

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: α_1 , α_2 , β и γ (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 π – 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.

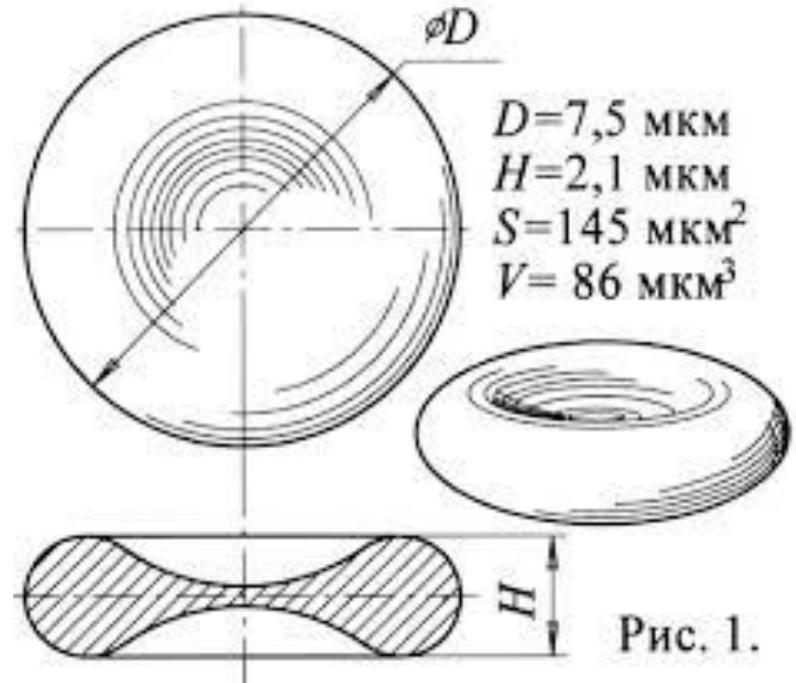
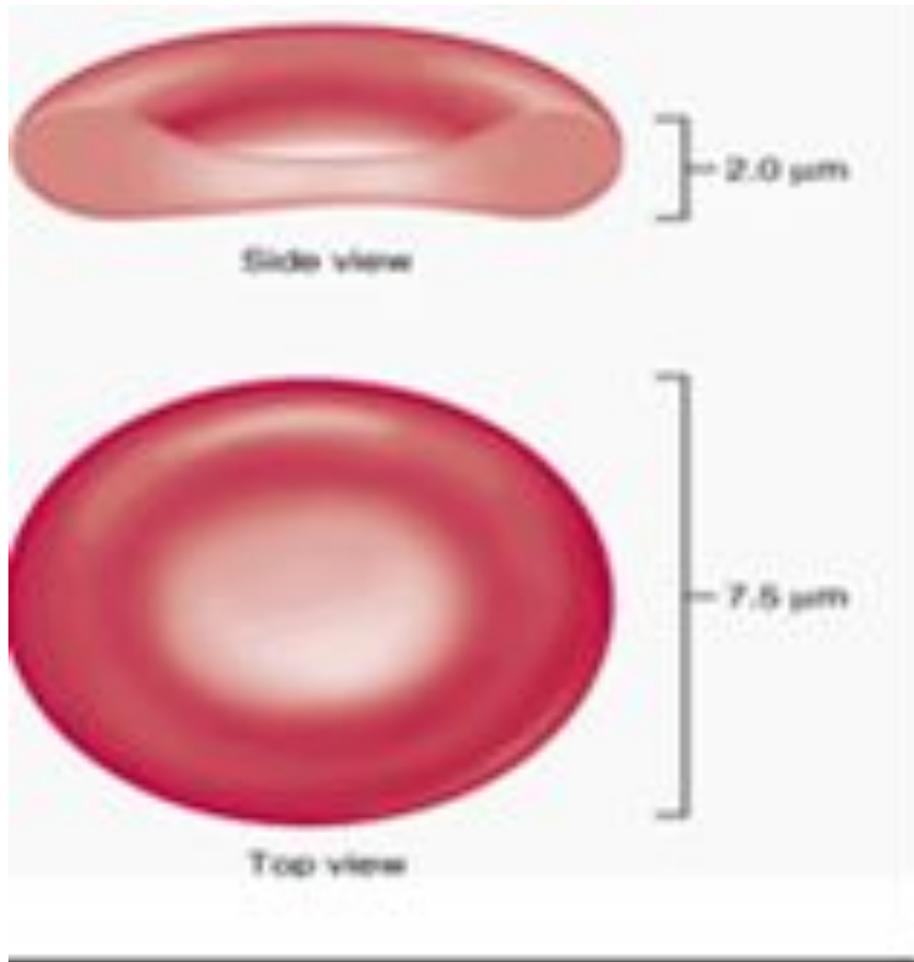
- рН 7,36-7,44, такой узкий коридор обеспечивается наличием буферных систем крови: бикарбонатной, фосфатной, белковой и гемоглобиновой (самой мощной из них). Они временно связывают избыток кислых продуктов метаболизма, образующихся в результате интенсивной работы, которые затем постепенно выводятся почками 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, γ -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

