

Человек в поле Земного притяжения и без него



Тарасова Ольга Сергеевна
доктор биологических наук, зав. кафедрой физиологии и патологии ФФМ МНОИ МГУ,
профессор кафедры физиологии человека и животных биологического факультета МГУ



*Тяжесть – самое неизбежное и постоянное поле,
от которого ни одно существо никогда на Земле
не освобождается*

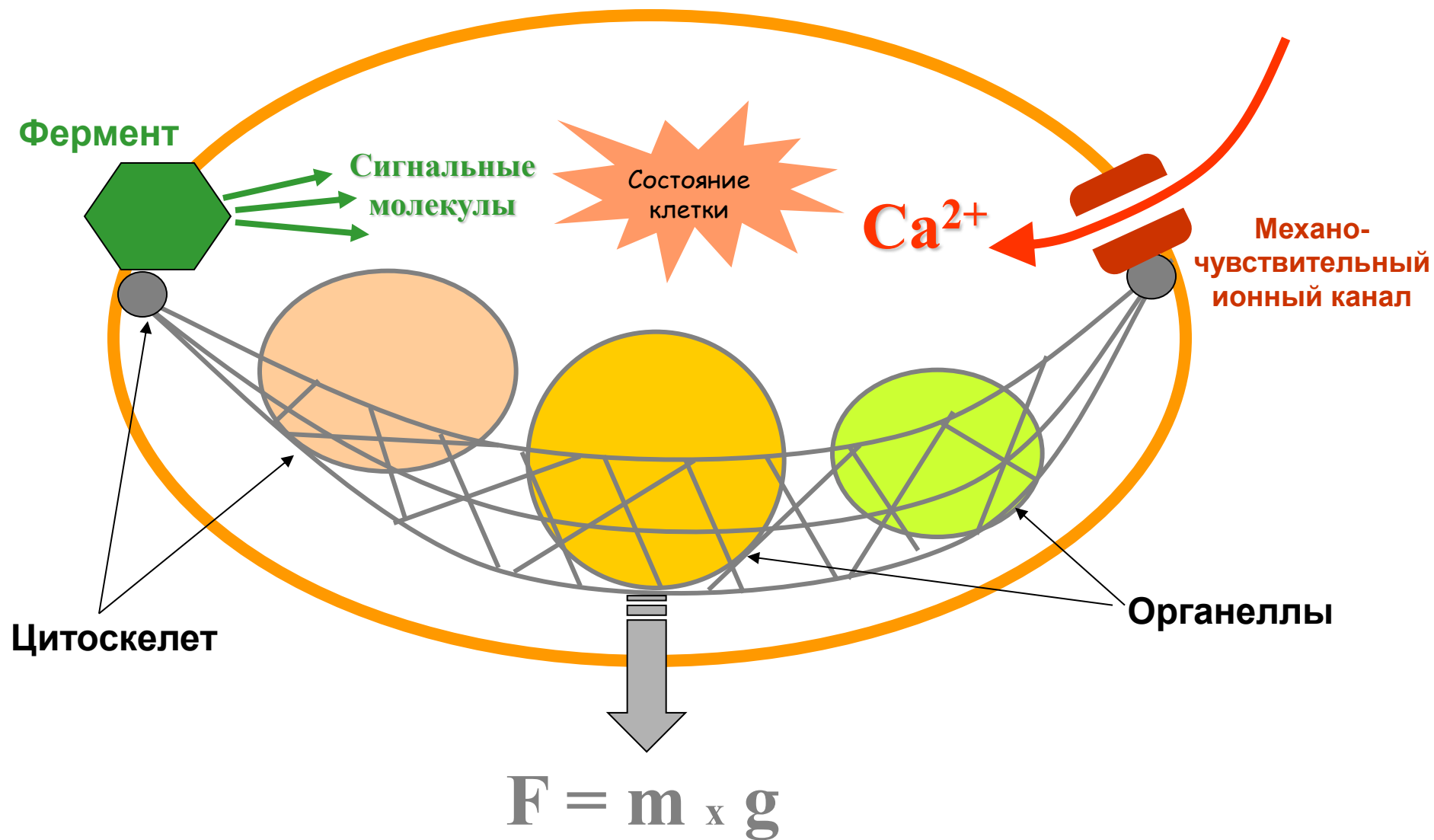
Алексей Алексеевич
Ухтомский
(1875—1942)



План лекции

1. Об адаптации организма наземных обитателей к гравитации
2. Как изменяется работа разных систем в невесомости?
3. Как можно замедлить развитие этих изменений (облегчить возвращение в условия земного тяготения)?
4. Как космические разработки используются в наземной медицине?

Каждая клетка может определять свое положение в поле притяжения Земли



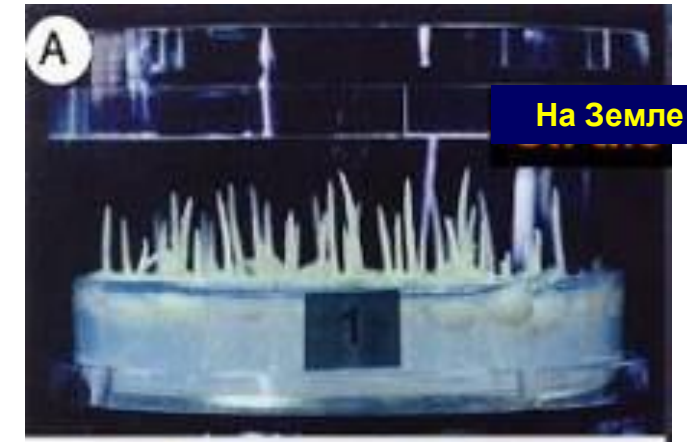
Примеры из жизни растений

Они растут
вверх!

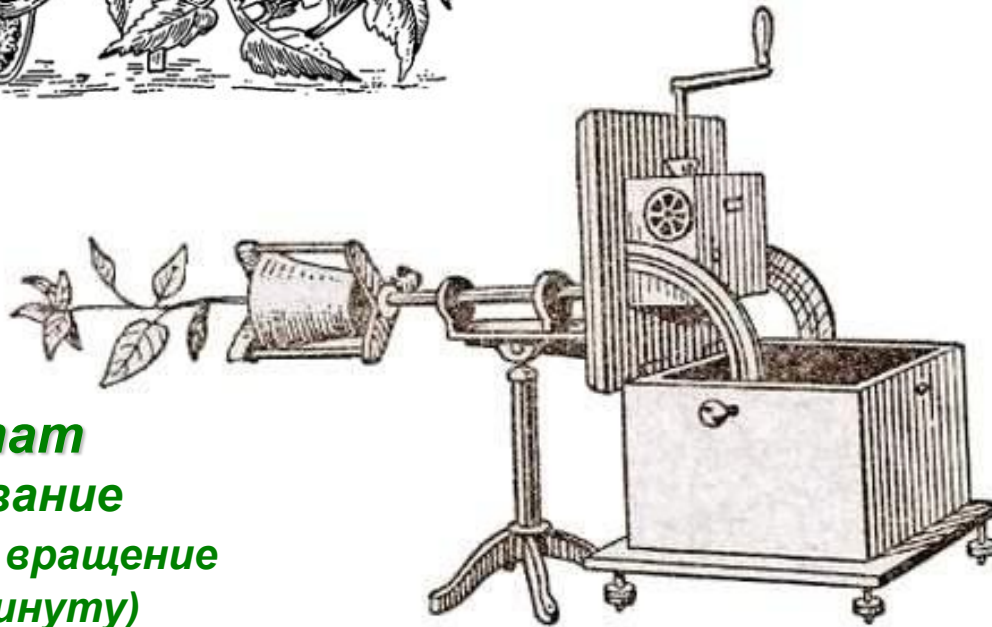


Побеги
риса

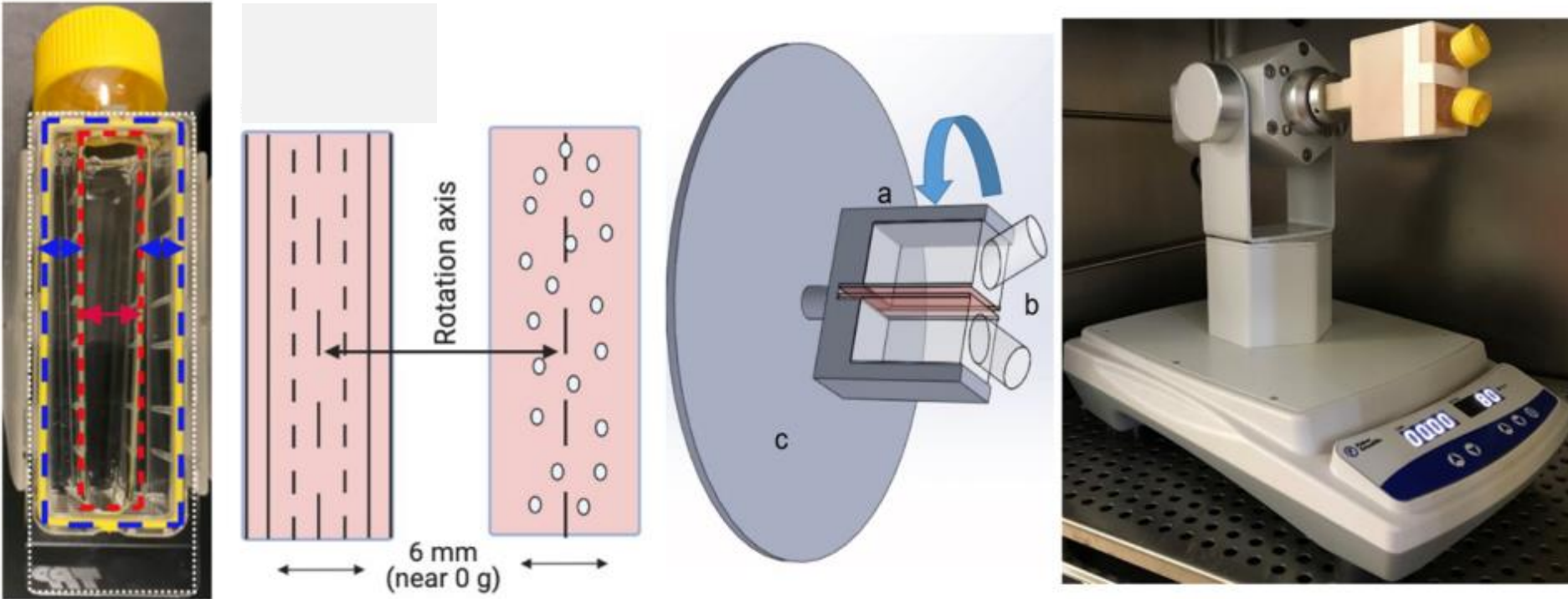
В невесомости растения
теряют ориентацию



