

# Физиология системы крови



# ВНУТРЕННЯЯ СРЕДА

## ОРГАНИЗМА

Клод Бернар (1865 г.) ввел понятие о внутренней среде организма.

**Внутренняя среда - комплекс жидкостей, омывающих органы и ткани: *кровь, лимфа, тканевая (интерстициальная, внеклеточная), спинномозговая, плевральная и другие жидкости.***

Внутренняя среда отделена от внешней среды и тканей барьерами:

внешние барьеры (отделяют внутреннюю среду от окружающей) - кожа, слизистые, эпителий ЖКТ;

внутренние барьеры (гистогематические) - отделяют кровь от органов и тканей.

# ГОМЕОСТАЗ

- это постоянство состава и свойств внутренней среды организма.

Термин "гомеостаз" ввел в 1929 г. Уолтер Кенон (гомеостаз – от греч. *homois* - одинаковый и *stasis* - состояние).

Регуляция гомеостаза включает поддержание на необходимом для организма уровне различных констант.

В основе гомеостаза не статические, а динамические процессы, поэтому абсолютного гомеостаза нет.

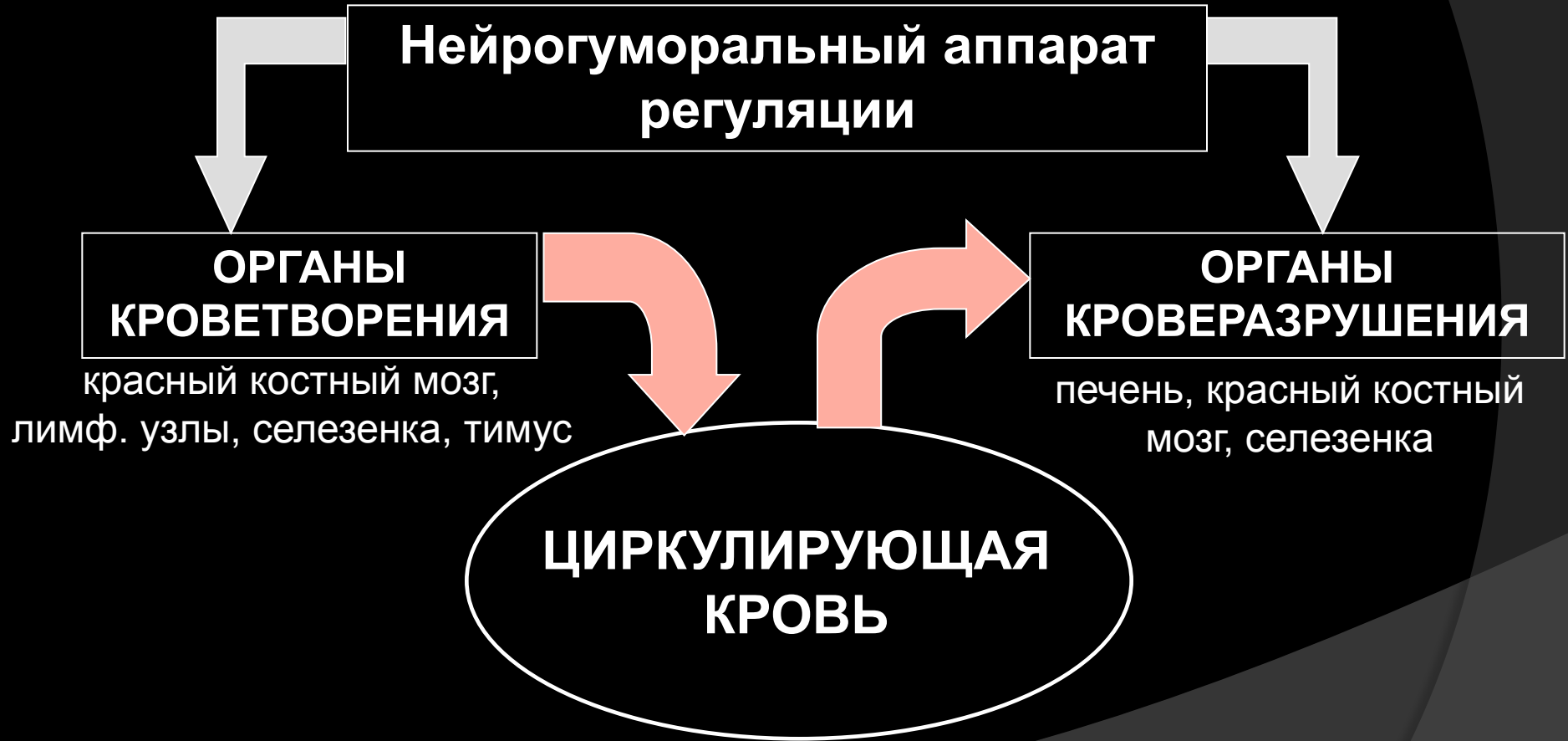
Комплекс процессов, направленных на поддержание постоянства внутренней среды - **гомеокинез**.

**Гомеокинез** - это подвижное равновесие.

**Гомеокинез** - это не просто любое изменение, а переход от одного стабильного уровня гомеостаза к другому.

**НЕПРЕРЫВНОЕ НАРУШЕНИЕ ➡ НЕПРЕРЫВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ**

# СИСТЕМА КРОВИ (Ланг Г.Ф., 1939)



# Функции крови:

1. Транспортная
2. Дыхательная
3. Трофическая
4. Экскреторная
5. Регуляторная
6. Защитная
7. Гемокоагуляционная
8. Терморегуляторная
9. Осуществление креаторных связей
10. Гомеостатическая

# СОСТАВ И КОЛИЧЕСТВО

## КРОВИ:



У взрослого человека – около 6-8% веса тела:  
У новорожденного – 15 %  
У годовалого ребенка – 11 %

# Физико-химические константы крови:

- ◎ Пластичные константы крови могут отклоняться от константного уровня в относительно широких пределах без существенных последствий.
- ◎ Жесткие константы крови могут колебаться в очень небольших диапазонах.



# Константы крови зависят:

1. от пола,
2. от возраста,
3. от условий проживания,
4. от профессии,
5. от социальных условий,
6. от времени года и суток

# К пластичным константам относят:

1. ОЦК (*объем циркулирующей крови*),
2. Ht (*гематокрит*),
3. *плотность* крови,
4. *вязкость* крови,
5. количество ФЭК,
6. количество Hb (*гемоглобин*),
7. СОЭ (*скорость оседания эритроцитов*)

# Объем циркулирующей крови (ОЦК)

В норме средние значения объёма циркулирующей крови и объёма циркулирующей плазмы у мужчин составляют соответственно 69 и 39 мл/кг массы тела, у женщин — 65 и 40 мл/кг массы тела.

