

Тема 6.1 «Состав, свойства и функции крови»

Введение

Кровь (*sanguis*) — жидкая соединительная ткань внутренней среды организма, циркулирующая в замкнутой системе сердечно-сосудистого русла. Она обеспечивает взаимосвязь между всеми органами и тканями, выполняя транспортные, защитные и регуляторные функции.

Цель лекции — изучить состав крови, физико-химические свойства, функции форменных элементов и плазмы, а также их значение для поддержания гомеостаза.

1. Кровь как составная часть внутренней среды организма

Внутренняя среда организма (*medium internum organismi*) включает:

- кровь (*sanguis*);
- лимфу (*lymph*);
- тканевую жидкость (*liquor interstitialis*).

Гомеостаз (*homeostasis*) — поддержание постоянства внутренней среды, обеспечиваемое, в том числе, кровью.

Объём крови:

- у взрослого человека составляет 6–8 % массы тела ($\approx 4\text{--}6$ л);
- **нормоволемия** — нормальный объём крови;
- **гиперволемия** — увеличение объёма;
- **гиповолемия** — уменьшение объёма.

Гематокрит (*hematocritus*) — соотношение объёмов форменных элементов и плазмы:

- у мужчин: 40–48 %;
- у женщин: 36–42 %.

2. Количество крови

Абсолютные показатели:

- общее количество крови у взрослого: 4–6 л;
- циркулирующая кровь: $\approx 60\text{--}70$ %;
- депонированная кровь (в селезёнке, печени, коже): $\approx 30\text{--}40$ %.

Физиологические колебания:

- при физической нагрузке происходит мобилизация депонированной крови;

- при кровопотере активируются механизмы компенсации (выход жидкости из тканей, активация эритропоэза).

3. Функции крови

1. Транспортная:

- дыхательная (перенос O_2 и CO_2);
- трофическая (доставка питательных веществ);
- экскреторная (транспорт продуктов метаболизма к органам выделения);
- терморегуляторная (распределение тепла).

2. Защитная:

- иммунная (фагоцитоз, антителообразование);
- гемостатическая (свёртывание крови).

3. Регуляторная:

- гуморальная (транспорт гормонов и биологически активных веществ);
- поддержание кислотно-щелочного равновесия (буферные системы);
- осмотического давления.

4. Гомеостатическая:

- поддержание водно-солевого баланса;
- стабилизация ионного состава.

4. Состав крови

4.1. Плазма крови (*plasma sanguinis*)

Плазма крови (*plasma sanguinis*) — жидкая часть крови, лишённая форменных элементов. Она составляет **55–60 % общего объёма крови** и представляет собой сложный водный раствор органических и неорганических веществ.

Гематокрит (*hematocritus*) — показатель, отражающий соотношение объёма форменных элементов и плазмы. Норма:

- у мужчин: 40–48 %;
- у женщин: 36–42 %.

Состав:

- вода — 90–92 %;
- сухой остаток — 8–10 %, включая:
 - белки (65–80 г/л): альбумины, глобулины, фибриноген;
 - небелковые азотистые вещества (мочевина, креатин, креатинин);

- безазотистые органические вещества (глюкоза, липиды);
- минеральные вещества (ионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^-).

Основные белки плазмы:

Основные фракции:

- **Альбумины** (35–50 г/л, 55–65 % всех белков):
 - синтезируются в печени;
 - обеспечивают 80 % онкотического давления;
 - выполняют транспортную функцию (жирные кислоты, билирубин, кальций, лекарства);
 - служат резервом аминокислот.
- **Глобулины** (20–30 г/л, 30–35 % белков):
 - α_1 -глобулины (антитрипсин, тироксинсвязывающий белок);
 - α_2 -глобулины (гаптоглобин, церулоплазмин);
 - β -глобулины (трансферрин, липопroteины);
 - γ -глобулины (иммуноглобулины IgA, IgM, IgG, IgE, IgD — антитела).
- **Фибриноген** (2–4 г/л, 4–7 % белков):
 - предшественник фибрина;
 - участвует в свёртывании крови;
 - синтезируется в печени.

Физико-химические свойства плазмы:

1. **Относительная плотность (удельный вес):** 1,024–1,034 (по отношению к дистиллированной воде).
2. **Вязкость:** 1,8–2,5 единицы (в 1,7–2,2 раза выше вязкости воды). Определяется преимущественно концентрацией белков.
3. **Осмотическое давление:** $\approx 7,6$ атм (5600–5700 мм рт. ст.). Создаётся преимущественно ионами Na^+ и Cl^- (≈ 60 % давления).
4. **Онкотическое давление:** 25–30 мм рт. ст. Обусловлено белками плазмы, особенно альбуминами.
5. **pH:** 7,35–7,45 (слабощелочная реакция). Поддерживается буферными системами.
6. **Температура:** 37–38 °C (выше температуры тела из-за экзотермических реакций метаболизма).

Небелковые азотсодержащие вещества (остаточный азот):

- мочевины (2,5–8,3 ммоль/л);
- креатин и креатинин;
- аминокислоты;

- мочевая кислота;
- аммиак.

