

Клиническая физиология водно-электролитного обмена

- Медицина-это наука неопределенности
и искусство вероятности.- Сэр Уильям
Ослер (1849-1919).

Орлов Ю.П., д.м.н.
Кафедра анестезиологии и
реаниматологии ОмГМУ

Клод Бернар

- «Постоянство внутренней среды – основа свободной ЖИЗНИ»



Короче, чувачки!
Я - ваша новая училка!
Сегодня мы начнем
зубрить таблицу
размножения!

Live4Fun

Водно-электролитные
нарушения в нейрореанимации
Автор: Савин И.А., Горячев А.С.
Год издания: 2015

http://kingmed.info/knigi/Anesteziologia_reanimatologia_i_intensivnaa_terapia/book_3994/Vodno-elektrolitnie_narusheniya_v_neyroreanimatsii-Savin_IA_Goryachev_AS-2015-pdf



Без еды человек может обходиться довольно длительное время. Правда, уже через несколько дней, проведенных без еды, вы будете чувствовать себя совсем по-другому. У вас появятся симптомы нехватки питательных веществ – слабость, вялость, раздражительность, невозможность сосредоточиться, вы потеряете способность принимать правильные решения. **Но, тем не менее, без еды человек может прожить от четырех до шести недель.**

А вот без воды сколько можно выдержать? **В среднем человек живет без воды не более трех дней. При некоторых обстоятельствах этот срок может увеличиться до пяти дней.** Известны случаи, когда организм боролся с обезвоживанием **до десяти дней, но при этом здоровью наносился непоправимый ущерб.** Выживание мозга, почек и сердца, густота крови напрямую зависят от количества потребляемой воды.



Эксперты по выживанию говорят, что существует «Правило тройки». Человек живет без воздуха три минуты. В холоде выжить без крова можно три часа. После трех дней без воды человек начнет умирать. Можно выдержать три недели без пищи, но никто не может обещать, что это будет весело.

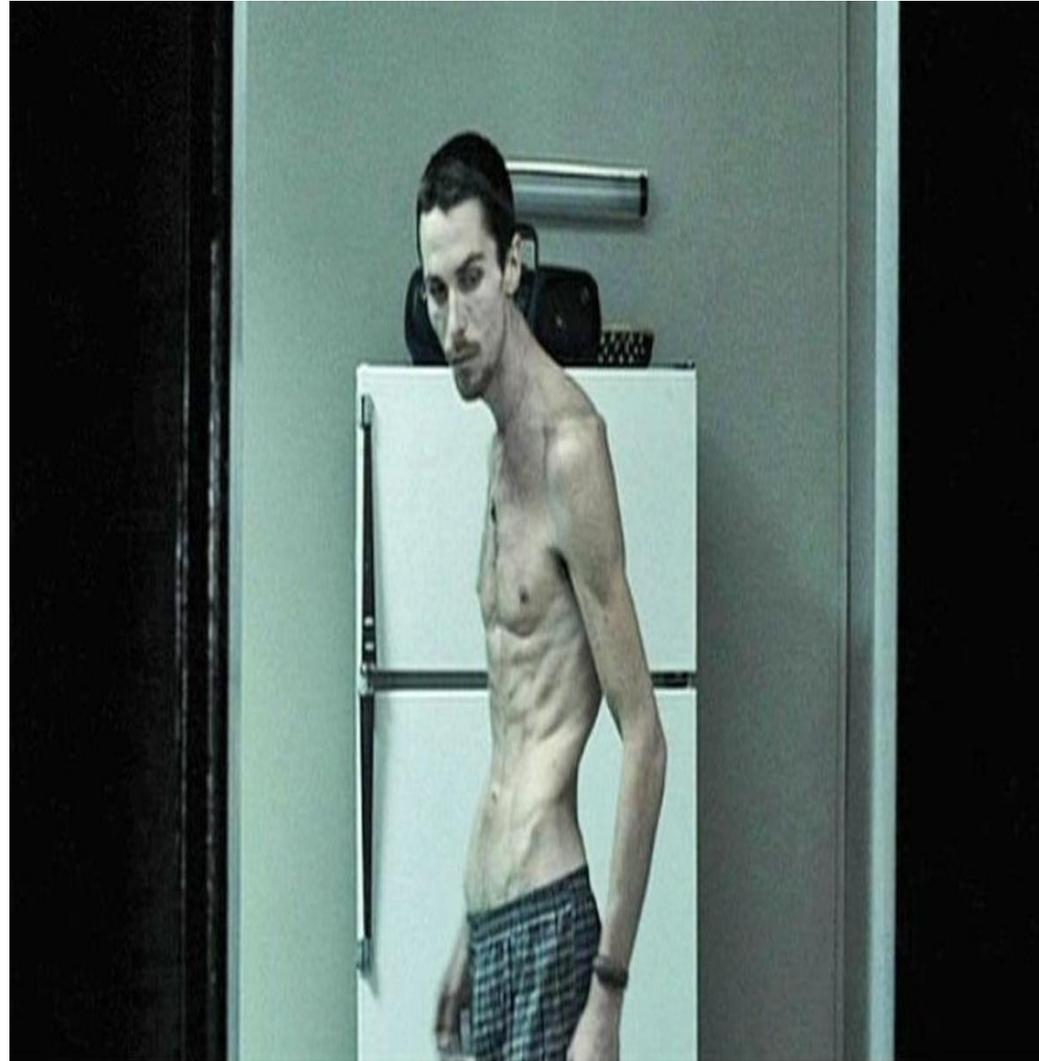


Исследования, проведенные американским физиологом Е. Ф. Адольфом, показали, что максимальная продолжительность пребывания человека без воды в значительной мере зависит от температуры окружающего воздуха и режима двигательной активности. Так, например, находясь в состоянии покоя в тени, при температуре 16—23°C, человек может не пить в течение 10 дней. При температуре воздуха 26°C этот срок сокращается до 9 дней, при 29°C — до 7, при 33°C — до 5, при 36°C — до 3 дней. Наконец при температуре воздуха 39°C в покое человек может не пить не более 2 дней.



С 1 по 18 апреля 1979 года

Рекорд в этой области, естественно неумышленно, а по вине общества, поставил австрийский юноша Андреас Михавеч. Его заперли в камеру предварительного заключения и... забыли о нем. Наткнулись на едва живого парня совершенно случайно лишь через 18 дней. Понятное дело, что все это время он жил и без пищи, и без воды. Так Андреас попал в престижную Книгу рекордов Гиннеса, в которую лучше не попадать, а просто читать ее.



После землетрясения в Мехико в 1985 г. под обломками здания был найден мальчик в возрасте 9 лет, который ничего не ел и не пил 13 суток и тем не менее остался жив.

Еще раньше, в феврале 1947 г., в г. Фрунзе был найден 53-летний мужчина, который, получив травму головы, в течение 20 суток находился без пищи и воды в заброшенном неотапливаемом помещении. В момент обнаружения у него не проявлялось дыхание и не прощупывался пульс. Единственным признаком, свидетельствующим о сохранении жизни пострадавшего, было изменение цвета ногтевого ложа при надавливании. А на следующий день он мог уже разговаривать.







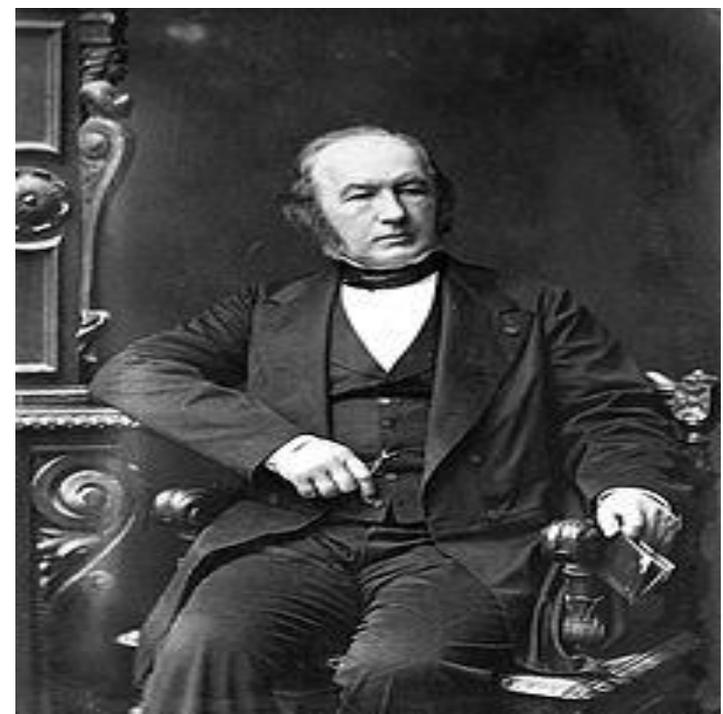
Вода с растворенными в ней веществами представляет собой **функциональное единство** как в биологическом, так и в физико-химическом отношении и выполняет многообразные функции. Обменные процессы в клетке протекают только в водной среде. Вода служит дисперсионным средством органических коллоидов и индифферентной основой для транспорта строительных и энергетических веществ к клетке и эвакуации продуктов обмена к органам выделения.

Как физиологи, так и нейробиологи признали, что обезвоженные люди пьют до насыщения быстро в течение 3-10 мин, вызывая снижение жажды и мотивации к питью, задолго до того, как повышенная осмоляльность плазмы и натрий вернуться к нормальным концентрациям (то есть процесс, который может потребовать 15-50 мин, а также до того, как потребляемая жидкость будет поглощена из кишечника. Таким образом, гомеостатическая жажда человека модулируется негомеостатическими орофарингеальными нервными сигналами, которые **быстро снижают и ограничивают общее потребление жидкости при наличии стойкой, сильной мотивации к питью.** Эти сигналы модулируют насыщение и противодействуют гипергидратации.

Бизону хватает 40 литров.
Суточная норма лошади 10 литров.

В среднем организме человека необходимо около 30 мл воды на каждый кг веса.

Клиницисту любого профиля нередко приходится лечить больных с выраженными нарушениями водно-электролитного баланса - важнейшей системы внутренней среды организма, постоянство которой, по выражению Клода Бернара, "есть условие свободной жизни". Легкие степени нарушений водно-электролитного баланса могут быть компенсированы за счет резервных возможностей организма и не проявляться клинически. Более тяжелые изменения водно-электролитного обмена не могут быть компенсированы даже чрезмерным напряжением всех систем организма и приводят к выраженным расстройствам жизнедеятельности организма.



Тургор тканей как эквивалент обезвоживания?

Об истории вопроса

- 1801 (Bichat), 1828 (Aschard) представление распределения воды и солей в организме
- 1831 (W. O'Shaughnesy) отметил, что у больных с холерой в крови недостает воды, солей и «свободной щелочи»
- 1832 (T. Latta) первое внутривенное введение солевых растворов с бикарбонатом
- 1882 (S. Ringer) предложил раствор, где кроме натрия и хлора содержался калий и кальций
- 1902 (F.S. Locke) видоизменил раствор Рингера, дополнив его глюкозой (1 г/л), гидрокарбонат натрия (0,2 г/л) и уменьшил концентрацию натрия и хлора до 200 мг/л
- 1910 (M. Tyrode) увеличил концентрацию щелочи и дополнил раствор фосфатом

Проф. G. Sultan и прив.-доц. B. Schreiber.

ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ВЪ НЕСЧАСТНЫХЪ СЛУЧАЯХЪ.

Руководство, составленное для врачей,

ПРИ УЧАСТИИ:

прив.-доц. Поппманн'а, д-ра Palm'а, прив.-доц. Schloek'а и прив.-доц. Weber'а.

Съ 78 рисунками въ текстѣ.

Переводъ съ нѣмецкаго

и дополненія редактомъ «Первая помощь при острыхъ отравленіяхъ»
д-ра мед. М. И. Врейтманнъ.

(Die Erste Hilfe in Nothfällen für Aerzte, bearbeitet von Prof. Dr. G. Sultan und Privatdozent Dr. B. Schreiber, unter Mitwirkung von Privatdozent Dr. Hermann, Dr. Palm, Privatdozent Dr. Schloek und Privatdozent Oberarzt Dr. Weber. Mit 78 Abbildungen.)

С. ПЕТЕРБУРГЪ.

Маданіе журнала „Практическая Медицина“ (В. С. Эттингеръ).

Улица Шумовскаго, 18.
1905.



какою оказалась 0,6% растворъ поваренной соли. По *Landerer*'у, очень полезно прибавить къ переливаемой жидкости небольшое количество сахара и слѣды натронной щелочи, такъ что составъ жидкости представляется въ слѣдующемъ видѣ:

Воды	1000 грм.
Поваренной соли	6 »
Сахару	30 »
Щелочи	2 капли.

Актуальность проблемы

- Нарушения гидроионного баланса встречаются у всех без исключения реанимационных больных и вызываются либо потерей жидкости и электролитов, либо их патологическим перемещением в организме, что трактуется как дисгидрия или дизосмия.

