

# Лабораторная диагностика нарушений обмена белков



- Антуан Франсуа де Фуркруа  
основоположник изучения белков  
(XVIII век)

Белки были выделены в отдельный класс биологических молекул.

Было отмечено свойство белков коагулировать (денатурировать) под воздействием нагревания или кислот. В то время были исследованы такие белки, как альбумин («яичный белок»), фибрин (белок из крови) и глютен из зерна пшеницы.





*Якоб Берцелиус* ввел термин протеин (от греческого proteus в первом ряду). Он полагал, что существует только один протеин во всех видах живой материи, включая растения и животных.

1950 г. идентифицировано 10 белков плазмы

1980 г. описано 100 белков плазмы человека

2004 г. охарактеризовано 1000 белков

В настоящее время около 40 используются для диагностики

# Истинно плазменные белки (ИПБ):

- Синтезируются в печени, РЭС, лимфоидной ткани;
- сразу попадают в кровь;
- наибольшая концентрация в плазме;
- главная функция в плазме;
- во время периода полураспада находятся в крови.

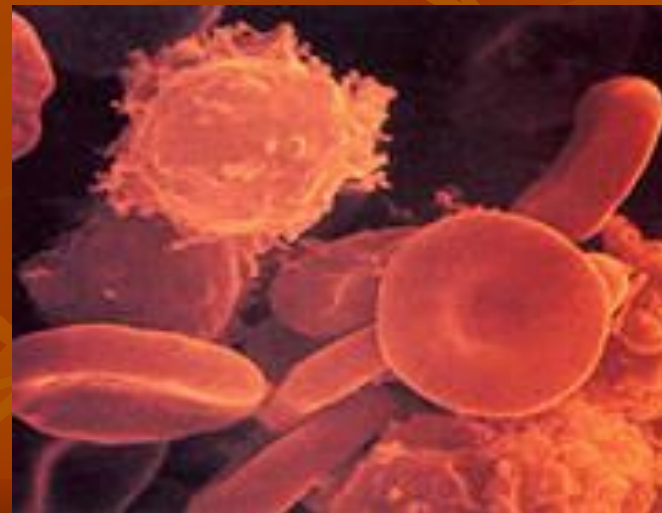
Кроме ИПБ в крови присутствуют белки общего метаболизма:  
компоненты свертывания крови, ферменты, гормоны и др.

Большинство белков плазмы – гликопротеиды.

# Основные функции белков

(для многих белков их функции ещё не установлены)

- Поддержание коллоидно-осмотического давления
- Транспорт липидов, продуктов метаболизма, гормонов, лекарств
- Иммуноглобулины – часть системы иммунитета
- Ферменты и ингибиторы ферментов
- Часть системы гемостаза



# Метаболизм белков

- Большинство белков плазмы синтезируются в гепатоцитах (что влияет?)
- Катаболизм многих белков плазмы происходит в эндотелиальных клетках капилляров и системе функциональных фагоцитов (моноцитов и макрофагов (пиноцитозом)). Белки с мал. мол. массой проходят в первичную мочу и могут реабсорбироваться эпит. клетками проксимальных канальцев и катаболизируют до аминокислот.

# Нарушения обмена белков

## ВКЛЮЧАЮТ:

- Нарушения количественного поступления белка в организм (белковый перекорм и бел.-энергитическая недостаточность).
- Нарушения качественного состава белков (дефицит или избыток отдельных аминокислот)
- Нарушения переваривания белков в ЖКТ.
- Нарушение чрезмембранного транспорта аминокислот – аминоацидопатии
- Нарушения промежуточного обмена аминокислот (расстройства дезаминирования, переаминирования, декарбоксилирования)
- Нарушения композиции белков плазмы (гипопротеинемии, диспротеинемии)

# Нарушения количественного соотношения белков

- Гиперпротеинемия (в основном за счет дегидратации или глобулинов, возраст, положение стоя, физические нагрузки дают увеличение общ. белка на 4-8г/л)
- Гипопротеинемия (в основном за счет альбумина, при снижении общ. Белка до 40 г/л развиваются отеки)
- Парипропротеинемия - накопление патологических форм белков



# Методы исследования белков

- **Азотометрические:** азот, содержащийся в составе белков, окисляют до  $\text{NH}_4^+$ , и его количество определяют титрованием точным раствором  $\text{HCL}$ ) метод Кьельдаля ;
- гравиметрические (весовые);
- «преципитационные»;
- спектрофотометрические;
- рефрактометрические;
- колориметрические;
- электрофорез

Определение общего белка не позволяет провести органотопическую диагностику, однако широко используется при скрининге и проф. осмотрах

# Распространенным в КДЛ методом является:

- «Биуретовый» фотокалориметрический метод

## Свойства белков.

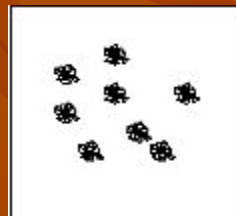
- Налейте в пробирку 2 мл яичного белка. Добавьте такой же объем концентрированного раствора гидроксида натрия и несколько капель раствора сульфата меди (II). (Биуретовая реакция)



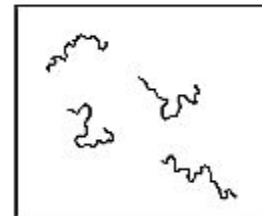
# Турбидиметрическое определение белков в моче (с раствором сульфосалициловой кислоты)

## Метод исследования светопоглощения (мутных) растворов по интенсивности прошедшего через них светового потока

В сыв. крови или водном растворе с  $pH > 7$  мол. белка имеют компактную глобулярную форму с размерами меньше длины волны видимого света и практически его не рассеивают.



Белки в глобулярной форме имеют малые размеры и не рассеивают свет



Денатурация белков в кислой среде

В результате реакции преципитации образуются крупные белковые частицы, хорошо рассеивающие свет



# Недостатки

- **Много ложноотрицательных результатов** (На реакцию денатурации и последующей преципитации белков сильное влияние оказывает состав мочи: рН, концентрация солей. Для некоторых проб мочи мутность может не образовываться даже при присутствии в ней белка с концентраций более 1 г/л. )
- **К ложноположительным результатам** (могут приводить лекарственные метаболиты в составе мочи)
- **Низкая воспроизводимость** (влияние характера перемешивания на образуемые преципитаты) При больших концентрациях белка в моче преципитаты могут выпадать в осадок крупными хлопьями.

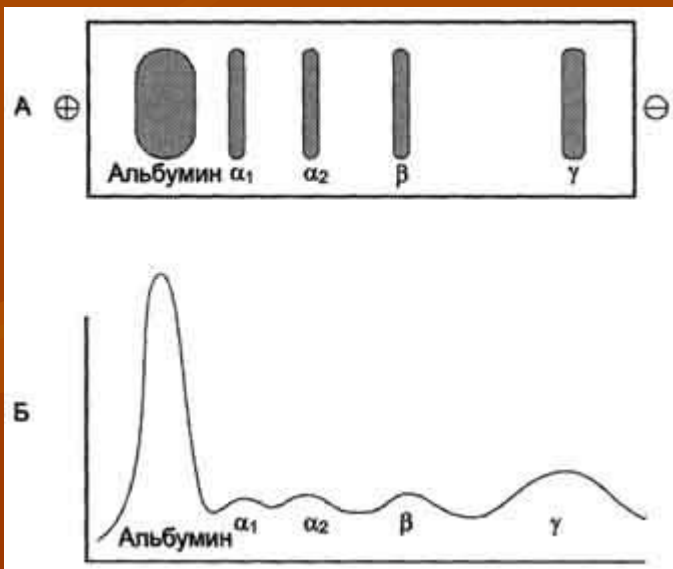
# Нефелометрия

**Метод исследования светорассеивающих  
(мутных) растворов по измерению  
рассеянного света**

греч. – Nephelē – облако

Метод нефелометрии более чувствителен, чем турбидиметрии для определения специфических белков в плазме и сыворотке крови, спинномозговой жидкости, моче

# Электрофорез белков



# Требования преаналитики при анализе белков у пациента.

Помните, что

1. Реф. Границы у муж. > жен, примерно на 1 г.
2. С возрастом содержание общ. белка снижается. (т.к. преобладают процессы катаболизма)
- 3 В положении лёжа об.белок > на 4-8 г/л , чем стоя
4. Через неск ч. физ.нагрузки об.белок увелич. на 4-8 г/л (высокая физ нагрузка незнач. увеличивает содержание об. белка)
5. Об.белок ниже 40 г/л сопровождается отёками.
- 6 У беременных – снижение об.бел до 66-61 г/л.

