

**Водно-
электролитные
расстройства:
нарушения
баланса калия,
кальция и магния**

К.М. Лебединский, СПб МАПО

Что такое норма?

ИОНЫ	Концентрации, мэкв/л:		
	Клетка	Интерстиций	Плазма
Катионы:			
Na ⁺	10	145	140 ± 5
K ⁺	145	4	4,4 ± 0,8
Ca ²⁺	–	3	5 ± 0,5
Mg ²⁺	40	2	2 ± 0,4
NH ₄ ⁺	–	–	
Анионы:			
Cl ⁻	5	117	104
HCO ₃ ⁻	10	27	22 ± 3
H ₂ PO ₄ ⁻ /HPO ₄ ²⁻	50	1	1,1 ± 0,5
SO ₄ ²⁻	10	0,5	0,45 ± 0,1
Орг. кислоты	–	6	5
Белок	60	1	1,9
pH	6,7–7,0	7,35–7,45	7,35–7,45
Осмолярность, мосмоль/л	285–295	285–295	285–295
Объем, мл/кг	300–400	150–180	30–50

Что такое норма?

Общая вода: 500 – 600 мл/кг

Внеклеточная жидкость (ECF):
200 – 220 мл/кг

Внутриклеточная жидкость (ICF):
300 – 400 мл/кг

Интерстициальная
(межклеточная)
жидкость:
150 – 180 мл/кг

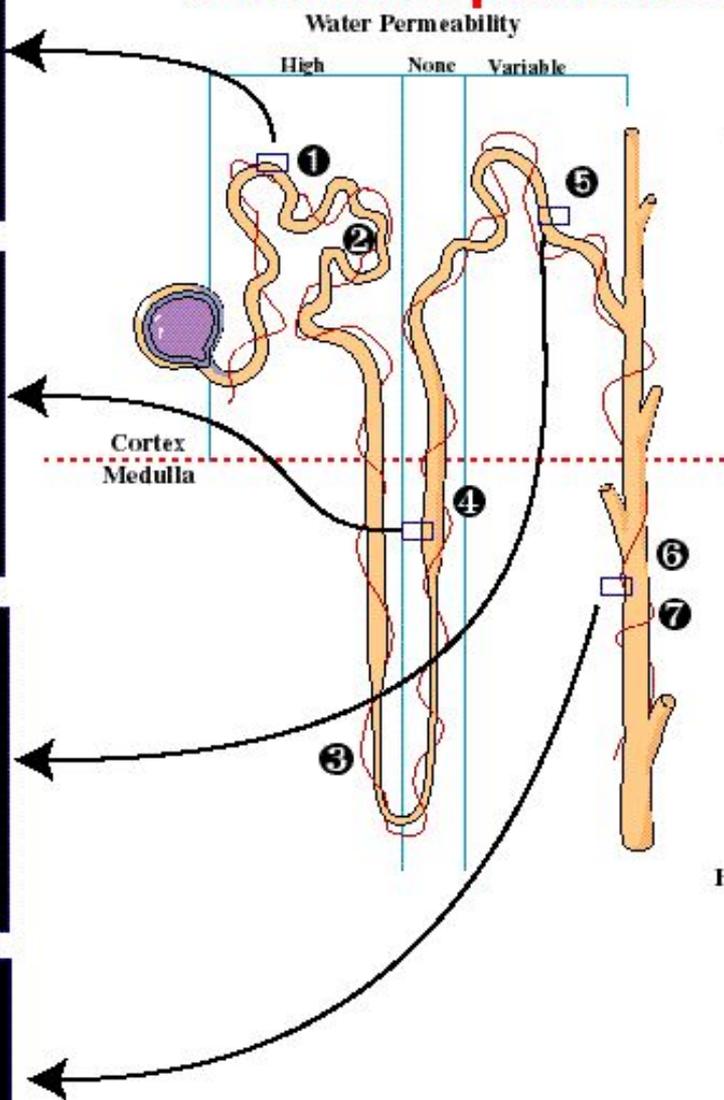
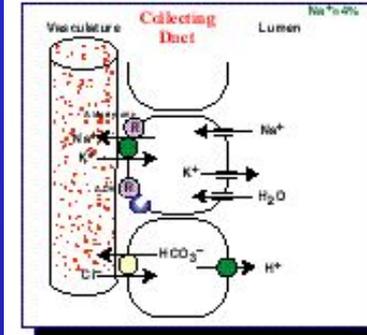
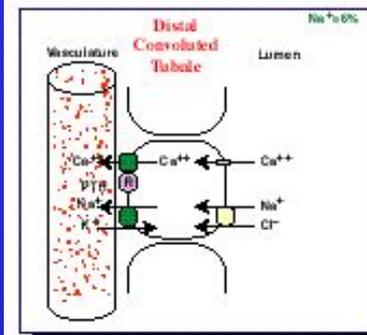
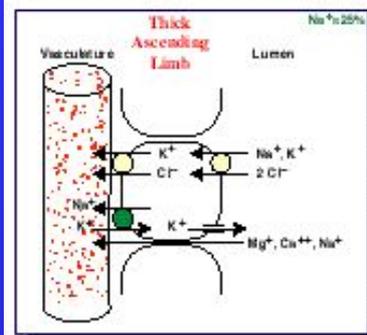
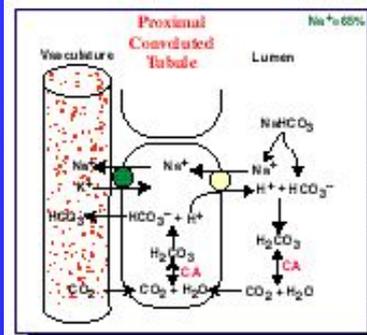
Внутри-
сосудистая:
30 – 50 мл/кг