R. Mach, 1978

Водно-электролитным обменом называется совокупность процессов **поступления воды и электролитов в организм, распределение их во внутренней среде и выделение из организма.**

Жидкости организма не застаиваются в анатомических пространствах, в них постоянно протекают интенсивные процессы внутреннего обращения:

- фильтрационные;**
- секреторные;**
- диффузионные;**
- осмотические.**

Гидростатическое давление крови вытесняет из артериальных капилляров жидкость, которая через лимфатические пути и венозные капилляры попадает вновь в венозную систему. При различных воздействиях (температурные сдвиги среды, разный уровень физической активности, изменение характера питания и при патологических состояниях) различные показатели интенсивности данного процесса могут меняться.

При участии воды формируются такие структуры, как:

- клеточные мембраны;
- транспортные частицы крови;
- макромолекулярные образования;
- надмолекулярные образования.

Физиологическая потребность в жидкости

Объем поступления жидкости	мл	Выведение жидкости из организма	мл
Выпитая жидкость	2100	Через кожу	350
Жидкость, образующаяся при метаболизме	200	Через легкие Пот Кал Моча	350 100 100 1400
ВСЕГО	2300	ВСЕГО	2300

«Постоянство внутренней среды – основа свободной жизни»

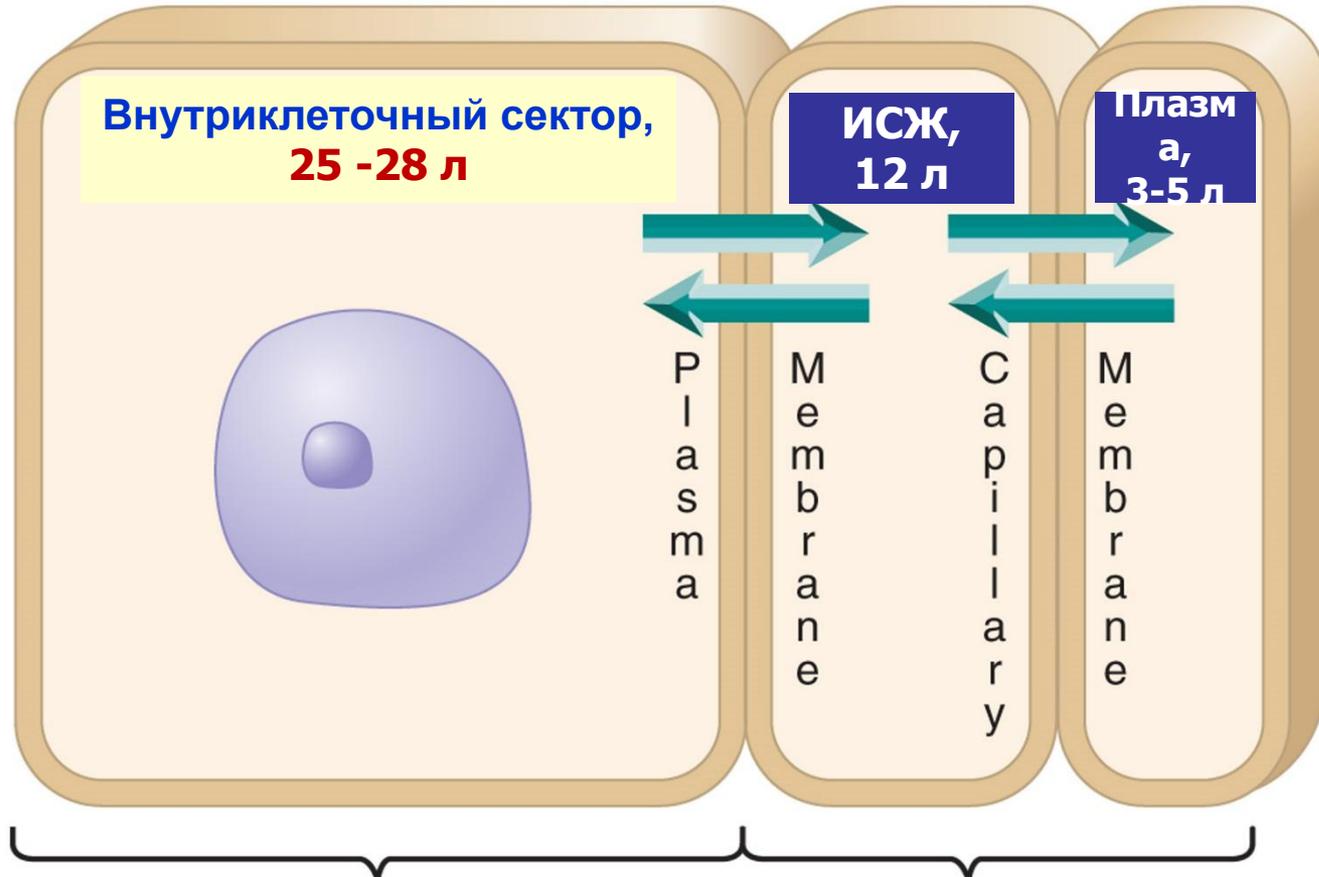
Водные сектора организма



Потери через кожу и дыхание (перспирация) 500 мл/м²

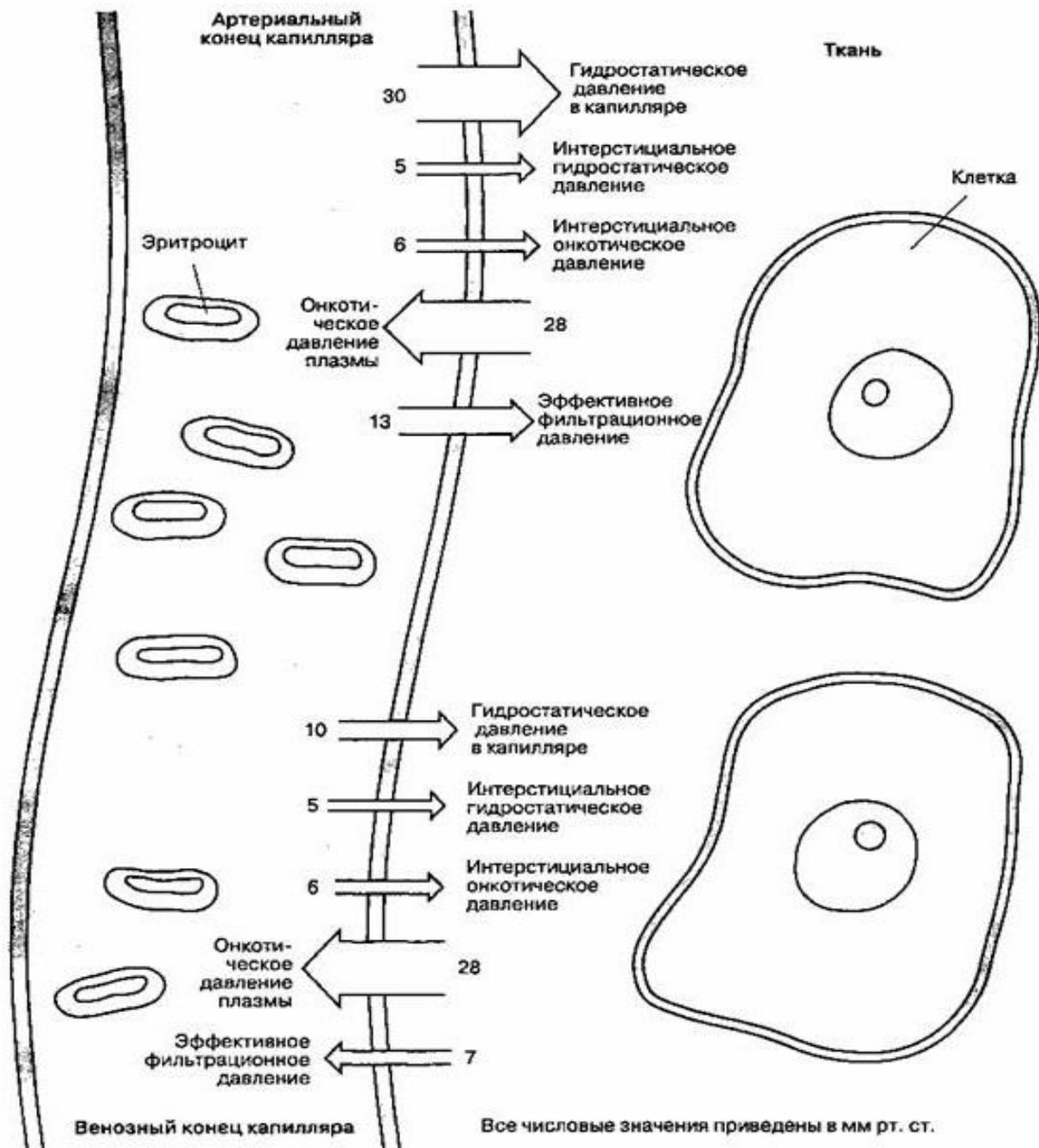
	мл/сут	мл/кг
• новорожденный	100	30
• 1 год	225	22,5
• 7 лет	450	20
• 10 лет	550	17
• 14 лет	730	15,5
• 18 лет	870	14,5
• <u>взрослый</u>	850	<u>10-12</u>

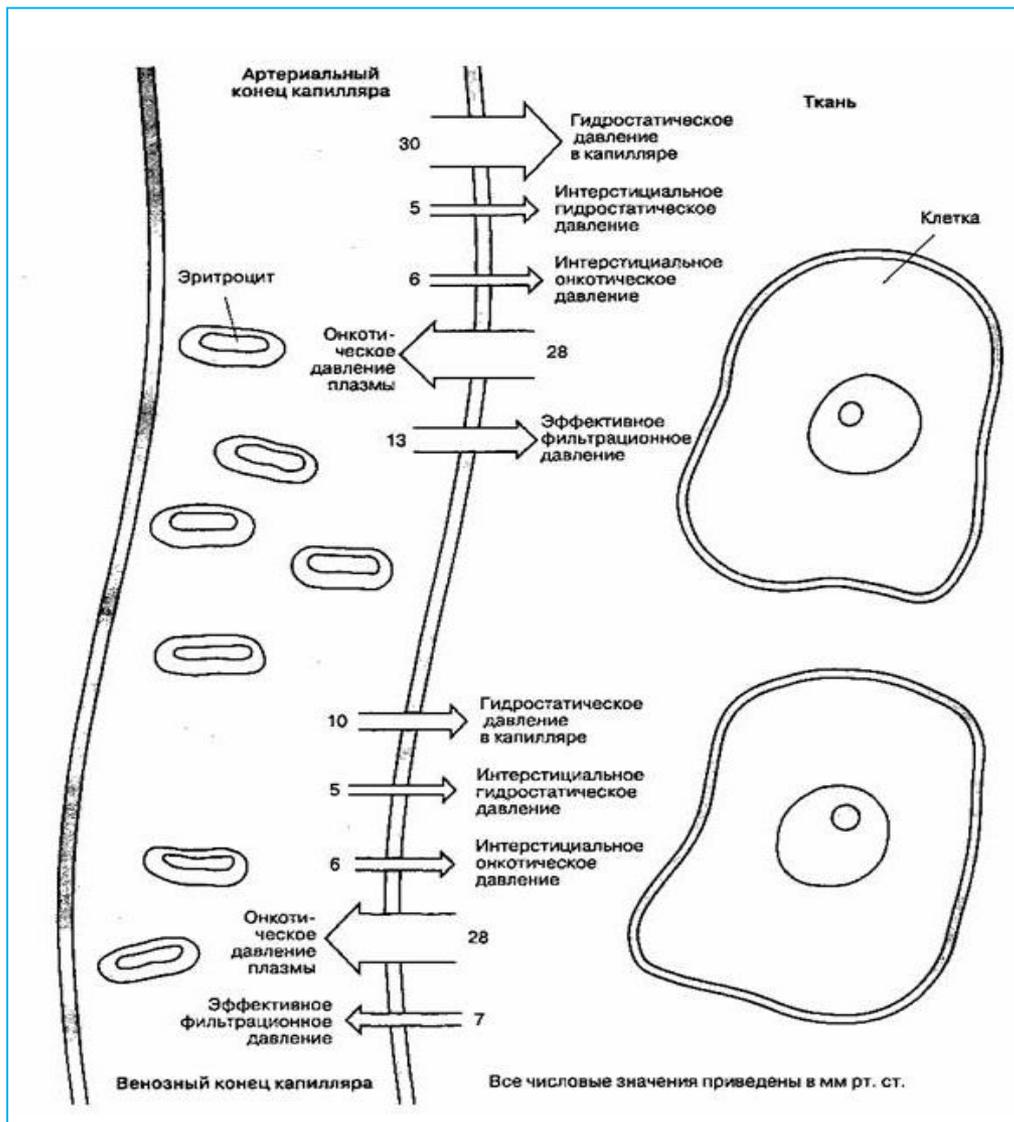
СХЕМА ВОДНЫХ СЕКТОРОВ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА



Непрерывный обмен жидкостью осуществляется через биологические мембраны, разделяющими внутриклеточный и внеклеточный сектора;

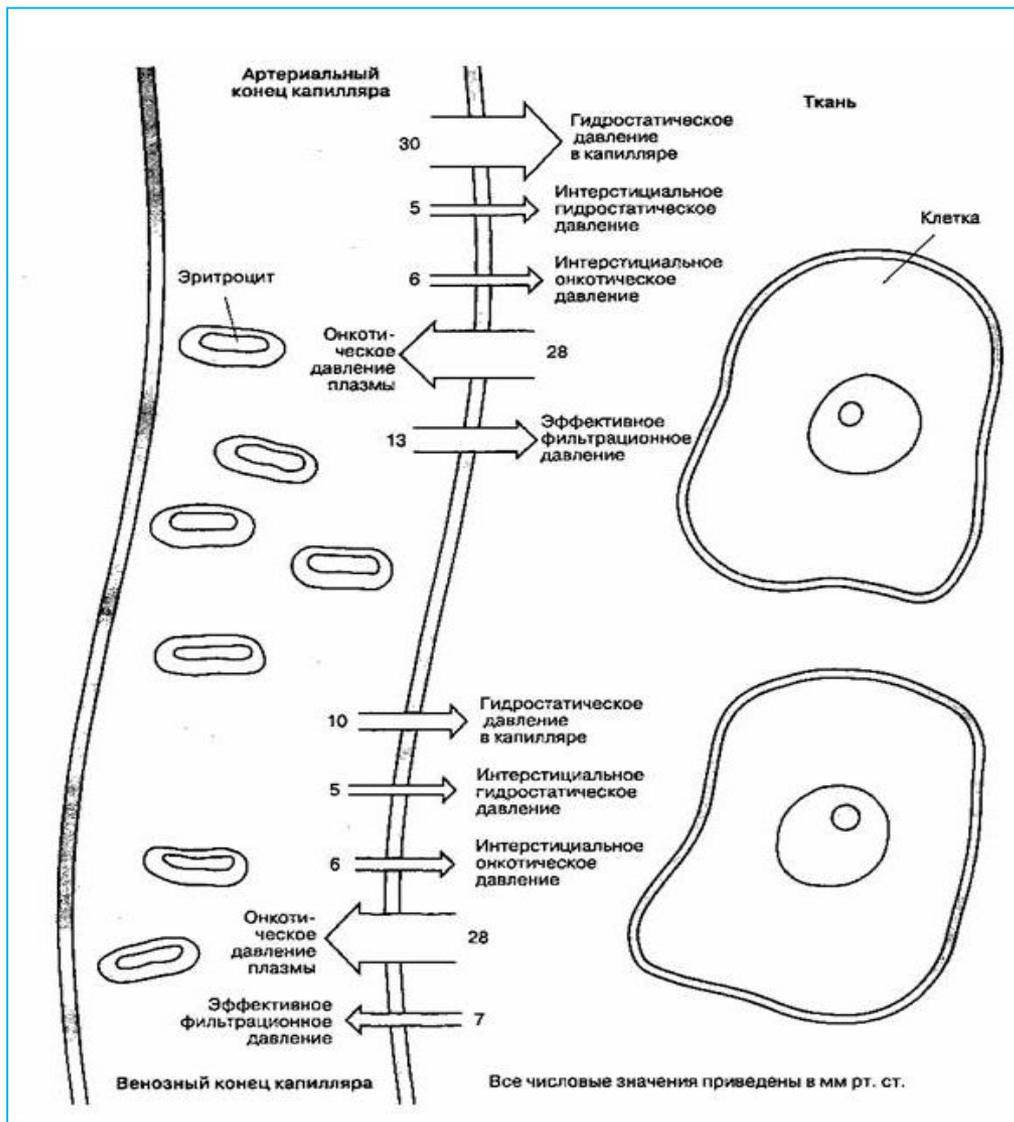
Внутриклеточная жидкость. Около 28 л жидкости из 42 л (приблизительно 40% массы тела) находится внутри 75×10^{12} клеток организма. **Жидкость внутри каждой клетки представляет собой особую смесь различных компонентов, однако ее содержание во всех клетках одинаково.** Более того, состав **внутриклеточной жидкости у различных живых существ сходен, начиная от самых примитивных микроорганизмов и заканчивая человеком.**



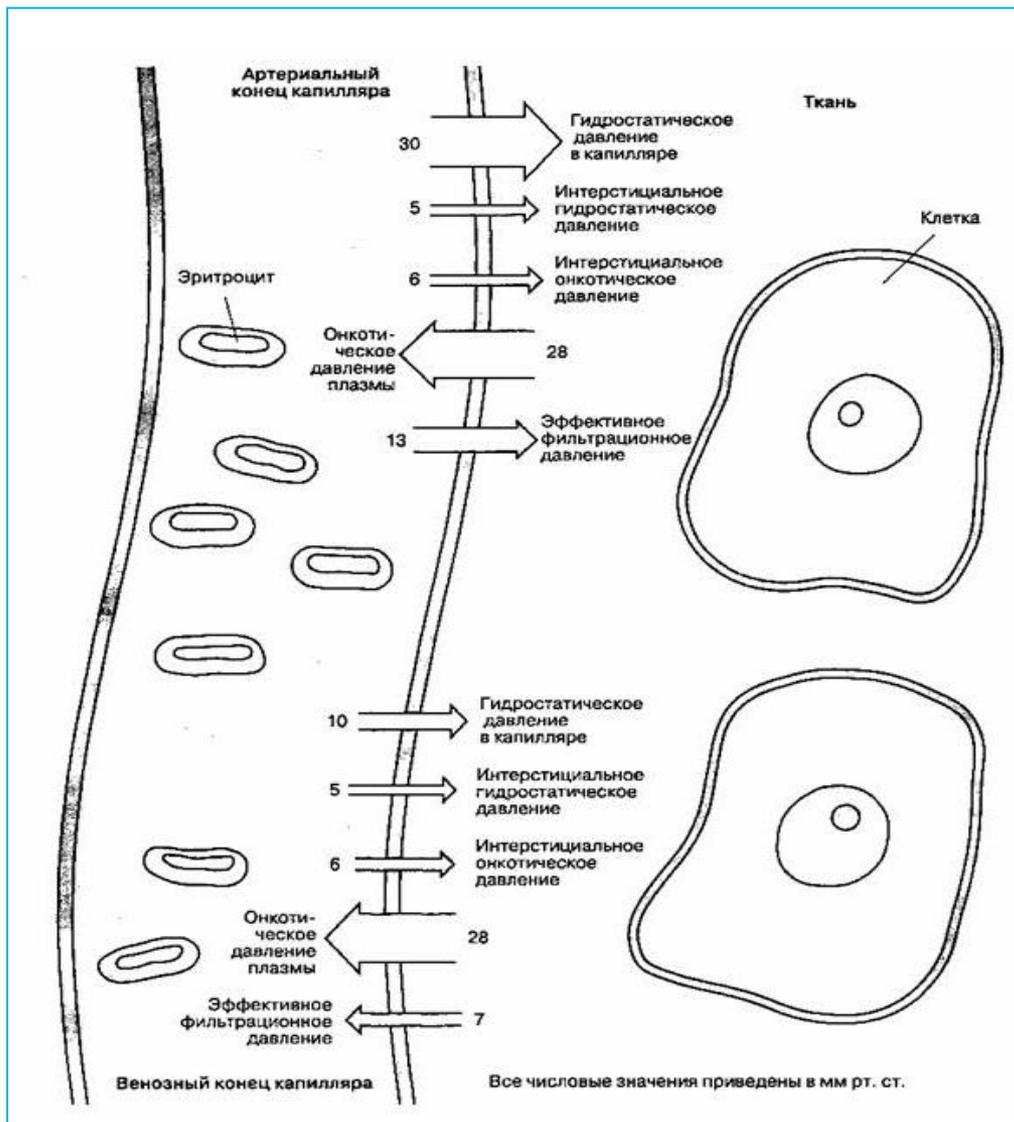


Внеклеточная и внутриклеточная жидкости находятся в осмотическом равновесии, поэтому осмоляльность плазмы (и концентрация натрия в плазме) обычно отражает общую осмоляльность.

Клетка всегда поддерживает постоянство внутренней среды



Чрезвычайно важно помнить, что **вода перемещается между внутриклеточным и внеклеточным пространствами только в ответ на появление осмотического градиента.** Кроме того (за исключением мозга), общее количество внутриклеточного раствора (осмолы) сохраняется на постоянном уровне, в то время как во внеклеточном пространстве оно может меняться в широких пределах. Наконец, **при равновесии осмолярность внутриклеточной и внеклеточной жидкости должна быть одинаковой. Это достигается путем добавления или удаления воды** (но не осмолей) из внутриклеточного пространства, а также посредством добавления или удаления либо воды, либо осмолей из внеклеточного пространства.



Гидростатическое давление крови вытесняет из артериальных капилляров жидкость, которая через лимфатические пути и венозные капилляры попадает вновь в венозную систему.

При различных воздействиях (температурные сдвиги среды, разный уровень физической активности, изменение характера питания и при патологических состояниях) различные показатели интенсивности данного процесса могут меняться.

При участии воды формируются такие структуры, как:

- клеточные мембраны;
- транспортные частицы крови;
- макромолекулярные образования;
- надмолекулярные образования.

Водные сектора у пациента с массой тела 70 кг (по Frederick M., 2002)

- **Общая вода организма – 57 % от ИМТ;**
- **Внутриклеточная вода – 35% от ИМТ или 63% от ОВО (около 25 л);**
- **Внеклеточная вода – 22 – 24% от ИМТ или 15 л ОВО;**

Все параметры рассчитываются от значения идеальной массы тела (ИМТ)

Intravenous fluid therapy

Intravenous fluid therapy in adults in hospital

Clinical Guideline «CG174»

Methods, evidence and recommendations

December 2013

Commissioned by the National Health Service

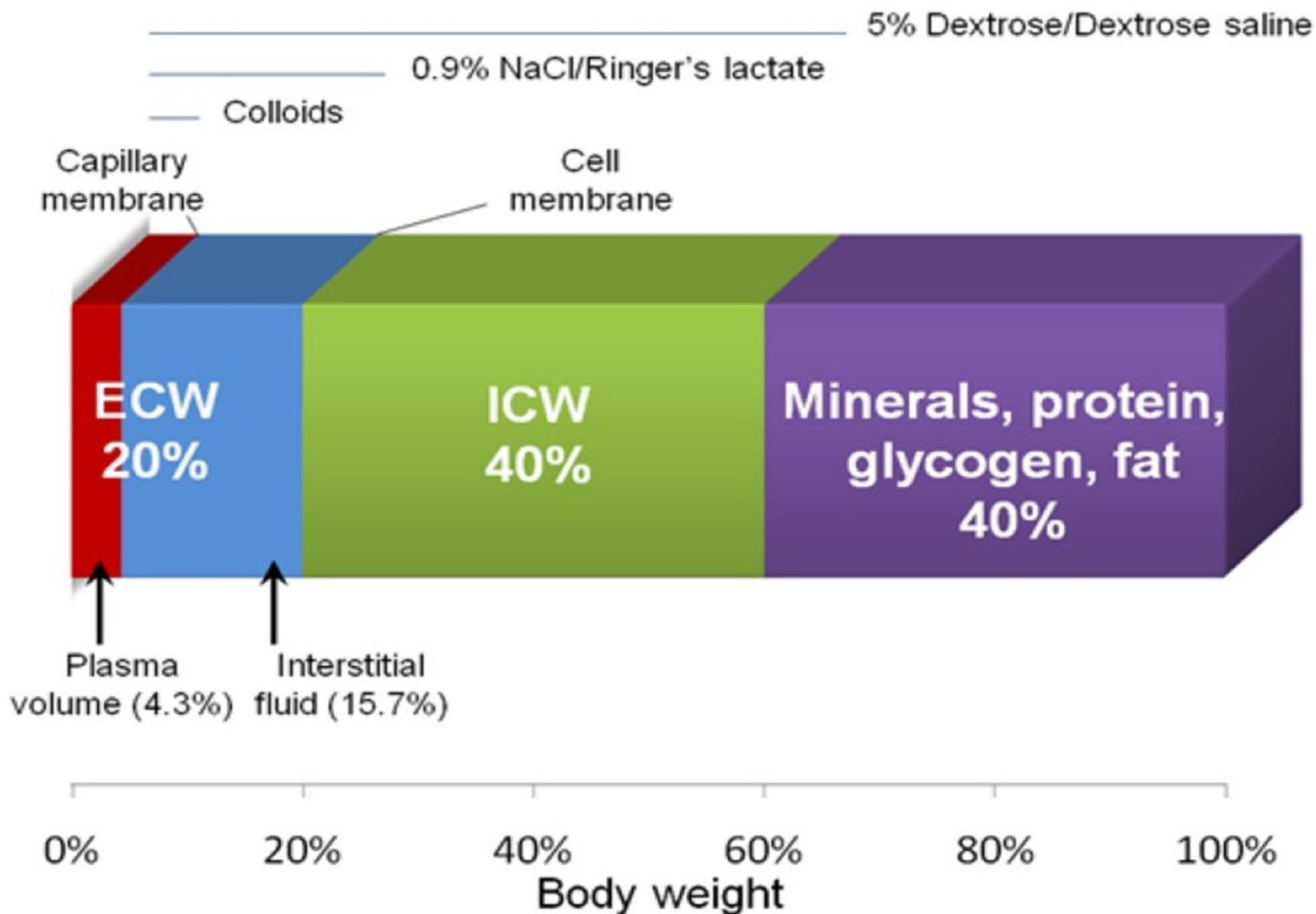
Знания, необходимые для обоснования безопасного и эффективного внутривенного введения жидкости и электролита, лежат в четырех областях:

Физиология баланса жидкости в организме;

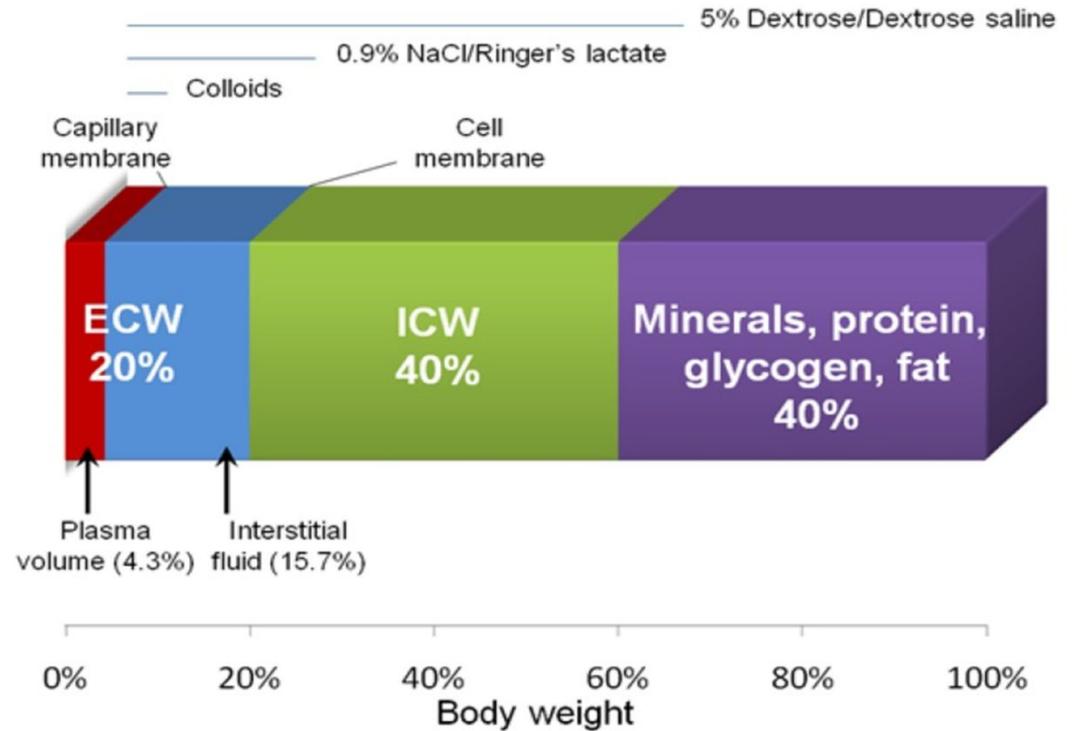
Патофизиологическое влияние на водный баланс;

Клинические подходы к оценке потребностей в внутривенной жидкости;

Свойства доступных внутривенных жидкостей.



Вода составляет примерно 60% массы тела среднего взрослого человека (около 40 литров на 70-килограммового мужчину).²⁹ Этот процент ниже при ожирении, так как жировая ткань содержит меньше воды, чем мышечная ткань. Он также ниже у женщин, чем у мужчин, из-за относительно большего количества жировой ткани у женщин. Общая вода в организме функционально разделена на внеклеточные (ECF=20% от массы тела, около 14 л у человека весом 70 кг) и внутриклеточные жидкие пространства (ICF= 40% от массы тела, около 28 л у человека весом 70 кг), разделенные клеточной мембраной с активным натриевым насосом, который гарантирует, что натрий остается в основном в ECF.



Содержание общего количества воды (в процентах) и соотношение в распределении жидкости в зависимости от возраста

Жидкости	Новорожденный	1-6 мес	6 мес –1 год	1-5 лет	Взрослый
Общая вода	70-85	70	60	65-70	60
Внеклеточная жидкость					
Интерстициальная	32-44	34	30	25	17
Плазма	6	5,5	5	5	5

Содержание воды в разных тканях варьирует от 20% в жировой ткани до 83-90% в почках и крови, у девочек и женщин в связи с большим количеством жировой клетчатки содержание воды ниже, чем у мальчиков и мужчин.

Наилучшим методом определения водного баланса является регулярное **взвешивание пациентов.** Для этой цели применяются специальные кровати-весы, которыми должны быть оснащены все отделения реанимации и интенсивной терапии.

Пример.

Если произошло снижение массы тела на 4% от исходных величин, то это соответствует **дегидратации легкой степени,** на 6% - **дегидратации средней степени,** на 8% и более – **тяжелой степени дегидратации.**

Идеальная масса тела

Французский антрополог, анатом, хирург.



Поль Брока

$$\text{ИМТ} = \text{рост (см)} - 100$$

при росте 155- 165 см из роста (в см) вычитается 100;
при росте 166-175 см – вычитается 105,
при росте свыше 175 см- вычитается 110.

Формула Брока для не достигших сорокалетия равна "рост (в см) - 110", после сорока лет - "рост (в см) - 100". При этом хрупким худощавым людям – астеникам - из результата нужно вычесть 10%, а обладатели массивного телосложения - гиперстеники - должны 10% к нему прибавить.

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?

Внутрисосудистый объем 30-50 мл/кг

Физиологическая потребность в жидкости (1,5 мл/кг/ч)

Объем поступления жидкости	мл	Выведение жидкости из организма	мл
Выпитая жидкость + с пищей	1200 + 1000	Через кожу	500
Жидкость, образующаяся при метаболизме	300	Через легкие Пот Кал Моча	400 100 200 1300
ВСЕГО	2500	ВСЕГО	2500



Регуляция динамического равновесия между внутрисосудистой и интерстициальной жидкостью

Фильтрация внутрисосудистой жидкости		Реабсорбция интерстициальной жидкости	
Среднее капиллярное гидростатическое давление, мм.рт.ст.	17,3	Коллоидное осмотическое давление плазмы, мм. рт.ст.	28,0
Отрицательное давление интерстициальной жидкости, мм.рт.ст.	3,0		
Коллоидное осмотическое давление интерстициальной жидкости, мм.рт.ст.	8,0		
ВСЕГО, мм.рт. ст.	28,3	ВСЕГО, мм.рт.ст.	28,0

Уравнение Старлинга – Лэндиса

$$Q = K [(P_c - P_{rc}) - \sigma (P_c - P_{rc})]$$

Эрнест Генри Старлинг
(17.04.1866– 02.05.1927)



- Q** – суммарный поток жидкости;
- P** – гидростатическое давление;
- П** – осмотическое давление;
- K** – коэффициент проницаемости мембраны для воды (гидравлическая проводимость);
- σ** – коэффициент отражения, показывающий степень проницаемости мембраны для растворенного вещества;
- C** – относится к гидростатическому и осмотическому давлению, которое оказывает текущая по капиллярам кровь;
- P_c** – относится к гидростатическому и осмотическому давлению, которое оказывает околокапиллярное интерстициальное пространство;

Закон изоосмолярности

- Осмолярность плазмы - 280-295 мосм/л
- ЭЖ = осмолярность ИнЖ = осмолярность ПК

Снижение или повышение **ОСМОЛЯРНОСТИ** в одном водном секторе сопровождается перемещением жидкости и выравниваем осмолярности во всех водных секторах

Коллоидно-осмотическое давление

КОД - осмотическое давление, создаваемое высокомолекулярными коллоидными веществами

Нормальные значения КОД - 25 мм.рт.ст.

---- альбумины - 80%

---- глобулины - 16 - 18%

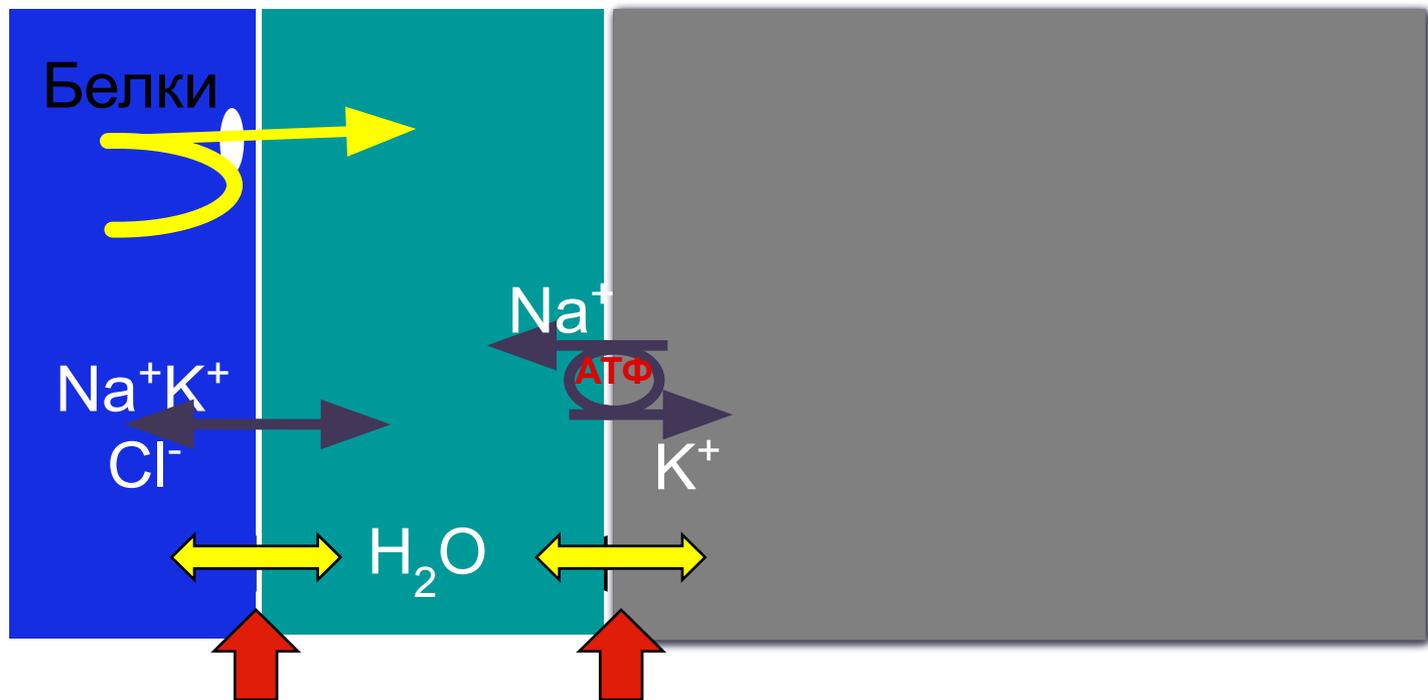
---- белки свертывающей системы крови - 2%

КОД зависит от уровня белка плазмы и связано с волемией, осмолярностью, концентрацией Na в плазме.