Т.о., ОЦК составляет 50-55 % от общего количества крови. Остальные 45-50 % крови депонированы (в основном в виде суспензии эритроцитов): в печени — до 20 %, в селезенке — до 16 %, в коже — до 10 %

ОЦК = 50-55 % - нормоволемия,

ОЦК - больше 55 % - гипervолемия (например, при задержке натрия в организме)

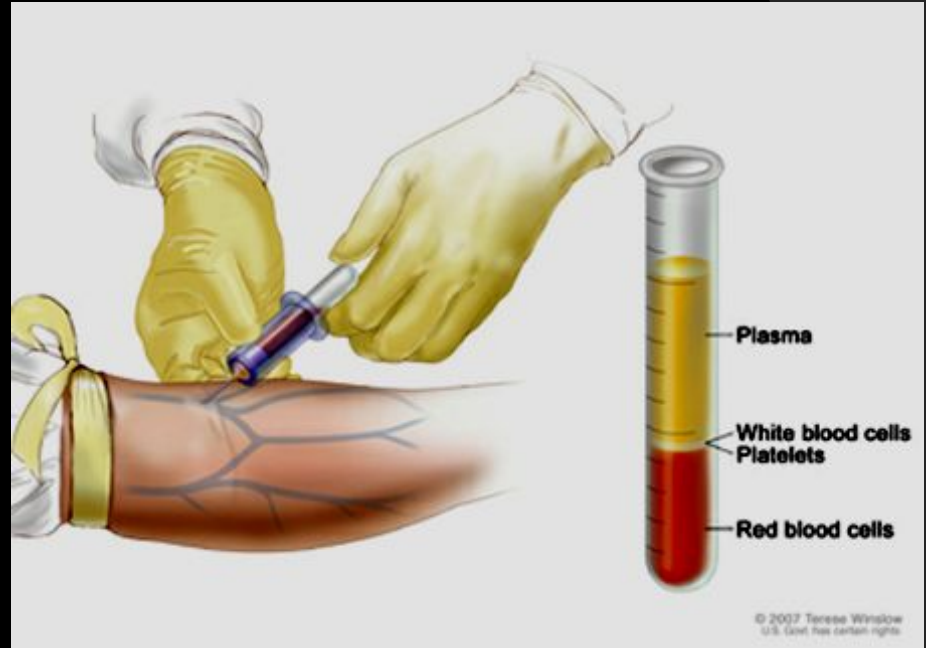
ОЦК - меньше 50 % - гиповолемия (обезвоживание, кровотечение, тяжёлые ожоги и действие лекарственных средств (например, мочегонных или сосудорасширяющих))

# Гематокрит - это объем ФЭК

ННt – нормоцитемия,

↓Нt – олигоцитемия,

↑Нt – полицитемия



Гематокрит зависит:

- от пола (у мужчин: 44-48 %, у женщин: 41-45 %),
- от возраста (у новорожденного – 42-60 %, у годовалого ребенка 30-40 %),
- от зоны проживания,
- от количества депонированной крови

# Вязкость крови

- это способность оказывать сопротивление течению жидкости при перемещении частиц относительно друг друга за счет внутреннего трения.

Вязкость воды = 1, вязкость крови = 5:

вязкость плазмы – 1,7-2,2,

вязкость ФЭК – 2,8-3,3.

# Относительная плотность (удельный вес ) крови

складывается из удельного веса плазмы (белков) и удельного веса ФЭК (в основном эритроцитов).

Удельный вес эритроцитов – 1,094-1,064 г/мл

Удельный вес плазмы – 1,024-1,030 г/мл

Т.о. плотность крови зависит от:

1. количества эритроцитов (у мужчин - 1,057, у женщин - 1,053) ,
2. содержания Hb в эритроцитах,
3. от состава плазмы.

# Количество ФЭК

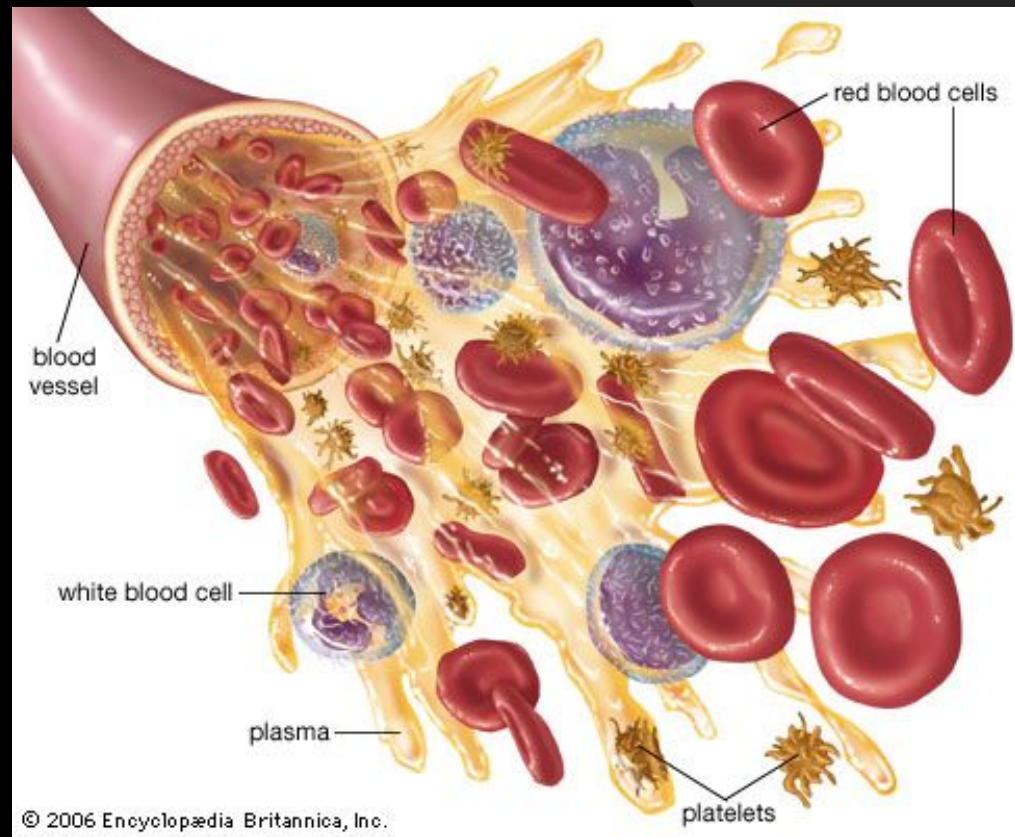
Эритроцитов:

у мужчин  $4,0-5,5 \times 10^{12}$  /л,

у женщин  $3,9-4,9 \times 10^{12}$  /л;

Лейкоцитов  $4,0-9,0 \times 10^9$ /л;

Тромбоцитов  $180-320 \times 10^9$ /л.



