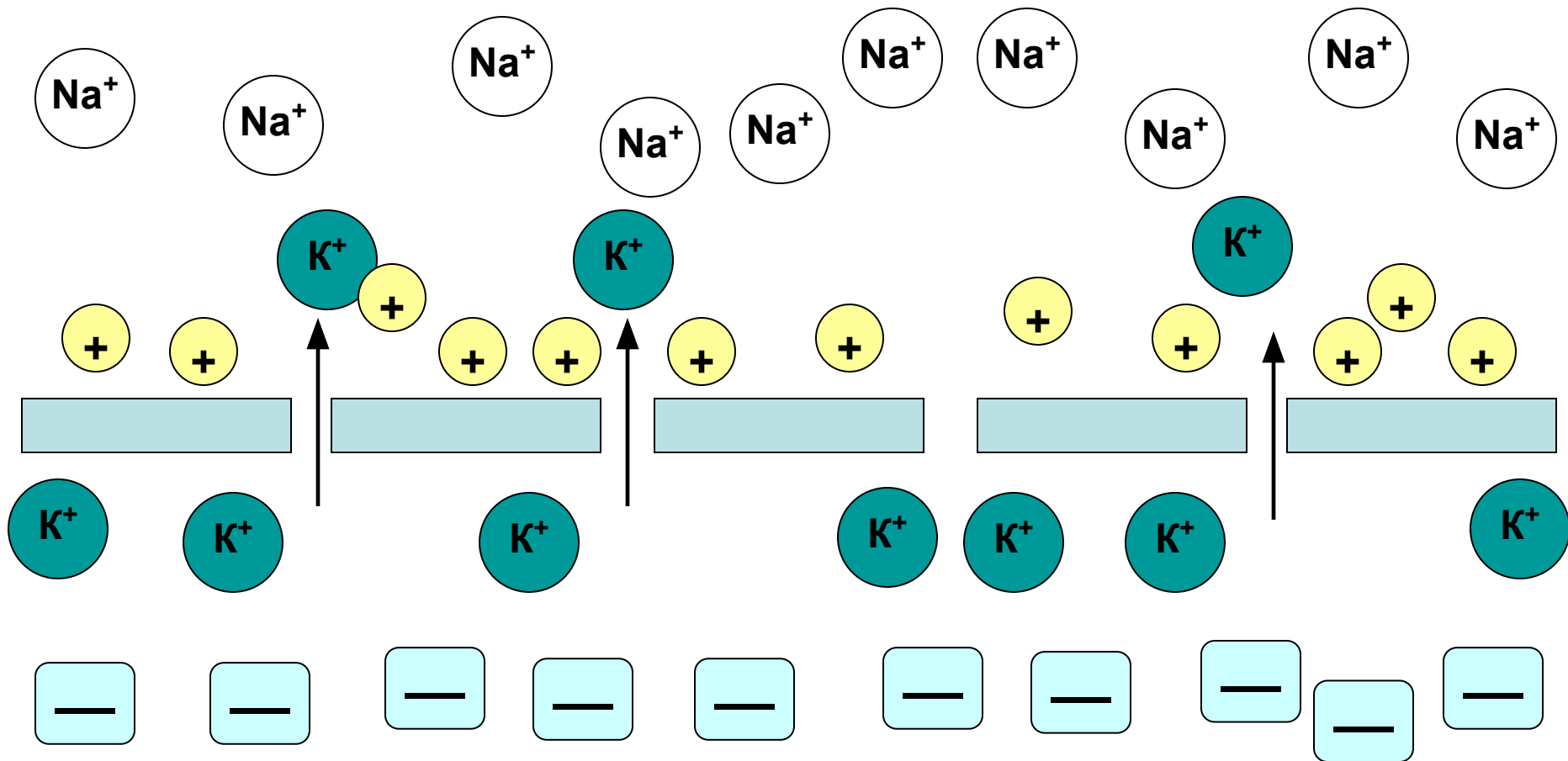


**внеклеточное  
пространство**



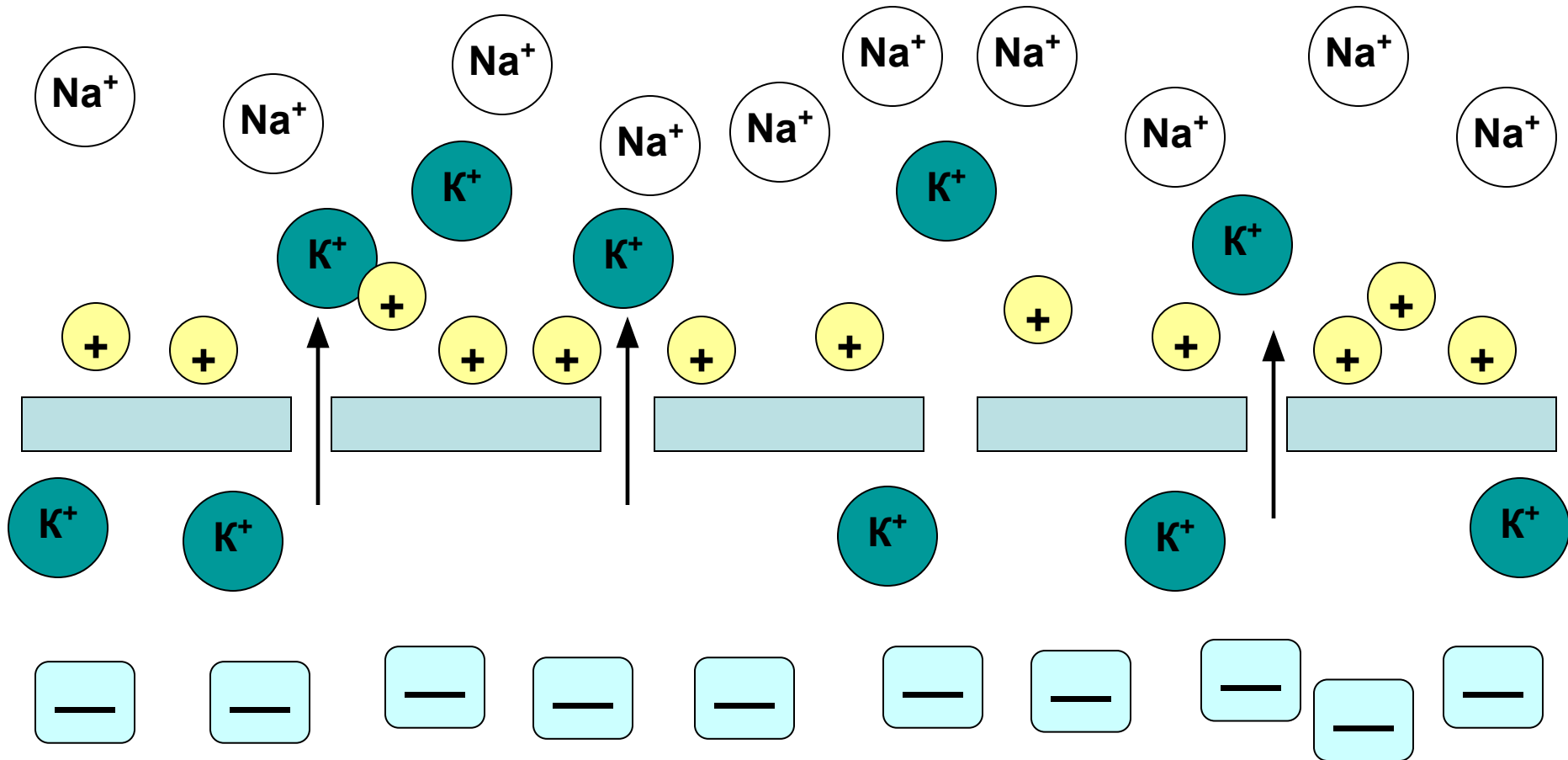
**цитоплазма**

**внеклеточное  
пространство**



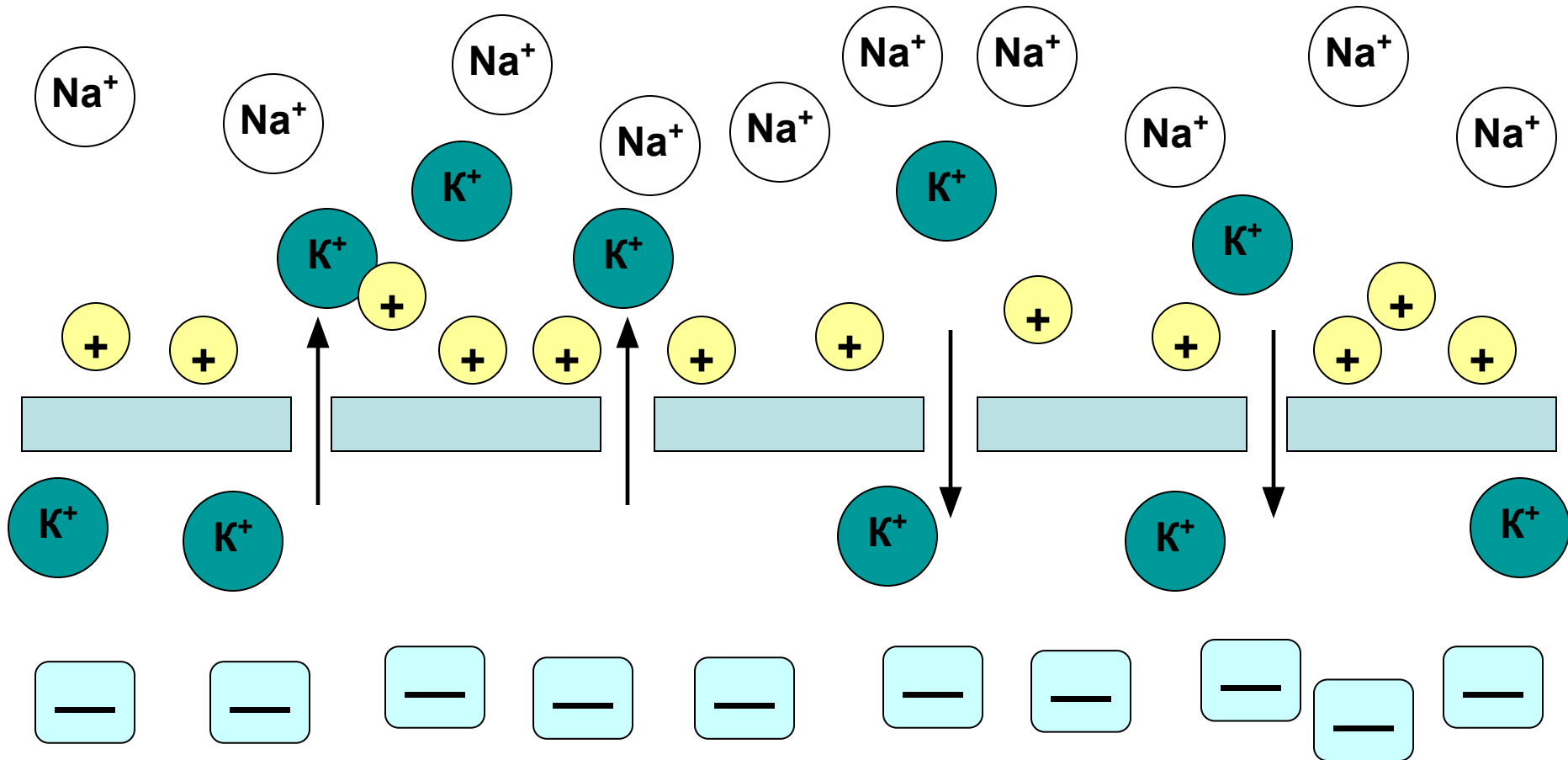
**цитоплазма**

**внеклеточное  
пространство**



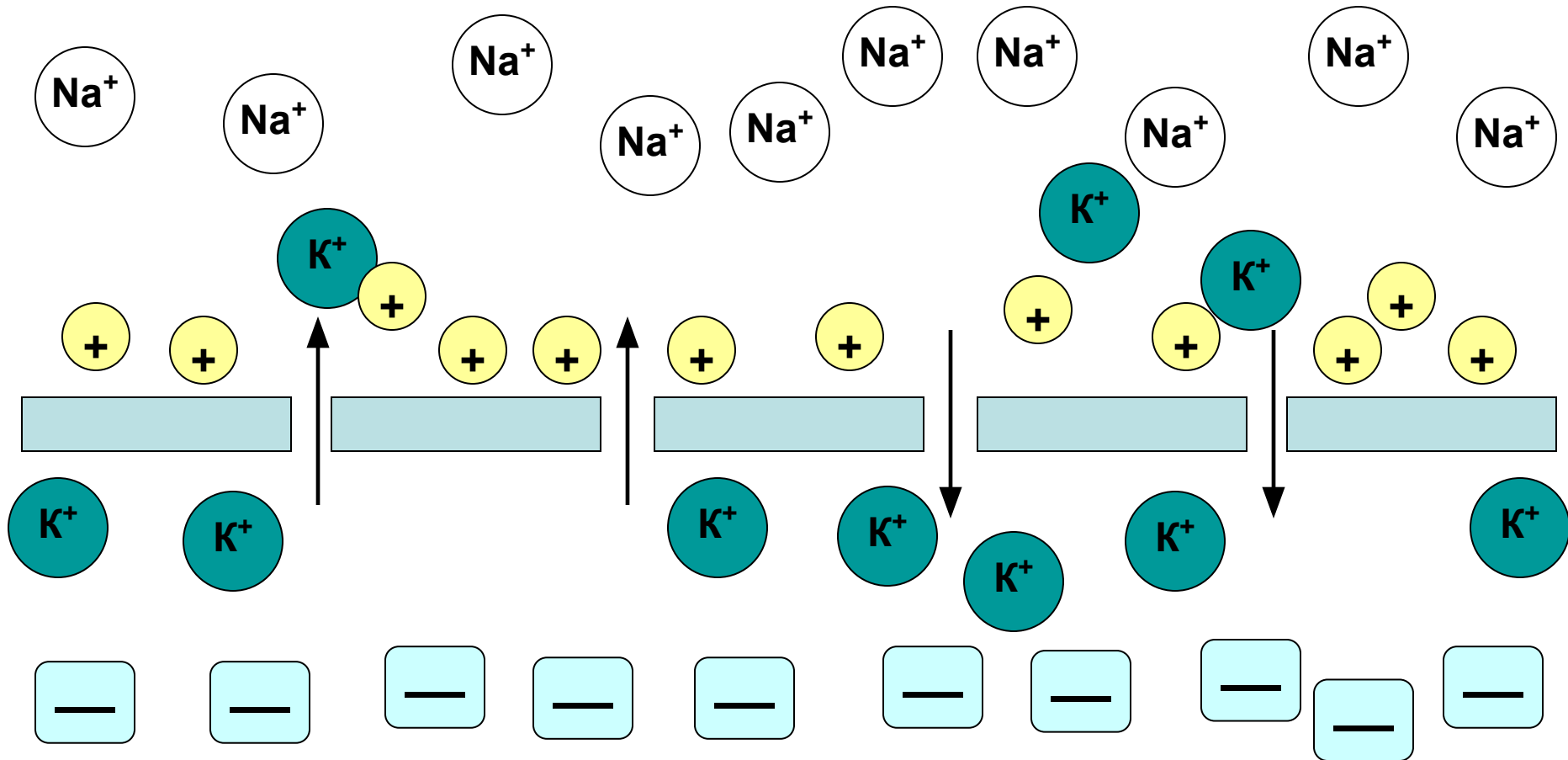
**цитоплазма**

**внеклеточное  
пространство**



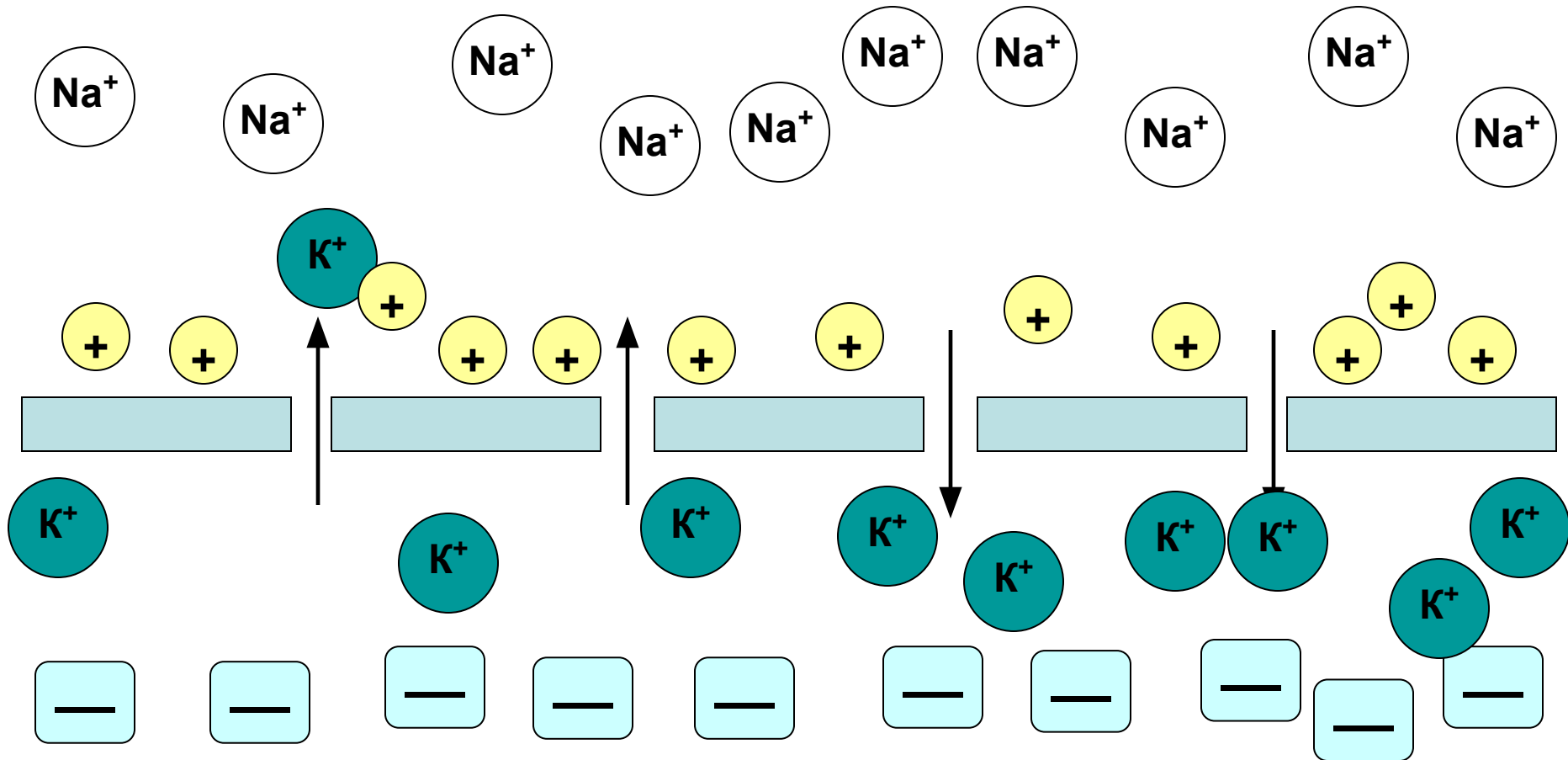