Водные сектора в норме

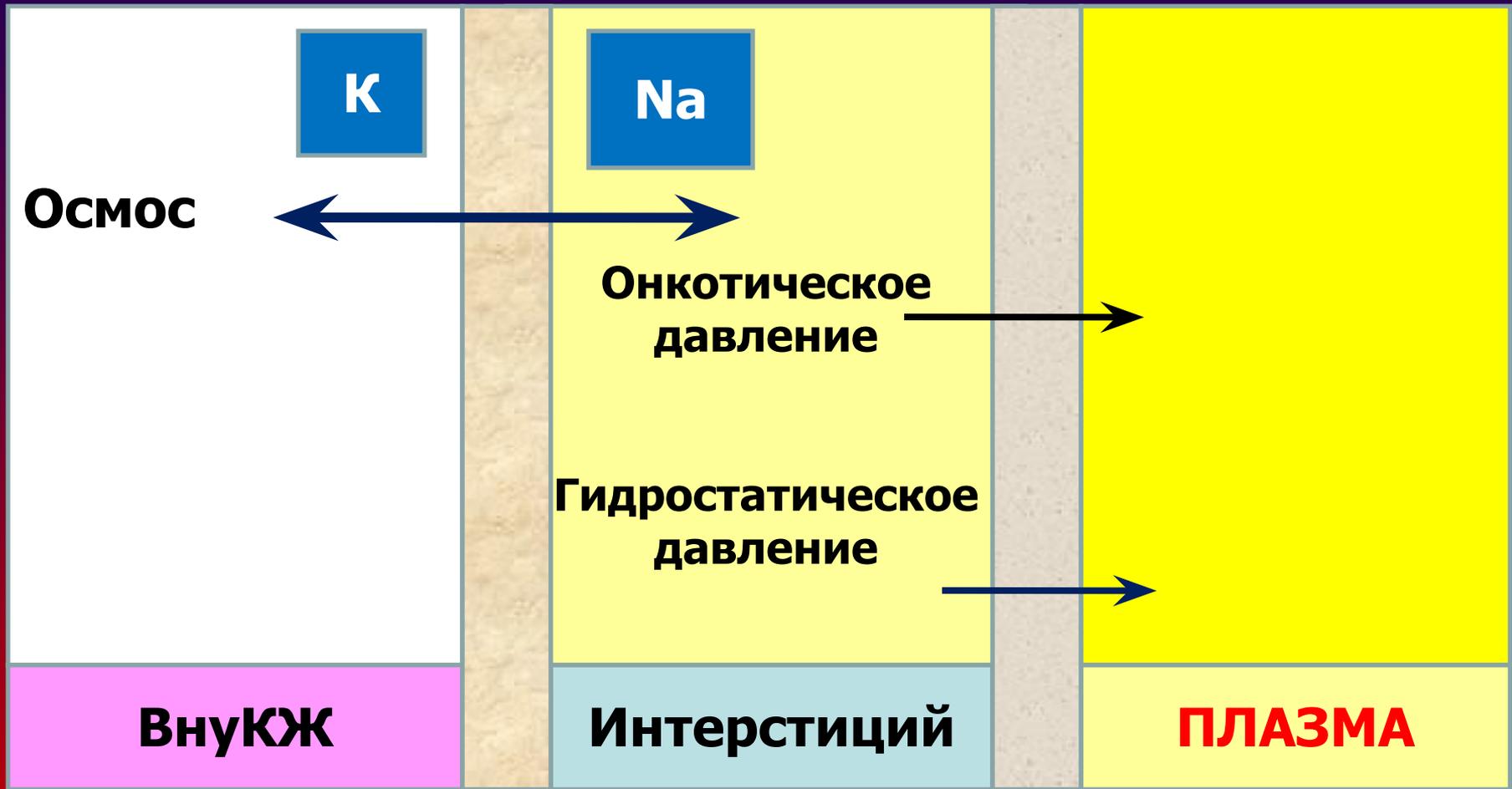
Сосудистый Интерстициальный

Внутриклеточный



Закон Старлинга Закон осмолярности

Компартменты

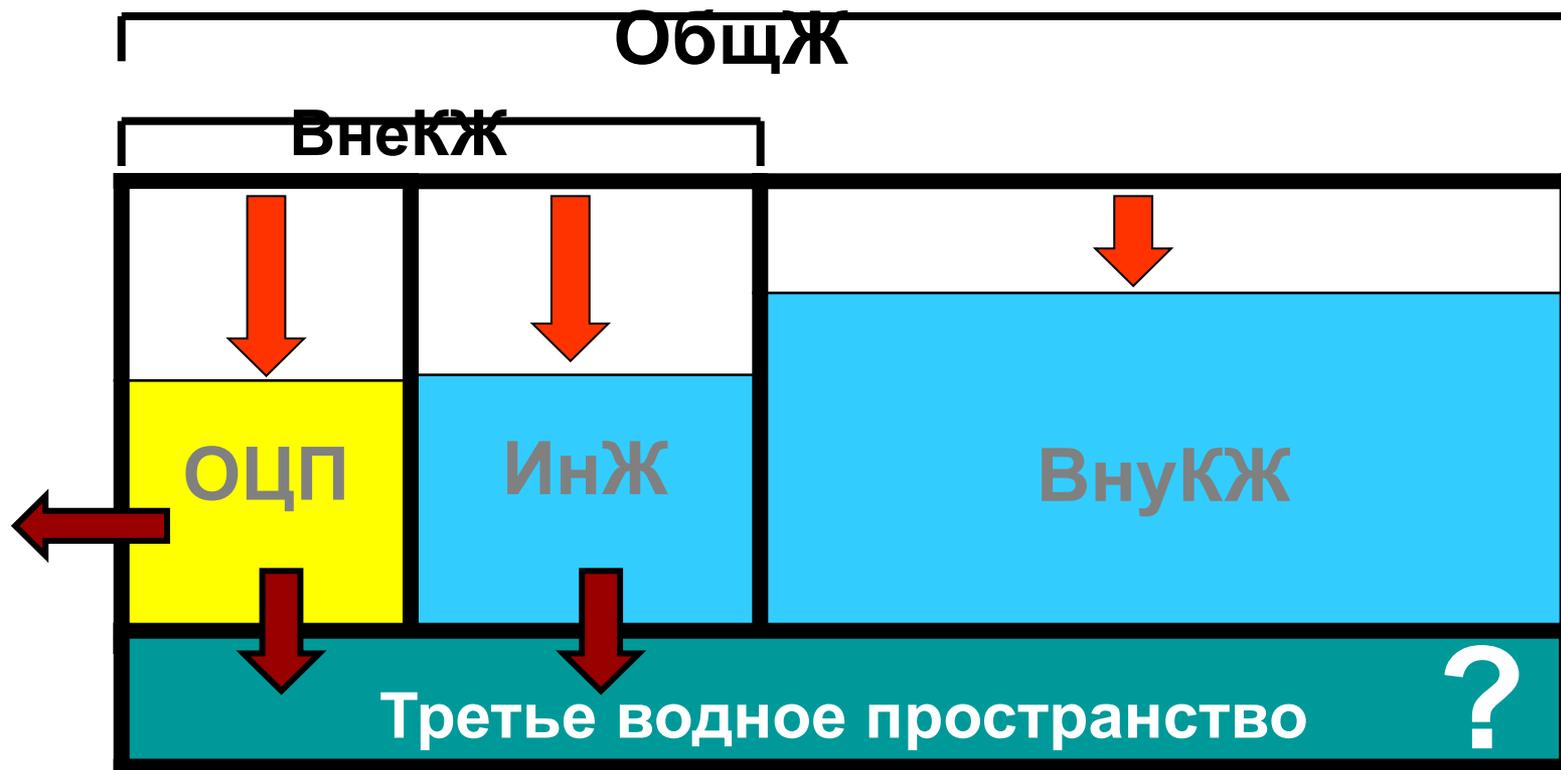


Клеточная
мембрана

Эндотелий сосудов

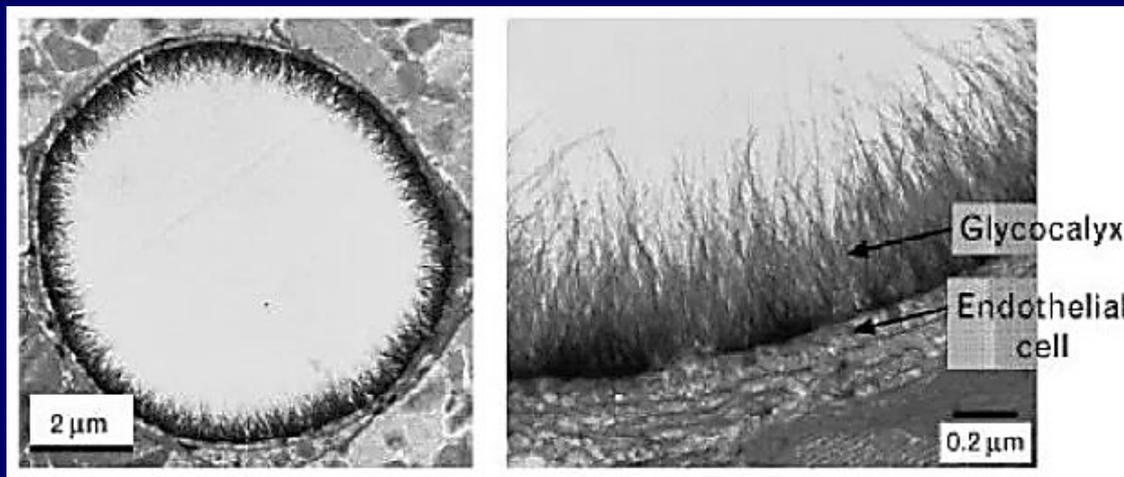
Третье водное пространство (перитонит, панкреатит, кишечная непроходимость)

Водные разделы



В ТРЕТЬЕМ ВОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ **может депонироваться**
до **5-6 и более** ЛИТРОВ ЖИДКОСТИ

Новые представления о строении сосудистой стенки и принципиальных физиологических последствиях



Luft JH.

Fine structures of capillary and endocapillary layer
as revealed by ruthenium red.

Fed.Proc. 1966 Nov-Dec;25(6):1773-83

Современные представления о строении эндотелия сосудов

Эндотелиальный гликокаликс



2016

Г

«Гликокаликс
образует
первичную
поверхность
контакта
между кровью
и тканью»...

«Гликокаликс –
это часть барьера,
регулирующего
движение воды и
макромолекул сквозь
эндотелий сосудов,
он регулирует
местную продукцию
оксида азота,
модулирует
коррекцию
эндотелия»...

«Гликокаликс,
ограничивая
доступ
лейкоцитов и
тромбоцитов к
поверхности
эндотелия, играет
ключевую роль в
процессе
воспаления
и системе
коагуляции».

2016 г

REVIEW

Open Access



The endothelial glycocalyx and its disruption, protection and regeneration: a narrative review

Ulf Schött^{1,2*}, Cristina Solomon^{3,4}, Dietmar Fries⁵ and Peter Bentzer^{1,2}

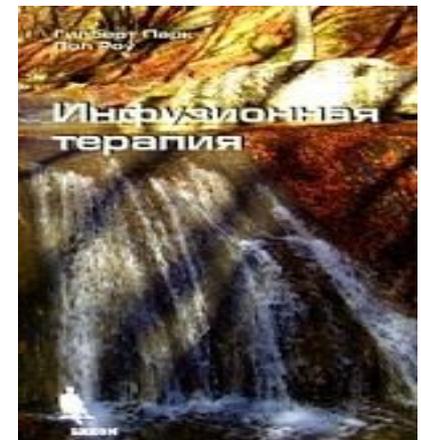
"Гликокаликс может быть легко поврежден различными неблагоприятными факторами, такими как воспаление, травма, геморрагический шок, гиперволемия, ишемия-реперфузия и т.д.

Повреждение эндотелия обычно следует за поражением гликокаликса".

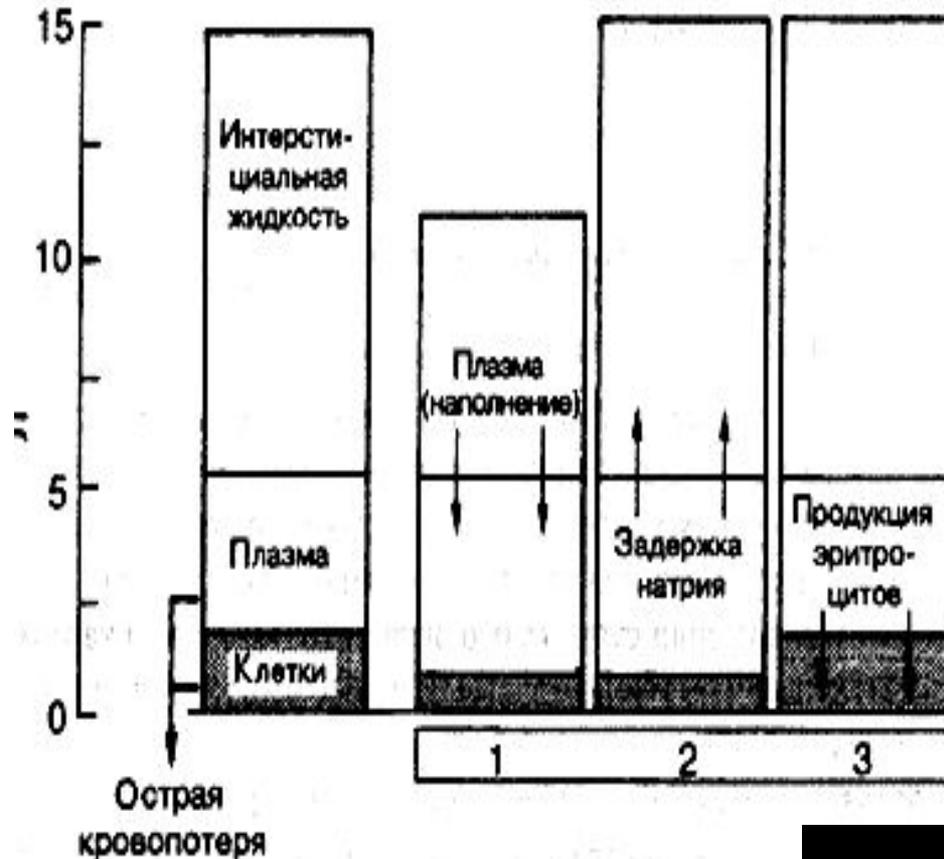
В 60-е годы Shires провел исследование у животных с помощью радиоактивной метки. Оказалось, что кровопотеря, травма и обширные оперативные вмешательства приводят к уменьшению объема интерстициальной жидкости.