# Количество эритроцитов зависит:

## 1. от пола:

- у женщин -  $3,9-4,9 \cdot 10^{12}/л$  (4 500 000 в 1 мкл),
- у мужчин -  $4,5-5,5 \cdot 10^{12}/л$  (6 000 000 в 1 мкл)

## 2. от возраста:

- у новорожденных  $5,5-6,7 \cdot 10^{12}/л$ ,
- у 3-х месячного ребенка  $3,5 \cdot 10^{12}/л$  (уменьшение синтеза эритропоэтина в печени и начало его выработки в почке)
- Содержание эритроцитов достигает нормы взрослого в период полового созревания.

## 3. от времени года (зимой полицитемия)

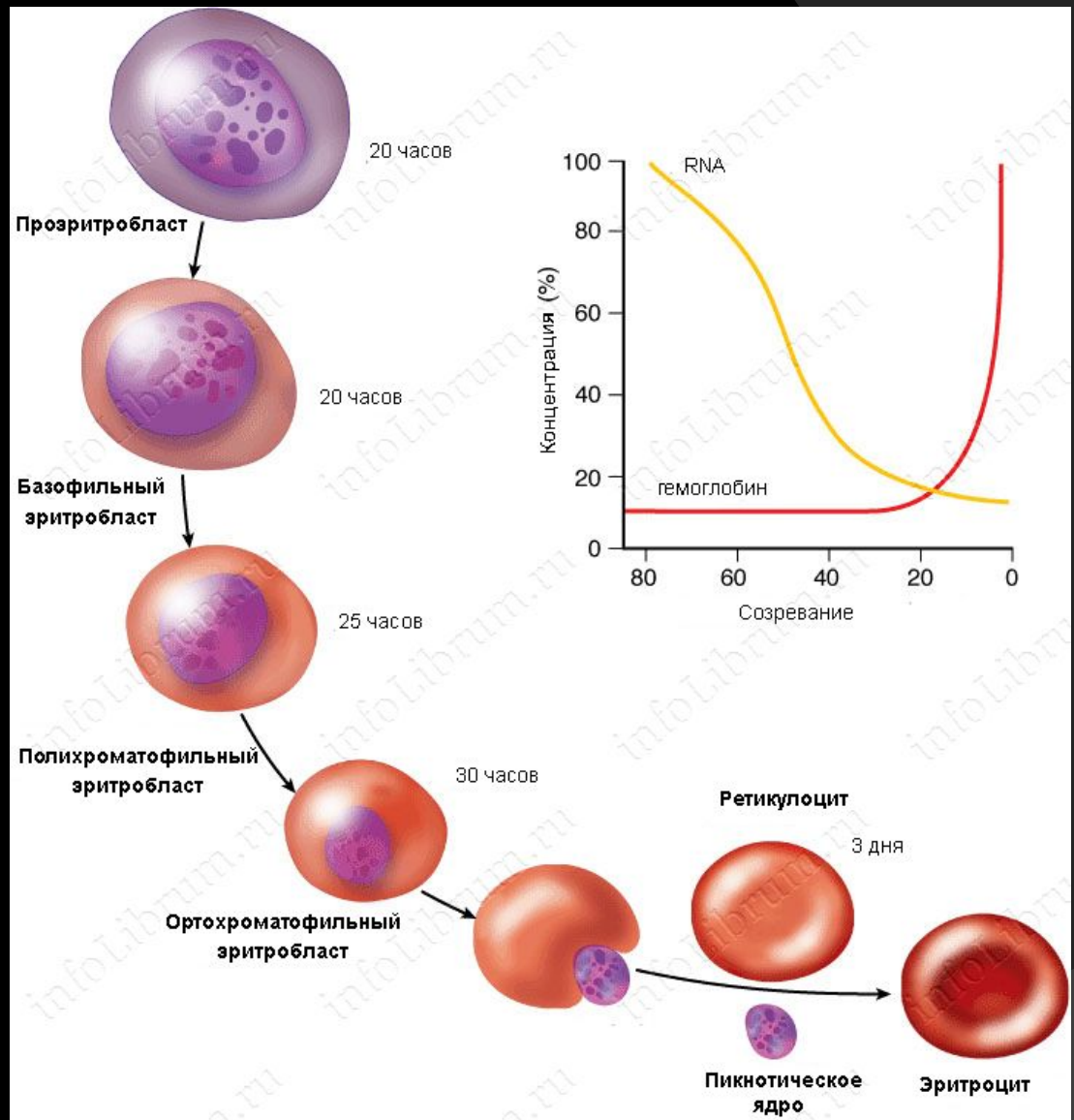


4. от нервно-психических нагрузок (при стрессе – полицитемия)
5. от физических нагрузок (полицитемия)
6. от парциального давления кислорода (в высокогорье - полицитемия)
7. во время беременности - ложная эритропения из-за увеличения объема плазмы
8. во время менструаций - эритропения.

# ФУНКЦИИ ЭРИТРОЦИТОВ:

1. Дыхательная
2. Транспортная
3. Регуляция ионного состава плазмы
4. Защитная
5. Определение групповой принадлежности






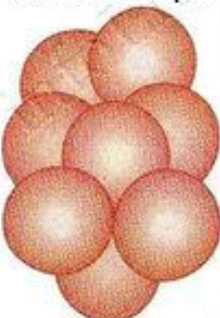






















- Эритроциты образуются из плюрипотентных стволовых клеток красного костного мозга, которые в результате **гемопоза** (процесса формирования, развития и созревания клеток крови) последовательно проходят цепочку превращений



*При этом стволовые клетки уменьшаются в размере и лишаются ядра.*

Пронормобласты ► Нормобласты ► Ретикулоциты ► Эритроциты

На созревание эритроцитов может оказывать влияние наличие различных патологий, при этом форма и размер эритроцитов меняются. Процесс изменения размеров эритроцитов называется **анизоцитозом**.