# Индивидуальные белки.





# Альбумин

- 55-60% всего белка сыворотки крови
- Гетерогенен из-за агрегированных с ним молекул
- Высокоорганизованный белок, не содержащий углеводных компонентов
- Молекулярная масса около 67 кДа
- В день синтезируется 0,9-1,2 г альбумина

# Функции альбумина

- Транспортная (гормоны щитовидной железы, Са, билирубин, жирные кислоты, лекарственные препараты)
- Поддержание коллоидно-осмотического давления (при снижении концентрации голодные отеки)
- Обеспечение клеток аминокислотами

# Клинические показания для определения альбумина

- Лабораторный контроль больных с острой патологией печен, почек
- Мониторинг пациентов после длительных травматических операций, после кровопотери
- Коррекция лабораторных показателей общего кальция

# Референтные значения содержания альбумина

35-52 г/л



# Методы измерения концентрации

- Турбидиметрия
- Нефелометрия
- Фотометрия (бромкрезиловый зеленый)

# Клинико-диагностическое значение

- Анальбуминемия
- Гипоальбуминемия (нефротический синдром, гастроэнтерит, ожоговая болезнь, цирроз, жировая дистрофия печени, тяжелые инфекции, панкреатит, оперативное вмешательство, кровопотеря, шок, недоедание). Альбумин – неспецифический индикатор любой патологии.
- Гиперальбуминемия (артефакт, чрезмерная инфузия, дегидратация)
- Микроальбуминурия
- Нарушение ГЭБ – альбумин в ликворе

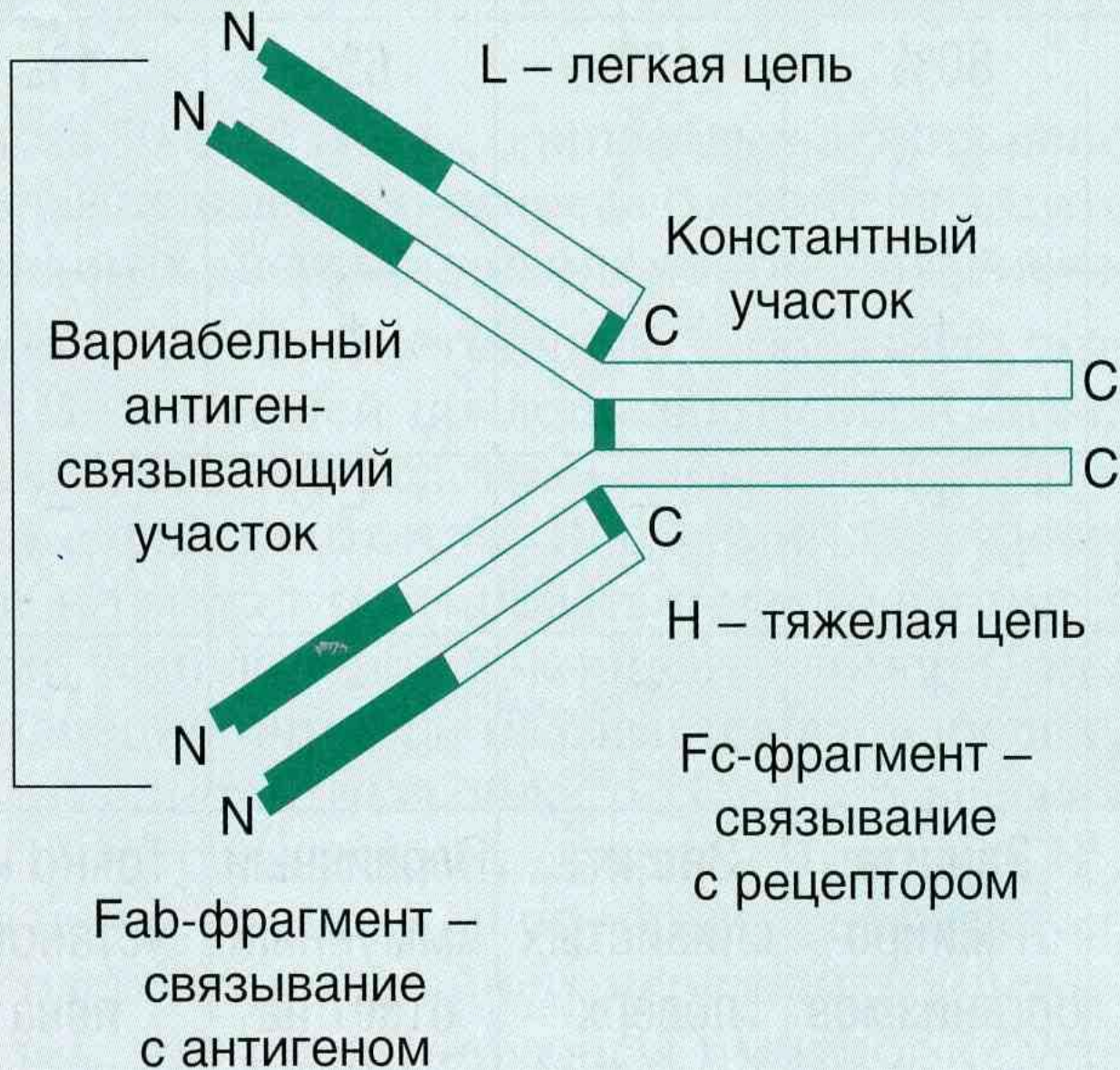


# Белки, участвующие в иммунной защите

# Иммуноглобулины

- Группа  $\gamma$ -глобулинов со сходной структурой, отличающихся по иммунологическим, биологическим и физическим свойствам.
- Секретируются В-лимфоцитами
- Молекулярная масса 150-1000 kDa





# Ig M

- Самые крупные антитела
- Синтез начинается еще до рождения
- Первичный ответ на АГ
- К IgM принадлежат АТ: антимикробные, холодовые аутоиммунные, ревматоидные факторы
- Не фильтруются почками

# Ig G

- Основной класс антител сыворотки
- Вторичные АТ, участвуют в формировании активного иммунитета и иммунологической памяти
- Связываются с антигенами на клеточной поверхности, представляя эти клетки для фагоцитоза
- Благодаря низкой молекулярной массе проникают через плацентарный барьер

# Ig A сывороточные

- 10-15% от всех Ig сыворотки
- Образуют комплексы с альбумином и ферментами, формируя макромолекулярные комплексы
- Детально функция неизвестна