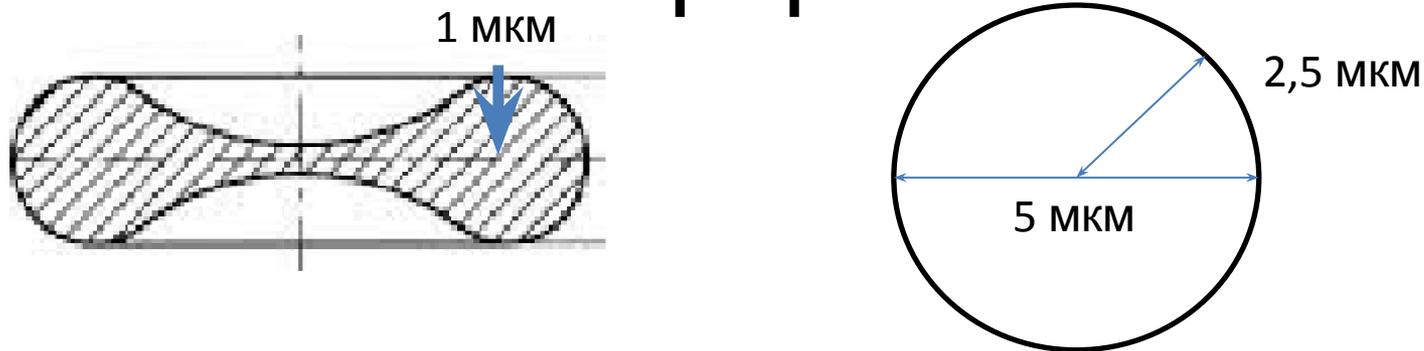
- Постклеточная структура, так как эритроцит не имеет органелл. Ядро отсутствует, так как: 1) Ядро самая кислород потребляющая структура клетки; 2) Освобождается дополнительное место для Hb; 3) Появляется возможность принять форму двояковогнутого диска
- Количество эритроцитов: у мужчин – $4-5 \cdot 10^{12}$ 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 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 CO₂; 2) Буферная функция
- Фракции Hb: HbA (взрослый – на него приходится 95-98% всего Hb), HbA₂ и HbF (фетальный).

Соединения Hb с различными газами

- Оксигемоглобин (HbO_2) – с кислородом
- Карбгемоглобин (HbCO_2) – с CO_2
- Карбоксигемоглобин (HbCO) – с CO (угарным газом)
- Метгемоглобин – прочное соединение окисленного гемоглобина (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).

