



Fe

# Биохимические функции железа

- \* Наиболее значимой функцией железа в организме является его участие в связывании, транспортировке и депонировании кислорода гемоглобином и миоглобином.
- \* обеспечивает транспорт электронов в окислительно-восстановительных реакциях организма (входит в состав цитохромов и железосеропротеидов)
- \* участвует в формировании активных центров окислительно-восстановительных ферментов

- 
- деление клетки;
  - биосинтетические процессы (в том числе и синтез ДНК);
  - метаболизм биологически активных соединений (катехоламинов, тиреоидных гормонов, коллагена, тирозина и др.);
  - энергетический обмен (около половины энзимов или кофакторов цикла Кребса содержат этот металл или функционируют в его присутствии).

- 
- 1 функциональное (в составе гемоглобина, миоглобина, энзимов и коферментов);**
  - 2 транспортное (трансферрин, лактоферрин, мобилферрин);**
  - 3 депонированное (ферритин, гемосидерин);**
  - 4 железо, образующее свободный пул.**

<b>Железосодержащие субстраты</b>	<b>Основная физиологическая функции</b>
Гемоглобин	Транспорт кислорода
Миоглобин	Транспорт и депонирование кислорода в мышцах
Каталаза	Разложение $H_2O_2$
Цитохром	Тканевое дыхание
Пероксидаза	Окисление веществ с помощью $H_2O_2$
Трансферрин	Транспорт железа
Лактоферрин	Транспорт железа
Мобилферрин	Внутриклеточный транспорт железа
Ферритин	Тканевое депонирование железа
Гемосидерин	Тканевое депонирование железа
Ксантиноксидаза	Образование мочевой кислоты
Дегидрогеназы	Катализ окислительно-восстановительных реакций

# Распределение железа в организме

Компонент	мг	%
Гемоглобин	<b>2300</b>	<b>60-65</b>
Ферритин	<b>500</b>	<b>9-10</b>
Гемосидерин	<b>500</b>	<b>9-10</b>
Миоглобин	<b>130</b>	<b>7,5-8,5</b>
Цитохромы, каталазы	<b>10</b>	<b>5-7</b>
Транспортное железо	<b>3</b>	<b>0,1-0,2</b>
<b>Всего</b>	<b>3500</b>	<b>100</b>

# Источники железа

Растительная пища			Животная пища		
	Содержится	Всасывается		Содержится	Всасывается
Морская капуста	<b>15</b> мг	от <b>1</b> до <b>5 %</b>	Печень	<b>11-15</b> мг	мясные продукты- <b>20-30%</b> рыба, яйца- <b>10-15 %</b>
Какао	<b>12,5</b> мг		Мясо	<b>2-4</b> мг	
Шиповник	<b>12</b> мг		Яйца	<b>3</b> мг	
Отрубной хлеб	<b>11</b> мг				
Гречка	<b>8</b> мг				
Белые грибы	<b>5</b> мг				

\*Наличие в пище **фитиновой кислоты**  
(сухие завтраки, растительные продукты),


\***кофеина и танина**  
(чай, кофе, напитки),


\***фосфатов, оксалатов**  
(растительные продукты)

ухудшает всасывание железа, т.к. образуются  
нерастворимые комплексы.




- \* В пище железо в основном находится в окисленном состоянии (**Fe<sup>3+</sup>**) и входит в состав белков или солей органических кислот. Освобождению железа из солей органических кислот способствует кислая среда желудочного сока. Наибольшее количество железа всасывается в двенадцатиперстной кишке.


- 
- \* Аскорбиновая кислота, содержащаяся в пище, восстанавливает железо и улучшает его всасывание, так как в клетки слизистой оболочки кишечника поступает только **Fe<sup>2+</sup>**. В суточном количестве пищи обычно содержится **15 - 20** мг железа, а всасывается только около **10%** этого количества.



\* Количество железа, которое всасывается в клетки слизистой оболочки кишечника, как правило, превышает потребности организма. Поступление железа из энтероцитов в кровь зависит от скорости синтеза в них белка апоферритина. Апоферритин "улавливает" железо в энтероцитах и превращается в ферритин, который остаётся в энтероцитах.