Что поддерживает эти пропорции?

Обмен калия: физиология

- Основной внутриклеточный катион!
- Na^+/K^+ -АТФ-аза: насос, нагнетает в соотношении 3:2
- Стимулируется инсулином и β -адренорецепторами
- Угнетается α -адренорецепторами
- Обмен K^+ на протоны: «трансмнерализация»
- Ацидоз, согревание, гиперосмолярность – выход K^+
- Гипотермия – переход K^+ в клетку
- В почках: секреция клетками дистальных канальцев
- Регулируется альдостероном по уровню K^+ плазмы
- Норма уровня K^+ в плазме взрослых: 3,5—5,5 ммоль/л

Функции нефрона и точки приложения диуретиков



Diuretic	Site(s) of Action
CA Inhibitors	1
Thiazides	5
Loop Agents	4
Osmotic	2, 3, 7
K^+ Sparing	6
ADH Antagonists	7

Legend	
	Vasculature
	Active Transport
	Transporter
	Receptor
	Water "Channel"
ADH	Antidiuretic Hormone
PTH	Parathyroid Hormone
CA	Carbonic Anhydrase

Гиперкалиемия: причины

- Любая гибель клеток в *перфузируемой* ткани!
- Острое голодание
- Тяжелая мышечная работа, судороги, ЗГ
- Периодический гиперкалиемический паралич
- Любой глубокий метаболический ацидоз (в т.ч. ДКА!)
- Дегидратация
- Олигоанурическая ОПН (критерий начала диализа!)
- ХПН с КФ < 3–5 мл/мин
- Гипофункция надпочечников и РААС
- Артефакты!!!