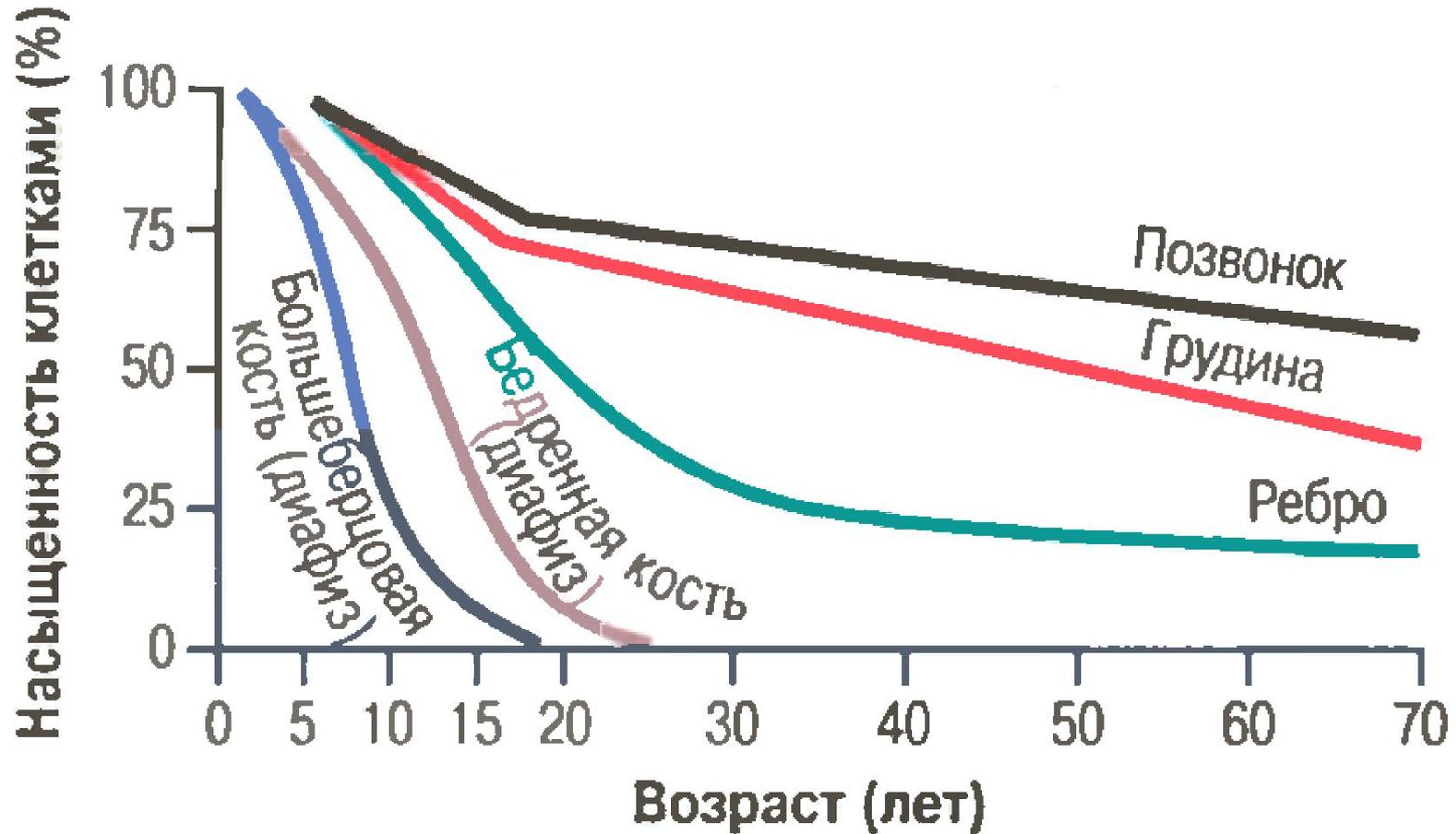
Гемолиз – выход Hb в плазму в результате разрыва оболочки эритроцита

- **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 Hb
- **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 В₉**
- **Витамин В₁₂** (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 В₁₂-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