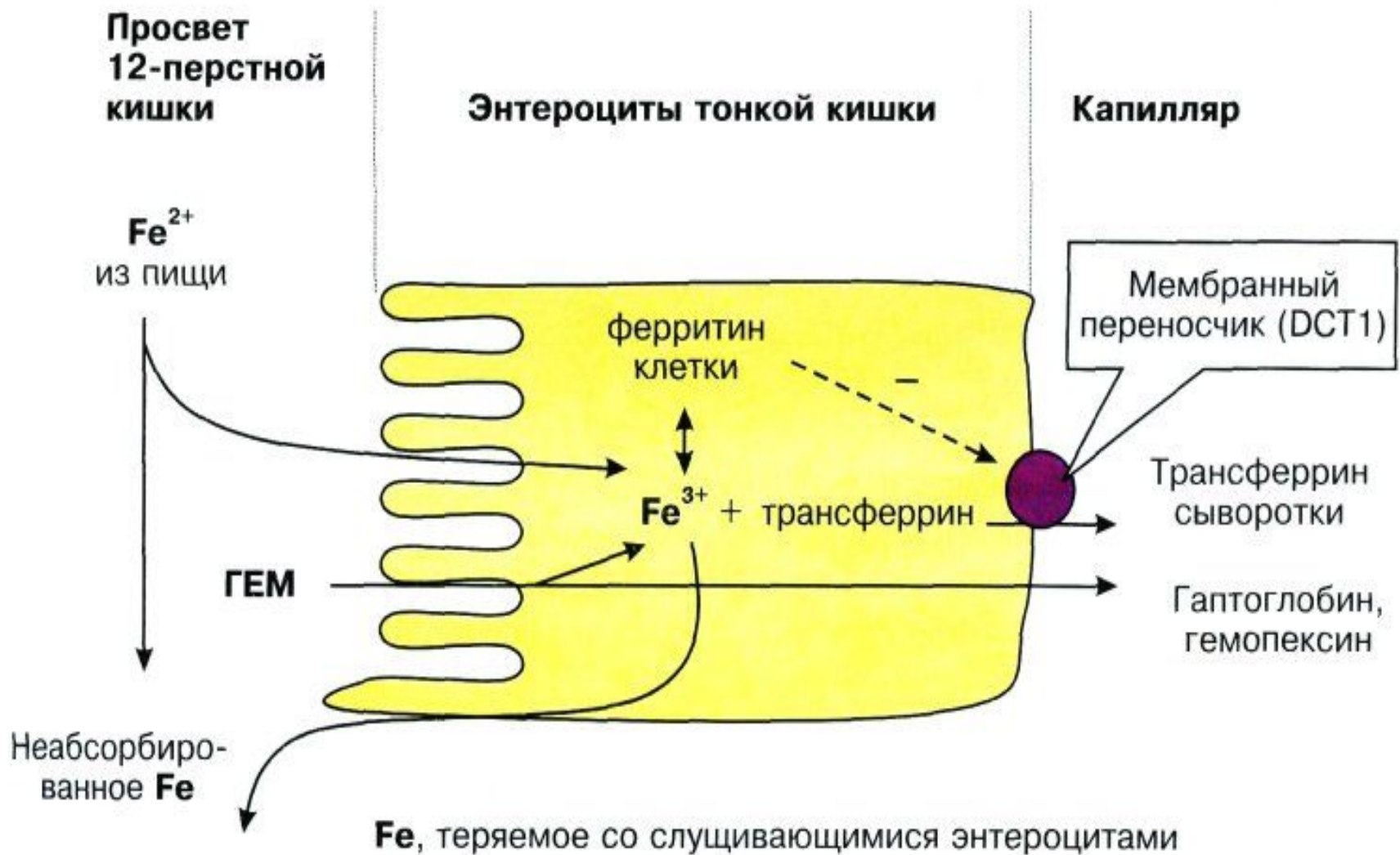


\* Постоянное сдувание клеток слизистой оболочки в просвет кишечника освобождает организм от излишков поступившего железа. Таким способом снижается поступление железа в капилляры крови из клеток кишечника.