Безазотистые органические вещества:

- глюкоза: 3,88–6,1 ммоль/л (норма натошак);
- липиды (холестерин, триглицериды, фосфолипиды);
- кетоновые тела;
- лактат.

Минеральные вещества (электролиты):

- катионы: Na^+ (135–145 ммоль/л), K^+ (3,5–5,1 ммоль/л), Ca^{2+} (2,2–2,6 ммоль/л), Mg^{2+} ;
- анионы: Cl^- (96–106 ммоль/л), HCO_3^- (22–29 ммоль/л), HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} .

Другие компоненты:

- гормоны (инсулин, тироксин, кортизол);
- ферменты (амилаза, липаза);
- витамины;
- растворённые газы (O_2 , CO_2).

Буферные системы плазмы

Поддерживают постоянство pH:

1. **Бикарбонатная** (H_2CO_3 / NaHCO_3) — 53 % буферной ёмкости.
2. **Фосфатная** (NaH_2PO_4 / Na_2HPO_4) — 2 %.
3. **Белковая** (альбумины, глобулины) — 7 %.
4. **Гемоглобиновая** (в эритроцитах) — 35 %.

6. Регуляция состава плазмы

Механизмы поддержания постоянства:

- почки — фильтрация и реабсорбция электролитов, воды;
- лёгкие — выведение CO_2 ;
- печень — метаболизм белков, липидов, углеводов;
- ЖКТ — всасывание питательных веществ;
- эндокринные железы — гормональная регуляция (АДГ, альдостерон, паратгормон).

7. Клинические корреляции

Патологические изменения плазмы:

- **гипопротеинемия** — снижение общего белка (< 65 г/л): отёки из-за падения онкотического давления;
- **гиперпротеинемия** — повышение белка (дегидратация, миелома);
- **диспротеинемия** — нарушение соотношения фракций белков;
- **ацидоз** ($\text{pH} < 7,35$) или **алкалоз** ($\text{pH} > 7,45$);
- **гипергликемия** ($> 6,1$ ммоль/л) — признак диабета;
- **уремия** — накопление азотистых шлаков при почечной недостаточности.

8. Практическое значение изучения плазмы

- **биохимический анализ крови** — диагностика заболеваний печени, почек, обмена веществ;
- **коагулограмма** — оценка свёртывающей системы;
- **иммунограмма** — исследование иммуноглобулинов;
- **плазмотрансфузия** — лечение кровотечений, шоков, интоксикаций;
- разработка **плазмозамещающих растворов** (изотонические, коллоидные).

4.2. Форменные элементы крови (*elementa formata sanguinis*) - это клеточные компоненты крови, взвешенные в плазме. Составляют 40-45 % объёма крови (гематокрит).

Эритроциты (*erythrocyti*):

- количество:
 - у мужчин — $4,0\text{--}5,5 \times 10^{12}/\text{л}$;
 - у женщин — $3,7\text{--}4,7 \times 10^{12}/\text{л}$;
- форма — двояковогнутый диск, диаметр 7–8 мкм;
- содержат **гемоглобин** (*hemoglobinum*, 120–160 г/л), обеспечивающий транспорт O_2 ;
- продолжительность жизни — 100–120 дней;
- разрушение происходит в селезёнке и печени (**гемолиз**).

Морфология:

- безъядерные клетки диаметром 7–8 мкм;
- форма — двояковогнутый диск (*discus biconcavus*), что увеличивает площадь поверхности и облегчает диффузию газов;
- цитоплазма заполнена гемоглобином (≈ 98 % массы белков цитоплазмы).

Гемоглобин:

- сложный железосодержащий белок класса глобулинов;

- состоит из 4 белковых субъединиц (глобинов) и 4 гемов, содержащих Fe^{2+} ;
- нормы: у мужчин — 130–160 г/л, у женщин — 120–140 г/л.

Функции:

- дыхательная: транспорт O_2 (в виде оксигемоглобина) и CO_2 (в виде карбгемоглобина и бикарбонатов);
- буферная: поддержание кислотно-щелочного равновесия (гемоглобиновая буферная система);
- ферментативная: содержат карбоангидразу;
- защитная: связывают токсические вещества.

Жизненный цикл:

- образуются в красном костном мозге (*medulla ossium rubra*) из эритробластов;
- предшественники — ретикулоциты (содержат остатки органелл);
- продолжительность жизни — 100–120 дней;
- разрушение (гемолиз) происходит в селезёнке (*lien*) и печени (*hepar*).

Лейкоциты (*leucocyti*):

Общая характеристика:

- ядерные клетки диаметром 8–20 мкм;
- общее количество: $4-9 \times 10^9/\text{л}$;
- способны к амёбоидному движению и выходу за пределы сосудов (диапедез).

Классификация:

1. Гранулоциты (зернистые):

- **нейтрофилы** (*neutrophili*): 50–70 %, диаметр 9–12 мкм, сегментированное ядро, слабоокрашенные гранулы;
- **эозинофилы** (*eosinophili*): 1–5 %, диаметр 12–17 мкм, двудольчатое ядро, крупные эозинофильные гранулы;
- **базофилы** (*basophili*): 0,5–1 %, диаметр 8–10 мкм, S-образное ядро, крупные базофильные гранулы.