Клиностан
(моделирование
невесомости - вращение
1-2 цикла в минуту)



Моделирование невесомости в экспериментах на культуре клеток





npj | microgravity

www.nature.com/npjmgrav

ARTICLE OPEN

 Check for updates

Enhanced self-renewal of human pluripotent stem cells by simulated microgravity

S. Timilsina¹, T. Kirsch-Mangu¹, S. Werth¹, B. Shepard¹, T. Ma² and L. G. Villa-Diaz^{1,3}  

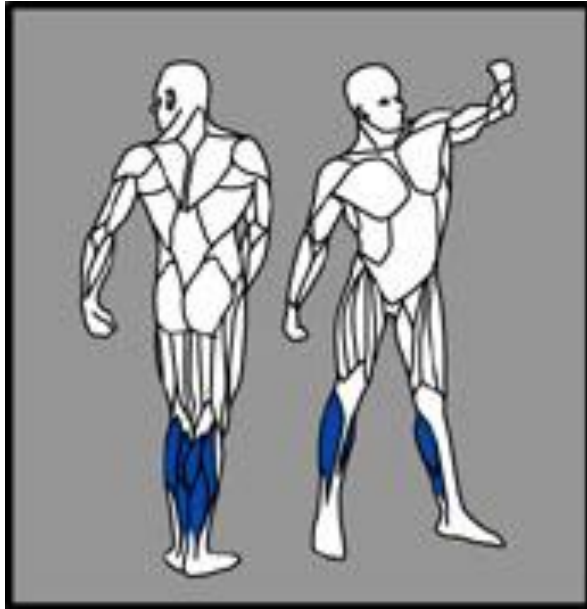
Выход животных на сушу



Эпоха расцвета амфибий, появляются рептилии и высшие растения



Мышцы-разгибатели конечностей (у человека – ног) - – это «антигравитационные» мышцы



Такие мышцы:

- сокращаются медленно, но могут развивать длительное сокращение без утомления («выносливые мышцы»);
- получают энергию за счет окисления веществ (потребляют много O_2);
- обильно снабжаются кровью («красные мышцы»)



Системы, благодаря которым человек ориентируется в пространстве

Зависят от гравитации

Напрямую НЕ зависят от гравитации

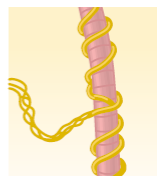
Вестибулярный аппарат (равновесие)



Опорные зоны стопы



Golgi tendon apparatus



Muscle spindle

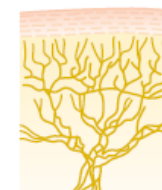
Рецепторы мышц, сухожилий и суставов



Зрение



Слух



Осязание, температура, боль

ИНТЕГРАЦИЯ



Регуляция позы тела



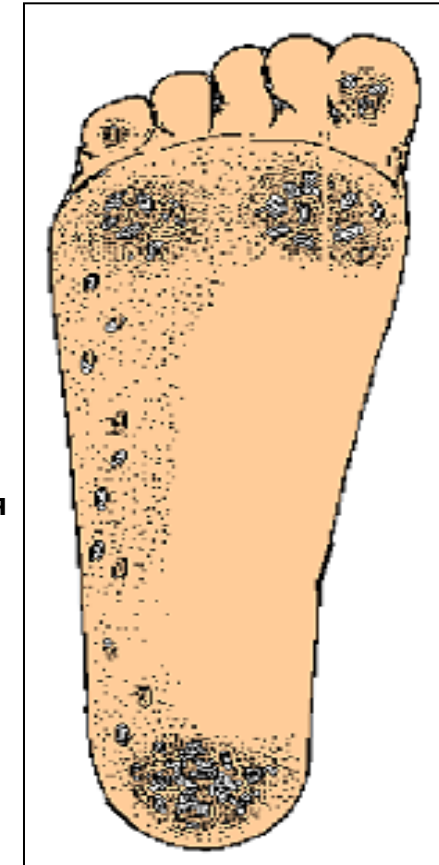
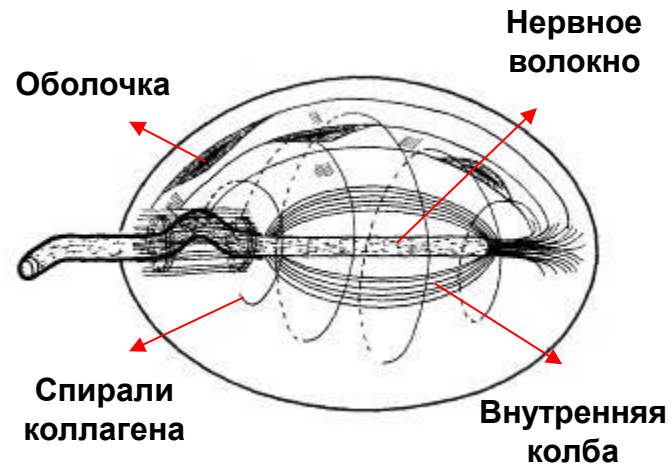
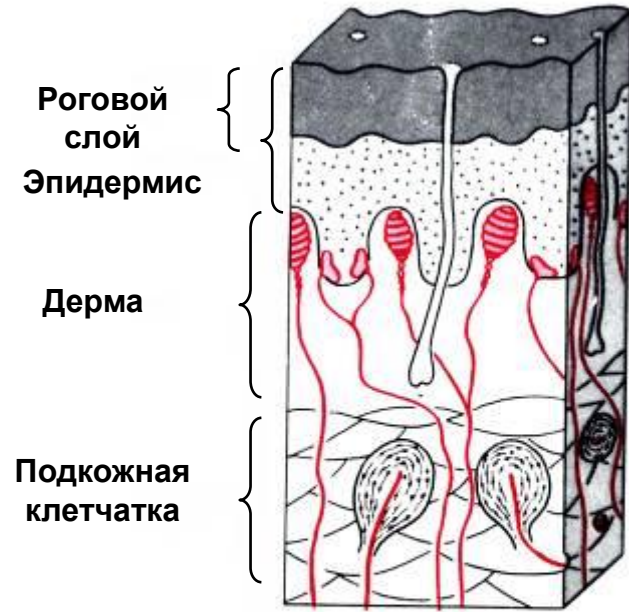
Регуляция движений

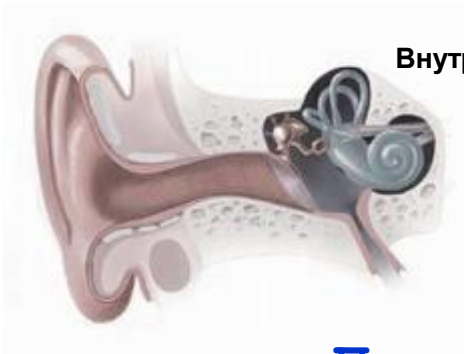


Регуляция движений глаз

Рецепторы опоры - тельца Пачини

Кожа

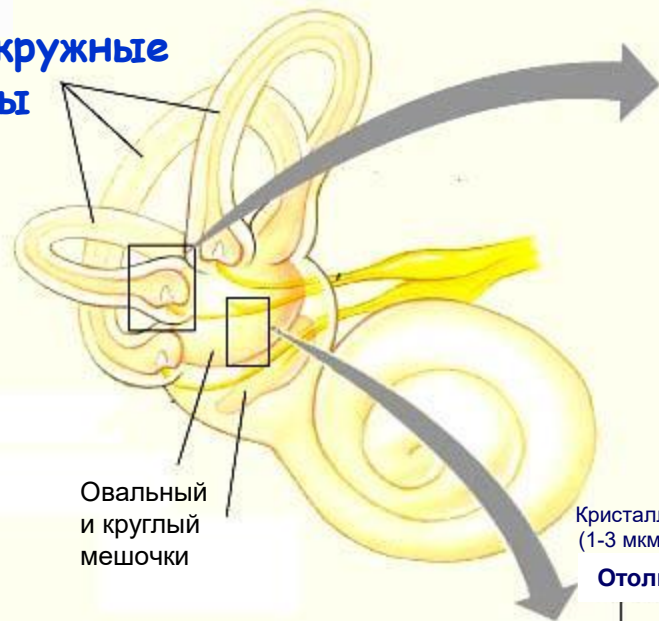




Внутреннее ухо

Вестибулярный аппарат: чувство равновесия

Полукружные каналы



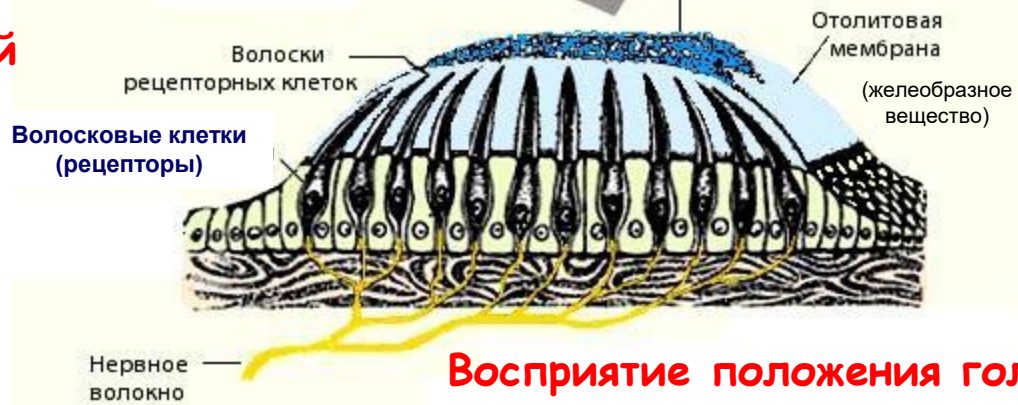
Восприятие ускорений
(повороты головы,
резкие движения)