ПОСЛЕ СРЕДНЕТЯЖЕЛОЙ КРОВОПОТЕРИ ИЗ ИНТЕРСТИЦИАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА ЖИДКОСТЬ ПОСТУПАЕТ В СОСУДИСТОЕ РУСЛО СО СКОРОСТЬЮ 90-120 МЛ/Ч, ЧТО СВЯЗАНО СО СНИЖЕНИЕМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В КАПИЛЛЯРАХ;

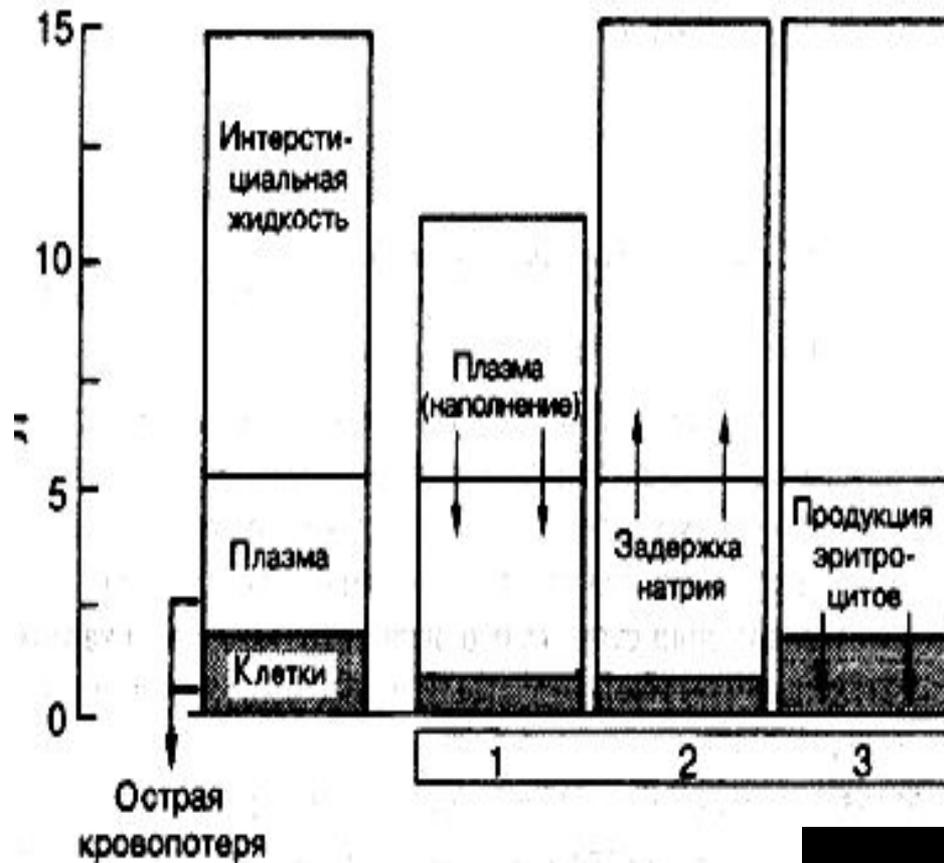
ГИПОКСИЯ ПРИВОДИТ К ПОВЫШЕНИЮ ВНУТРИКЛЕТОЧНОЙ ОСМОЛЯРНОСТИ. В РЕЗУЛЬТАТЕ ЖИДКОСТЬ ПЕРЕМЕЩАЕТСЯ ИЗ ВНЕКЛЕТОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА В КЛЕТКИ;



В пределах 1 ч с момента начала кровотечения **интерстициальная жидкость** устремляется в капилляры. Это перемещение, или транскапиллярное наполнение, длится от 36 до 40 ч и может достигать объёма 1 л. Уход жидкости из интерстициального сектора, естественно, создаёт там её дефицит.

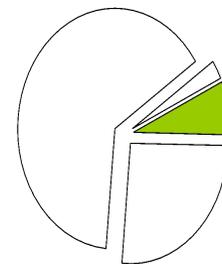


Снижение объёма крови активирует ренин-ангиотензин-альдостероновую систему, что, в частности, сопровождается задержкой **натрия** почками. Поскольку натрий содержится преимущественно в интерстициальном пространстве (80% общего количества), то задержка электролита приводит к восполнению объёма интерстициальной жидкости.



Внутрисосудистый водный сектор

- Внутрисосудистая жидкость состоит из объема плазмы и объема эритроцитов;
- У взрослого мужчины с массой тела, равной 70 кг, общий объем внутрисосудистой жидкости составляет 5 л.
- Объем плазмы у взрослого человека составляет 4-5% от массы тела, общий объем крови, в среднем 7% МТ;
- Объем плазмы (л) = масса тела (кг) x 0,043;

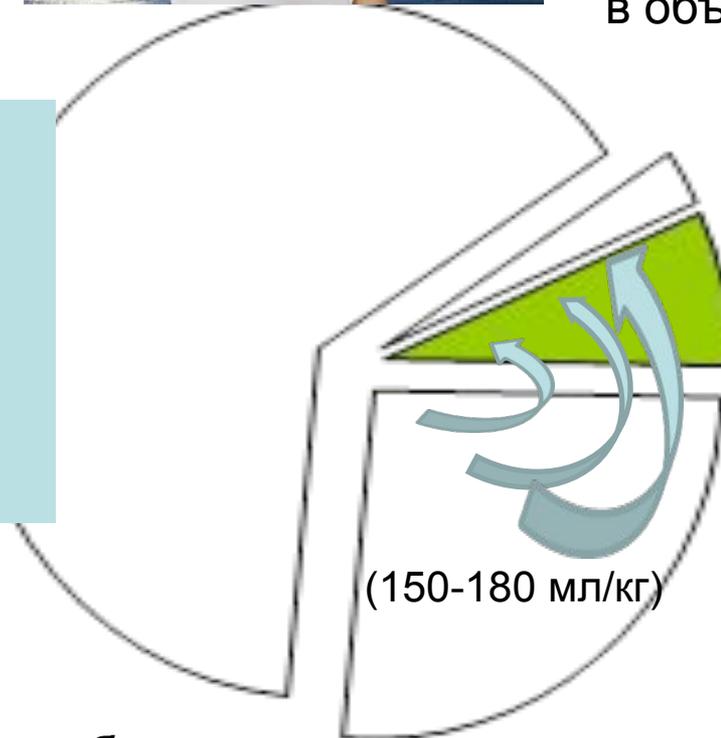


ОЦК (л) = 70 x масса тела (кг) (мужчины);
ОЦК (л) = 60 x масса тела (кг) (женщины);



Поддерживается объемом принятой жидкости или физиологической потребностью в объеме 2500 мл

Через 5-7 суток теряется ~2500-3500 мл, что составляет 4-6% от ИМТ, а через 10 суток – 8-10% от ИМТ и, наступает гибель человека

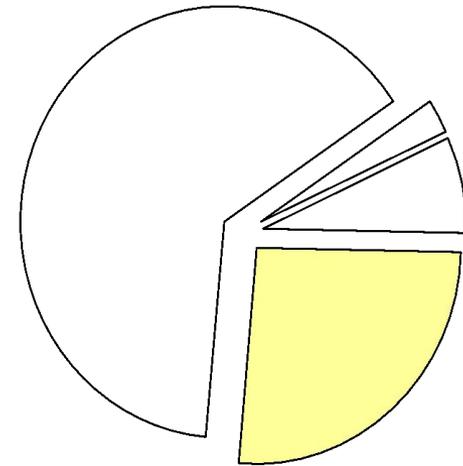


Внутрисосудистый сектор (30-50 мл/кг) ~ 5 л крови, соответствует какому-то объему сосудистого русла

При обезвоживании из интерстициального пространства жидкость поступает в сосудистое русло со скоростью 90-120 мл/ч. Это перемещение, или транскапиллярное наполнение, длится от 36 до 40 ч и может достигать объёма 1 л (~500 мл/сутки).

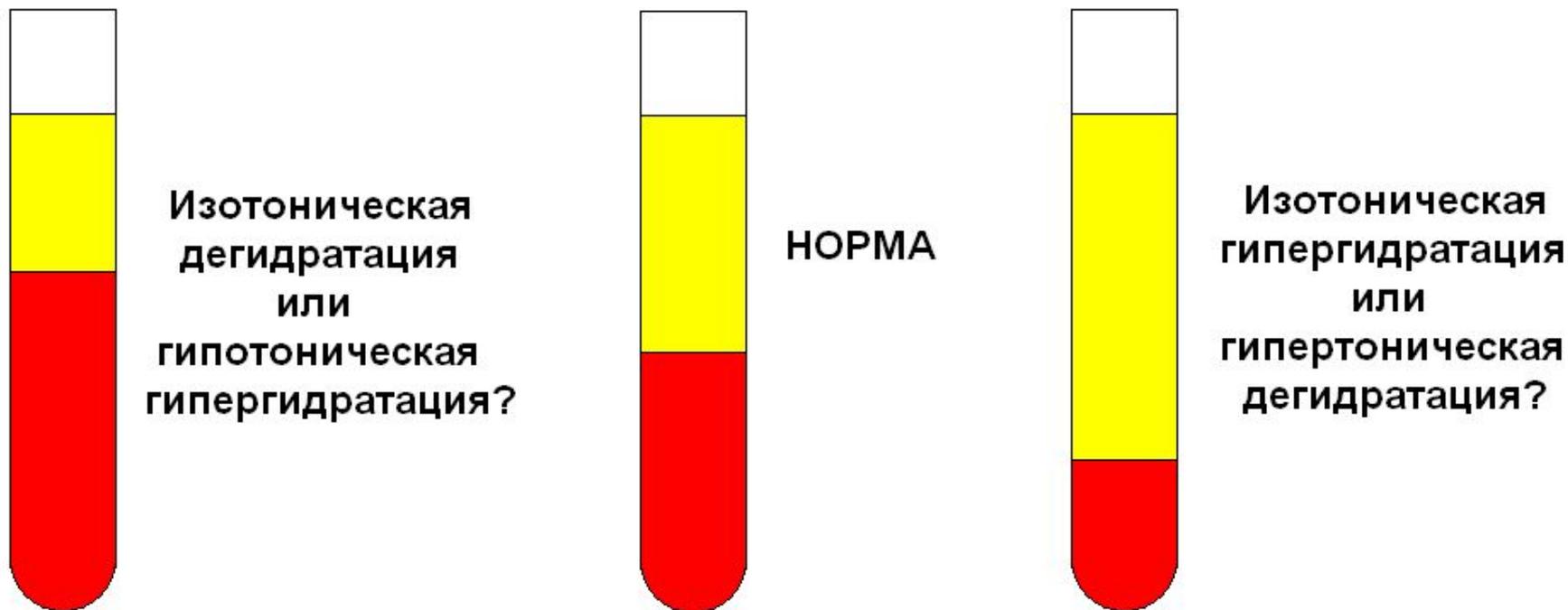
- **Внеклеточная вода – 22 – 24% от ИМТ или 15 л ОВО;**

Интерстициальная жидкость находится во внеклеточном и внесосудистом пространствах. Она непосредственно омывает клетки, близка по ионному и молярному составу к плазме крови (за исключением содержания белка) и вместе с лимфой составляет 15-18 % от массы тела.



Только внеклеточная жидкость связана с внешней средой через желудочно-кишечный тракт, легкие, кожу и почки.

ГЕМАТОКРИТ: модель пропорции секторов



Особенности водного обмена

- Хотя общее количество жидкости на 1 кг массы тела у детей больше, чем у взрослых, на 1 м² поверхности тела содержание жидкости у детей значительно меньше. Водный обмен у детей протекает более интенсивно, чем у взрослых, у которых вся вода в организме обновляется примерно каждый месяц, а внеклеточное водное пространство - каждую неделю. У грудного ребенка время пребывания молекулы воды в организме составляет 3-5 дней. В отличие от взрослых у детей раннего возраста отмечается большая проницаемость клеточных мембран, а фиксация жидкости в клетке и межклеточных структурах более слабая. Особенно это касается межклеточной ткани, так как кислые мукополисахариды основного вещества определяют прочность этой связи.

Особенности водного обмена

- Уменьшение с возрастом содержания внеклеточной жидкости в основном обусловлено увеличением роста клеток и уменьшением скорости роста коллагена по отношению к мышечной ткани.
- Только внеклеточная жидкость связана с внешней средой через желудочно-кишечный тракт, легкие, кожу и почки. Жизненно важной функцией этой жидкости является поддержание нормального количества плазмы крови и тем самым - обеспечение кровообращения. При потере воды, вода из этого резерва направляется в плазму, при избытке - из плазмы отводится в это пространство.