# Ig A секреторные

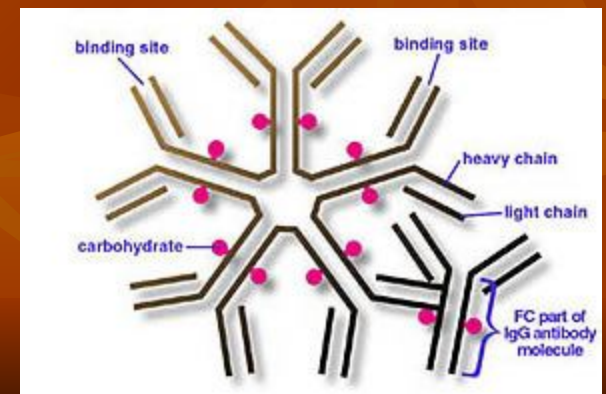
- Содержатся в продуктах внешней секреции (слезы, слюна, пот, слизь бронхов, кишечника, влагалища)
- Локальный иммунный ответ (ЖКТ – пищевые АГ и бактерии кишечника), предупреждение адгезии бактерий к стенке слизистого слоя
- IgA содержатся в грудном молоке и защищают новорожденного от кишечной инфекции

# Ig E

- Содержание в сыворотке мало.  
Обнаруживаются на мембранах базофилов и тучных клеток, в слизи носоглотки и бронхов
- Играют существенное значение в антипаразитарном иммунитете, развитии аллергических реакций
- Клетка-носитель IgE секретирует гистамин, вызывая аллергическую реакцию

# Ревматоидный фактор

- РФ – аутоантитела (обычно IgM) к измененным  $\gamma$ -глобулинам
- Референтные значения < 50 МЕ/мл
- При ревматоидном артрите положительны в 70-90%
- Тест положителен при СКВ, саркоидозе, хронических заболеваниях печени, легких, паразитарных инфекциях, бактериальных инфекциях, иногда у здоровых людей
- Методы определения – ИФА,
- латексная агглютинация



# Гипогаммаглобулинемия

- Физиологическая врожденная (первые месяцы после рождения активны материнские Ig-G, в 3 месяца-min)
- Патологическая врожденная (первичный иммунодефицит). Встречается редко
- Патологическая приобретенная (злокачественные лимфомы, лимфолейкозы, лечение цитостатиками, стероидными гормонами, ионизирующая радиация, обширные ожоги, заболевания почек, энтеропатии, недоедание, интоксикации, СПИД)

При наличии лаб. и клинических данных выставляется диагноз ВИД.



# Гипергаммаглобулинемия

- IgG – хронические инфекции, аутоиммунные заболевания, множественная миелома, коллагенозы
- IgA – цирроз, множественная миелома, гепатит (поздняя стадия), болезни дыхательных путей
- IgM – паразитарные инвазии, нефротический синдром, макроглобулинемия Вальденстрема, гепатит (ранняя стадия), героиновая наркомания

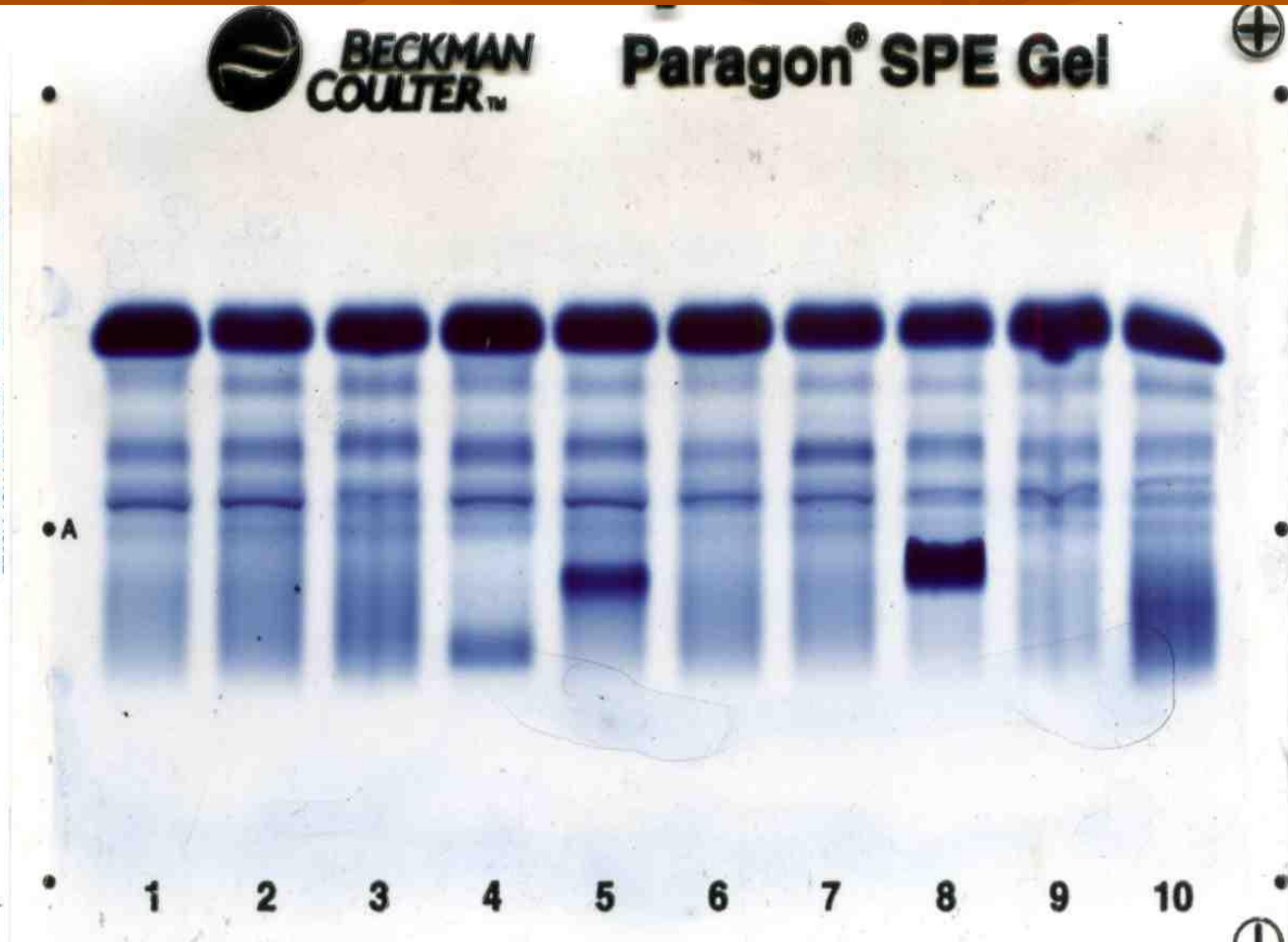
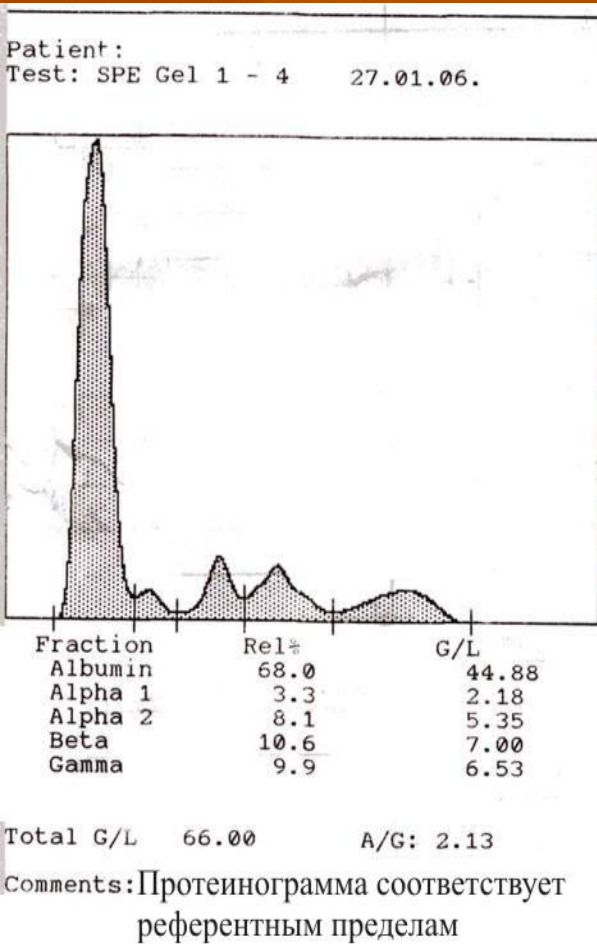
# Методы определения иммуноглобулинов