Купула

Овальный и круглый мешочки

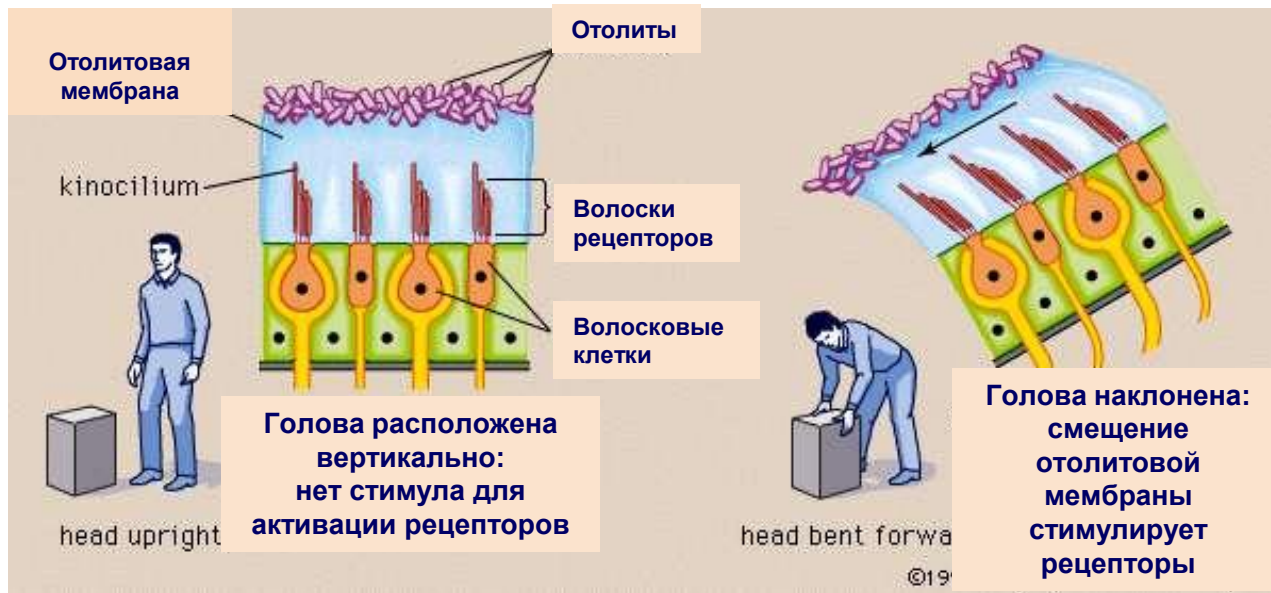
Кристаллы CaCO_3
(1-3 мкм x 10 мкм)
Отолиты

Отолитовый аппарат



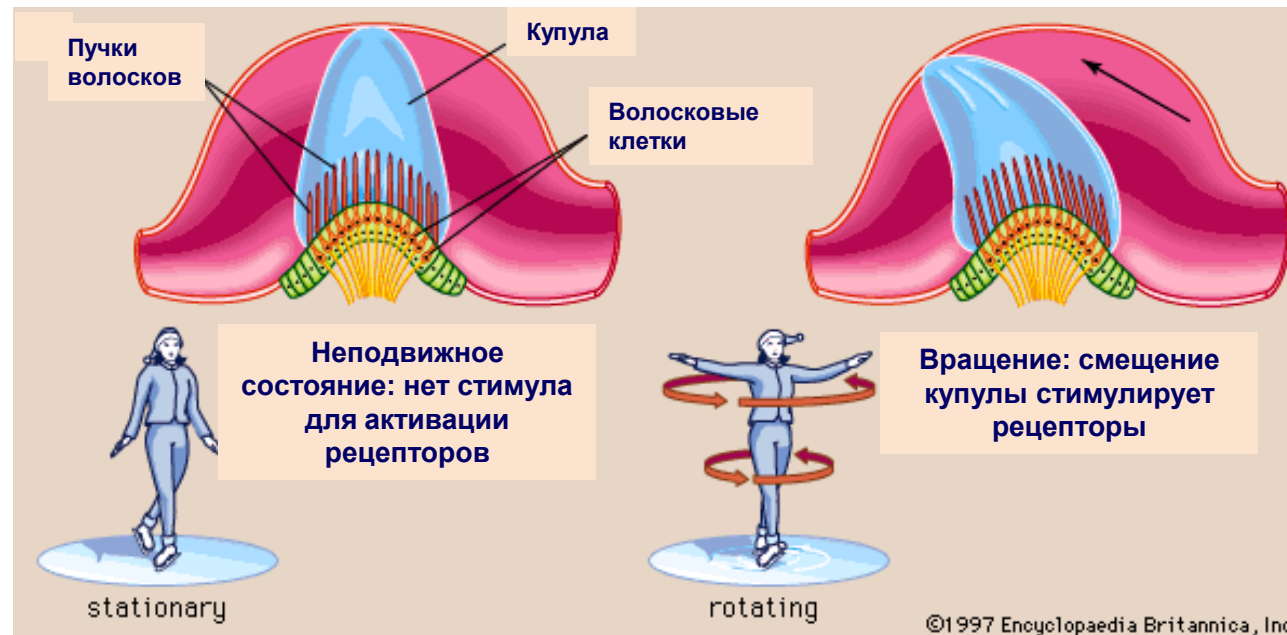
Восприятие положения головы
в поле силы тяжести



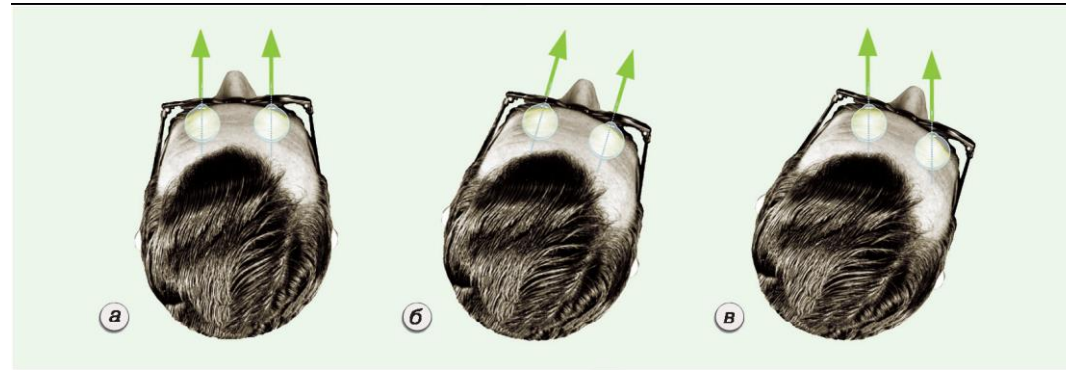


Полукружные каналы

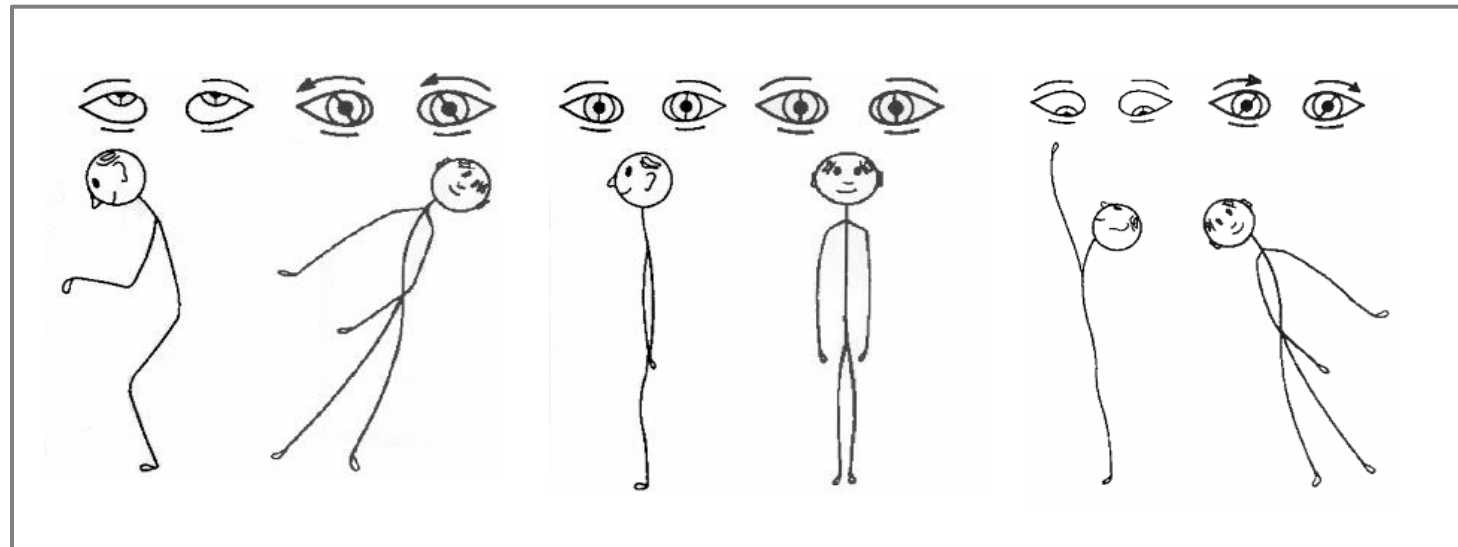
Восприятие ускорений (повороты головы, резкие движения)



Работа вестибулярного аппарата обеспечивает стабилизацию изображения на сетчатке глаз