\* Когда потребность в железе невелика, скорость синтеза апоферритина повышается. При недостатке железа в организме апоферритин в энтероцитах почти не синтезируется. Железо, поступающее из энтероцитов в кровь, транспортирует белок плазмы крови трансферрин

# Всасывание железа





\* **divalent cation transporter 1 - DCT1**

Поступление железа с пищей (10-20 мг/сут)

Всасывание в кишечнике (1-2 мг /сут)

Ферритин  
кишечника

Трансферрин

5-15%

Ферритин печени  
и других органов


10-20%


Другие потребности

75%

Образование гемоглобина  
в костном мозге

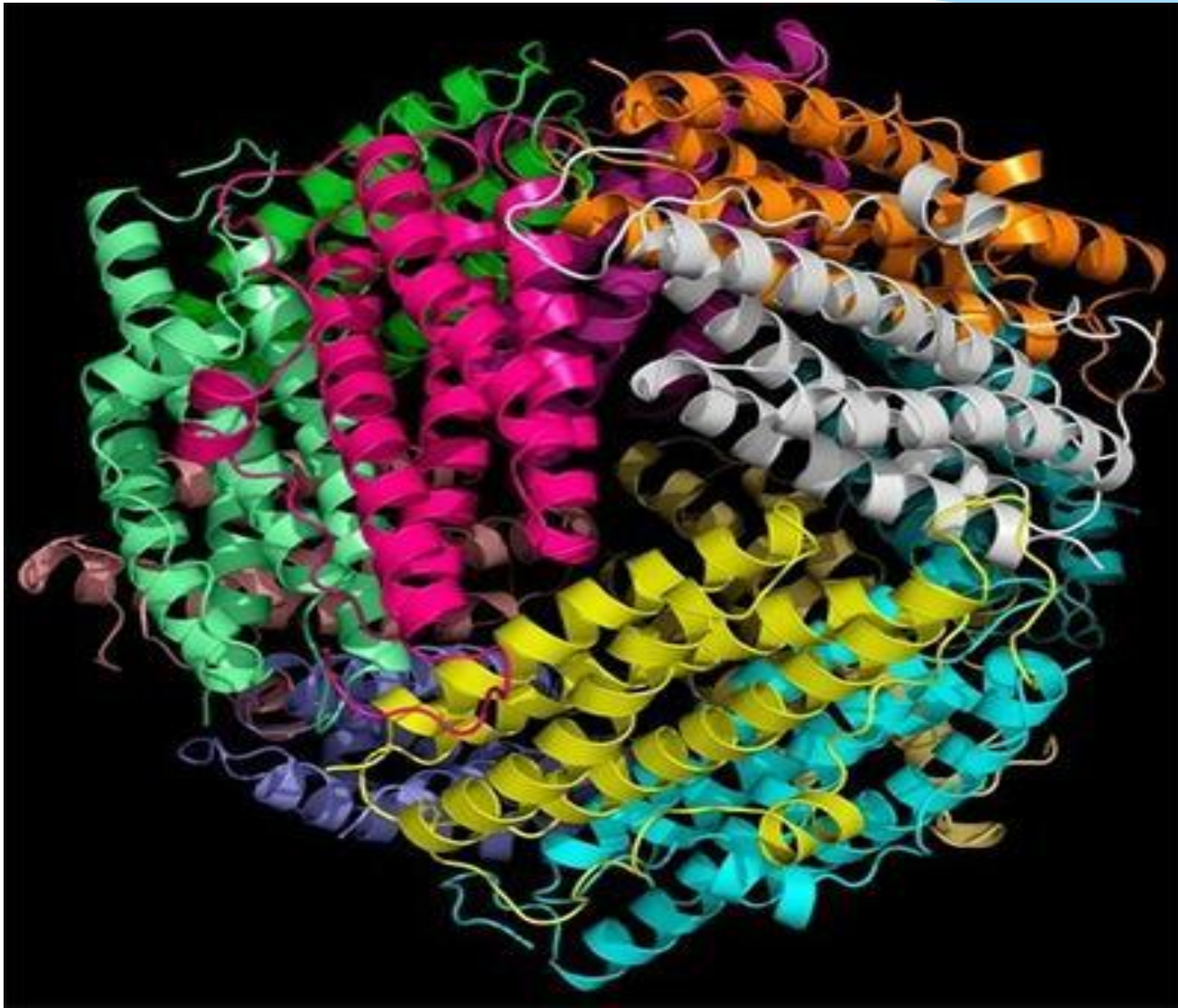



- 
- \* Трансферрин - гликопротеин, который синтезируется в печени и связывает только окисленное железо (**Fe<sup>3+</sup>**). Поступающее в кровь железо окисляет фермент плазмы крови церулоплазмин.
  - \* Одна молекула трансферрина может связать один или два иона **Fe<sup>3+</sup>**. В норме трансферрин крови насыщен железом приблизительно на **33%**.

- 
- \* Трансферрин поступает в клетки благодаря наличию на их плазматических мембранах белков-рецепторов, от количества которых зависит скорость поступления железа в неэритроидные клетки.
  - \* Избыток железа в клетках депонирует ферритин.
  - \* Синтез апоферритина и рецепторов трансферрина регулируется на уровне трансляции этих белков и зависит от содержания железа в клетке.


- \* Ферритин - олигомерный белок с молекулярной массой **500** кД. Он состоит из тяжёлых и лёгких полипептидных цепей, составляющих **24** протомера.