Препараты, повышающие K^+ плазмы

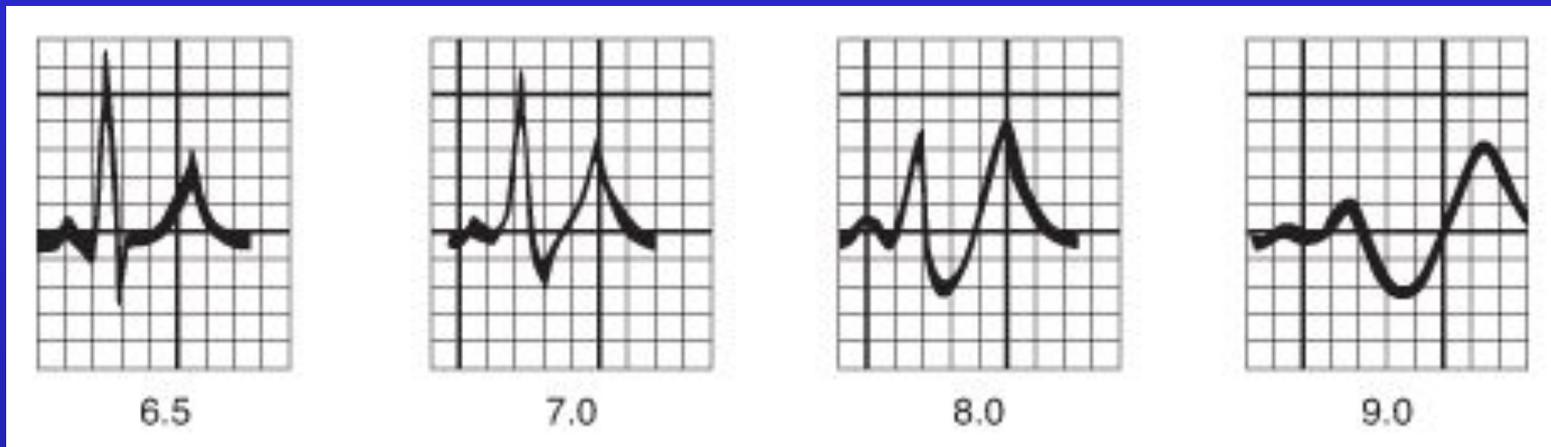
- Сукцинилхолин
- Адреналин, α -миметики, β -блокаторы
- Маннитол (осмолярность)
- Препараты лития (обмен)
- Спиринолактон
- Тетрациклин, цефалоридин, изониазид
- Противоопухолевые препараты (цитотоксизм)
- Гепарин
- Аргинин
- ϵ -Аминокапроновая кислота

Факторы, повышающие K^+ в анализе

- Движения руки с наложенным жгутом (+10...20%)
- Гемолиз (травма крови, вода, вакуум!)
- Свертывание
- Задержка центрифугирования
- Гиперлейкоцитоз
- Суточный ритм (максимум в 8 ч, минимум в 22 ч)

Гиперкалиемия: проявления

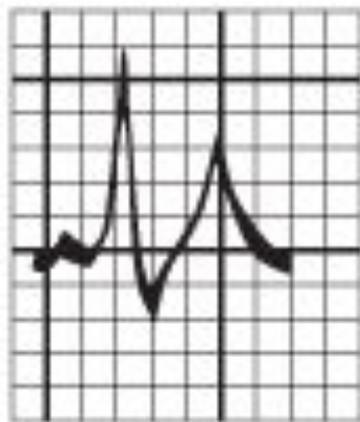
- Мышечная слабость, гипотония мышц, парестезии
- Нарушения ритма: АВ-блокада, экстрасистолия
- Изменения ЭКГ наиболее специфичны и стадийны:
- Высокий Т (6—7 ммоль/л),
- Расширение QRS (7—8 ммоль/л),
- Удлинение PQ (8—9 ммоль/л),
- Уплотнение Р и остановка предсердий (9—10 ммоль/л)



Гиперкалиемия: диагноз



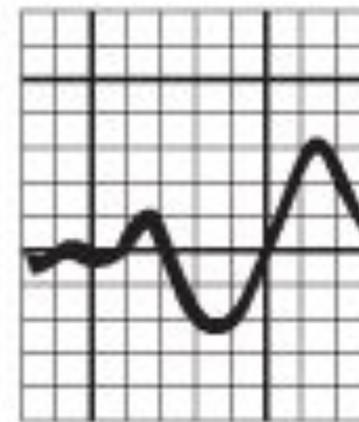
6.5



7.0



8.0



9.0

- ВСЕ признаки недостаточно специфичны!
- Доказательны ТОЛЬКО лабораторные данные!