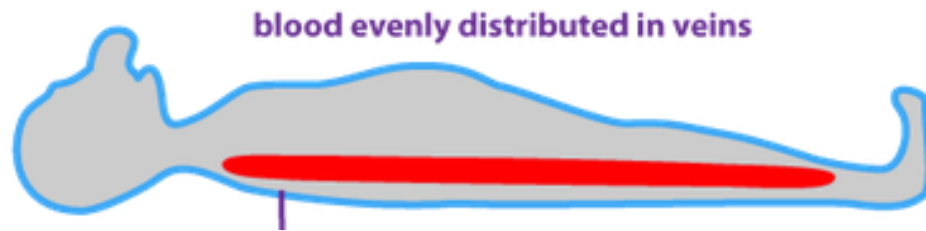


Вестибуло-окулярный рефлекс: глаза поворачиваются в сторону, противоположную повороту головы



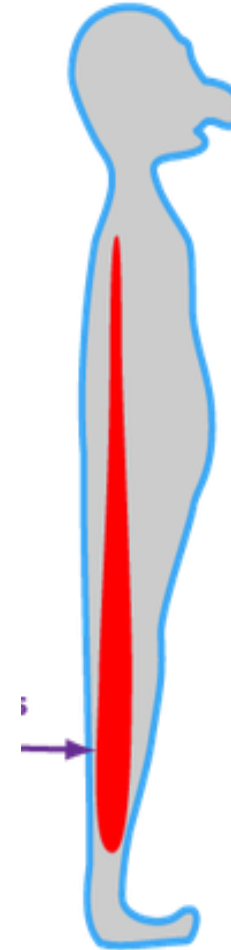
Сердечно-сосудистая система

Изменение распределения крови в теле человека при вертикализации тела (ортостазе)



В положении лежа кровь равномерно распределена в венах

Переход в вертикальное положение сопровождается скоплением крови в нижней части тела



Сердечно-сосудистая система

Быстрые реакции системы кровообращения человека на переход из положения лежа в положение стоя



Компенсаторные реакции сердца и сосудов обусловлены изменением состояния вегетативной нервной системы

под действием сигналов от рецепторов, измеряющих:

- объем крови (расположены крупных венах и предсердиях);
- артериальное давление (расположены в крупных артериях).



Артериальное давление (в норме не изменяется)



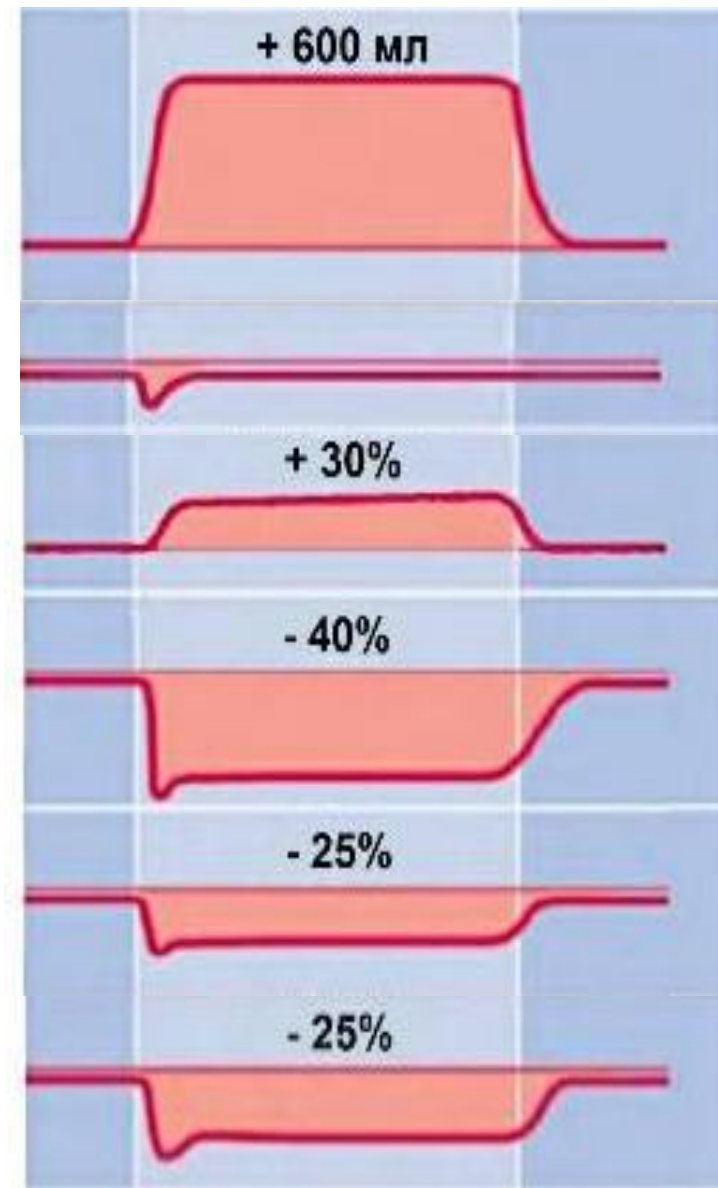
Увеличение частоты сокращений сердца в минуту

Объем крови, выбрасываемый сердцем за одно сокращение

Объем крови, выбрасываемый сердцем за минуту

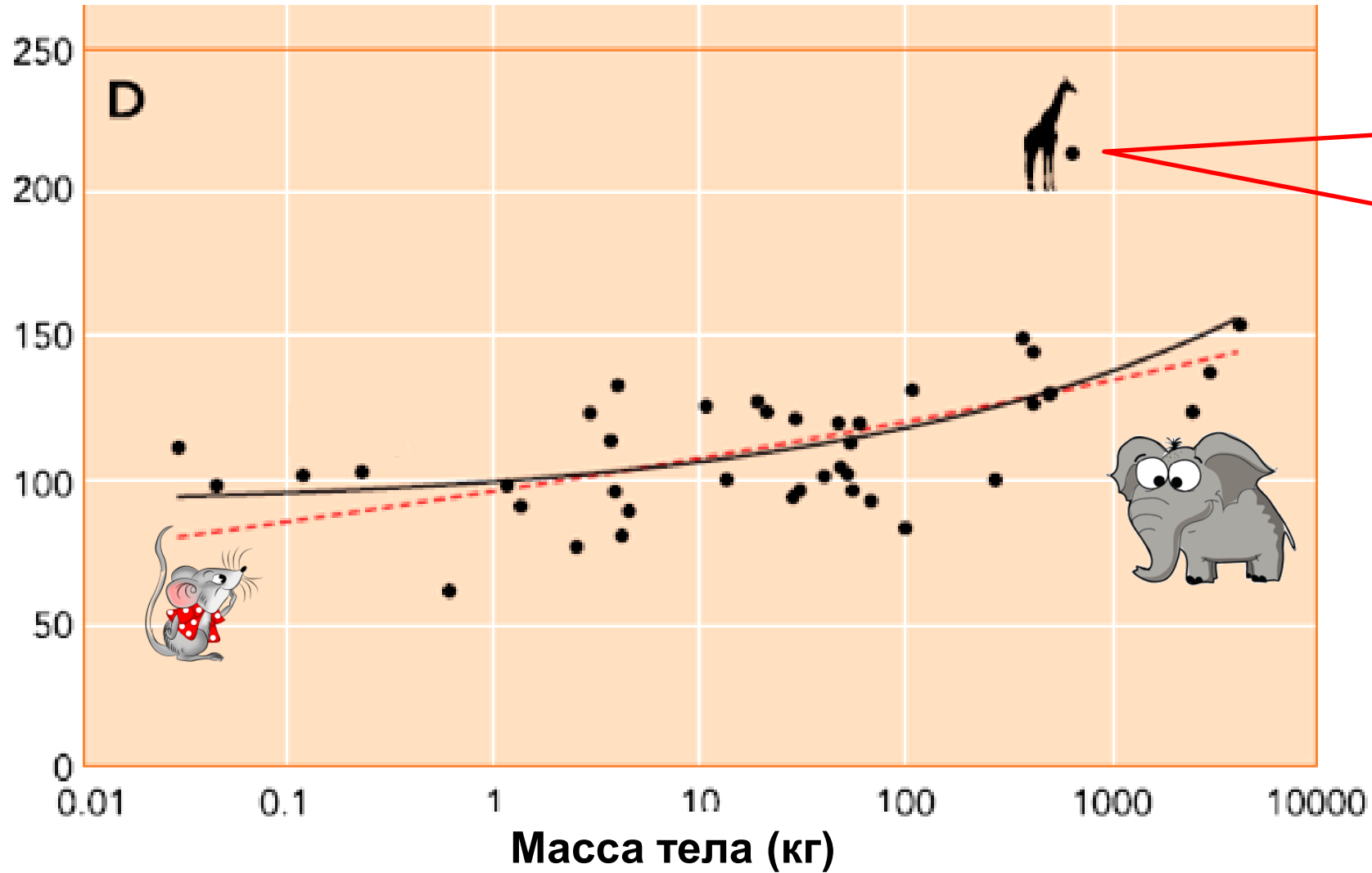


Уменьшение кровотока в органах брюшной полости и конечностях (сужение сосудов)



У крупных млекопитающих артериальное давление лишь немного выше, чем у мелких

Артериальное
давление
(мм.рт.ст.)



Отдельно
стоит
жираф...