- \* Ферритин представляет собой полую сферу, внутри которой может содержаться до **4500** ионов трёхвалентного железа, но обычно содержится менее **3000**. Тяжёлые цепи ферритина окисляют **Fe<sup>2+</sup>** в **Fe<sup>3+</sup>**.
- \* Железо в виде гидроксидфосфата находится в центре сферы, оболочка которой образована белковой частью молекулы.

# Молекула ферритина





Железо поступает внутрь и освобождается наружу через каналы (всего каналов **6**), пронизывающие белковую оболочку апоферритина. Ферритин содержится почти во всех тканях, но в наибольшем количестве в печени, селезёнке и костном мозге.




\* Поскольку поступление ферритина в кровь пропорционально его содержанию в тканях, то концентрация ферритина в крови - важный диагностический показатель запасов железа в организме при железодефицитной анемии.

## Суточная потребность


- \* Мужчины – **10** мг
- \* Женщины детородного возраста - **20** мг
- \* Беременные женщины – **40-50** мг
- \* Женщины во время лактации – **30-40** мг


- \* Среднее потребление железа в разных странах от **10 - 22** мг/сутки, в РФ - **17** мг/сутки.
- \* Физиологическая потребность для взрослых - **10** мг/сутки (для мужчин) и **18** мг/сутки (для женщин).
- \* Беременные женщины – **40-50** мг.  
Физиологическая потребность детей - от **4** до **18** мг/сутки.
- \* Верхний допустимый уровень не установлен.





\* Железодефицитная анемия может наблюдаться при повторяющихся кровотечениях, беременности, частых родах, язвах и опухолях ЖКТ, после операций на ЖКТ