Гиперкалиемия: лечение

- Лечение нарушений ритма – общие правила!
- Экстренно – хлорид кальция 10% в/в
- ОПН – гемодиализ
- Снижение поступления K^+
- Отмена препаратов, повышающих K^+ плазмы
- Глюкоза (30—50 г) + инсулин (10 ЕД)
- Гидрокарбонат натрия (при $pH < 7,2!$), ТНАМ
- Салуретики
- Ионообменные смолы (Kayexalate, ферроцен)
- Адреналин ($0,05 \text{ мкг} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$), сальбутамол

Гипокалиемиия: причины

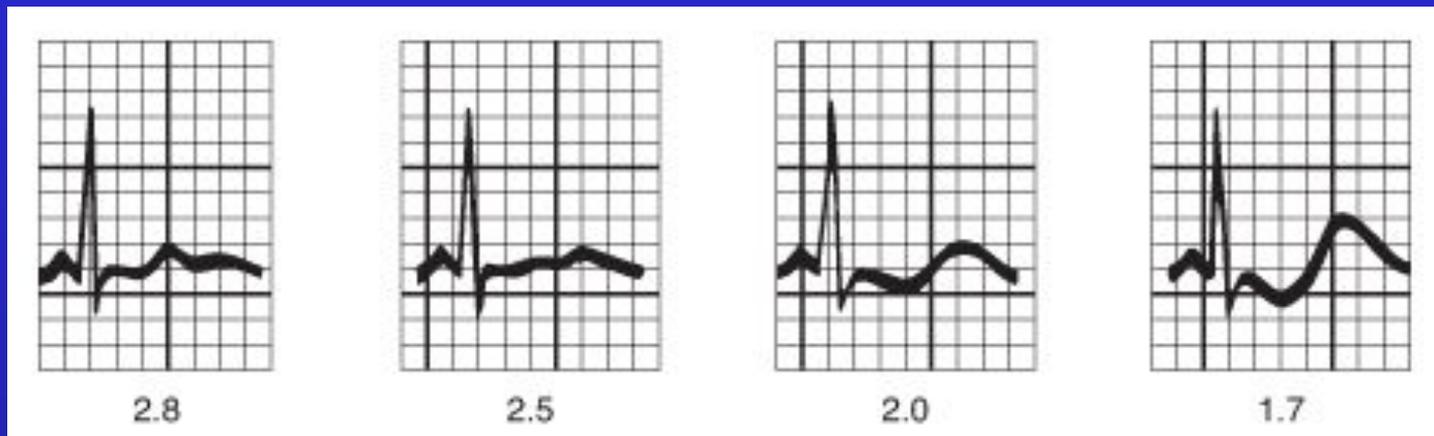
- Потери из ЖКТ (голокринный тип секреции)
- Дилюция при «безкалиевой» инфузии
- Глюкозоинсулиновая терапия
- Стресс, симпатическая гиперактивность
- Инфузия адреномиметиков в β -темпе
- Первичный и вторичный альдостеронизм
- Почечный канальцевый ацидоз
- Синдромы Кушинга, Де Тони-Дебре-Фанкони, Барттера и др. тубулопатии...
- Семейный периодический паралич
- Артефакты!!!