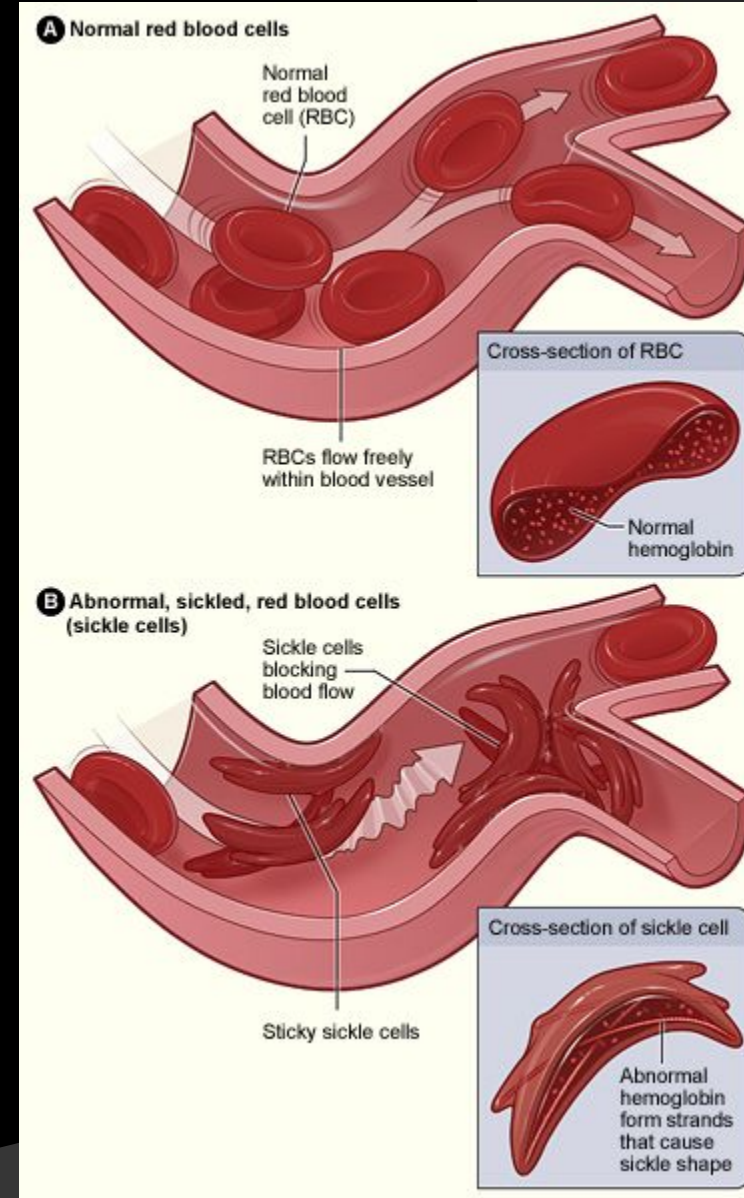
КРАСНЫЕ КРОВЯНЫЕ ТЕЛЬЦА					
Размеры	Распределение гемоглобина	Формы		Включения	Объединение красных телец
Норма 	Гиперхромия 1+ 	Норма 	Акантоциты 	Посторонние тела 	Агглютинация 
Микроциты 	2+ 	Сфероциты 	Шлемовидные 	Кольца Кабота 	
Макроциты 	3+ 	Овалоциты 	Сланцевидные 	Базофильная зернистость 	
Овальныe макроциты 	4+ 	Стоматоциты 	Каплевидные 	Тела Ховелла-Джолли 	
Гиперхромные макроциты 	Полихромазия (ретикулоциты) 	Серповидные 	Задировидные 	Кристаллообразование HbSC  HbC 	

# Размеры и форма эритроцита

Диаметр 7,2-7,5 мкм, толщина 2,2 мкм, объем – 90 мкм<sup>3</sup>

Двоковогнутая форма необходима:

1. для увеличения площади поверхности (3800 м<sup>2</sup>),
2. для уменьшения диффузионного расстояния при переносе газов,
3. для способности к обратимой деформации при прохождении через узкие изогнутые капилляры



# Продолжительность жизни эритроцитов

средняя - 60-90 сут.

максимальная - 120 сут.

Каждые 24 часа обновляется 0,8 % эритроцитов.

Удаление эритроцитов из кровотока происходит:

1. путём фагоцитоза,
2. в результате гемолиза,
3. при тромбообразовании.

# Регуляция эритропоэза

- 1. Эритропоэтины** – физиологические стимуляторы кроветворения, вырабатываются разными тканями, но в основном – почками (90%). Количество поступающих в кровь эритропоэтинов тем больше, чем меньше в крови эритроцитов.
- 2. Продукты распада эритроцитов** стимулируют выработку эритропоэтинов. Чем больше эритроцитов погибает, тем активнее кроветворение. При патологии (анемии, в том числе гемолитической) кроветворение столь активно, что костный мозг выбрасывает в кровь множество ретикулоцитов и ядерные формы проэритроцитов.
- 3. Гипоксия** – кислородное голодание тканей – в любых её проявлениях увеличивает выработку эритропоэтинов, стимулируя кроветворение. Этим объясняется стойкое повышение ретикулоцитов в крови у жителей высокогорья, спортсменов, курильщиков.
- 4. Стресс** может вызвать как повышение, так и снижение ретикулоцитов в крови.
- 5. Факторы Кастла** – биоактивные вещества, выделяемые слизистой желудка (в большей степени) и кишечника, а также витамин В12 и фолиевая кислота. Они образуют активные комплексы с определёнными белками организма, попадают в печень, затем в костный мозг, стимулируя эритропоэз.

# Количество гемоглобина (Hb)

Практически весь объём эритроцита (95%) заполняет дыхательный белок — гемоглобин (Hb).