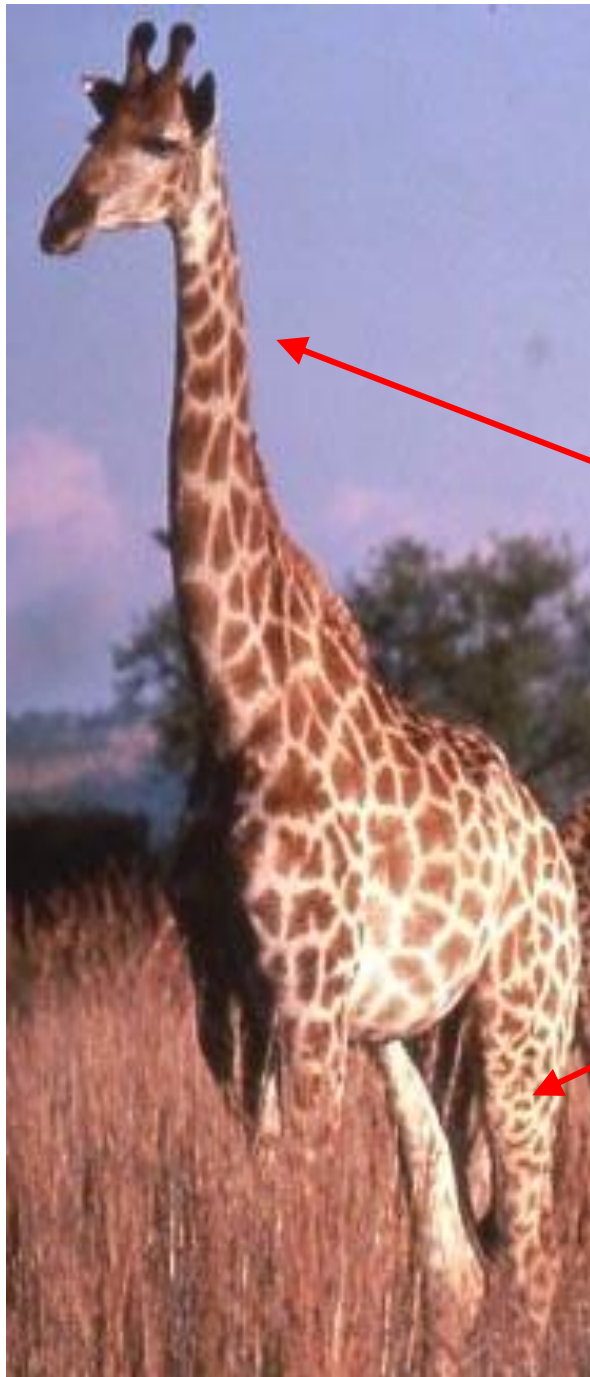
Задача высокого
давления:
«поднять» кровь
к головному мозгу

Давление
крови

100
мм рт.ст.

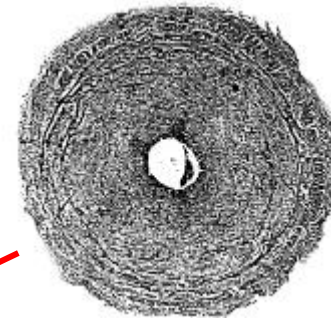
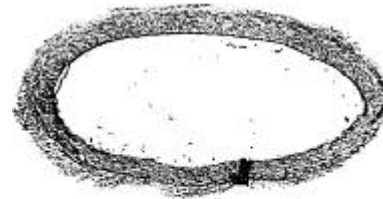
200
мм рт.ст.

300
мм рт.ст.



Гравитационные проблемы жирафа

Сонная
артерия



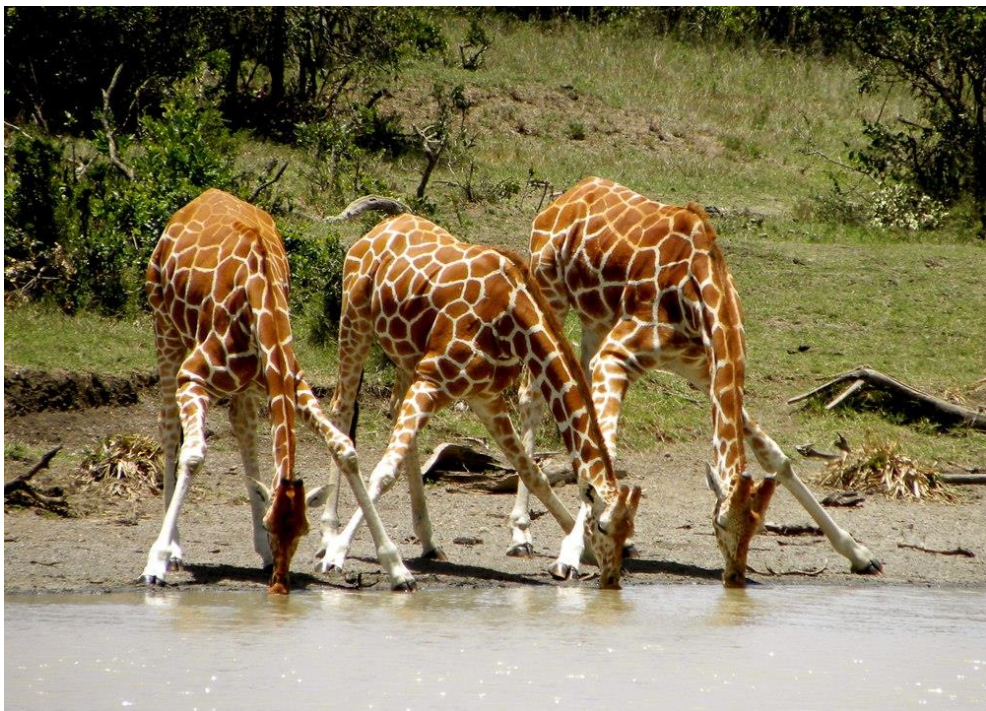
Артерия
голени

Почему же у жирафа не отекают ноги?

- Строение артерий ног (толстая стенка и узкий просвет)
- Малопроницаемые капилляры
- Толстая кожа + подкожная фасция
- Мышечный насос при движении

Самцы жирафа достигают высоты 5,5-6 м

Почему жираф не умирает от инсульта, когда опускает голову?



100
мм рт.ст.



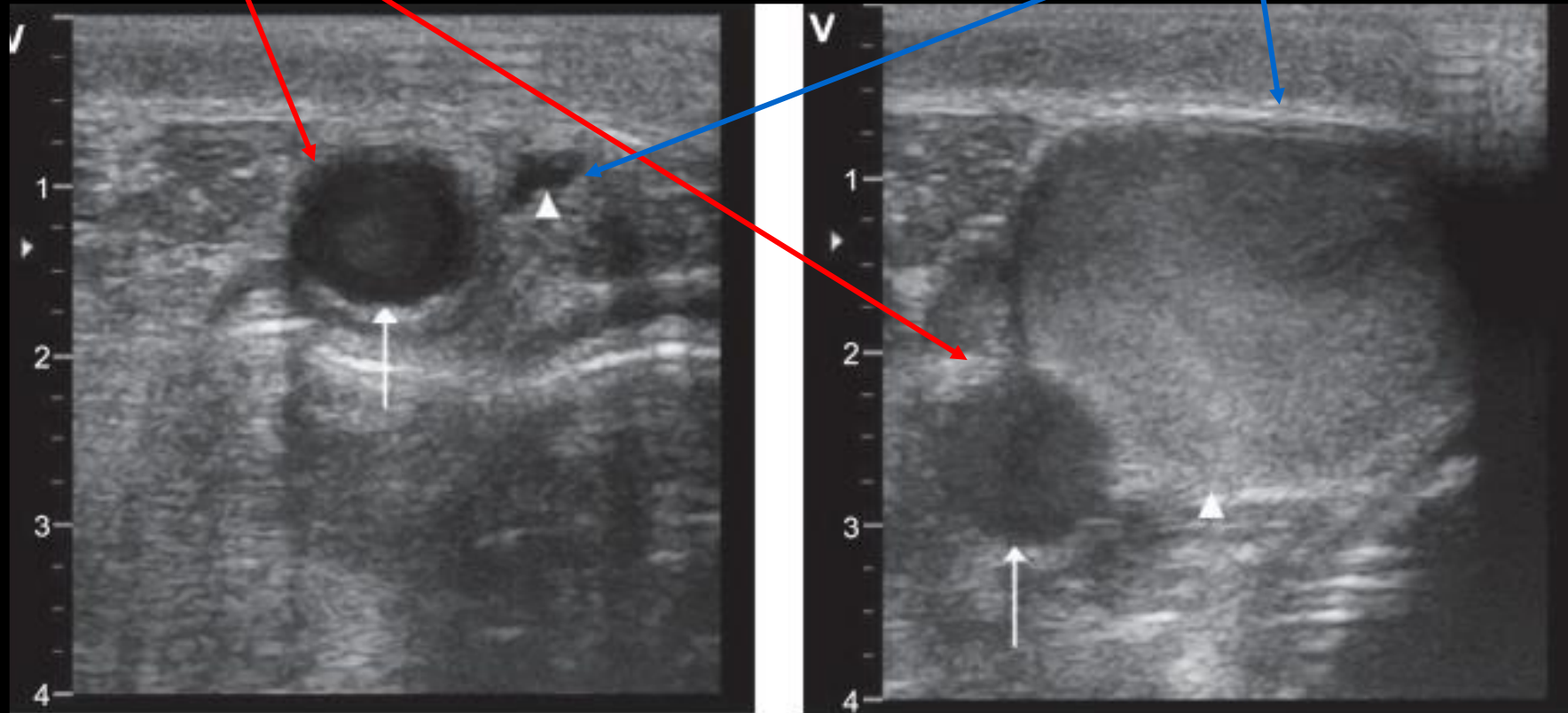
300
мм рт.ст.