Препараты, снижающие K^+ плазмы

- Все диуретики, кроме спиронолактона
- Глюкоза + инсулин
- Глюкагон
- Глюкокортикоиды
- Салицилаты
- Карбенициллин, тикарциллин, амфотерицин

Гипокалиемия: проявления

- Безразличие, апатия, депрессия
- Гипорефлексия, адинамия до развития вялых параличей
- Подавление моторики ЖКТ!
- Снижена секреции инсулина, альдостерона и СТГ
- Полиурия
- Усилены аммиогенез, реабсорбция K^+ , Na^+ и HCO_3^-
- Отрицательный азотистый баланс
- Снижение сократимости миокарда, изменения ЭКГ:



Гипокалиемия: лечение

- Возмещение дефицита калия:

$$\text{Дефицит (ммоль)} = 0,3...0,4 \times \text{МТ} \times (4,5 - \text{K}^+_{\text{плазмы}})$$

- Физпотребность: 1—1,5 ммоль/кг в сутки
- У детей – намного больше (новорожденные – до 3!)
- Расчет: раствор 7,5% = 1 ммоль/мл
- Аспарагинат восполняет внутриклеточный K^+ !!!

Кальций: физиологическая роль

- Минеральная основа скелета
- Важнейший внутриклеточный «триггер»!
- Мышечное сокращение: тропомиозиновый комплекс
- Миокард: медленная диастолическая деполяризация
- IV фактор свертывания крови
- «Антагонист» K^+
- Замещается Mg^{2+}
- Связывается OH^- и фосфатом

Кальций: баланс

- Суточная потребность 0,11—0,20 ммоль/кг в сутки
- Всасывается в проксимальном отделе тонкой кишки
- Реабсорбция в канальцах – 98%
- Экскреция – на 80% с калом, остальное – моча и пот
- 98% – нерастворимый фосфат (кости и зубы)
- Мобилизация – фосфатазы (КФ и ЩФ)
- В плазме – три фракции: ионизированный (50-60%), связанный с белками (35-50%) и связанный с органическими кислотами (5-10%)
- Регуляция: паратгормон, тиреокальцитонин, витамин D

Паратгормон

- Мобилизует Ca^{2+} из костного апатита
- Усиливает реабсорбцию в канальцах
- Усиливает синтез 1,25-дигидроксиголекальциферола
- Увеличивает всасывание в кишке
- Главный уремический токсин?