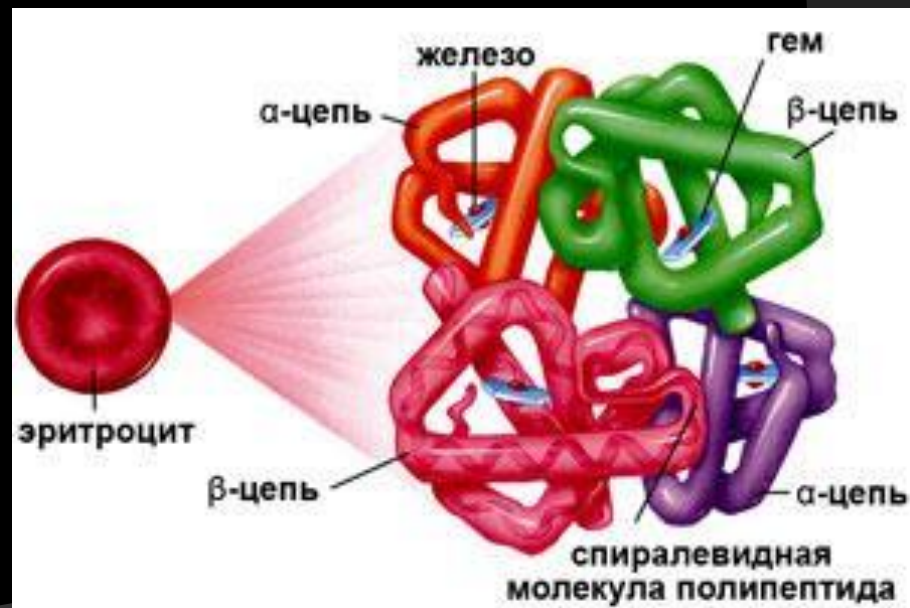
Функции Hb:

1. Дыхательная
2. Поддержание пластичности эритроцита
3. Буферная система

у мужчин - 130-160 г/л,  
у женщин - 120-140 г/л.

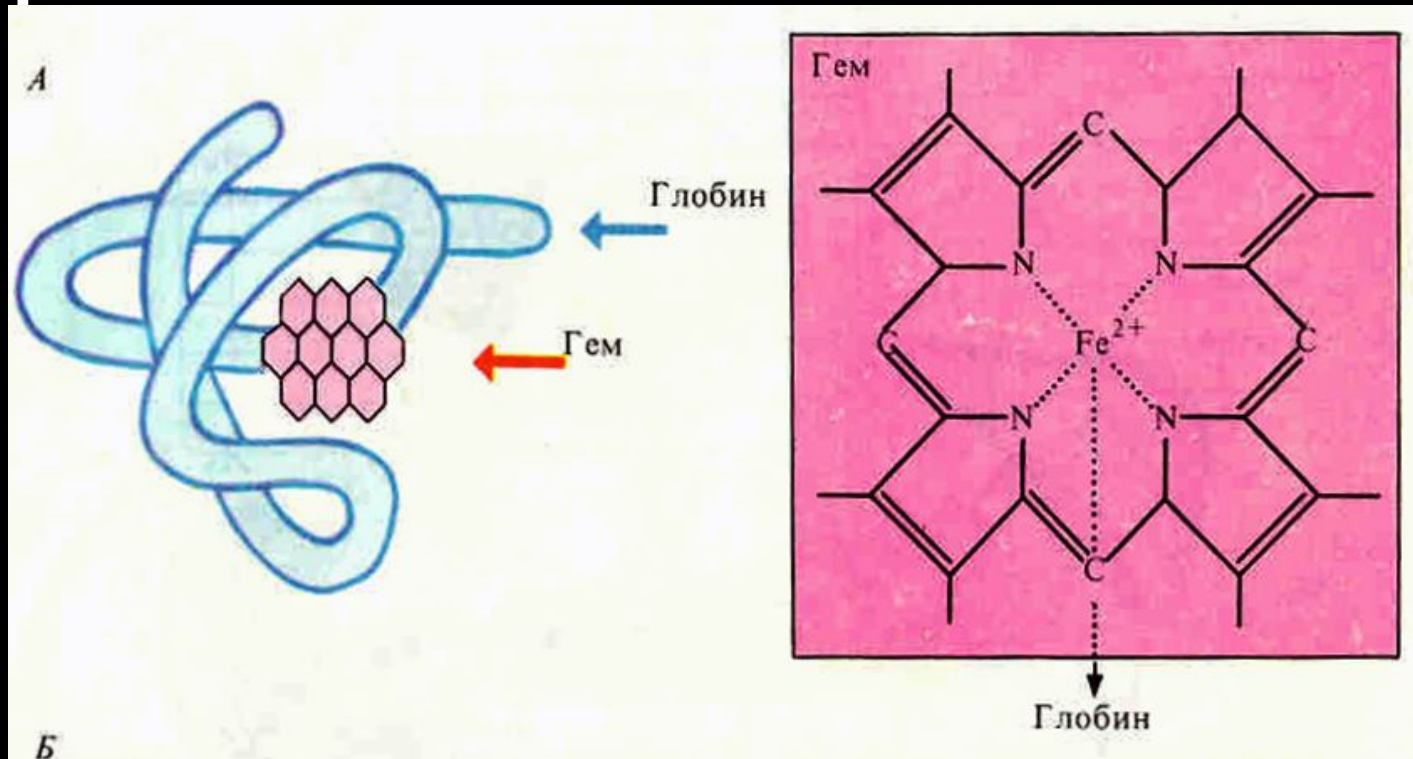
Идеальным является  
содержание Hb – 167 г/л  
– 100%

У новорожденных – 180-210 г/л





# Строение гемоглобина



**Молекула Hb** — тетрамер, хромопептид. Состоит из белка **глобина** (4 полипептидные цепи), каждая из которых ковалентно связана с одной молекулой **железосодержащего гема**.

**Гем** построен из 4 молекул пиррола, образующих порфириновое кольцо, в центре которого находится атом железа ( $\text{Fe}^{2+}$ ).

# Типы гемоглобина

1. Эмбриональный Hb (HbP —  $\xi_2\varepsilon_2$ ,  $\alpha_2\varepsilon_2$  и  $\xi_2\gamma_2$  — цепи) появляются у 19-дневного эмбриона, присутствуют в эритроидных клетках в первые 3–6 мес. беременности.
2. Фетальный Hb (HbF —  $\alpha_2\gamma_2$ ) появляется на 8–36 недель беременности и составляет 90–95% всего Hb плода. После рождения его количество постепенно снижается и к 8 мес. составляет 1%.
3. Дефинитивный Hb — Hb взрослого человека (96–98% — HbA<sub>1</sub> —  $\alpha_2\beta_2$ , 1,5–3% — HbA<sub>2</sub> —  $\alpha_2\delta_2$ ).