Особенности обмена электролитов

- Известно, что вода и соль никогда не циркулируют одна без другой. Состав минеральных солей и их концентрация определяют осмотическое давление жидкостей, которое является, по мнению И.М. Воронцова, наряду с макро- и микроскопической анатомией так называемой «ионной анатомией». Важнейшие катионы: натрий, калий (одновалентные); кальций, магний (двухвалентные). Им соответствуют анионы хлора, карбоната, ортофосфата, сульфата и др. Концентрации катионов и анионов уравновешены таким образом, что реакция несколько сдвинута в щелочную сторону (рН 7,35-7,45), то есть имеется некоторый избыток оснований.

Особенности обмена электролитов

- основным различием в структуре электролитов в системах жидкостей является то, что **в клетках содержатся в основном калий**, фосфаты и белок;
- ионы хлора в большинстве клеток почти полностью отсутствуют, **концентрация натрия при этом низкая**;
- экстрацеллюлярная жидкость **наоборот**, **содержит в основном натрий, ионы хлора и бикарбоната**. Практически плазма крови и межклеточная жидкость являются растворами натрия, хлора, бикарбоната; там присутствуют, хотя и в незначительных количествах, жизненно важные ионы калия, кальция, магния, фосфора; кроме того, в плазме содержится 6-8% белка.

Такое распределение ионов в экстра- и интрацеллюлярной системах представляет собой динамическое равновесие: из экстрацеллюлярной жидкости, где концентрация натрия высока, он постоянно поступает в клетки, однако энергия, выделяющаяся при метаболических процессах, "высасывает" из клеток столько же натрия, сколько его проникает туда.

Нарушение нормальной жизнедеятельности клетки парализует натриевый насос: калий выходит из клеток, и натрий занимает его место, то есть водный баланс организма тесно связан с обменом электролитов.

Натрий (Na)

- Содержание натрия в плазме крови 130-150 ммоль/л.
- Натрий - главный внеклеточный катион: **на его долю приходится более 90% всех катионов плазмы.**
- Около 85% ионов натрия представлено в свободной форме и приблизительно 15% его удерживается белками.
- Во внеклеточных жидкостях находится около 40% всего натрия, около 50% - в костях и хрящах и менее 10% - внутри клеток.
- **Создает и поддерживает осмотическое давление жидкостей организма (преимущественно внеклеточной), задерживает воду в организме, участвует во всасывании в кишечнике и реабсорбции в почках глюкозы и аминокислот.**

Натрий (Na)

- Участвует в регуляции кислотно-щелочного состояния организма, является щелочным резервом крови, активатором некоторых ферментов.
- В клеточной среде определяет величину мембранного потенциала и, соответственно, возбудимость клеток. Совместно с ионами калия натрий стимулирует АТФазную активность фракций клеточных мембран, стабилизирует симпатический отдел нервной системы, принимает участие в регуляции тонуса сосудов.
- **Основное количество натрия (около 95%) выводится почками с мочой** в виде натриевых солей фосфорной, серной, угольной и других кислот. Натрий выводится также с потом и через кишечник.

Калий (K^+)

- Калий участвует в ряде жизненно важных физиологических процессов: вместе с натрием создает и поддерживает осмотическое давление жидкостей организма (преимущественно внутриклеточной), участвует в регуляции кислотно-щелочного состояния организма.
- Уровень калия в клетках и внеклеточной среде играет важнейшую роль в деятельности сердечно-сосудистой, мышечной и нервной систем, в секреторной и моторной функциях пищеварительного тракта, экскреторной функции почек.
- Обычно выход калия из клеток зависит от увеличения их биологической активности, распада белка и гликогена, недостатка кислорода.
- Концентрация калия увеличивается при ацидозе и снижается при алкалозе. Дефицит как и избыток калия вызывают серьезные изменения в организме ребенка.

Калий (K^+)

- Калий (K^+) в отличие от натрия является внутриклеточным катионом. У взрослых содержание калия составляет приблизительно 53 ммоль/кг и 95% его обменивается. **Уровень калия в организме ребенка гораздо ниже.**
- Основное количество калия (90%) находится внутри клеток в виде непрочных соединений с белками, углеводами и фосфором и менее 10% - внеклеточно.
- Часть калия содержится в клетках в ионизированном виде и обеспечивает мембранный потенциал. В плазме и межклеточной жидкости находится **только 2-5% общего калия.**
- Во внеклеточной среде небольшое количество калия находится преимущественно в ионизированном виде.
- Наиболее богата калием мышечная ткань.
- В эритроцитах калия **в 15-20 раз больше, чем в плазме**, в которой содержится 4-5 ммоль/л калия.

Кальций (Ca^{2+})

- является стабилизатором клеточных мембран, регулирует возбудимость нервов и мышц.
- внутриклеточный посредник в действии некоторых гормонов на клетку, универсальный триггер многих секреторных процессов (секреция гормонов, гистамина из гранул тканевых базофилов, тучных клеток, выделение медиаторов при синаптической передаче возбуждения).
- Ионизация кальция зависит от рН крови. При ацидозе содержание ионизированного кальция повышается, а при алкалозе падает. Алкалоз и снижение уровня кальция ведут к резкому повышению нейромышечной возбудимости и тетании.

Кальций (Ca^{2+})

- Кальций (Ca^{2+}) в различных тканях содержится внутриклеточно и почти исключительно в форме растворимых белковых комплексов. Лишь в костной ткани, включающей до 97% всех запасов кальция в организме, он находится главным образом в виде нерастворимых внеклеточных включений.
- Содержание кальция в организме у детей составляет около 200 ммоль/л, у взрослых - 475 ммоль/л. В крови и плазме кальций содержится в ионной форме. Содержание кальция в крови поддерживается в норме в диапазоне 2,5-2,8 ммоль/л.
- Приблизительно 40% его связано с белком (из них на связь с альбумином приходится 80-90%), остальные 60% кальция фильтруются или диффундируют (из них около 14% связано с анионами, такими как фосфат или цитрат, оставшиеся 86% (1,2 ммоль/л) присутствуют в виде свободных ионов).

Кальций (Ca²⁺)

- У взрослого поддерживается нулевой баланс кальция, у детей - положительный. Ежесуточная экскреция через почки составляет 100-200 мг, через кишечник - 150 мг, небольшое количество (до 20 мг) выводится с потом.
- Потери кальция с мочой увеличиваются при ацидозе и потреблении больших количеств белка.
- участвует в физиологических процессах только в ионизированном виде
- необходимый участник процесса мышечного сокращения,
- важнейший компонент свертывающей системы крови (превращения протромбина в тромбин, фибриногена в фибрин, способствует агрегации тромбоцитов),
- как кофактор или активатор участвует в работе многих ферментов.

Магний (Mg^{2+})

- Стабилизирует биологические мембраны, уменьшая их текучесть и проницаемость.
- Магний образует малостабильный комплекс с АТФ (Mg^{2+} -АТФ) и облегчает гидролиз АТФ.
- Магний входит в состав более 300 разных ферментных комплексов, обеспечивая их активность.
- Уменьшает возбудимость нервно-мышечной системы, сократительную способность миокарда и гладких мышц сосудов, оказывает депрессивное действие на психические функции.
- При дефиците магния повышается возбудимость ЦНС, что проявляется слабостью и расстройством психики (спутанность сознания, беспокойство и агрессивность), возникновением судорог.
- Повышение уровня магния в плазме (более 1,5 ммоль/л) вызывает тошноту и рвоту.
- Высокие концентрации магния могут вызвать гипотензию.

Конкуренция некоторых минералов за всасывание в кишечнике

Минерал

«Конкуренты» за всасывание

Кальций
Магний
Медь

Железо, медь, магний, свинец
Железо, цинк, свинец
Цинк, кальций, кадмий

Железо

**Кальций, магний, цинк,
свинец, фосфаты, кадмий**

Кадмий
Фосфаты

Цинк, медь, селен, кальций, железо
Кальций, магний, медь, железо, свинец

Cadet E., Gadenne M., Rochette J. Donnes recentes sur metabolisme du fer : un etat de transition // La revue de medecine interne. -2005. -№ 26. –С. 315-324.

хлор (Cl^-)

- Является главным анионом внеклеточной жидкости, в организме он находится преимущественно в ионизированном состоянии в форме солей натрия, калия, кальция, магния и т. д. **Общее количество его в организме составляет 33 ммоль/кг.**
- Распределение хлоридов в жидкостях организма определяется распределением ионов натрия. **В крови хлориды встречаются главным образом в виде натрия хлорида.**
- Концентрация хлора в плазме крови в норме колеблется от 90 до 105 ммоль/л. 90% аниона хлора находится во внеклеточной жидкости.

Суточная потребность (2-4 г) полностью покрывается поваренной солью, добавляемой в пищу.

Фосфор (P)

- Фосфаты - необходимый компонент клеточных мембран, играют ключевую роль в метаболических процессах, входя в состав многих коферментов, нуклеиновых кислот и фосфопротеидов.
- Фосфат - структурный компонент костей и зубов в виде апатитов, участвует в регуляции концентрации водородных ионов (фосфатная буферная система), важнейший компонент фосфор-органических соединений организма: нуклеотидов, нуклеиновых кислот и фосфопротеидов, фосфолипидов, фосфорных эфиров углеводов, коферментов и др.

Фосфор (P)

- Органические соединения фосфора - АТФ, АДФ - составляют основу энергетического обмена.
- Избыток фосфора в организме встречается редко и наблюдается при нарушении функции почек или гипофункции паращитовидных желез. Это приводит к гипокальциемии и нарушению метаболизма костной ткани.
- *Проявлениями недостатка фосфора являются ломкость костей, нарушение диссоциации оксигемоглобина, слабость, миопатия, кардиомиопатия.*

Клиническая картина

Клинические симптомы	Отклонения от нормы	Чувствительность %	Специфичность %	Уровень доказательности
Постуральные симптомы	Увеличение ЧСС >30/мин	43	75	C
	Снижение АД сист >20 Нг мм	29	81	C
Кожы, глаза и слизистые оболочки	Сухие подмышечные впадины	50	82	A
	Сухие слизистые рта и носа	85	58	B
	Сухой язык	59	73	B
	Продольное сморщивание языка	85	58	B
	Запавшие глаза	62	82	B
Неврологические симптомы	Нарушения психики	57	73	B
	Слабость в конечностях	43	82	B
	Спутанная речь	56	82	B
Время заполнения капилляров	Удлинение по сравнению с нормальными возрастными и половыми показателями	34	95	C

Методы мониторинга обмена воды

Метод термодиллюции.

Основные преимущества метода - высокая точность и возможность проведения непрерывного динамического мониторинга. Инвазивный метод, требует дорогостоящего оборудования.

Реографический метод.

По точности он уступает термодиллюционному, однако выгодно отличается от него неинвазивностью и относительно невысокой стоимостью. Кроме того, реография позволяет проследивать изменения гемодинамики, что позволяет использовать ее для мониторинга.

Достаточно определить три показателя гемодинамики: сердечный выброс (СВ), общее периферическое сосудистое сопротивление (ОПСС) и давление заклинивания легочных капилляров (ДЗЛК). СВ отражает производительность миокарда, ОПСС - тонус резистивных сосудов, ДЗЛК - преднагрузку на левые отделы сердца. Эти три параметра образуют т.н. малый гемодинамический профиль.

Биоимпедансные анализаторы



RJL-101a
(RJL-Systems,
USA)



Quantum X



ABC-01
«Медасс»
(Россия)



Биоимпедансные анализаторы
Фирмы Tanita (Япония)



ABC на международной
Космической станции

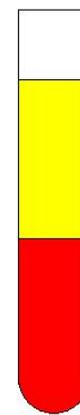
Лабораторные тесты

- Сами по себе не подтверждают диагноз гиповолемии
- Диагноз гиповолемии вероятен при:
 - Отношение азот мочевины/креатинин >25 , или
 - Осмолярность плазмы >295 ммоль/кг H_2O
 - Снижение диуреза, увеличение плотности мочи
- В условиях острой патологии такие показатели как увеличение концентрации натрия и снижение гематокрита плохо коррелируют с дефицитом объема
- В условиях почечной недостаточности все лабораторные тесты не имеют никакой диагностической значимости

МОЖНО ЛИ ДОВЕРЯТЬ Ht?



Изотоническая
дегидратация
или
гипотоническая
гипергидратация?



НОРМА



Изотоническая
гипергидратация
или
гипертоническая
дегидратация?

Ориентировка на Ht – ТОЛЬКО
при условии изоосмолярности
(280—305 мосмоль/л)!

Нарушения гидратации и осмолярности: **ОБЩИЕ ПРАВИЛА**

- Все всегда начинается с внеклеточного сектора!
- Он же определяет вид нарушения осмолярности
- Он же определяет общий баланс жидкости
- Он – ведущий, а клетка – ведомый сектор!
- Осмолярность внутри клетки считается нормальной!
- Осмолярность потерь обратна итогу!
- Вода движется в сторону большей осмолярности
- Дегидратация не исключает отека!