Что происходит с сосудами жирафа, когда он поднимает голову

Сонная артерия

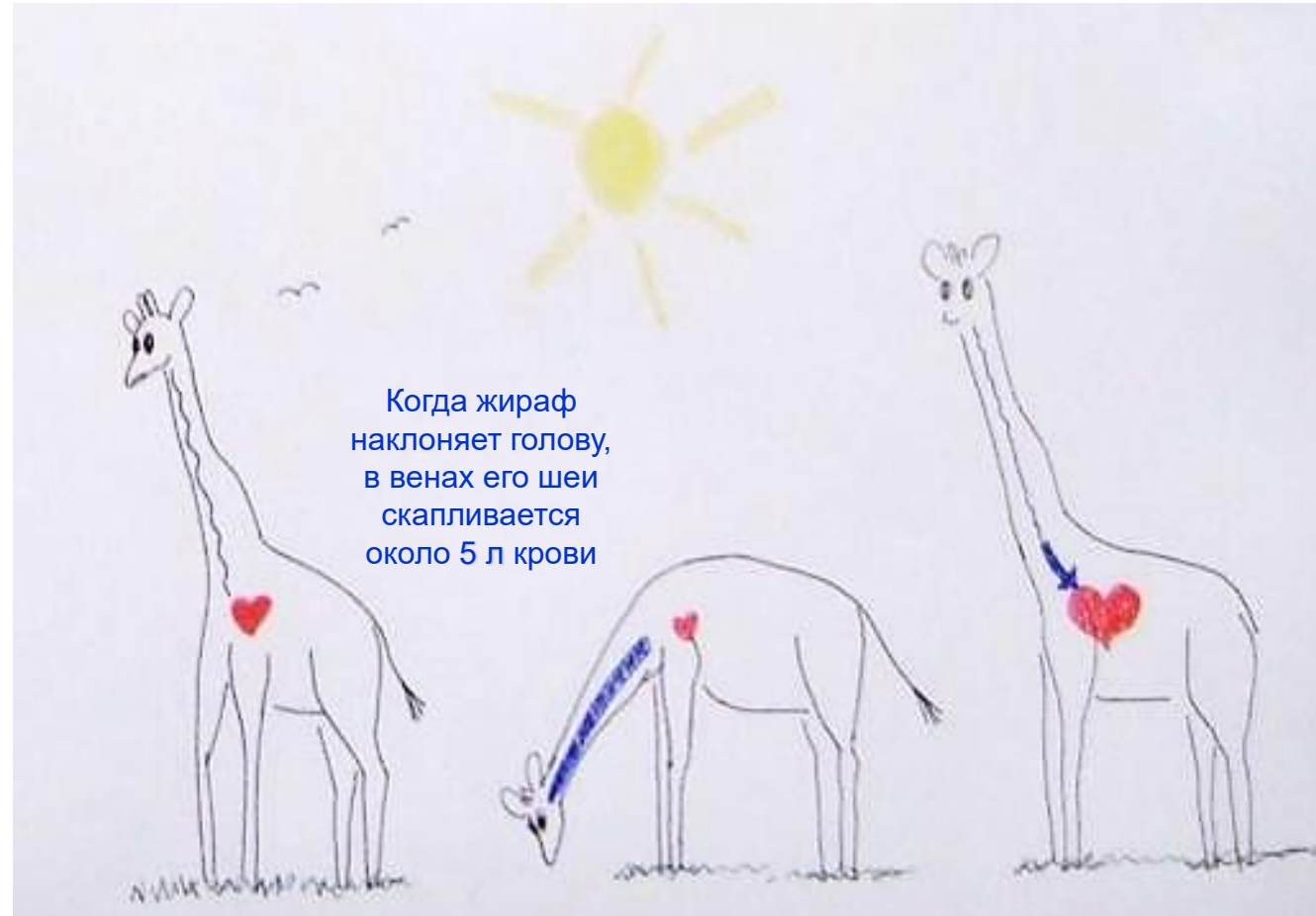
Яремная вена



В положении стоя

Голова опущена

Почему жираф не умирает от инсульта, когда опускает голову?

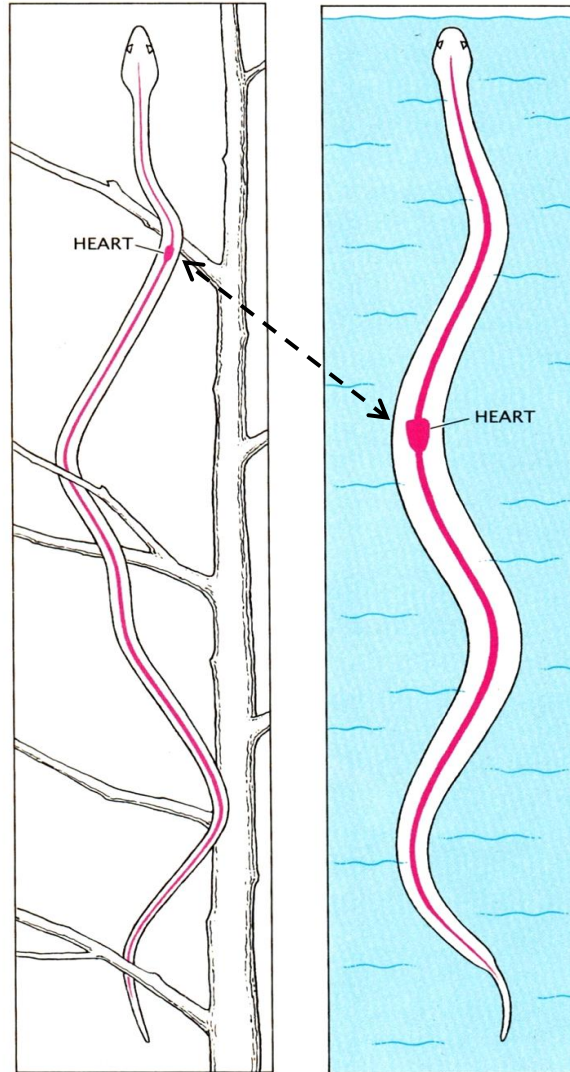


Когда жираф
наклоняет голову,
в венах его шеи
скапливается
около 5 л крови

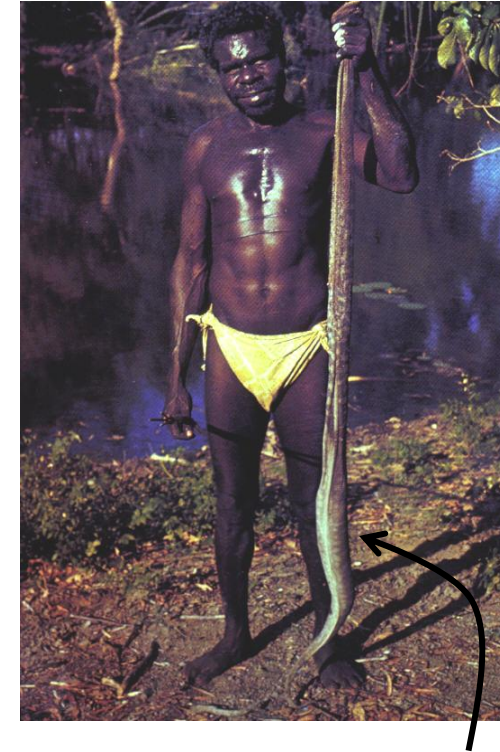
Это способствует снижению
артериального давления и защищает
сосуды головы от повреждения

Адаптация сердечно-сосудистой системы змей к образу жизни

Древесные



Водные



Водная змея не приспособлена к жизни в вертикальном положении

У древесных змей сердце расположено ближе к голове, чем у водных (легче прокачивать крови к мозгу против силы тяжести)

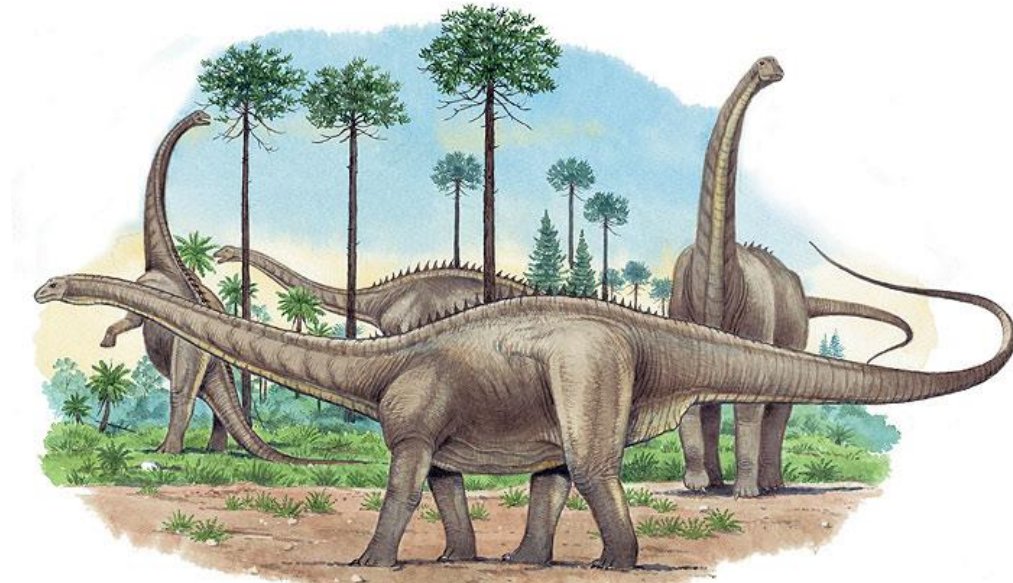
Древние пресмыкающиеся: как они жили 150 млн лет назад?

Диплодок – крупнейший из динозавров

Длина тела – до 35 м

Масса тела – более 20 тонн

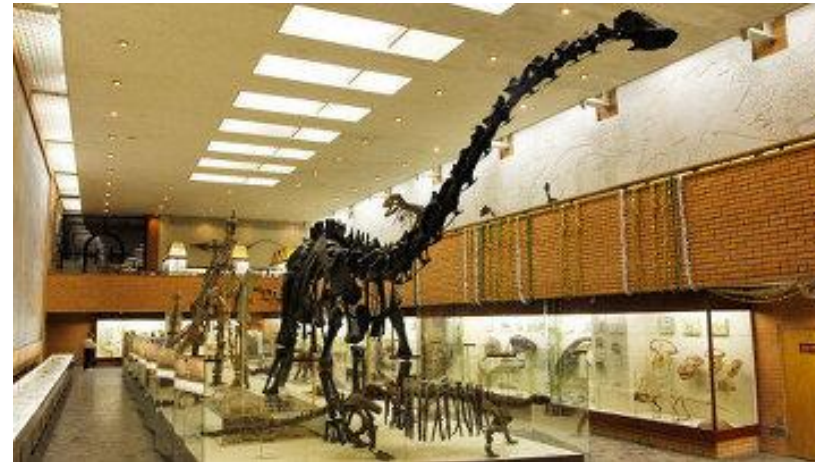
(«щедрые» ученые оценивают ее в 80 тонн)



Действительно ли так?