Разные типы Hb отличаются не только строением, но и сродством к кислороду:



# Соединения гемоглобина

1. Восстановленный Нб (НбН) образуется после диссоциации  $\text{HbO}_2$ , поэтому его называют дезоксигенированным Нб.
2. Оксигемоглобин ( $\text{HbO}_2$ ) легко диссоциирует, а  $\text{HbO}_2$  становится дезоксигенированным Нб. Для ассоциации и диссоциации  $\text{O}_2$  необходимо, чтобы атом железа гема был в восстановленном состоянии ( $\text{Fe}^{2+}$ ).
3. Карбаминогемоглобин (карбгемоглобин) – соединение гемоглобина с  $\text{CO}_2$  (с амино-группой белка)

4. Карбоксигемоглобин – соединение гемоглобина с СО. Сродство Hb к СО примерно в 200 раз выше, чем к O<sub>2</sub>, поэтому соединение с ним необратимо.
5. Гликозилированный Hb (HbA<sub>1</sub>C) — HbA<sub>1</sub>, модифицированный ковалентным присоединением к нему глюкозы (норма HbA<sub>1</sub>C 5,8–6,2%). Этот Hb имеет худшее сродство к кислороду, чем обычный Hb. (один из первых признаков сахарного диабета - увеличение в 2–3 раза HbA<sub>1</sub>C).

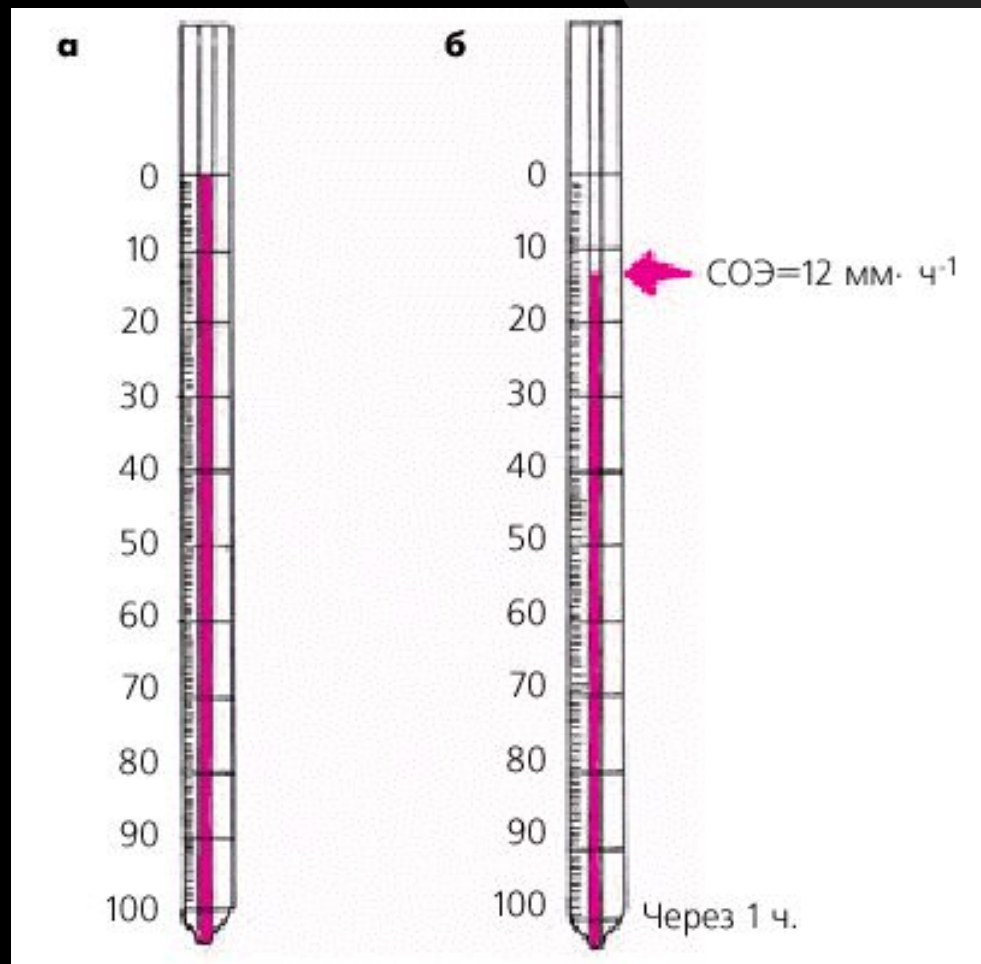
# СОЭ

Скорость оседания  
эритроцитов

СОЭ<sub>мужчины</sub> = 1-10 мм/час

СОЭ<sub>женщины</sub> = 2-15 мм/час

В пожилом возрасте до  
20 мм/час



Проба основывается на способности эритроцитов и белков крови в лишенной возможности свёртывания крови оседать под действием гравитации

# Жесткие константы крови:

1. ионный состав крови,
2. осмотическое давление крови,
3. количество белков в плазме,
4. онкотическое давление,
5. рН крови

# Ионный состав крови:

## Электролиты:

катионы ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ )

анионы ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^-$ , белки);

## Неэлектролиты:

глюкоза, мочевина, небелковый азот,  
жиры, стероиды, фосфолипиды.

# Ионный состав крови определяет осмотическое давление

- сила, с которой растворитель переходит через полупроницаемую мембрану из менее концентрированного в более концентрированный раствор.

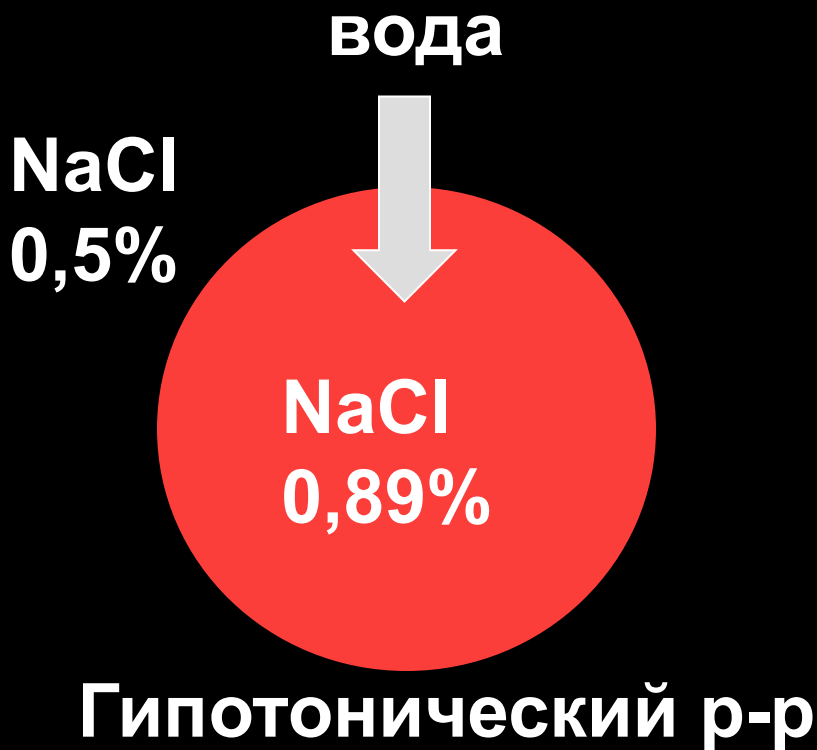
**Осмотическое давление** определяет распределение воды между клетками и окружающей жидкостью.