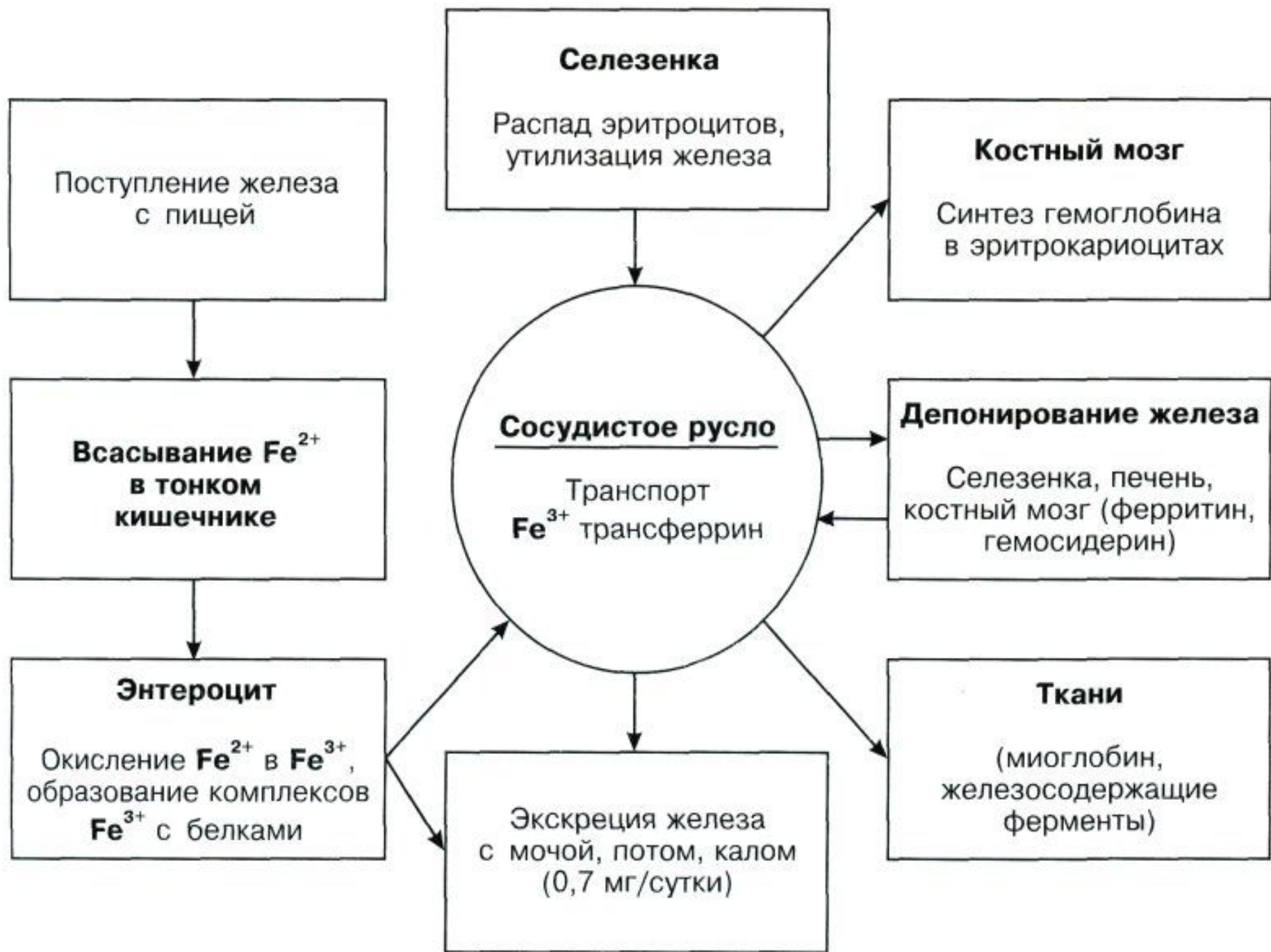
- 
- \* При железодефицитной анемии уменьшается размер эритроцитов и их пигментация (гипохромные эритроциты малых размеров).
  - \* В эритроцитах уменьшается содержание гемоглобина, понижается насыщение железом трансферрина, а в тканях и плазме крови снижается концентрация ферритина.



\* **Гемохроматоз.** Когда количество железа в клетках превышает объём ферритинового депо, железо откладывается в белковой части молекулы ферритина. В результате образования таких аморфных отложений избыточного железа ферритин превращается в гемосидерин. Гемосидерин плохо растворим в воде и содержит до **37%** железа.

- \* Накопление гранул гемосидерина в печени, поджелудочной железе, селезёнке и печени приводит к повреждению этих органов - гемохроматозу.
- \* Гемохроматоз может быть обусловлен наследственным увеличением всасывания железа в кишечнике, при этом содержание железа в организме больных может достигать **100 г.**
- \* Это заболевание наследуется по аутосомнорецессивному типу, причём около **0,5%** европеоидов гомозиготны по гену гемохроматоза.

- \* Накопление гемосидерина в поджелудочной железе приводит к разрушению  $\beta$ -клеток островков Лангерганса, как следствие этого, к сахарному диабету.
- \* Отложение гемосидерина в гепатоцитах вызывает цирроз печени, а в миокардиоцитах - сердечную недостаточность. Больных наследственным гемохроматозом лечат регулярными кровопусканиями.
- \* К гемохроматозу могут привести частые переливания крови, в этих случаях больных лечат препаратами, связывающими железо.