American Museum of Natural History



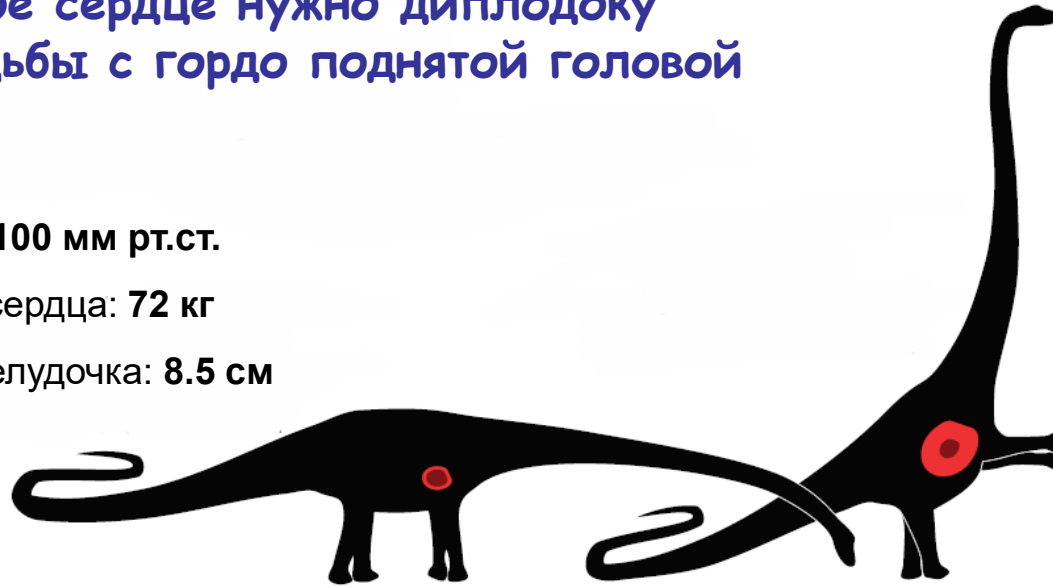
Палеонтологический музей в Москве

Какое сердце нужно диплодоку для ходьбы с гордо поднятой головой

Артериальное давление: **100 мм рт.ст.**

Масса левого желудочка сердца: **72 кг**

Толщина стенки левого желудочка: **8.5 см**



Артериальное давление: **700 мм рт.ст.**

Масса левого желудочка сердца: **1035 кг**

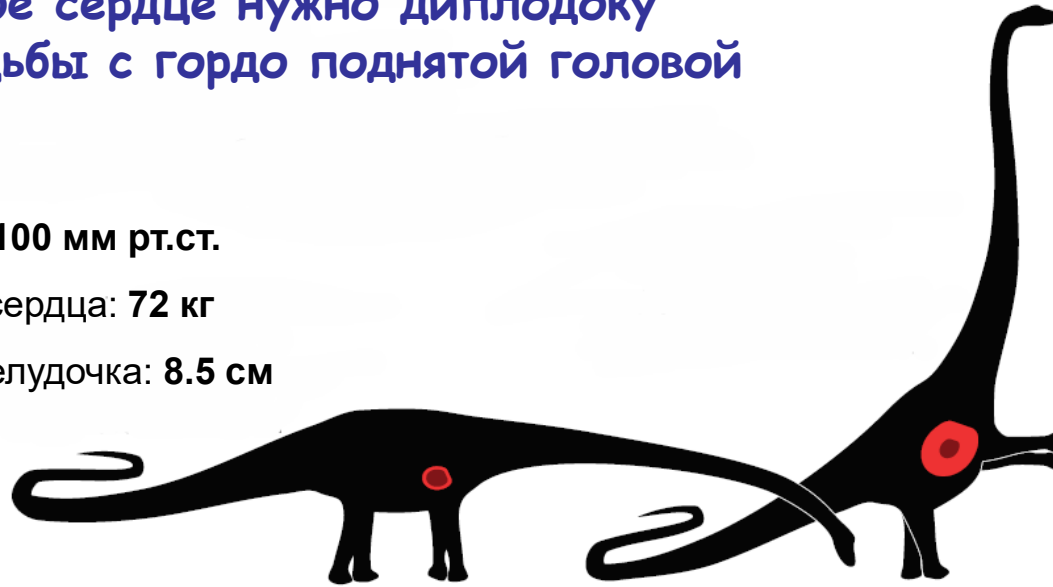
Толщина стенки левого желудочка: **42 см**

Какое сердце нужно диплодоку для ходьбы с гордо поднятой головой

Артериальное давление: **100 мм рт.ст.**

Масса левого желудочка сердца: **72 кг**

Толщина стенки левого желудочка: **8.5 см**

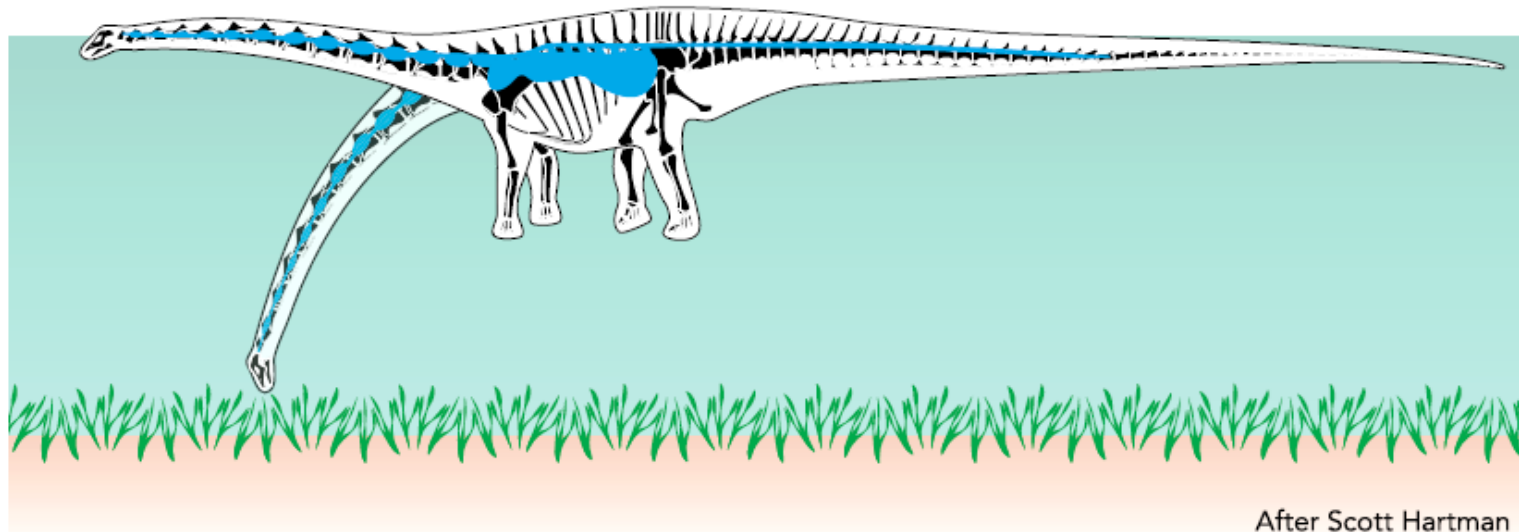


Артериальное давление: **700 мм рт.ст.**

Масса левого желудочка сердца: **1035 кг**

Толщина стенки левого желудочка: **42 см**

По-видимому, они жили так



After Scott Hartman

Как изменяется работа разных систем в невесомости?



Юрий Гагарин: 12.04.1961
один оборот вокруг Земли (108 минут)



Валерий Поляков
самый продолжительный
космический полет - 437 суток
(с 08.01.1994 по 22.03.1995)

Сила тяжести влияет на строение и работу:

- Опорно-двигательной системы (скелета и мышц, в том числе, дыхательных)
- Нервной системы (управление движением и др.)
- Сердечно-сосудистой системы
- Почек (водно-солевой баланс в организме)
- Многих гормональных систем

