

# Система крови

# Внутренняя среда организма

- Кровь
- Тканевая жидкость
- Лимфа

Термин «внутренняя среда организма» впервые предложил К. Бернар.

Компоненты внутренней среды организма связаны между собой и контактируют с клетками организма (поэтому и называются «внутренней средой организма»)

# Система крови (понятие предложено выдающимся советским терапевтом Г.Ф. Лангом)

- Кровь
- Органы кроветворения (красный костный мозг)
- Органы кроверазрушения (селезенка, которая является «кладбищем» эритроцитов из-за наличия узких пространств диаметром 3 мкм между трабекулами красной пульпы, и печень)
- Аппарат регуляции системы крови (синтезируемые цитокины: эритропоэтин, тромбоэтин, ИЛ-1,2,3 и т.д.)

Количество крови в организме – **6-8%** или **1/13**

от массы тела

# Функции крови

- Транспортная – транспорт различных веществ
- Дыхательная – транспорт газов
- Экскреторная - выведение продуктов метаболизма и избыточных веществ
- Иммунная защита – специфическая и неспецифическая резистентность
- Гемостатическая
- Поддержание крови в жидком состоянии
- Гуморальная
- Терморегуляторная

# Состав крови

- Форменные элементы крови – эритроциты, лейкоциты и тромбоциты – составляют 40-45% от объема крови
- Плазма – 55-60% от объема крови

Гематокрит – отношение объема форменных элементов крови к общему объему крови (36-48%). Поскольку объем форменных элементов определяется практически только количеством эритроцитов (сравните:  $4-5 \cdot 10^{12}$  эритроцитов и  $4,5-9 \cdot 10^9$  лейкоцитов, т.е., в 1000 раз меньше), то и гематокрит в основном зависит от количества эритроцитов.

# Состав плазмы

- 90-92% вода
- 8-10% сухой остаток (органические и неорганические вещества)

Жесткие и пластичные константы.

Органические вещества в основном представлены белками – 7-8% от массы плазмы. Белки: альбумины (4-5%), глобулины (до 3%) и фибриноген (0,2-0,4%).

Фракции глобулинов:  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  (разделены на основании разной скорости движения при электрофорезе)

# Функции белков

- Онкотическое давление
- Поддерживают рН крови (буферные системы)
- Влияние на вязкость крови
- Специфический и неспецифический иммунитет (иммуноглобулины и белки системы комплемента)
- Гемостатическая, антикоагулянтная и фибринолитическая
- Транспортная

# Физико-химические свойства крови

- **Цвет:** артериальная – ярко-красная за счет содержания в эритроцитах только оксигемоглобина, венозная – темно-красная за счет наличия восстановленного Hb.
- **Относительная плотность** 1,052-1,062
- **Вязкость крови** 4,0-5,0 (относительно воды)
- **Температура крови** 37-40°C
- **Осмотическое давление крови** 7,3-7,6 атм.  
Определяется криоскопическим методом:  $\pi = C_M RT$ , где  $\pi$  – осмотическое давление,  $C_M$  – молярная концентрация (моль/л),  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – температура;  $C_M = \Delta t / K$ , следовательно  $\pi = \Delta t RT / K$ . Депрессия точки замерзания крови составляет 0,54-0,58°C (по сравнению с водой)
- **Онкотическое давление** - давление, формируемое за счет белков, в основном альбуминов, что связано с их меньшей молекулярной массой и большим количеством молекул (осмотическое давление зависит не от молекулярной массы растворенного вещества, а количества его частиц в растворе).  
Составляет около 28 мм рт.ст.