- ИФА
- Иммунотурбидиметрия
- Нефелометрия
- Электрофорез с иммунофиксацией
- Белок Бенс-Джонса

# Парапротеины (моноклональные иммуноглобулины)

- Иммуноглобулины или их фрагменты, вырабатываемые плазматическими клетками, образующимися из одной специфической клетки линии В-лимфоцитов (моноклон) в афизиологическом количестве.
- Не способны выполнять функцию АТ
- Структурно однородны
- При электрофорезе определяются по наличию М-градиента

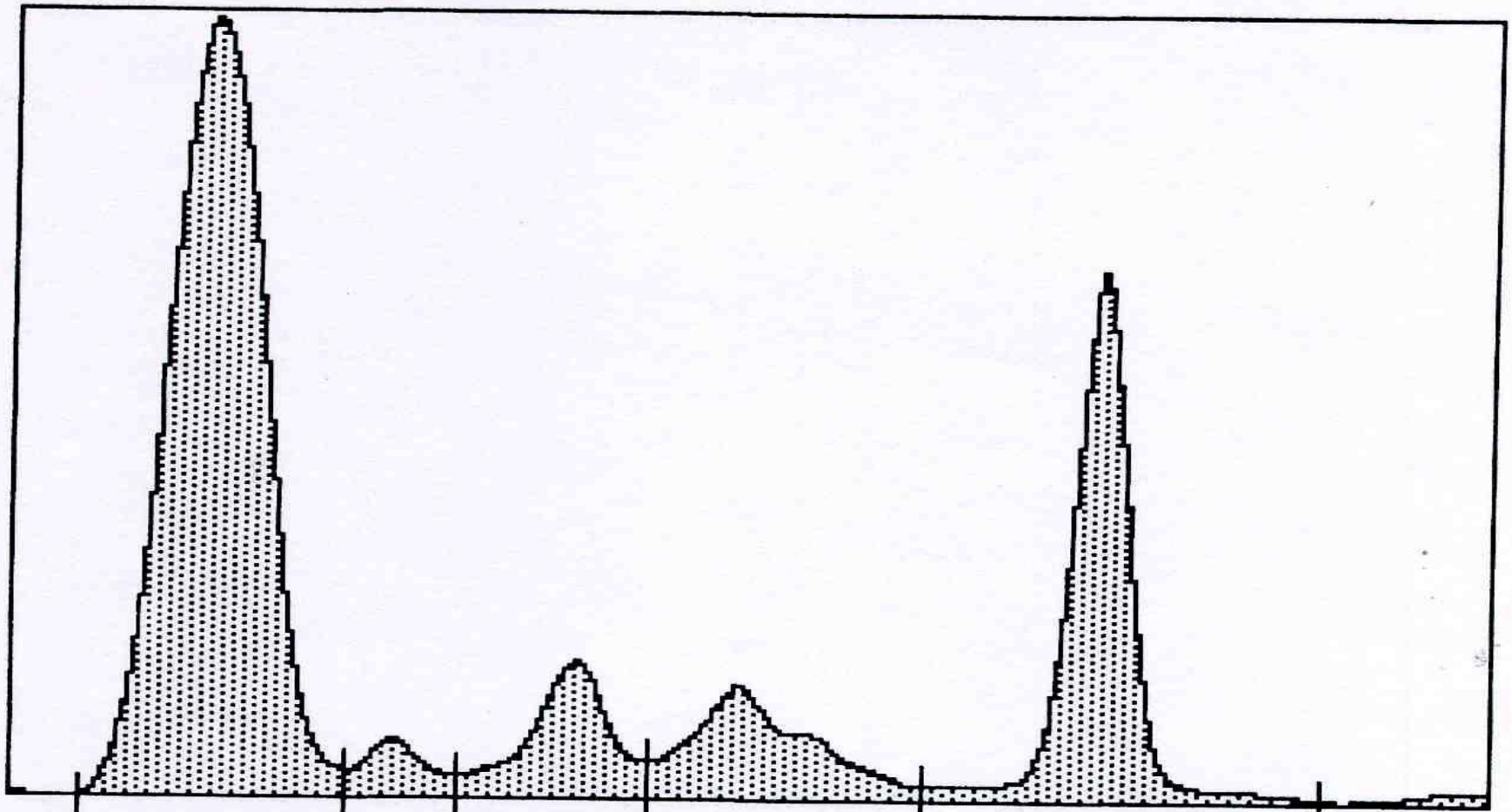
# Электрофорез белков на агарозной пленке (10 проб.) Paragon



Patient: 451930

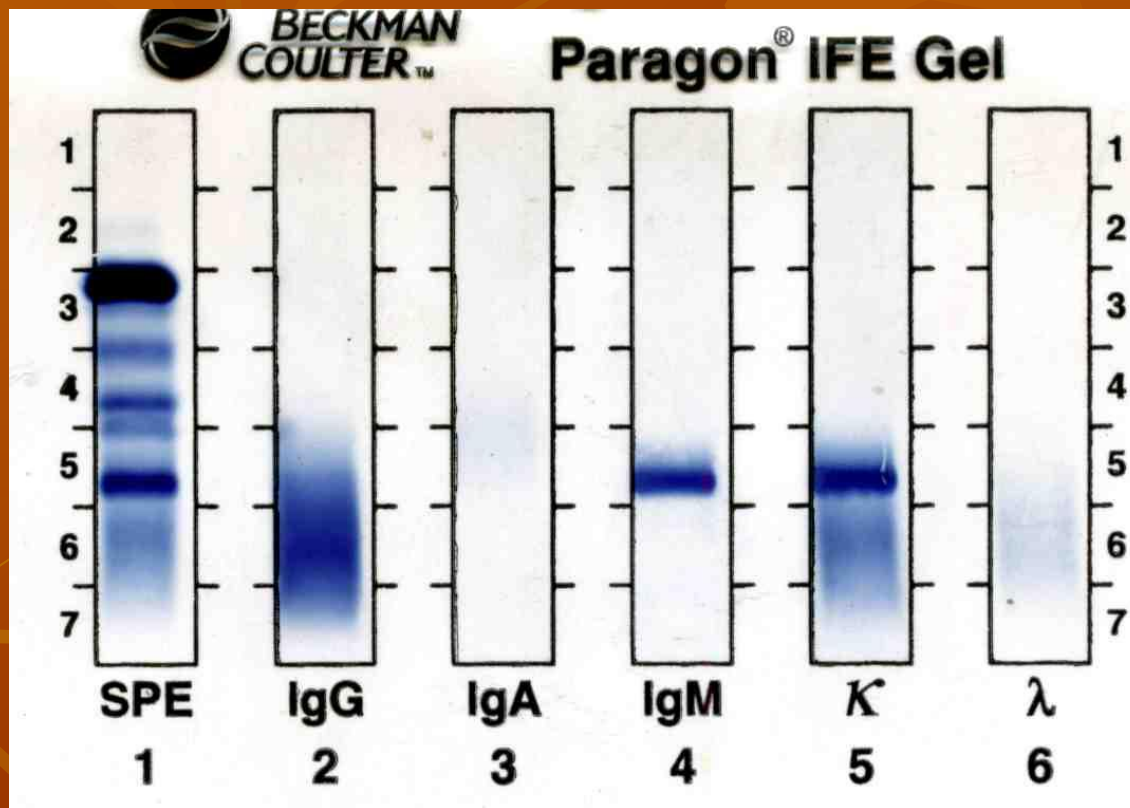
Test: SPE Gel 1 - 1

30/08/07/



Fraction	Rel%		G/L
Albumin	55.0	-	42.90
Alpha 1	2.8		2.18
Alpha 2	8.2		6.40
Beta	10.1		7.88
Gamma	23.9	+++	18.64