**цитоплазма**

**внеклеточное  
пространство**



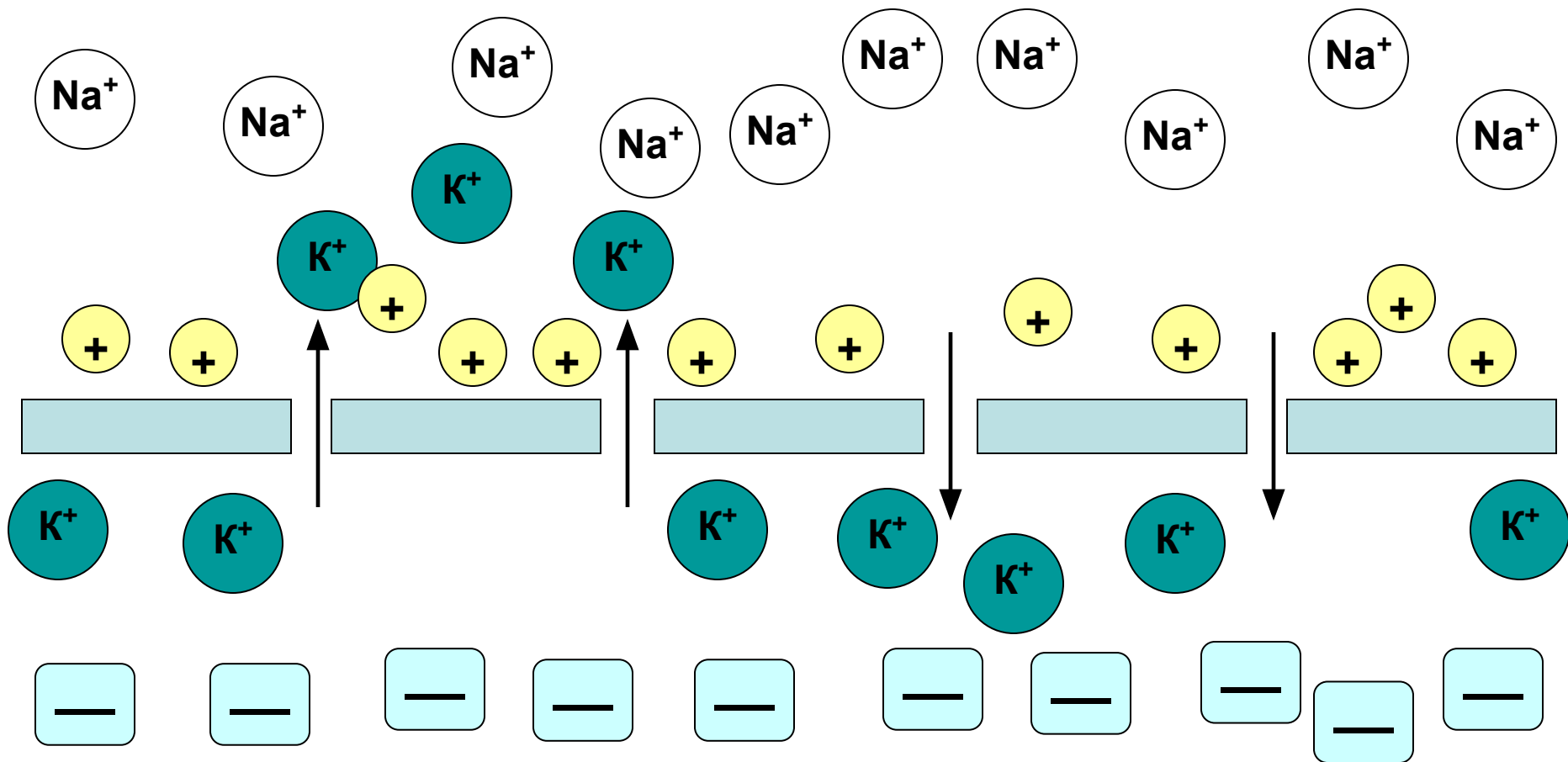
**цитоплазма**

**внеклеточное  
пространство**



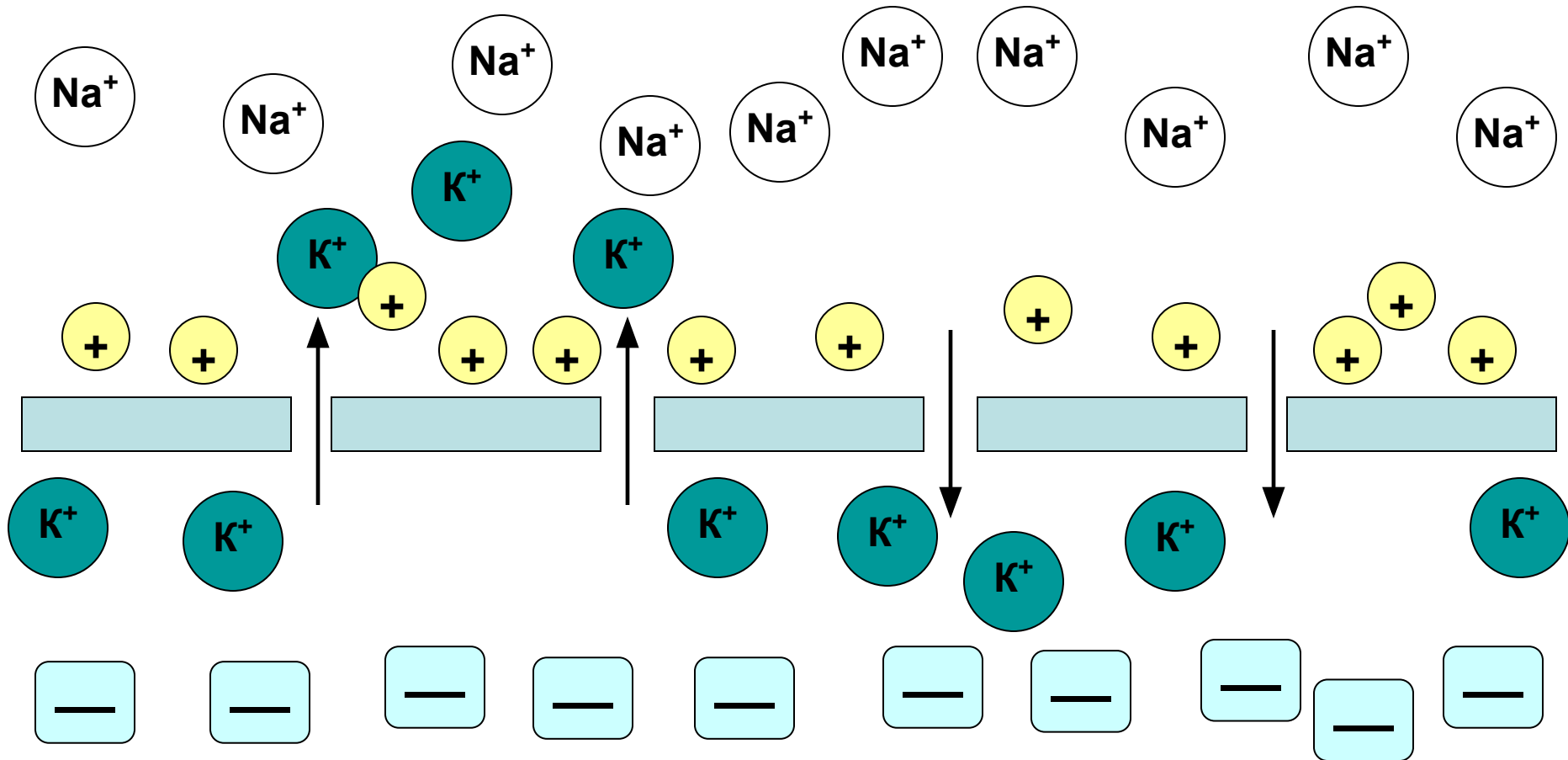
**цитоплазма**

**внеклеточное  
пространство**



**цитоплазма**

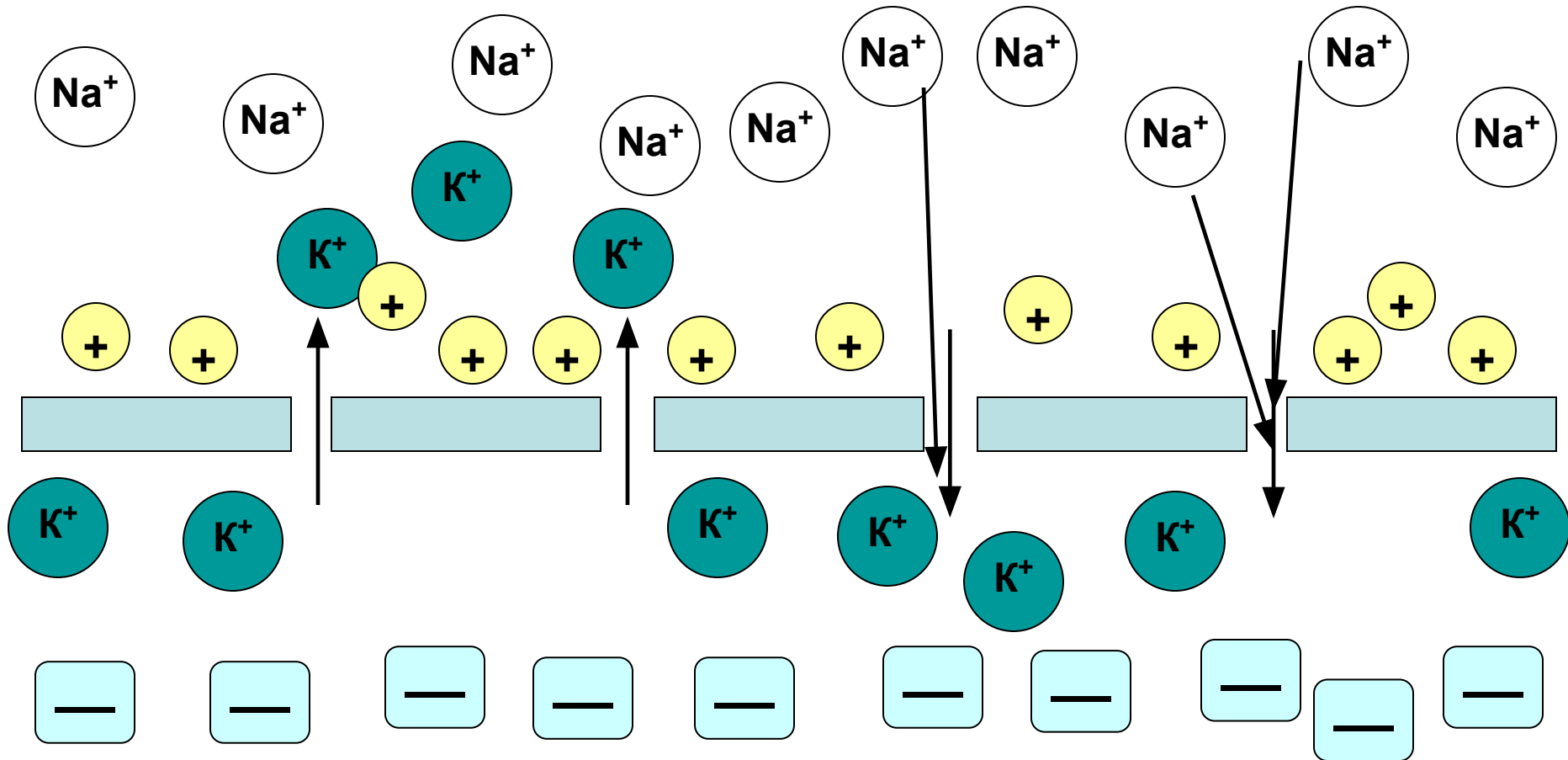
**внеклеточное  
пространство**



**цитоплазма**

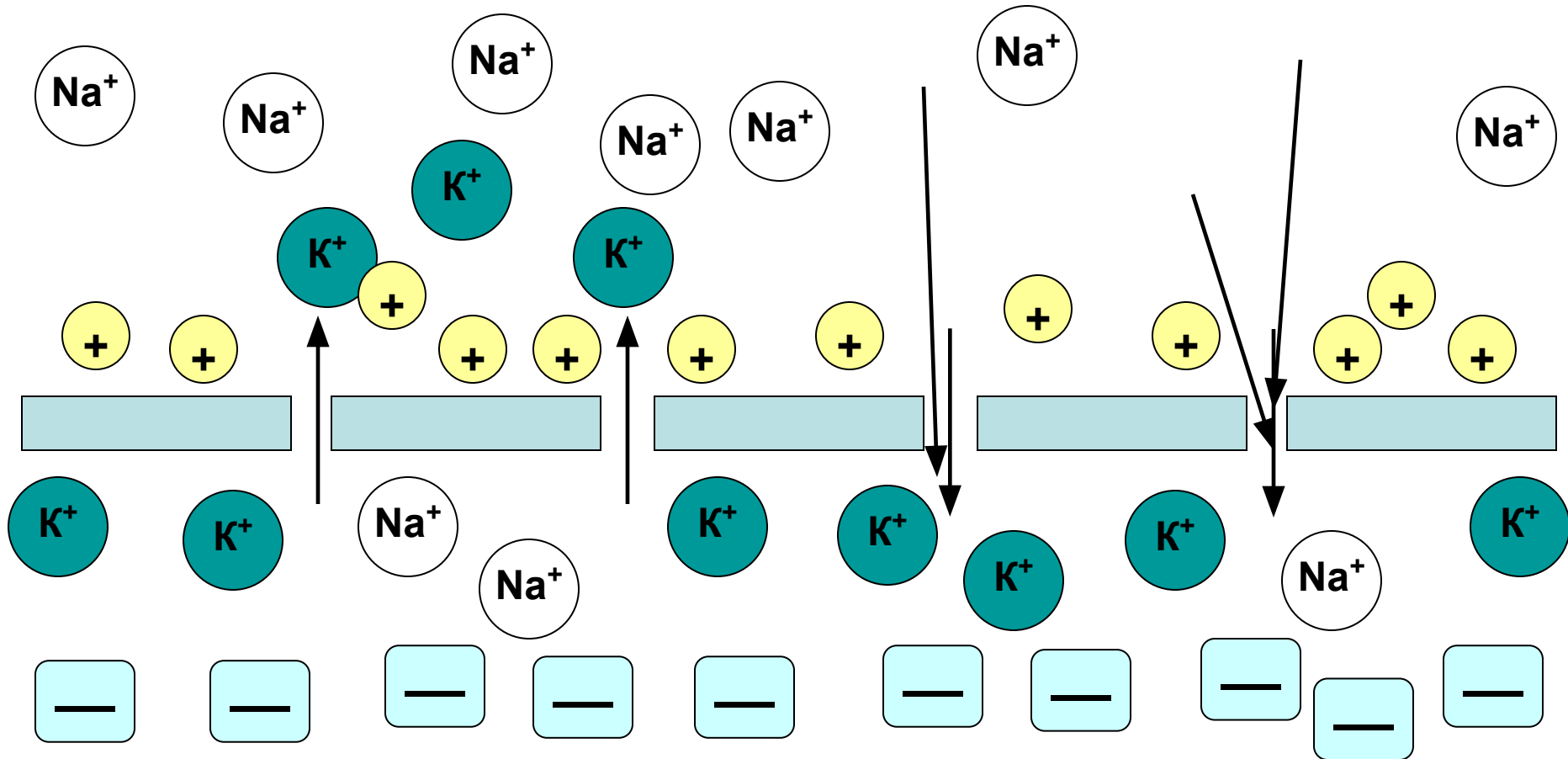