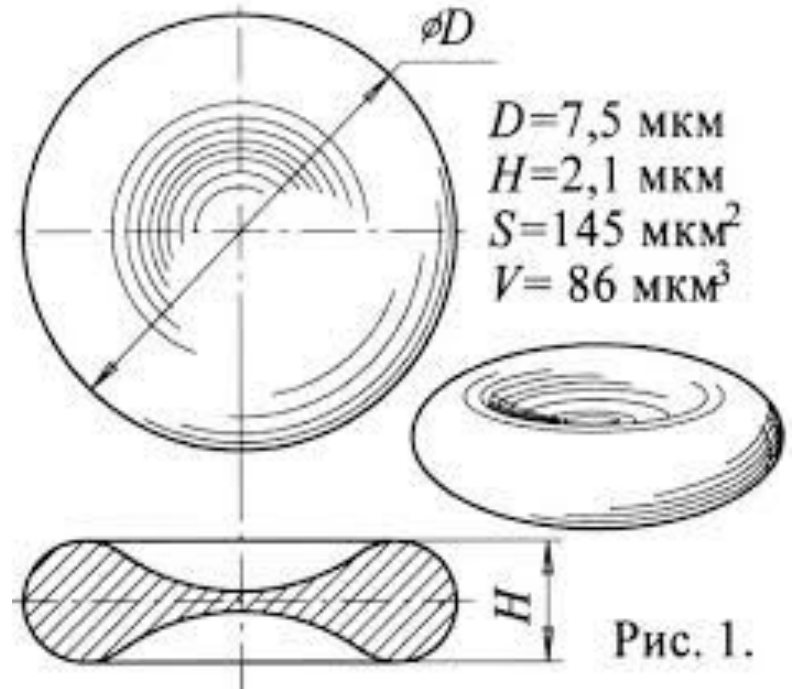
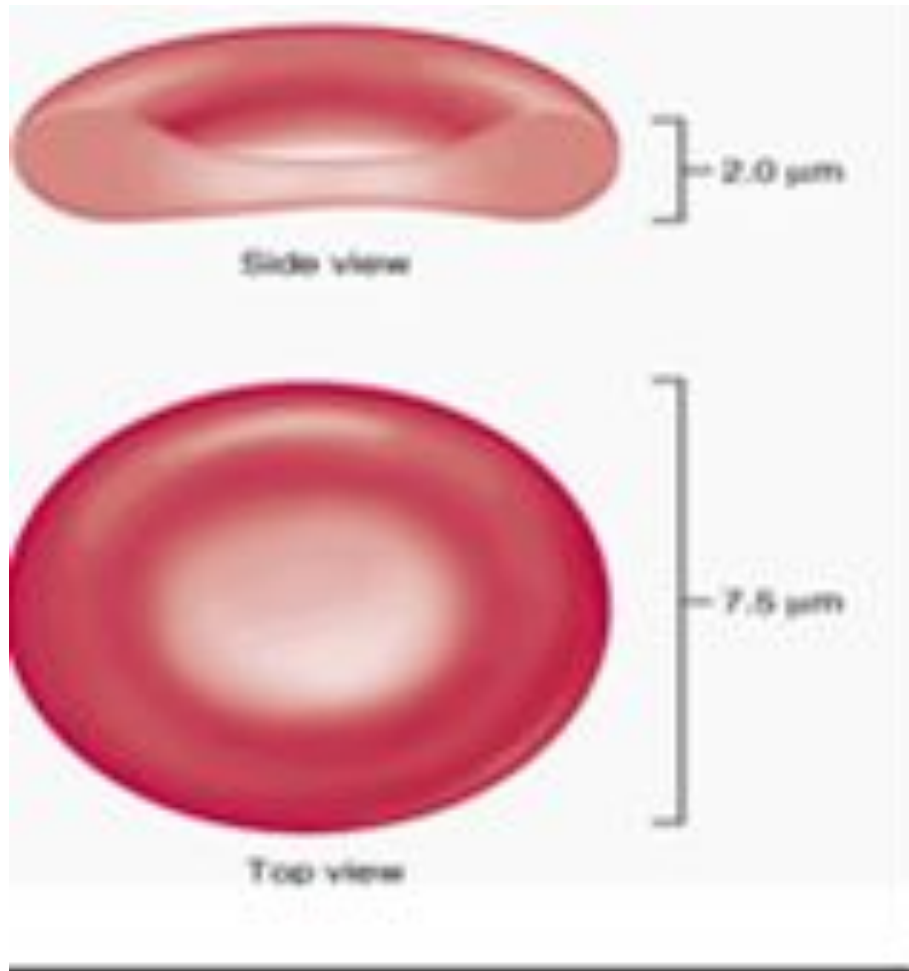
- рН 7,36-7,44, такой узкий коридор обеспечивается наличием буферных систем крови: бикарбонатной, фосфатной, белковой и гемоглобиновой (самой мощной из них). Они временно связывают избыток кислых продуктов метаболизма, образующихся в результате интенсивной работы, которые затем постепенно выводятся почками и легкими. Таким образом, большое количество кислых продуктов метаболизма не вызывает сильного уменьшения рН и нарушения работы клеток организма.
- **Суспензионная устойчивость крови** – способность крови находиться в виде суспензии. Количественный показатель, оценивающий суспензионную устойчивость крови – скорость оседания эритроцитов (СОЭ). Факторы, обеспечивающие суспензионную устойчивость крови – гидрофильная поверхность эритроцитов и **отрицательный заряд** на их поверхности. Изменение белкового состава (увеличение фибриногена,  $\gamma$ -глобулина, парапротеинов и др., наблюдающееся при **воспалительных** и **онкологических** заболеваниях) крови может приводить к уменьшению отрицательного заряда эритроцитов, следовательно, повышению СОЭ и уменьшению суспензионной устойчивости крови, что снижает функциональные возможности крови. Нормальные значения СОЭ: новорожденные – 1-2 мм/ч, у детей старше года и мужчин – 6-12 мм/ч, у женщин – 8-15 мм/ч