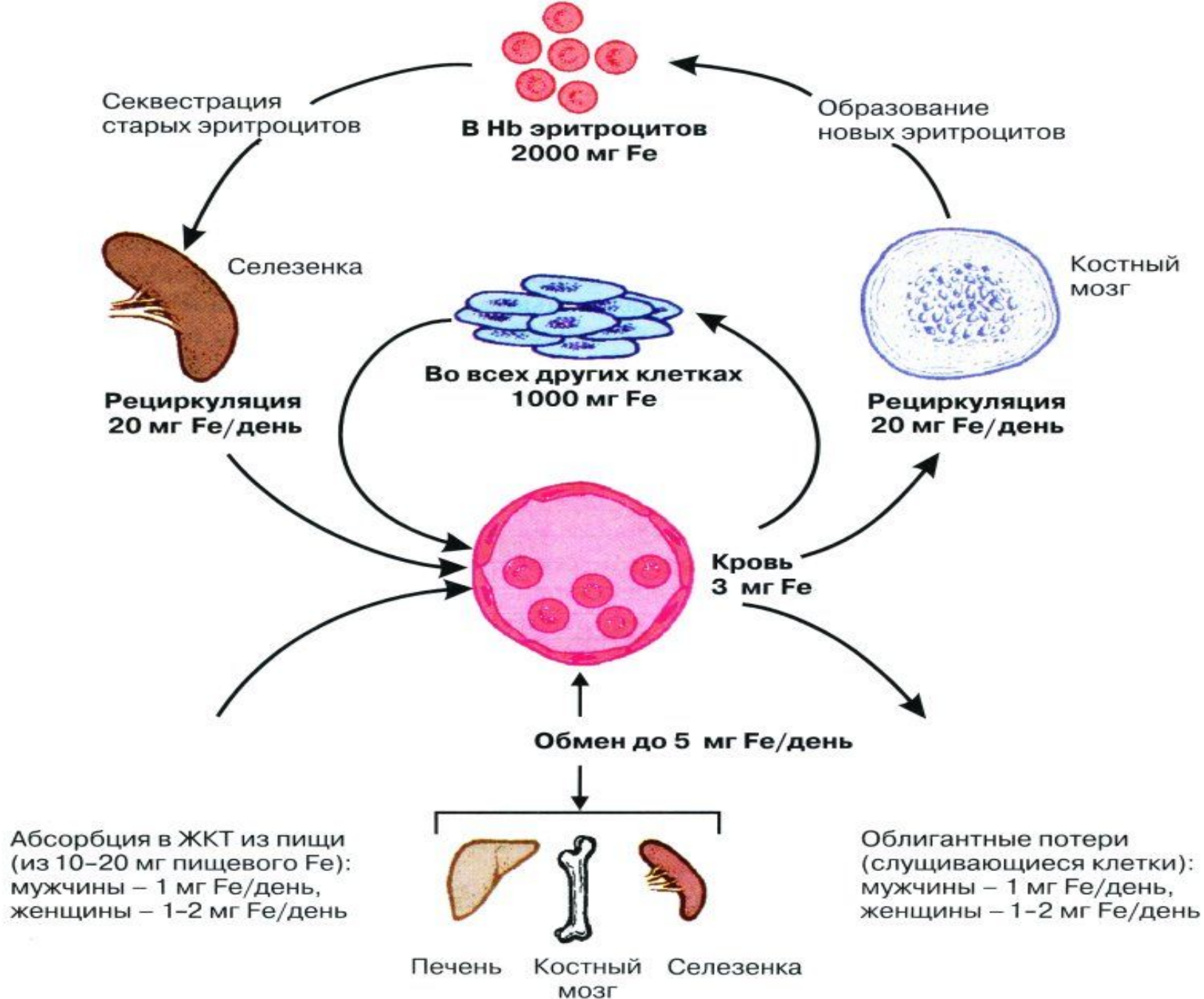


Рисунок 8. Ключевые белки при обмене железа