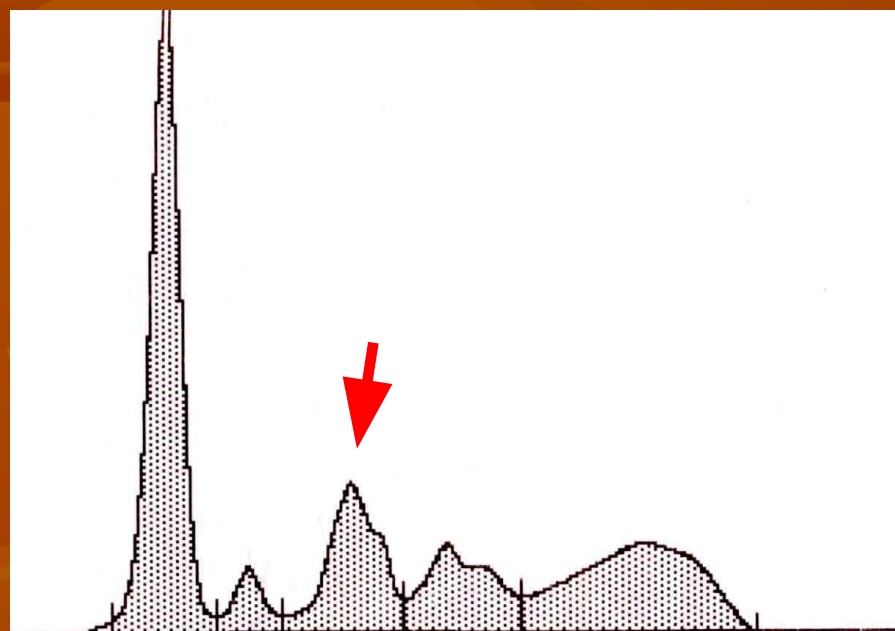
# Электроиммунофореграмма больной Ч. с диагнозом: макроглобулинемия Вальденстрема



**Заключение: методом ЭИФ с помощью моноспецифических антител регистрируется моноклональный компонент JgM-k-типа**

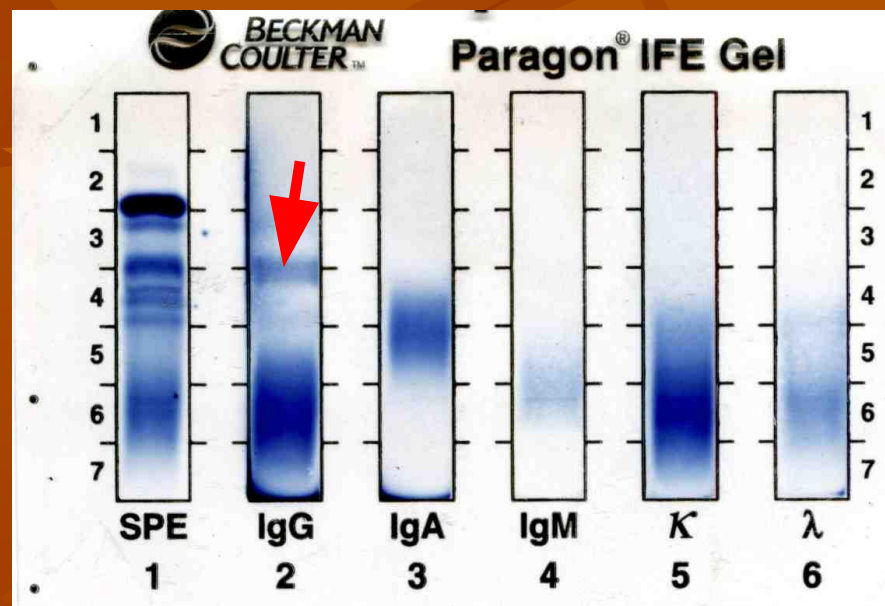
# Сравнение ЭФБК с сомнительным пиком больного К. и его подтверждение на ЭИФ

ЭФБК



Fraction	Rel%		G/L
Albumin	42.9	---	27.03
Alpha 1	4.4	++	2.77
Alpha 2	16.4	+++	10.33
Beta	12.3		7.75
Gamma	23.9	+++	15.06

ЭИФ



**Моноклональный компонент  
IgG-типа**

# Типы иммуноглобулинов, расположенные в порядке ухудшения прогноза ММ

**IgG → IgA → легкие цепи → Ig $\lambda$  + каппа → Ig $\lambda$  + лямбда**



# Анализ результатов проведенных исследований методом ЭИФ в ЛБИ ОКДЦ (за 1,5 года)

**Всего проведено исследований ЭИФ 62:**

**С целью типирования  
М-градиента,  
выявленного методом  
ЭФБК  
21**

**С целью  
идентификации  
сомнительного пика  
на ЭФБК  
22**

**ЭФБК – не обнаружен  
М-градиент. С целью  
продолжения  
диагностического  
поиска  
19**

**Из них:**  
IgG-K – 7  
IgG-λ – 5  
IgG-K } -1  
IgG-λ }  
IgM-K – 3  
IgA-K – 1  
IgA- λ – 2  
СЛЦ- λ – 1  
СЛЦ- λ } -1  
СЛЦ-К }