**внеклеточное  
пространство**



**цитоплазма**

**внеклеточное  
пространство**



**цитоплазма**

# Какие силы обеспечивают движение ионов через открытый ионный канал?

- 1) Химическая движущая сила, которая определяется разностью концентрации снаружи и внутри клетки
- 2) Электрическая движущая сила, которая зависит от потенциала на мембране
- Эти силы могут достигать равновесия.

- Когда возникает равенство двух сил: силы перемещения иона по химическому градиенту и противоположной по направлению электростатической силы, диффузия иона прекращается, т.е. устанавливается равновесный потенциал.
- Диффузия  $K^+$  из клетки по каналам покоя до равновесного потенциала является главным механизмом формирования МПП

# РАВНОВЕСНЫЙ КАЛИЕВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

## Уравнение Нернста

$$E_K = \frac{RT}{F} \ln \frac{[K^+]_{\text{нар.}}}{[K^+]_{\text{вн.}}}$$

# МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ (МП)

— это разность потенциалов между наружной и внутренней поверхностями клеточной мембраны в покое.

Уравнение Гольдмана-Ходжкина-Катца

$$E = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o + P_{Cl} [Cl^-]_i}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_o}$$

# Возникновение ПП обусловлено

- - Работой систем активного транспорта, которые создают и поддерживают ионные градиенты
- - Ионной асимметрией (прежде всего для К);
- - Высокой проводимостью клеточной мембраны в состоянии покоя для ионов К;

Уменьшение разницы заряда между  
наружной и внутренней  
поверхностями мембраны -  
деполяризация мембраны,  
увеличение - гиперполяризация  
мембраны.



# Значение ПП

- В самой мембране МПП проявляется как электрическое поле значительной напряженности.

- Это поле взаимодействует с макромолекулами мембраны и придает их заряженным группам определенную пространственную ориентацию, обеспечивая закрытое состояние активационных ворот натриевых каналов и открытое – инактивационных ворот, т.е. создает основу для возникновения возбуждения.

- Уже частичная деполяризация открывает активационные ворота этих каналов и дает начало возбуждению.
- Однако, длительная деполяризация инактивирует натриевые каналы и активирует калиевые каналы.
- Длительная гиперполяризация - наоборот - активирует натриевые каналы и инактивирует калиевые каналы.