# Эритроциты

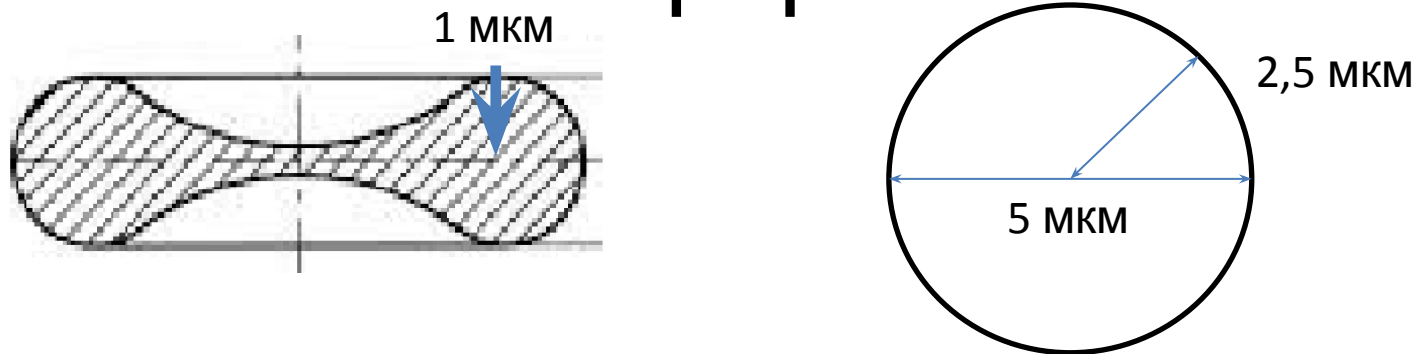
- Постклеточная структура, так как эритроцит не имеет органелл. Ядро отсутствует, так как: 1) Ядро самая кислород потребляющая структура клетки; 2) Освобождается дополнительное место для Hb; 3) Появляется возможность принять форму двояковогнутого диска
- Количество эритроцитов: у мужчин –  $4-5 \cdot 10^{12}$  в литре, у женщин –  $3,8-4,5 \cdot 10^{12}$  в литре. Различие в количестве эритроцитов можно объяснить большим содержанием жировой ткани у женщин (на 10%; известно, что метаболические потребности жировой ткани практически нулевые), чем у мужчин, а также различием в гормональном статусе.

# Размеры эритроцитов

$d=7,2-7,5$  мкм, толщина на периферии около 2 мкм, в центре около 1 мкм.



# Преимущества формы двояковогнутого диска над сферической



1. Увеличение площади, как минимум, на 20% (по другим данным в 1,7 раза)
2. Повышенная пластичность благодаря избыточной, «мешковидной» мембране по сравнению с шаровидным эритроцитом, благодаря чему риск разрыва мембраны при прохождении через узкие пространства минимальный.
3. Компактность
4. Снижение диффузионного расстояния (расположение наиболее удаленной молекулы  $\text{Hb}$  от поверхности эритроцита)

Несмотря на то, что форма двояковогнутого диска энергетически не выгодна, эритроцит затрачивает дополнительное количество энергии на ее поддержание, чтобы получить эти преимущества.