**Не  
подтвержден  
18**

**Подтвержден  
4 (22%)  
IgG – 2  
IgG-λ – 1  
СЛЦ - 1**

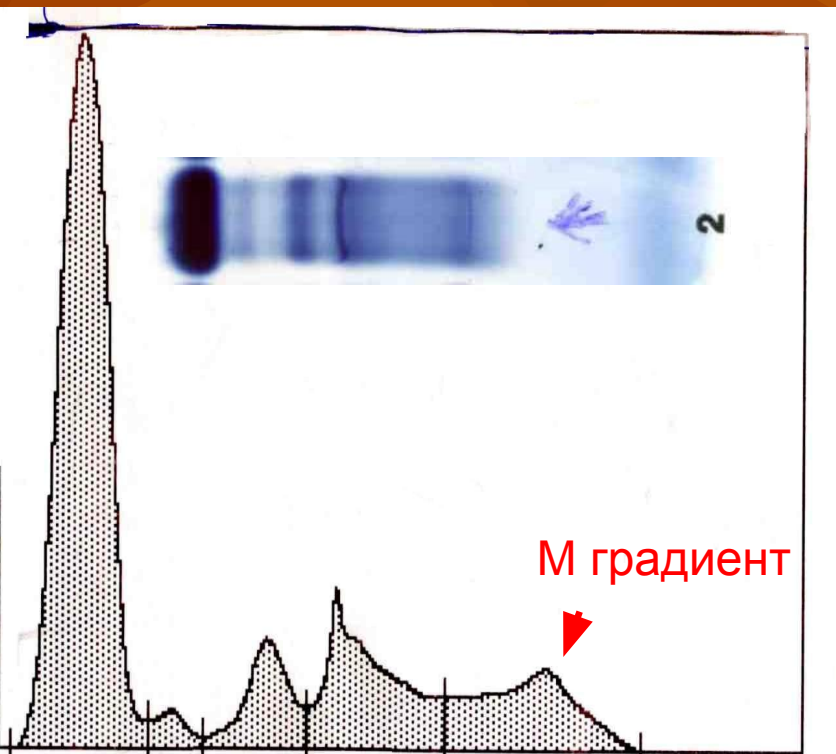
**Не  
подтвержден  
13**

**Выявлен М-  
градиент  
6 (32%)  
IgG – 2  
СЛЦ-К - 3  
СЛЦ -λ – 1**

# ЭФБК и ЭИФ пациентки О с диагнозом: множественная миелома до лечения и после препаратом Велкейд

До

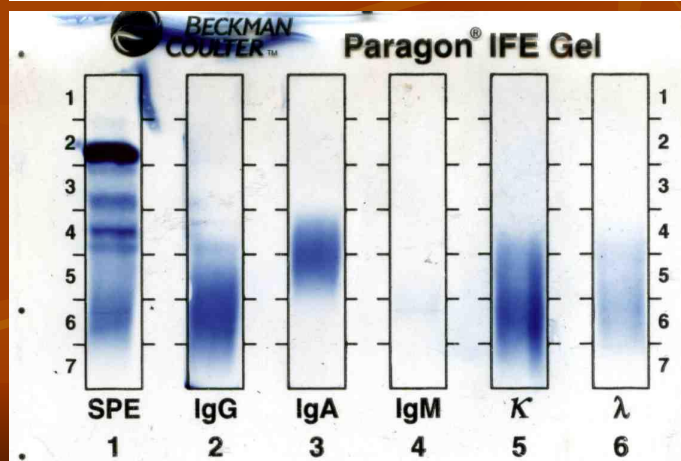
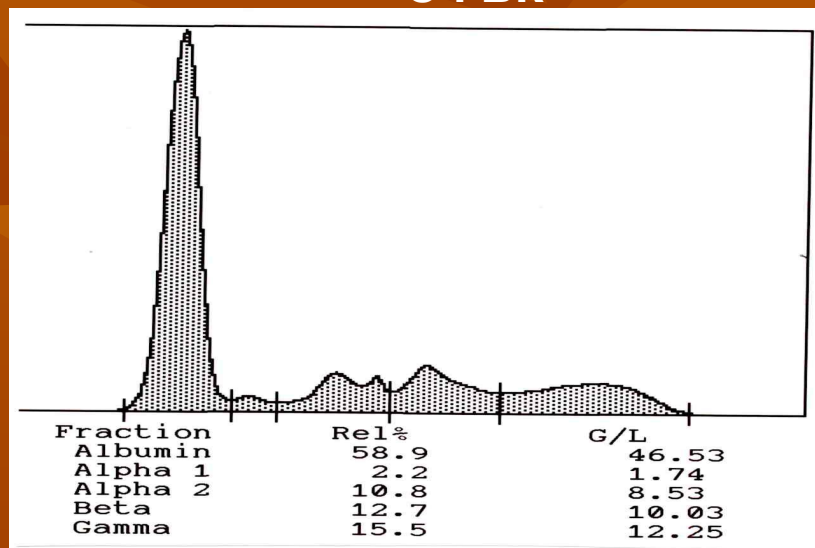
ЭФБК



Fraction	Rel%	G/L
Albumin	59.6	45.30
Alpha 1	2.3	1.75
Alpha 2	8.4	6.38
Beta	15.9 ++	12.08
Gamma	13.7	10.41

После

ЭФБК



ЭИФ

# Система для проведения электрофореза в гелях агарозы Hydrasys





# **Белки острой фазы воспаления**

## Повреждение ткани любого происхождения вызывает биологический ответ на трех различных уровнях:

- Нервно-рефлекторная реакция с целью вывода организма из опасной зоны.
- Активизация системы свертывания для предотвращения потери крови.
- Начинается сложная системная реакция, активизирующая неспецифические механизмы защиты и вызывающая местные и общие симптомы, включая жар, припухлость, красноту, лихорадку, боль – это «реакция острой фазы воспаления»

- Белки, концентрации которых претерпевают характерные изменения в течении такой фазы, называют «белками острой фазы».

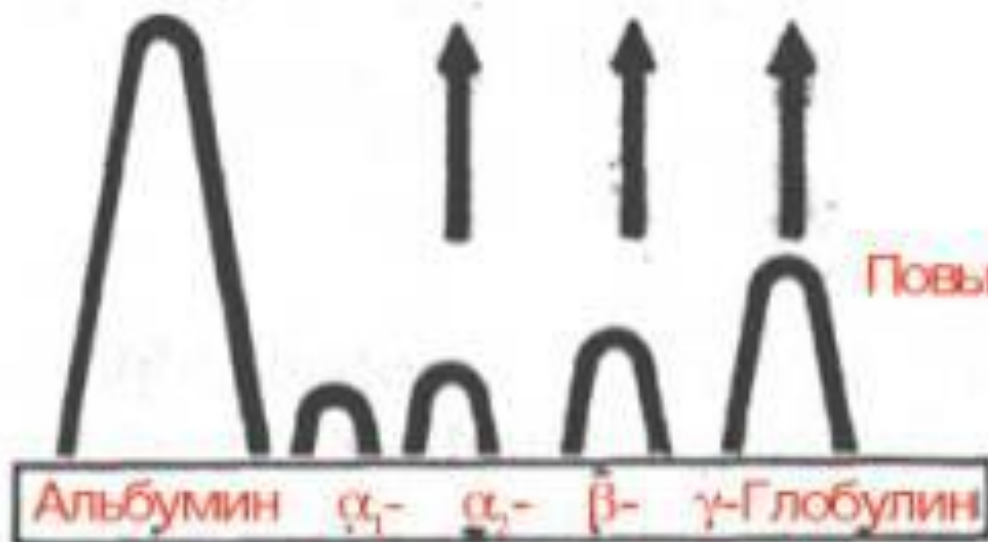
Белые клетки крови и их секреторные продукты – инициаторы этого процесса.

События острой фазы непосредственно или косвенно инициируются цитокинами типа интерлейкина 1 (IL1) или IL-6, выделяемых преимущественно макрофагами, фибробластами и эпителиальными клетками.

# Особенности острофазных белков

- Около 30 белков плазмы крови
- В норме концентрация их мала
- Высокая корреляция концентрации с активностью заболевания
- Неспецифичность в отношении этиологии заболевания
- Разная биологическая функция
- Участвуют в реакциях, направленных на удаление повреждающего фактора, локализацию очага повреждения, восстановление нарушенной структуры и функции
- Ингибируют протеолитические ферменты, предотвращая вторичное повреждение ткани

Острые инфекции			
Острые некрозы	Застойная	Хронические воспаления	
Острый ревматизм	желтуха	Хронический полиартрит	
Экссудативный туберкулез	Гепатит	Болезнь Бека—Шауманна	
Нефроз	Нефроз	Ретикулезы, циррозы печени	
Карцинома	$\beta$ -Миеломы	$\gamma$ -Миеломы	



Повышение

Характерный признак

Понижение

Недостаток белков  
Кахексия, нефроз  
Воспаления  
Инфекции, цирроз печени  
Редко анальбуминемия

Приобретенные  
Конституциональные

$\gamma$ - Гипоглобулинемии

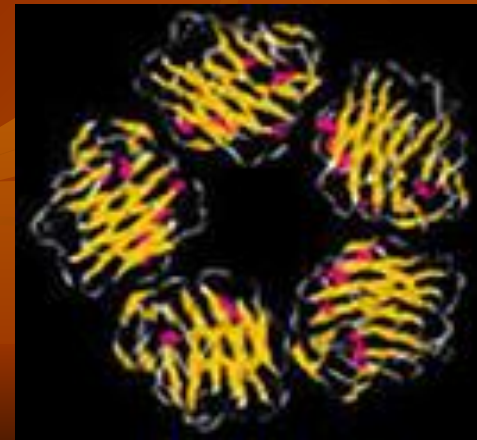


# С-реактивный белок

- $\alpha_2$ -глобулин
- Ранний ответ на освобождение провоспалительных цитокинов (IL-1, IL-6) и сам является провоспалительным триггерным механизмом (стимулирует моноциты к выделению IL-1, IL-6, TNF-альфа)
- Удаляет эндогенные вещества, образующиеся в результате деструкции клеток
- Способен активировать тромбоциты

# C-реактивный белок

- Получил название благодаря способности к преципитации пневмококкового полисахарида С в присутствие ионов Са.
- Присоединяется к мембранам микроорганизмов и активирует каскад комплемента по классическому пути.