Осмотическое давление крови = 7,5 атм.

Около 60% осмотического давления создается NaCl.



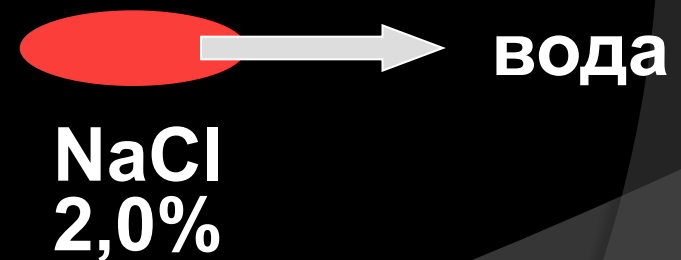
# Осмотические свойства крови



Изотонический р-р



Гипертонический р-р



# В гипотоническом растворе возможен осмотический гемолиз

Мин. осмотическая резистентность:

0,48-0,42 % NaCl

Макс.осмотическая резистентность:

0,34-0,30% NaCl

**Гемолиз** — разрушение оболочки эритроцита, сопровождающееся выходом из них гемоглобина в плазму крови

1. Осмотический гемолиз
2. Химический гемолиз
3. Биологический гемолиз
4. Механический гемолиз
5. Термический гемолиз
6. Иммунный гемолиз

# БЕЛКИ ПЛАЗМЫ

Белки	Концентрация г/л	Основные функции
Альбумин	35-40	Онкотическое давление, транспорт $\text{Ca}^{2+}$ , жирных кислот и других липофильных веществ
$\alpha_1$ -глобулины	3-6	Транспорт липидов, тироксина, гормонов коры надпочечников. Ингибитор трипсина и химотрипсина
$\alpha_2$ -глобулины	4-9	Ингибитор плазмина. Связывание свободного гемоглобина
$\beta$ -глобулины	6-11	Транспорт липидов, железа. Белки системы комплемента
$\gamma$ -глобулины	13-17	Циркулирующие антитела
Фибриноген	30	Свертывание крови, агрегация тромбоцитов
Протромбин	1	Свертывание крови

# Функции белков плазмы:

1. Обеспечение вязкости крови
2. Обеспечение онкотического давления
3. Транспорт фармакологических препаратов, жиров, гормонов, металлов
4. Обеспечение буферных свойств
5. Гемостатическая функция
6. Иммунологическая функция
7. Ферментативно-метаболическая

# Онкотическое давление

- это аналог осмотического давления созданный белками.

Оно составляет около 4 % от осмотического давления и равно 0,02-0,04 атм.

Альбумины вносят самый большой вклад в создание онкотического давления (80 %)

Онкотическое давление отвечает за перераспределение жидкости между кровью и тканями.

# pH крови

pH - это отрицательный десятичный логарифм молярной  $[H^+]$  в среде.

pH артериальной крови - 7,43;

pH венозной крови – 7,35-7,36;

pH в клетке – 7,0-7,2

pH крови поддерживается:

1. буферными системами крови,
2. выведением  $CO_2$  легкими,
3. выведением кислых и основных продуктов почками и кожей

# Буферные системы крови:

## 1. Гемоглобиновая

$\text{HbH}$  - слабая кислота

$\text{HHbO}_2$  – сильная кислота

## 2. Карбонатная

$\text{H}_2\text{CO}_3$  - слабая кислота,

$\text{NaHCO}_3$  – нейтральная соль

## 3. Фосфатная

$\text{NaH}_2\text{PO}_4$  – слабая кислота,

$\text{Na}_2\text{HPO}_4$  – слабая щелочь

## 4. Белковая

Белки плазмы крови играют роль буфера, так как обладают амфотерными свойствами: в кислой среде ведут себя как основания, а в основной – как кислоты.



# Сдвиги рН крови

Сдвиг активной реакции в кислую сторону называют ацидозом, в щелочную – алкалозом.

Различают ацидоз и алкалоз:

1. респираторный,
2. нереспираторный,
  1. выделительный,
  2. метаболический
3. смешанный (наблюдается при сочетании двух или нескольких форм ацидоза и алкалоза)