Тиреокальцитонин

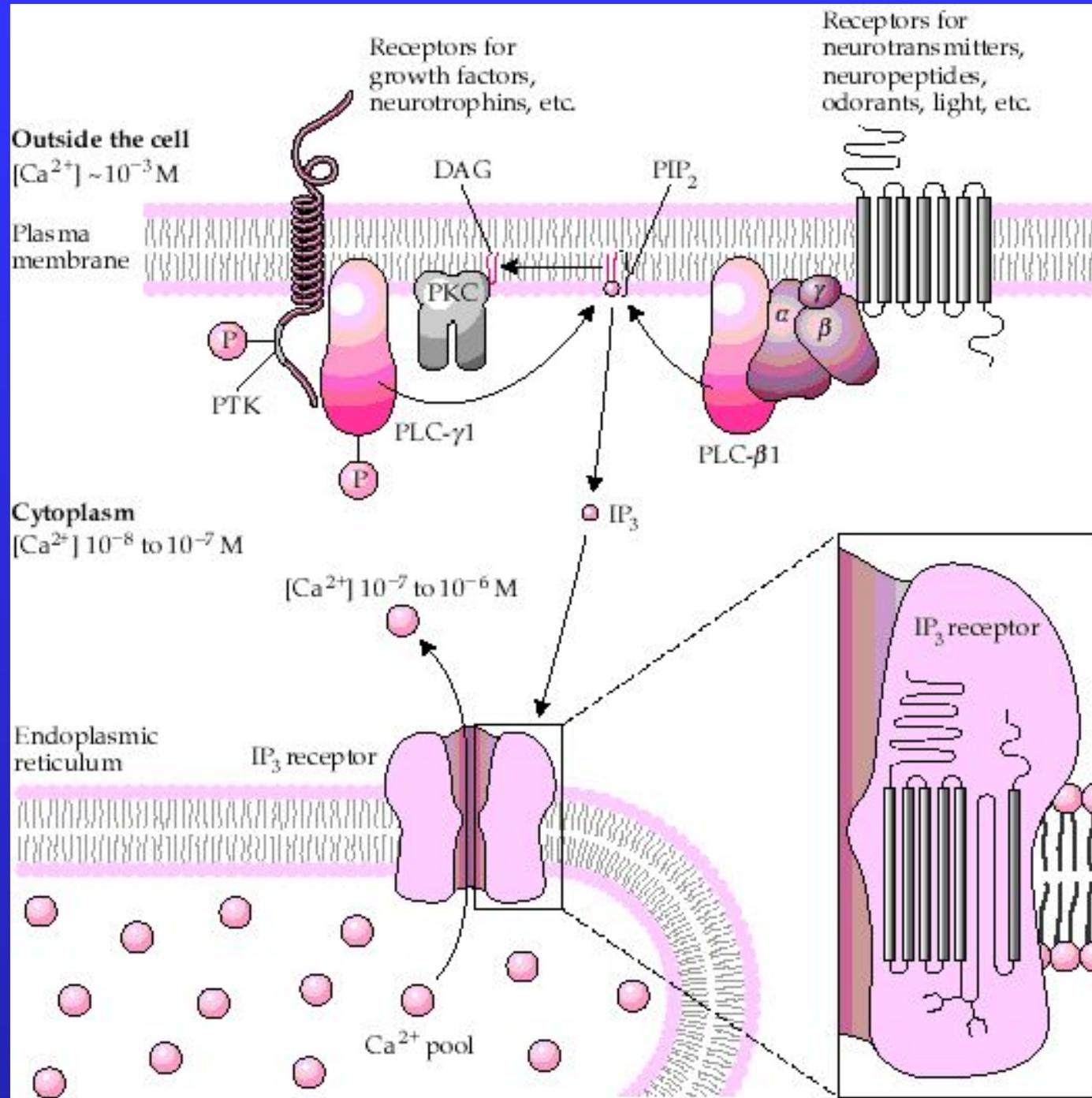
- Подавляет резорбцию костного апатита
- Угнетает реабсорбцию Ca^{2+} в канальцах

Витамин D

- Способствует действию ПТГ на кости, кишку и канальцы

Внутриклеточный кальций

- Важнейший внутриклеточный «триггер»!
- Мышечное сокращение: тропомиозиновый комплекс
- Регуляция секреции (гранулы!)
- Запуск апоптоза
- Основное депо – цитоплазматический ретикулум
- Каналы управляются IP_3



Sinauer Associates, Inc.
Feldman
*Fundamentals of
Neurophysiology*
Fig. 6-32

Нормы уровня кальция в плазме

Единицы	Общий кальций	Ионизированный кальций
Ммоль/л	2,1—2,6	1,10—1,25
Мэкв/л	4,5—5,5	2,2—2,5
Мг%	8,5—10	4,0—4,5

Гиперкальциемия: причины

- Длительная иммобилизация (в т.ч. постельный режим)
- Острая почечная недостаточность
- Злокачественные опухоли, особенно с Mts в кости
- Надпочечниковая недостаточность
- Гиперпаратиреоз
- Тиреотоксикоз
- Передозировка витамина D

Гиперкальциемия: проявления

- Гипотония мышц
- Зуд, парестезии
- Анорексия, тошнота, рвота
- ЭКГ: удлинение PQ и укорочение ST
- Желудочковые тахиаритмии
- Остеопороз: боли в костях, патологические переломы
- Полиурия, уролитиаз
- Нарушения сознания вплоть до комы
- ВСЕ симптомы неспецифичны!!!