# Оценка активности воспалительного процесса

- СРБ от 10 до 50 мг/мл:
  - местные бактериальные инфекции
  - инфаркт миокарда
  - вирусная инфекция
  - саркоидоз
  - ревматоидный артрит
  - патология соединительной ткани
- СРБ более 50 мг/л
  - тяжелые бактериальные инфекции (до 800 мг/л)
  - активная фаза ревматизма
  - системный васкулит
  - болезнь Крона
  - тромбоз глубоких вен
  - о. панкреатит

# Преимущества теста на СРБ

- Быстрое увеличение концентрации (6-12 ч-2 суток)
- Многократное возрастание уровня (в сотни раз)
- Быстрое снижение при эффективном лечении
- Простота и доступность теста

# Методы определения

- Латексная агглютинация
- Иммунотурбидиметрия
- Нефелометрия

# hsСРБ (high sensitivity)

## связь концентрации с риском ССЗ

- $< 1$
- 1,1 – 1,9
- 2,0 – 2,9
- $> 3$
- Минимальный
- Низкий
- Умеренный
- Высокий

Базовый уровень СРБ – концентрация СРБ, которая стабильно выявляется у практически здоровых лиц или у пациентов при отсутствии острого воспалительного процесса или вне обострения заболевания

Атеросклероз – длительное, вяло текущее хроническое воспаление в интиме сосуда.

*Роль hsCRP в патогенезе атеросклероза ?*

1. Индикатор воспаления?
2. Непосредственный участник развития патологических изменений?



# **Белки, связывающие ионы металлов**



Таблица 2.5. Металлопротеины

Металл	Тип биомолекулы	Лиганд	Биологическая функция
$Fe^{2+}$ , $Fe^{3+}$	Гемоглобин, миоглобин, каталаза, пероксидаза, металлофлавопротеины, цитохромы, железосерные белки, трансферрин, ферритин, нитрогеназа	Гемопорфирины, сера, изоаллоксазин	Транспорт $O_2$ , $CO_2$ , транспорт электронов (окислительно-восстановительные реакции), транспорт и депонирование железа, восстановление $N_2$ в $NH_3$
$Cu^+$ , $Cu^{2+}$	Цитохромоксидаза, церулоплазмин и др.	Азотистые основания	Окисление, депонирование и транспорт меди
$Co^{2+}$	Витамин $B_{12}$ и его коферментные формы	Коррин, бензимидазол, $CH_3$ -группа	Перенос $CH_3$ -группы, синтез метионина
$Mn^{2+}$	Аргиназа, декарбоксилазы аминокислот, фосфотрансферазы и др.	Фосфат, имидазол	Декарбоксилирование, перенос фосфатных групп
$Mo^{2+}$	Нитрогеназа, нитрат-редуктаза, ксантиноксидаза	Не идентифицирован	Связывание и активирование $N_2 \rightarrow NH_3$ , окисление пуринов
$Zn^{2+}$ , $Mg^{2+}$ $Ca^{2+}$	Карбоангидраза, пептидазы, фосфатазы, НАДФ-ферменты, инсулин	Имидазол, НАД	Связывание субстратов, разрыв пептидной связи
$K^+$ , $Na^+$ , $Mg^{2+}$ , $Ca^{2+}$	Фосфоенолпируваткарбоксикиназы, АТФазы		Транспорт и освобождение фосфатных групп

# Трансферрин

- Основной переносчик железа к клеткам
- Синтезируется в печени, в лимфоидной ткани, молочной железе, яичках и яичниках
- Референтные значения: 2 - 4 г/л

# Диагностическое значение трансферрина

- Выявление дефицита железа
- Выявление перегрузки организма железом
- Дифференциальная диагностика и мониторинг лечения анемий
- Выявление доступного железа при назначении эритропоэтина

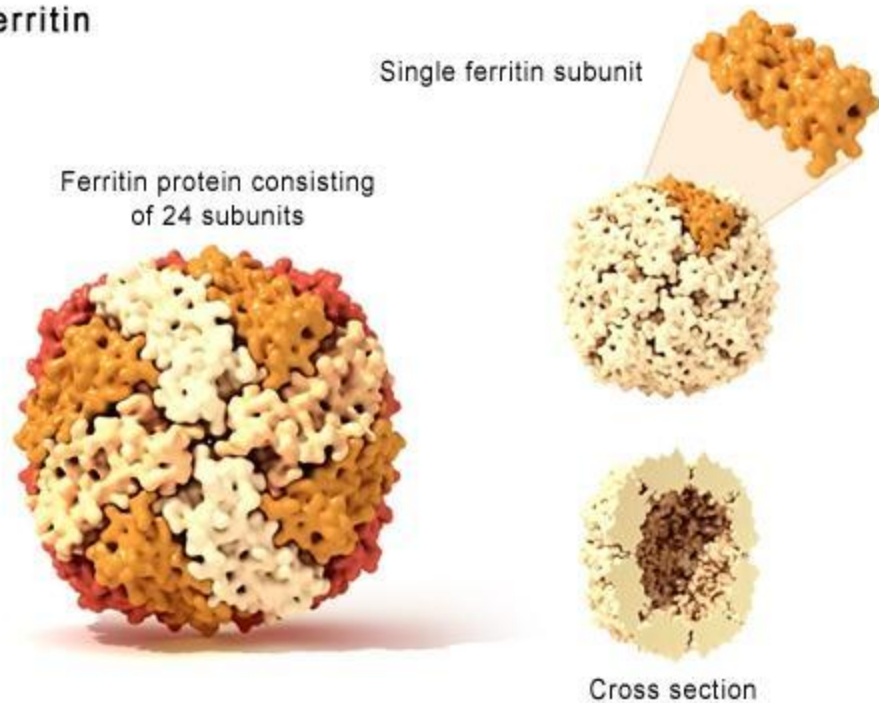
# Изменение концентрации трансферрина

- Повышение – скрытый дефицит железа, высокие концентрации эстрогенов или кортикостероидов
- Уменьшение – реакция острой фазы, неэффективный эритропоэз, потеря белка (нефропатия, энтеропатия), нарушение синтеза белка

# Насыщенность трансферрина железом

- $< 15\%$  у взрослых,  $< 10\%$  у детей,  $< 8\%$  у пожилых людей указывает на ЖДА
- $> 55\%$  указывает на избыток железа в организме

## Ferritin



U.S. National Library of Medicine

# Ферритин

Обеспечивает депонирование железа в организме  
Используется для диагностики и мониторинга дефицита  
или избытка железа в организме  
Концентрация повышается в острой фазе воспаления

# Ферритин

- Обеспечивает депонирование железа в организме
- Используется для диагностики и мониторинга дефицита или избытка железа в организме
- Концентрация повышается в острой фазе воспаления