# Гемоглобин (Hb)

- Находится в эритроцитах, а не в плазме, так как: 1) Около 3% проходящего Hb через почки фильтровалось бы через почечный фильтр; 2) Резко бы возросло онкотическое давление крови и фильтрация через стенку капилляра отсутствовала бы; 3) Резко бы возросла вязкость крови.
- Количество у женщин **120-150 г/л**, у мужчин **130-160 г/л**.
- Функции Hb: 1) Транспорт кислорода и небольшого количества CO<sub>2</sub>; 2) Буферная функция
- Фракции Hb: HbA (взрослый – на него приходится 95-98% всего Hb), HbA<sub>2</sub> и HbF (фетальный).

# Соединения Hb с различными газами

- Оксигемоглобин ( $\text{HbO}_2$ ) – с кислородом
- Карбгемоглобин ( $\text{HbCO}_2$ ) – с  $\text{CO}_2$
- Карбоксигемоглобин ( $\text{HbCO}$ ) – с CO (угарным газом)
- Метгемоглобин – прочное соединение окисленного гемоглобина ( $\text{Fe}^{3+}$ ) с кислородом, т.е., кислород тканям не отдается. Образуется под влиянием сильных окислителей, например, гептила – компонента ракетного топлива

# Методы определения Hb в крови

- На данный момент это производится с помощью автоматизированных систем
- Раньше с помощью гемометра Сали (методику см. в практической тетради)



# Цветовой показатель (ЦП)

- Содержание Hb в эритроците называется цветовым показателем или фарб-индексом; это относительный показатель.
- **Расчет:** за 100% Hb (или за 1) принимается 167 г/л Hb, а за 100% эритроцитов принимается  $5 \cdot 10^{12}$  в литре. Если в исследуемой крови 167 г/л Hb, а эритроцитов  $5 \cdot 10^{12}$  в литре, то ЦП будет равным 1 ( $1/1=1$ ). Допустим, показатели 140 г/л и  $4,5 \cdot 10^{12}$ , тогда цветовой показатель рассчитывается следующим образом: 140 г/л – 0,83 ( $140/167$ ), а  $4,5 \cdot 10^{12}$  – 0,9 ( $4,5/5$ ); 0,83 делим на 0,9, получаем значение ЦП 0,92, что соответствует норме (0,85-1,05; по другим данным норма 0,75-1). Эти эритроциты будут **нормохромными**, с показателем менее 0,75 – **гипохромные** (при железодефицитной анемии), более 1 – **гиперхромные** (при  $B_{12}$ -дефицитной анемии).