# ЛЕЙКОЦИТ Ы

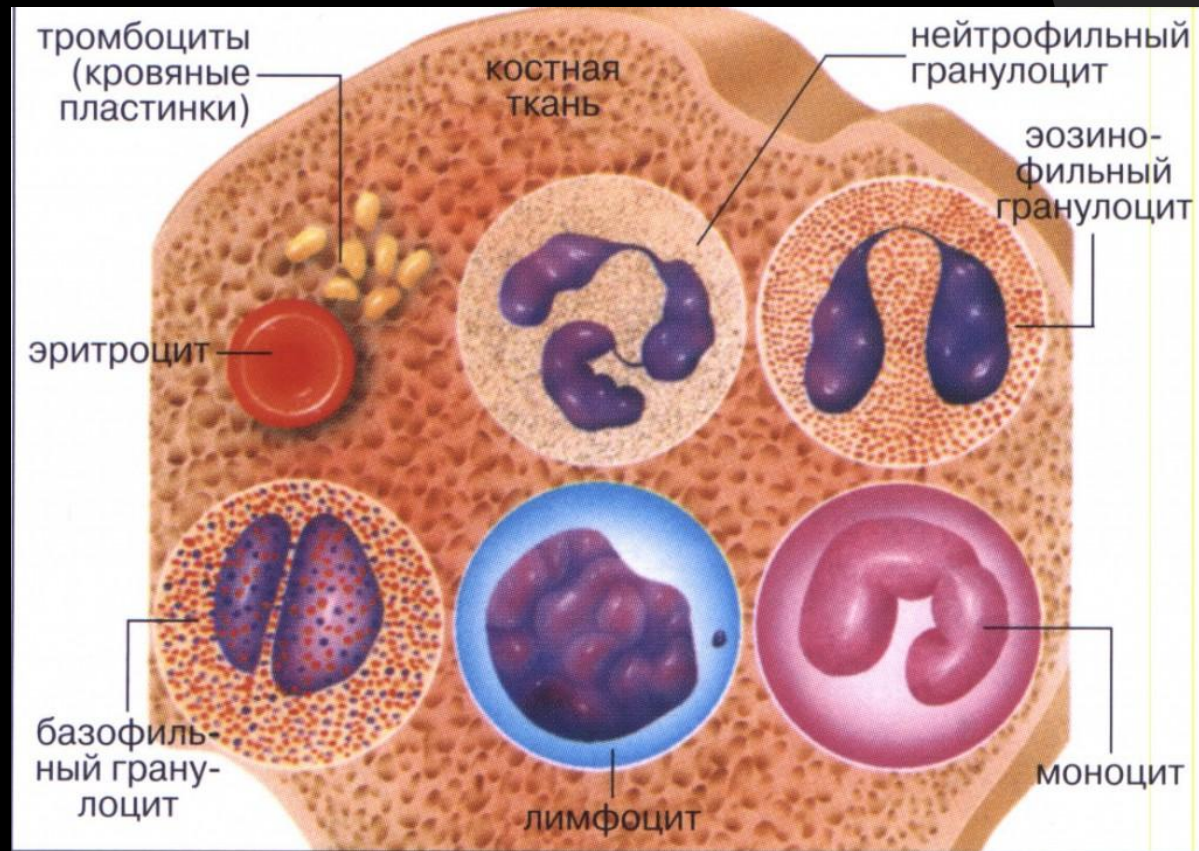


# ЧИСЛО ЛЕЙКОЦИТОВ

У взрослого –  $4-9 \times 10^9/\text{л}$

У новорождённых -  $10-30 \times 10^9/\text{л}$ .

В течение первых двух недель после рождения количество лейкоцитов снижается до  $9-15 \times 10^9/\text{л}$ ,  
К 4 годам количество лейкоцитов уменьшается до  $7-13 \times 10^9/\text{л}$ ,  
К 14 годам количество лейкоцитов достигает уровня, характерного для взрослого.



# ЛЕЙКОЦИТАРНАЯ

## ФОРМУЛА %

Процентное содержание отдельных видов лейкоцитов к их общему числу принятому за 100 называется **лейкоцитарной формулой** или **лейкограммой**



СДВИГ ВЛЕВО

СДВИГ ВПРАВО

Сдвиг влево – **увеличение количества незрелых** (палочкоядерных) **нейтрофилов** в периферической крови, появление юных;

Сдвиг вправо – **уменьшение нормального количества палочкоядерных нейтрофилов** и увеличение числа сегментоядерных нейтрофилов (анемия, болезни почек и печени, состояние после переливания крови).

# *Гранулоциты:*

## Функции нейтрофилов

1. фагоцитоз и защита от инфекции,
2. стимуляция регенерации тканей,
3. транспорт БАВ и антител,
4. регуляция проницаемости гистогематических барьеров

При острых инфекционных заболеваниях число нейтрофилов в крови быстро нарастает.

# Функции эозинофилов

1. защита организма от паразитарной инфекции гельминтами,
2. нейтрализация медиаторов аллергической реакции и подавление их секреции,
3. подавление агрегации тромбоцитов.
4. фагоцитоз и бактерицидное действие

# Функции базофилов

1. поддержание кровотока в мелких сосудах и питания тканей,
2. поддержание роста новых капилляров,
3. обеспечение миграции других лейкоцитов,
4. фагоцитоз и защита от инфекции,
5. участие в аллергических реакциях,
6. активация агрегации тромбоцитов.

Продуцируют гепарин и гистамин

# ***Агранулоциты:***

## **ФУНКЦИИ МОНОЦИТОВ**

1. участие в иммунном ответе и воспалении,
2. активация регенерации тканей,
3. участие в противоопухолевой защите,
4. регуляция гемопоеза,
5. фагоцитоз микроорганизмов и старых клеток, противопаразитарная защита,
6. стимуляция центра терморегуляции

*Способны к амёбовидному движению, фагоцитарная и бактерицидная активность*



# Функции лимфоцитов

1. обеспечение клеточного и гуморального иммунитета,
2. участие в регуляции гемопоэза,
3. участие в регуляции хемотаксиса и активности фагоцитов

Главная функция лимфоцитов состоит в узнавании чужеродного антигена и участии в адекватном иммунологическом ответе организма.

# Виды иммунитета



# ИММУННЫЙ ОТВЕТ

Проникновение чужеродного антигена в организм человека приводит к развитию трех типов реакций в зависимости от природы антигена

## АНТИГЕН

Возбудители детских инфекций  
и другие антигены

Вирусы, бактерии  
и другие антигены

Пыль, пыльца, запахи,  
пищевые продукты, лекарства

## РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА

### Иммунный ответ

### Воспаление

- Циркуляция и размножение возбудителя
- Повышение температуры тела, отек слизистых
- Уничтожение возбудителя
- Иммунологическая память не формируется
- Возможно повторное заболевание

- Циркуляция и размножение возбудителя в кровеносной, лимфатической и иммунной системах
- Повышение температуры тела
- Распознавание возбудителя
- Активизация иммунной системы
- Размножение специфических к возбудителю Т- и В-лимфоцитов
- Синтез антител против возбудителя
- Формирование иммунологической памяти к данному возбудителю
- Повторное заболевание не возникает

### Аллергия

*Индивидуальная чувствительность организма к антигену*

- Быстрое развитие длительной аллергической реакции
- Повторное проникновение антигена вызывает усиление аллергии

Имеются 3 типа лимфоцитов:

1. ***В-лимфоциты*** (10% всех лимфоцитов), обеспечивающие гуморальный иммунитет, продуцируют иммуноглобулины.
2. ***Т-лимфоциты*** (80% и более всех лимфоцитов), обеспечивающие клеточный иммунитет, продуцируют медиаторы иммунного ответа – интерлейкины, распознают антигены на поверхности ***В-лимфоцитов***.
3. ***НК-клетки*** (около 5–10% всех лимфоцитов), содержат цитолитические гранулы с перфорином, уничтожают трансформированные (опухолевые) и инфицированные вирусами, а также чужеродные клетки.

В ответ на антигенное раздражение лимфоциты могут, оседая в лимфоидной ткани, активно размножаться и дифференцироваться в конечные эффекторные клетки (в *плазматические клетки* из В-лимфоцитов и *цитотоксические* — из Т-лимфоцитов).