# Референтные значения

- Новорожденные
  - 1 месяц
  - 2-5 месяцев
  - 6 мес. – 15 лет
  - Женщины
  - Мужчины
- 25-200 мкг/л
  - 200-600 мкг/л
  - 50-200 мкг/л
  - 7-140 мкг/л
  - 12-150 мкг/л
  - 15-200 мкг/л



# Сниженная концентрация ферритина

- Острая кровопотеря (восстанавливается через 1-2 нед.)
- Хроническая кровопотеря
- Воспалительные заболевания кишечника
- Вегетарианство
- Беременность

**Итог: латентный дефицит железа  
или ЖДА**

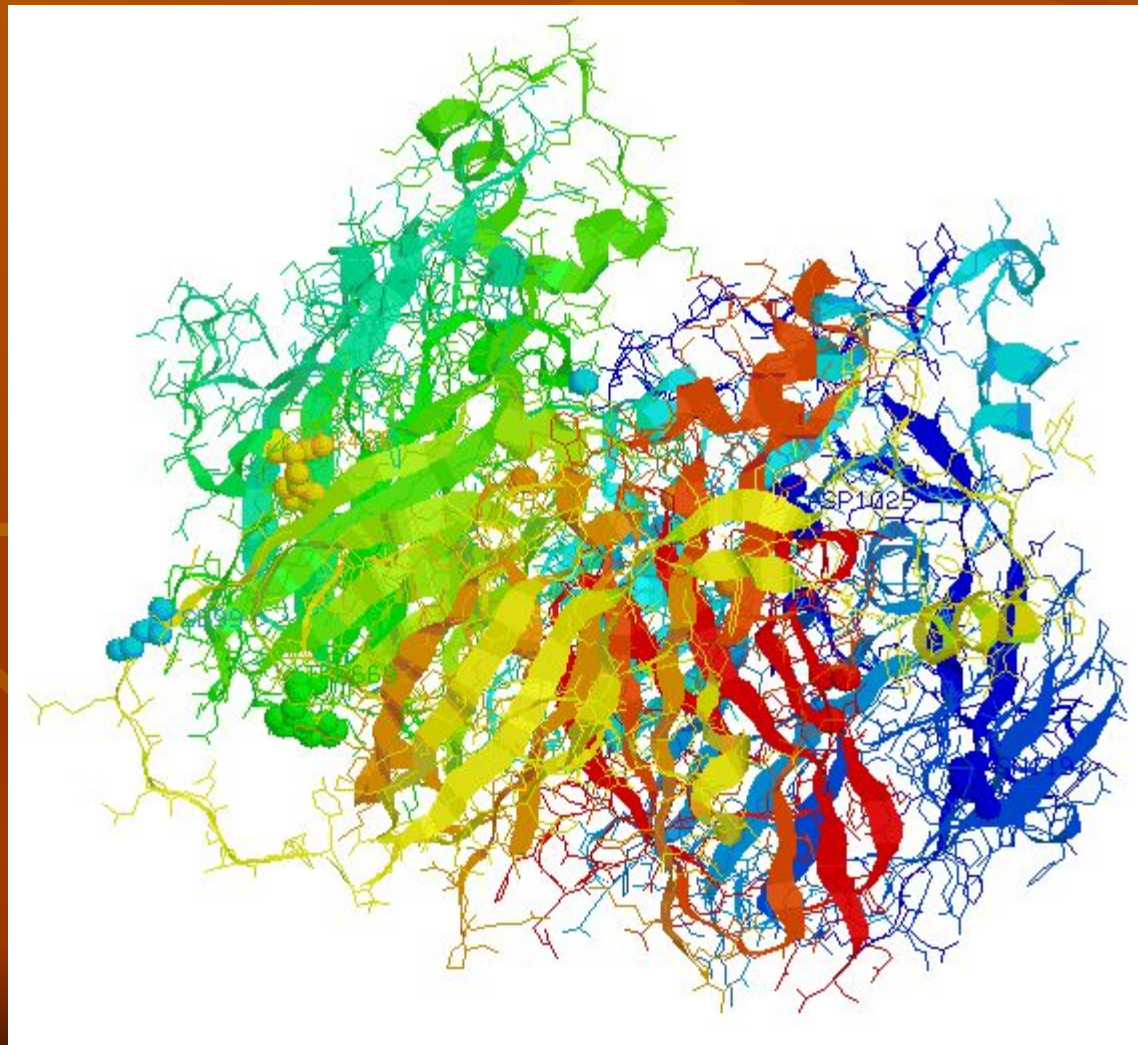
# Повышенная концентрация ферритина

- Пероральное или парентеральное лечение препаратами железа
- Неэффективный эритропоэз
- Воспаление

# Церулоплазмин

- Связывает 90-95% меди плазмы
- Синтезируется в гепатоцитах или эндотелиоцитах легких
- Основной плазменный антиоксидант
- Острофазный белок
- Транспортирует медь
- Участвует в обмене железа (обеспечивает транспорт железа ферритином)
- Является прокоагулянтом

Взрослые – 0,2 – 0,6 г/л  
Новорожденные 0,05 – 0,4 г/л



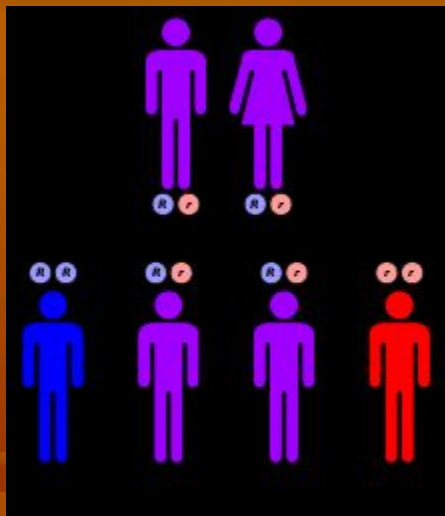
# Клинико-диагностическое значение ЦП

## Повышается при:

- Воспалении
- Шизофрении
- Хроническом алкоголизме
- приеме эстрогенов
- Беременности
- Опухолях различной локализации
- Холестаза (нарушение выведения меди)

## Снижается при :

- Болезни Вильсона-Коновалова
- Нефротическом синдроме
- Энтеропатии с потерей белка
- Нарушении синтеза в печени
- Нарушение питания



Ген ATR7B наследование по  
аутосомно-рецессивному типу  
Частота встречаемости в  
популяции 1 : 100000



Кольцо Кайзера-Флейшера

**Диагностика:**

- Клинические признаки
- Низкое содержание ЦП в плазме крови
- Низкое содержание меди в сыворотке крови
- Высокое содержание меди в моче

Содержание ЦП в сыворотке крови не может служить индикатором эффективности противовоспалительной терапии. Повышенное содержания ЦП в сыворотке крови в условиях воспаления является отражением эндогенных противовоспалительных реакций и связано с естественными механизмами защиты организма.

# Миоглобин

- Инфаркт миокарда
- Краш-синдром
- деструкция клеток скелетной мускулатуры (полимиозит, токсические поражения, лихорадка при инфекциях)



# Вопросы по теме

1. Белки плазмы крови человека, их роль. Нарушение соотношения белков в плазме.
2. Транспортные белки плазмы крови. Альбумин.
3. Белки, участвующие в иммунной защите. Строение иммуноглобулинов, их функции. Парапротеины. Ревматоидный фактор.
4. Белки острой фазы воспаления. С-реактивный белок. Базовая концентрация СРБ.
5. Белки, связывающие ионы металлов (трансферрин, ферритин, церулоплазмин, миоглобин). Функции в организме, диагностическая значимость.