2. Агранулоциты (незернистые):

- **лимфоциты** (*lymphocyti*): 20–40 %, диаметр 7–10 мкм (малые), 10–18 мкм (большие), округлое ядро, узкий ободок цитоплазмы;
- **моноциты** (*monocyti*): 3–8 %, диаметр 15–20 мкм, бобовидное ядро, обильная цитоплазма.

Функции отдельных видов:

- **нейтрофилы:** фагоцитоз бактерий, секреция антимикробных веществ (дефенсины, лизоцим);
- **эозинофилы:** антипаразитарная защита, участие в аллергических реакциях (разрушение гистамина);
- **базофилы:** выделение гистамина и гепарина при воспалении;
- **лимфоциты:** клеточный и гуморальный иммунитет (Т- и В-клетки);
- **моноциты:** дифференцировка в макрофаги, фагоцитоз, презентация антигенов.

Лейкоцитарная формула — процентное соотношение видов лейкоцитов:

- нейтрофилы: 50–70 %;
- лимфоциты: 20–40 %;
- моноциты: 3–8 %;
- эозинофилы: 1–5 %;
- базофилы: 0,5–1 %.

Тромбоциты (*thrombocyti*):

Морфология:

- безъядерные фрагменты цитоплазмы мегакариоцитов;
- диаметр 2–3 мкм;
- содержат гранулы с биологически активными веществами.

Количественные показатели: $180\text{--}320 \times 10^9/\text{л}$.

Строение:

- **гиаломер** — периферическая часть с мембраной и цитоскелетом;
- **грануломер** — центральная часть с органеллами и гранулами (факторы свёртывания, серотонин, АТФ).

Функции:

- гемостаз: адгезия и агрегация при повреждении сосудов, формирование тромбоцитарной пробки;
- секреция факторов роста для регенерации тканей;
- участие в воспалении (выделение цитокинов);
- поддержание целостности сосудистой стенки.

Жизненный цикл:

- образуются в красном костном мозге путём отщепления фрагментов от мегакариоцитов;

- продолжительность жизни — 7–10 дней;
- разрушаются в селезёнке и местах повреждения сосудов.

Гемопоз — процесс образования форменных элементов крови в кроветворных органах:

- **красный костный мозг:** образование всех клеток крови;
- **тимус (*thymus*):** дифференцировка Т-лимфоцитов;
- **лимфатические узлы (*nodi lymphoidei*), селезёнка:** созревание лимфоцитов.

Регуляция:

- **эритропоэтин (почки)** — стимулирует эритропоэз;
- **колониестимулирующие факторы** — регулируют лейкопоэз;
- **тромбопоэтин (печень)** — регулирует тромбоцитопоэз.

Компенсаторные реакции:

- **при гипоксии** — увеличение продукции эритроцитов;
- **при воспалении** — лейкоцитоз (нейтрофилия);
- **при кровотечении** — активация тромбоцитарного звена гемостаза.

6. Клинические корреляции

Патологические изменения:

- **анемия** — снижение числа эритроцитов и/или гемоглобина;
- **полицитемия** — избыток форменных элементов;
- **лейкопения** — снижение количества лейкоцитов (например, при лучевой болезни);
- **лейкоз** — злокачественная пролиферация лейкоцитов;
- **тромбоцитопения** — дефицит тромбоцитов (повышенная кровоточивость);
- **тромбоцитоз** — избыток тромбоцитов (риск тромбозов).

7. Практическое значение изучения форменных элементов

- **общий анализ крови (ОАК)** — диагностика анемий, инфекций, воспалений;
- **гемограмма** — оценка лейкоцитарной формулы при диагностике лейкозов;
- **коагулограмма** — исследование тромбоцитарного и плазменного гемостаза;
- **иммунофенотипирование лимфоцитов при иммунодефицитах;**
- **трансфузионная медицина (переливание эритроцитарной массы, тромбоконцентрата).**

Заключение

Фундаментальные выводы:

1. Кровь — важнейший компонент внутренней среды, обеспечивающий гомеостаз.
2. Плазма крови содержит белки, электролиты и питательные вещества, поддерживающие осмотическое и онкотическое давление.
3. Форменные элементы выполняют специализированные функции:
 - эритроциты — транспорт газов;
 - лейкоциты — иммунная защита;
 - тромбоциты — гемостаз.
4. Физико-химические параметры крови (рН, осмолярность) строго регулируются буферными системами.
5. Состав крови динамичен и адаптируется к физиологическим потребностям организма.

Практическое значение:

- анализ крови — основной диагностический метод в медицине (ОАК, биохимия, коагулограмма);
- знание норм и функций крови необходимо для диагностики анемий, лейкозов, нарушений гемостаза;
- понимание механизмов регуляции важно для трансфузиологии, интенсивной терапии и реаниматологии;
- изучение буферных систем и кислотно-основного состояния критично для лечения шоков, отравлений, метаболических нарушений.