Гиперкальциемия: лечение

- Хроническая бессимптомная – не требует лечения!
- Лечение основного заболевания
- Кортизон
- Тиреокальцитонин
- Бисфосфаты: памидронат или этидронат
- Митрамицин: подавляет остеокласты
- Снизить поступление Ca^{2+} (диета, инфузия)
- Острые ситуации встречаются редко
- Инфузия изотонического раствора NaCl + фуросемид
- Раствор сульфата магния в/в

Гипокальциемия: причины

- Любой некомпенсированный алкалоз
- Массивная гемотрансфузия (цитрат!)
- Массивная инфузия альбумина
- Острый панкреатит (свободные жирные кислоты)
- Гипопаратиреоз (опухоли, сепсис, ожоги, дефицит Mg^{2+})
- Дефицит витамина D (ЖКТ? Почки? Печень?)
- Гиперфосфатемия

Гипокальциемия: проявления

- Симптомы тетании (Хвостека, Труссо и т.д.)
- Парестезии, гиперрефлексия
- Удлинение ST
- Нарушения ритма сердца: мерцание/трепетание
- Расстройства периферического кровообращения
- Спутанность сознания
- Недеполяризующие релаксанты работают **ОЧЕНЬ** долго!
- **ВСЕ** симптомы неспецифичны!!!

Гипокальциемия: лечение

- Острая ситуация: в/в инфузия хлорида кальция!
- 10% раствор CaCl_2 – 0,89 ммоль/л
- Увеличить поступление Ca^{2+} с пищей до 1—1,5 г/сут
- Витамин D
- Возмещение дефицита Mg^{2+}
- Лечение основного заболевания
- При трансфузии Eг или альбумина – помнить о Ca^{2+} !

Магний: физиология

- Mg^{2+} -зависимые ферменты – синтез белка и углеводов
- Участвует в обмене K^+ и Ca^{2+}
- Участвует в мышечном сокращении
- Фактор вазодилатации
- Способствует фибринолизу
- Угнетает функции ЦНС
- 67% – в костном апатите, 30% – в клетке
- Реабсорбцию Mg^{2+} увеличивают гиповолемия, ПТГ, низкие уровни Na^+ и Ca^{2+}
- Норма в плазме у взрослого: 0,7—1,0 ммоль/л

Гипермагниемия: причины

- Избыточное введение
- Острая почечная недостаточность
- Дефицит глюкокортикоидов
- Гипотермия

Гипермагниемия: проявления

- Гипотония и слабость мышц до параличей
- Гипорефлексия
- Тошнота и рвота
- Нарушения сознания вплоть до комы
- Чувство жара, гиперемия кожи, потливость
- Вазодилатация, брадикардия, депрессия миокарда
- Удлинение PQ и расширение QRS
- ВСЕ симптомы неспецифичны!!!

Гипермагниемия: лечение

- Острые ситуации – введение препаратов кальция!
- 0,45% NaCl + фуросемид – усиление экскреции
- Отмена Mg²⁺-содержащих препаратов
- Диализ?
- Анестезия: снизить дозы гипнотиков и релаксантов!

Гипомагниемия: причины

- Недостаточное поступление Mg^{2+} (голод, ПЭП)
- Нарушение всасывания (кишечная недостаточность)
- Повышение экскреции Mg^{2+} почками (гипергликемия, гиперкальциемия, ДКА, избыток ПТГ, гипофосфатемия, аминогликозиды)
- Сочетание этих причин (ожоги, панкреатит, хронический алкоголизм, гипертиреоз)

Гипомагниемия: проявления

- Хроническая – часто бессимптомна!
- Апатия, бессонница
- Анорексия, тошнота, рвота
- Гиперрефлексия, тремор
- Симптомы тетании (дефицит Ca^{2+})
- Судороги мышц
- Тахикардия, тахиаритмии, артериальная гипертензия
- ЭКГ: удлинение PQ, расширение QRS, депрессия ST!
- Спутанность сознания

Гипомагниемия: лечение

- Острые ситуации – раствор сульфата магния в/в!
- 25% раствор MgSO_4 – 2,1 ммоль/мл
- Устранить гипомагниемия до анестезии!
- Лечение основного заболевания
- При бессимптомном течении – соли Mg^{2+} энтерально