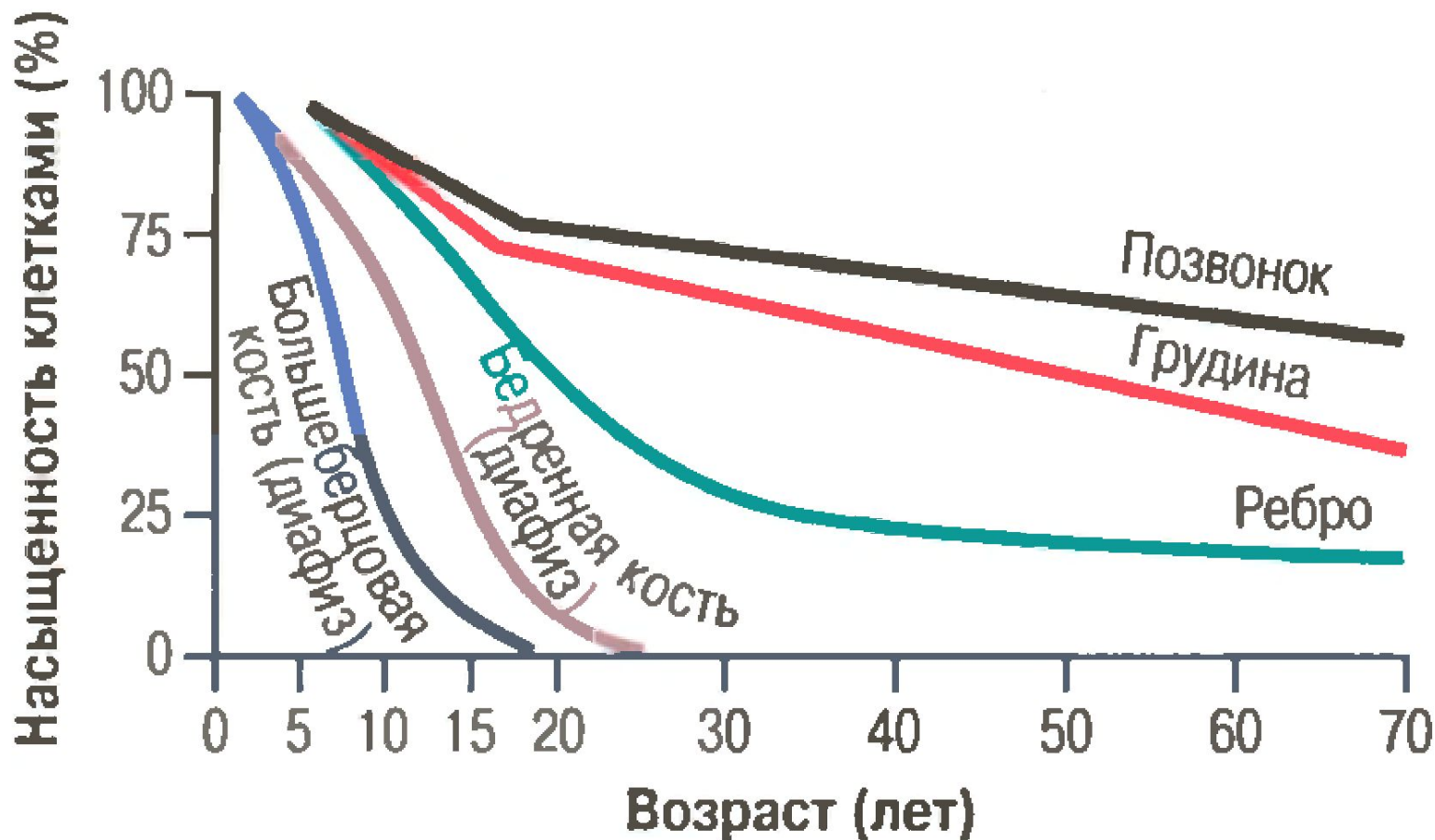
# Гемолиз – выход ННЬ в плазму в результате разрыва оболочки эритроцита

- Физиологический – старые эритроциты
- Осмотический – при помещении в гипотонический раствор; минимальная осмотическая резистентность – разрушаются менее устойчивые эритроциты, прежде всего старые, при концентрации NaCl 0,42-0,48%; максимальная осмотическая резистентность – разрушаются все эритроциты при концентрации NaCl 0,30-0,34%.
- Химический – например, HCl при определении количества ННЬ
- Биологический - яды змей, содержащие лецитиназу, разрушающую оболочку эритроцитов
- Механический - при длительном маршировании (маршевая гемоглобинурия, плоскостопие только увеличивает количество разрушенных эритроцитов при этом)
- Термический
- Иммунный - при переливании несовместимой крови или при

# Эритропоэз – процесс образования эритроцитов. Основные факторы:

- **Железо** (хорошо усваивается из продуктов животного происхождения, для получения суточной нормы достаточно 100г красного мяса, например, говядины)
- **Витамин В<sub>9</sub>**
- **Витамин В<sub>12</sub>** (для его всасывания необходим внутренний фактор Кастла (гастромукопротеин), вырабатываемый обкладочными клетками желудка. Поэтому, если имеются определенные проблемы с желудком (**не любая проблема!!!**), возможно возникновение витамин В<sub>12</sub>-дефицитной анемии)
- **Эритропоэтин** – вырабатывается в почках (90%) и в других тканях, в основном в печени (10%) в ответ на гипоксии клеток этих органов. Попадая в кровь, стимулирует эритропоэз в красном костном мозге. Самые частые причины гипоксии: 1) Анемия; 2) Кровопотеря; 3) Легочные заболевания; 4) Высокогорье;

# Возрастная эволюция эритропоэза



В первые недели эритропоэз происходит в желточном мешке, к концу второй недели перемещается в печень, а в течение последнего месяца беременности происходит исключительно в красном костном мозге (ККМ). До 5-летнего возраста кроветворение происходит практически во всех костях. Постепенно ККМ длинных трубчатых костей замещается жировой тканью и примерно после 20 лет кроветворение происходит в плоских костях (грудина, подвздошные кости,

# Схема стимуляции эритропоэза