Восполнение патологических потерь воды (жидкости)

- продолжающиеся патологические потери:

гипертермия - на каждый 1°C выше $37 - 10$ мл/кг

одышка - на каждые 10 дыханий выше нормы - 10 мл/кг

рвота - неучтенные потери:

частая рвота - 10 мл/кг

неукротимая рвота - 20 мл/кг

жидкий стул - неучтенные потери:

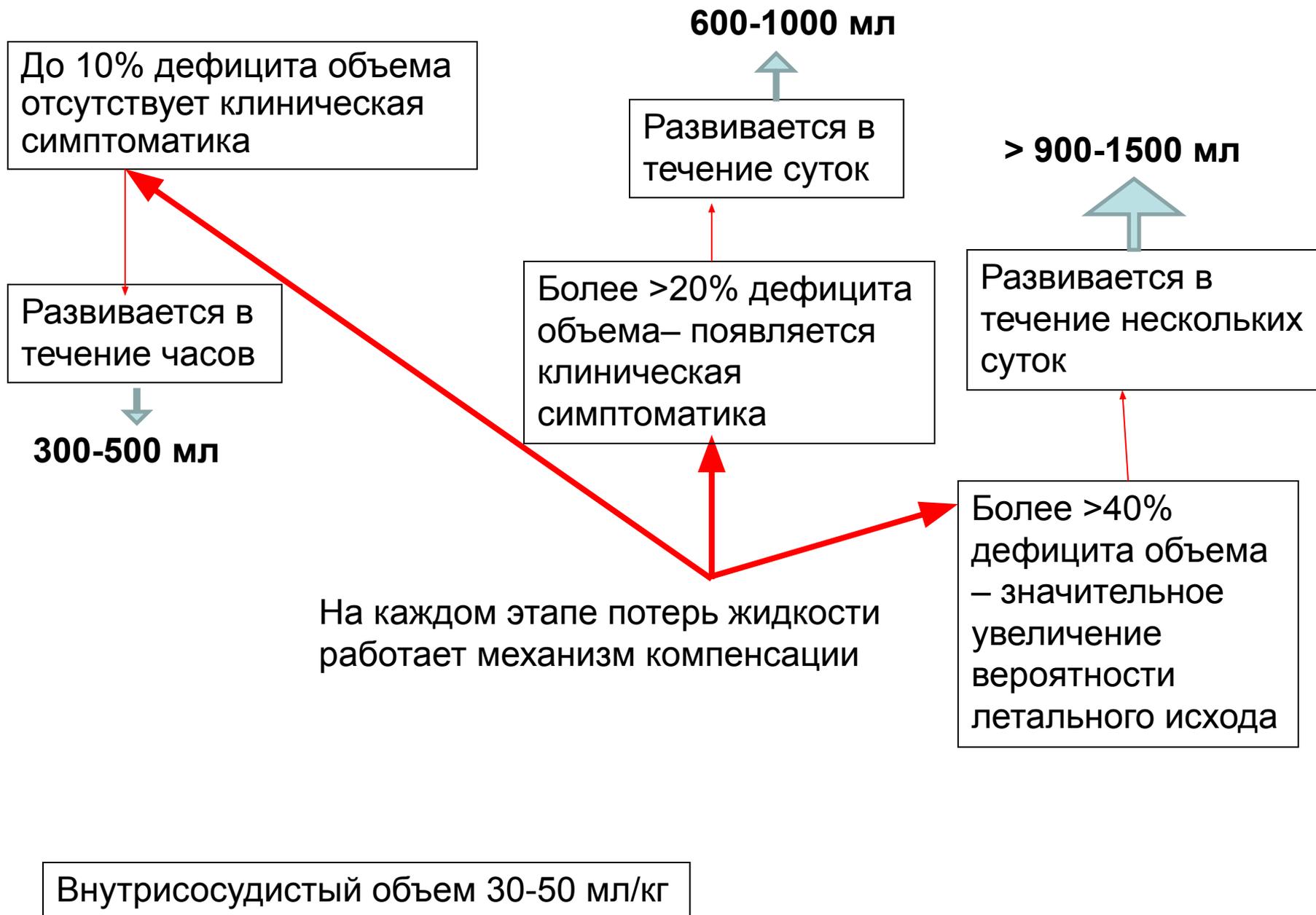
частый стул - 10 мл/кг

профузный понос - 20 мл/кг

- В оценке физиологических эффектов гиповолемии следует иметь в виду, что снижение ОЦК на 10% не проявляется ничем, кроме некоторой тахикардии и сокращения сосудов-ёмкостей.
- Потеря 15% ОЦК ведёт к умеренным реологическим расстройствам, компенсируемым с помощью притока в сосудистое русло тканевой жидкости в течение ближайших 2-3 ч.
- **!!!**Гиповолемия при сокращении ОЦК на 20% снижает сердечный выброс и создаёт порочный реологический круг.

Гиповолемический порочный круг

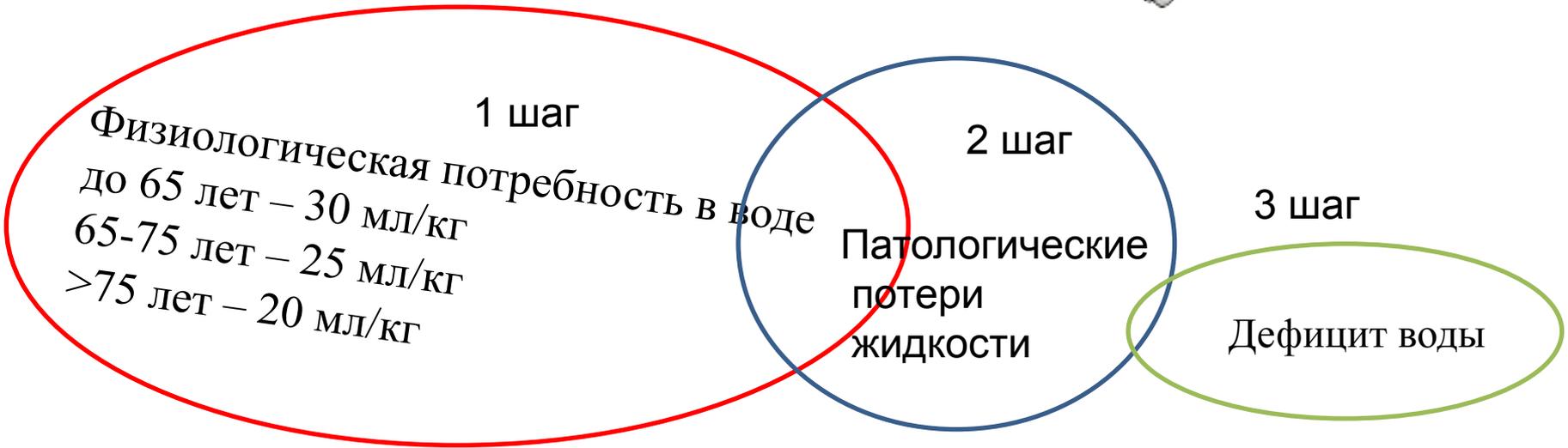




Бог «троицу любит»?



Объём ИТ рассчитывается с учетом:
Физиологической потребности в воде
Патологических потерь жидкости
Дефицита воды, если он есть!



Внутривенное введение жидкости – это не физиологично!!!

“Введение жидкости, позволит увеличить кровяное давление и поэтому, опасно само по себе. Кровотечение в случае шока, возможно, не продолжалось бы в значительной степени потому, что кровяное давление было слишком низким, и кровоток слишком мал, чтобы преодолеть препятствие, созданное тромбом.”

Cannon W. B., Fraser J., Cowell E. The preventive treatment of wound shock. The Journal of the American Medical Association. 1918;70:618–621.

Постулат 1 и единственный

Большой объем инфузионной терапии способствует и/или усугубляет смертоносную триаду в лице гипотермии, ацидоза и коагулопатии, тем самым увеличивая кровотечение и смертность.

Biomed Res Int. 2016; 2016: 8901938.



«Нужно любить реаниматологию не за блеск и треск, нередко сопровождающий её успехи – за это любят не специальность, а себя в специальности. Любить реаниматологию нужно за её очевидную полезность и за всё возрастающие возможности в сохранении жизни больного, находящегося на её краю, за её глубину и всеобъемность».

А.П. Зильбер

«В физиологическом растворе утонуло
людей больше, чем Ла-Манше в
период второй мировой войны»
Т. Эктзартку, 1972



«Идеальный» базисный раствор, каким он должен быть?

- Должен учитывать основные гомеостатические константы крови:
- *Изотония* – постоянное осмотическое давление
- *Изоволемия* – в каждом отделе оптимальный объем крови
- *Изоиония* – постоянное значение основных ионов плазмы
- *Изопротонемия* – поддержание pH на физиологическом уровне.

«Идеальный» базисный раствор?

- 0,9% раствор NaCl меньше всего подходит для «идеального» базисного раствора – Na⁺ и Cl⁻ превышают все физиологические значения

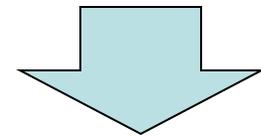
Концентрация протонов H⁺ зависит от CO₂, слабой кислоты и разницы сильных ионов, которым является хлор



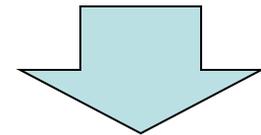
Для компенсации гиперхлоремии вода диссоциирует с образованием протонов водорода



Вазодилатация, почечная вазоконстрикция, усиление воспалительного ответа



Гипернатриемия
гиперхлоремия



Гиперхлоремический
метаболический
ацидоз

P.A. Stewart, 1983

«Идеальный» базисный раствор

- Плазмолит «Бакстер» - изотоничный полиионный раствор, в качестве резервной щелочи содержит ацетат и глюконат.
- Стерофундин «ББраун» - полностью сбалансированный раствор, содержит все основные ионы, а также ацетат и малат.
- 6% ГЭК 130/0,42 на основе сбалансированного электролитного раствора.

До 10% дефицита объема (350 мл) отсутствует клиническая симптоматика

Более >20% дефицита объема (700 мл) – появляется клиническая симптоматика

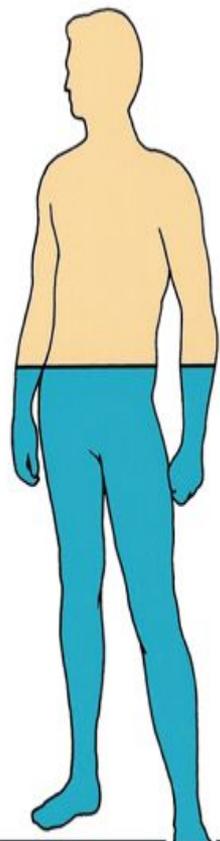
Более >40% дефицита объема 1400 мл – значительное увеличение вероятности летального исхода

Как мы спасаем?!

Физиологическая потребность в жидкости (1,5 мл/кг/ч)

$\text{ФП} + \text{ДФ} + \text{ПП} (\text{t}^\circ\text{C} + \text{парез} + \text{ОДН} + \text{рвота}) = 700 + 700 + 700 + 700 + 2500 + 1400 =$
6700 мл в первые сутки

$6700 / 24 \text{ часа} = 280 \text{ мл/час} = 4 \text{ мл/кг/час}$



Взрослый мужчина - 60%

70 кг – 3500 мл ОЦК
ФП 2500 мл



До 10% дефицита объема (350 мл) отсутствует клиническая симптоматика

Норма УО, АД, ЦВД

ПОИТЬ

Более >20% дефицита объема (700 мл) – появляется клиническая симптоматика

$2500 \text{ мл} + \text{ДЖ} + \text{ПП} (t^{\circ}\text{C}) = 700 + 2500 + 700 =$
3900 мл в первые сутки

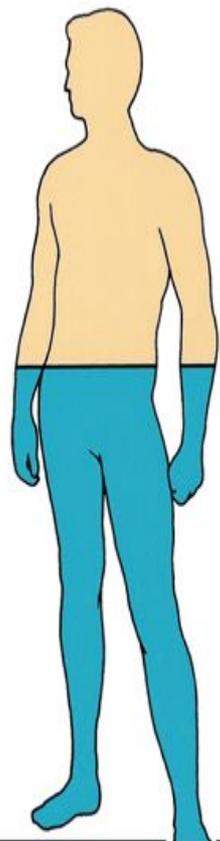
$3900 / 24 \text{ часа} = 163 \text{ мл/час} = 2 \text{ мл/кг/час}$

Физиологическая потребность в жидкости (1,5 мл/кг/ч)

Более >40% дефицита объема 1400 мл – значительное увеличение вероятности летального исхода

$2500 \text{ мл} + \text{ДЖ} + \text{ПП} (t^{\circ}\text{C}) = 700 + 2500 + 1400 =$
4600 мл в первые сутки

$4600 / 24 \text{ часа} = 190 \text{ мл/час} = 2-3 \text{ мл/кг/час}$



Взрослый
мужчина -
60%

70 кг – 3500 мл ОЦК
ФП 2500 мл