*Космонавты
адаптируются
(приспосабливаются)
к жизни
в невесомости*

*Но ведь они
должны вернуться
на Землю!*



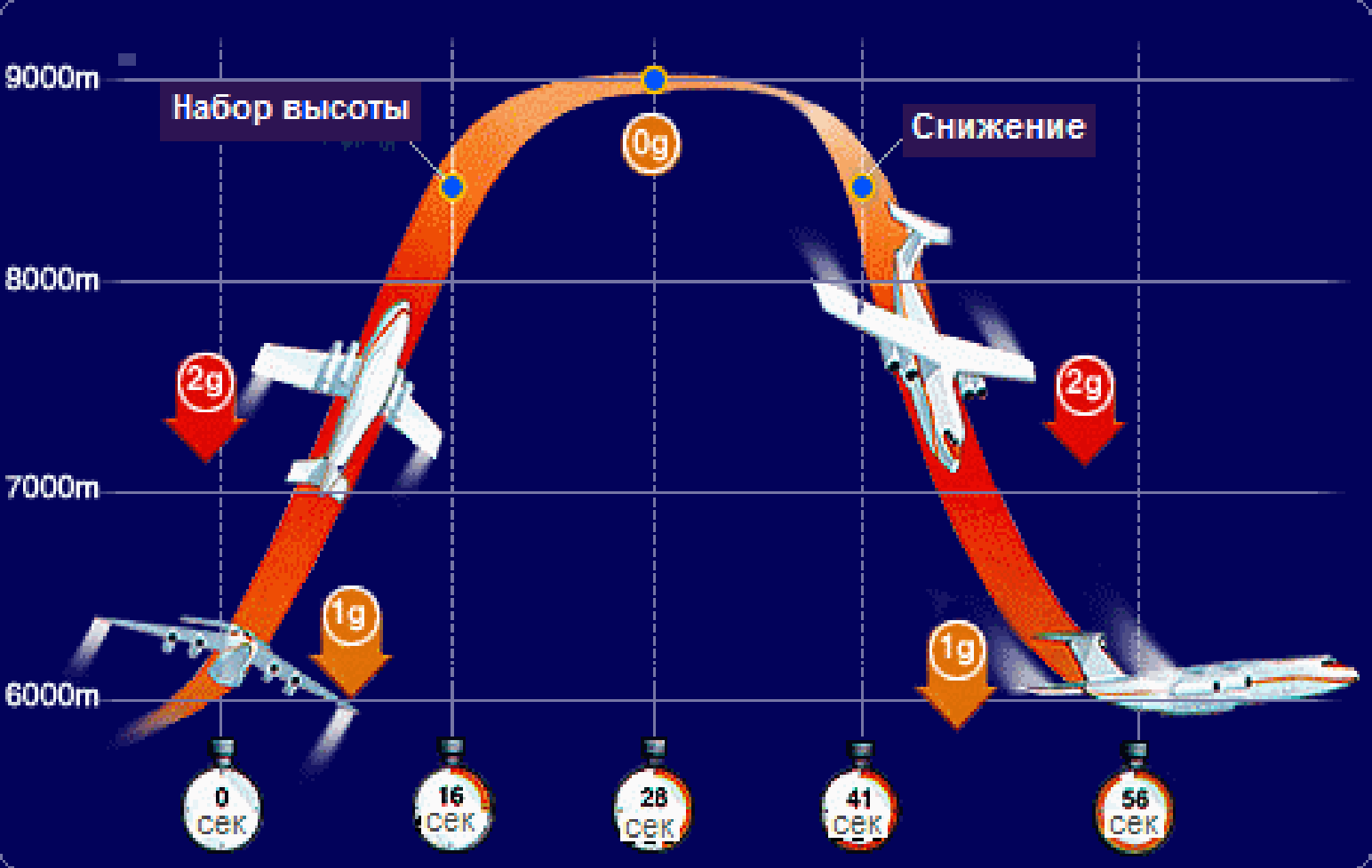
Поисковая команда несет
русского космонавта
А.М.Самокутяева
после приземления
16 сентября 2011 г.

**В невесомости нет нагрузки на скелет
и мышцы, поддерживающие позу тела**



Моделирование невесомости в наземных условиях

Параболический полет





Моделирование невесомости в наземных условиях

«Антиортостатическая гипокинезия» (АНОГ)



Tomilovskaya et al. Front Physiol. 2019; 10: 284.

«Сухая иммерсия»

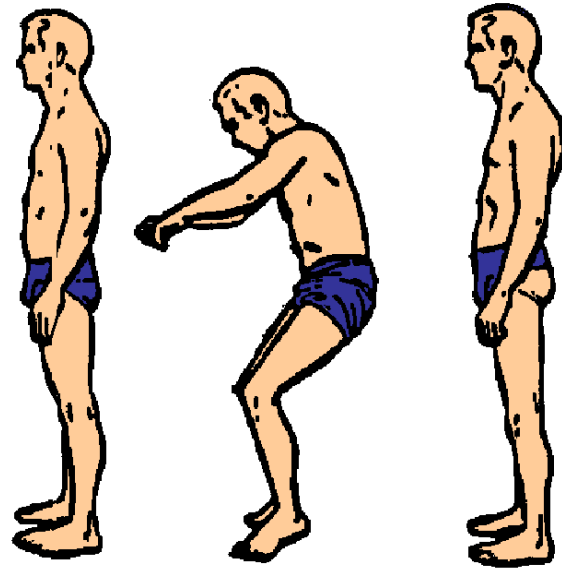


FIGURE 1 | Overall view of dry immersion facilities at IBMP. Image credit IBMP/Oleg Voloshin.

- **Исследование механизмов адаптации к невесомости**
- **Разработка и испытание мер профилактики**

Изменения позы тела и регуляции движений

Изменение позы тела в невесомости



До Во время После

Поза «эмбриона» или «усталой обезьяны»

- Снижение двигательной активности, изменение «техники» движений
- Изменение работы рецепторов, воспринимающих опору тела
- Изменение работы рецепторов, реагирующих на осевую нагрузку
- Изменение работы вестибулярного аппарата

После полета нарушается способность к поддержанию вертикальной позы тела

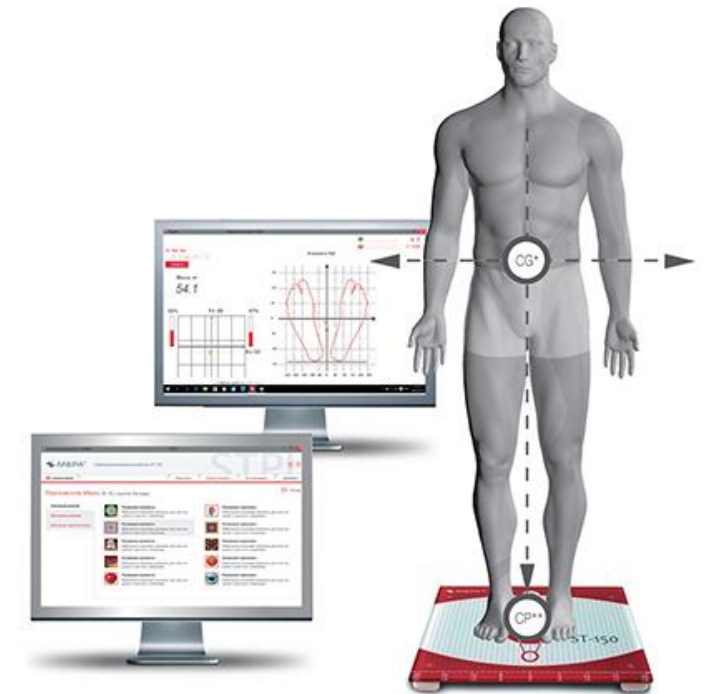
ГЛАЗА ОТКРЫТЫ

ГЛАЗА ЗАКРЫТЫ



До полета После полета

До полета После полета



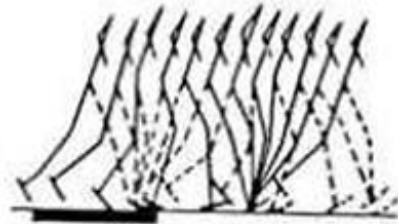
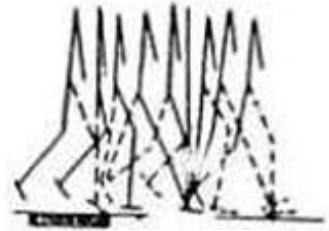
Стабилоплатформа
(регистрация положения
центра тяжести)

Изменение биомеханики движений при уменьшении опоры

1 G

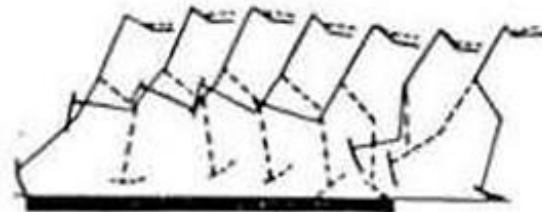
1/6 G («на Луне»)

Ходьба



4 км/ч

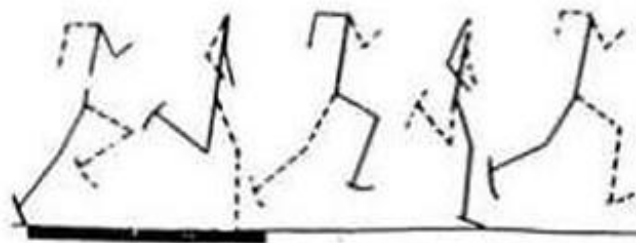
4 км/ч



11 км/ч

11 км/ч

Бег



22 км/ч

14 км/ч

Быстрый бег



В невесомости «ломается» вестибулоокулярный рефлекс

НА ЗЕМЛЕ
глаза поворачиваются
в сторону,
противоположную
повороту головы

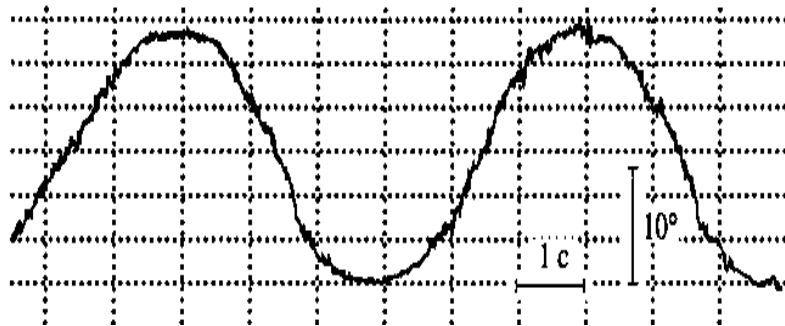
Движение головы

Движение глаз

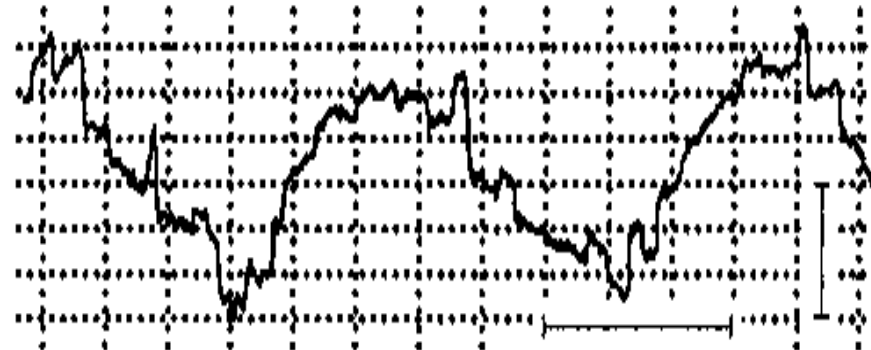


В НЕВЕСОМОСТИ
глаза поворачиваются
в ту же сторону,
что и голова

В невесомости также нарушаются «следящие» движения глаз

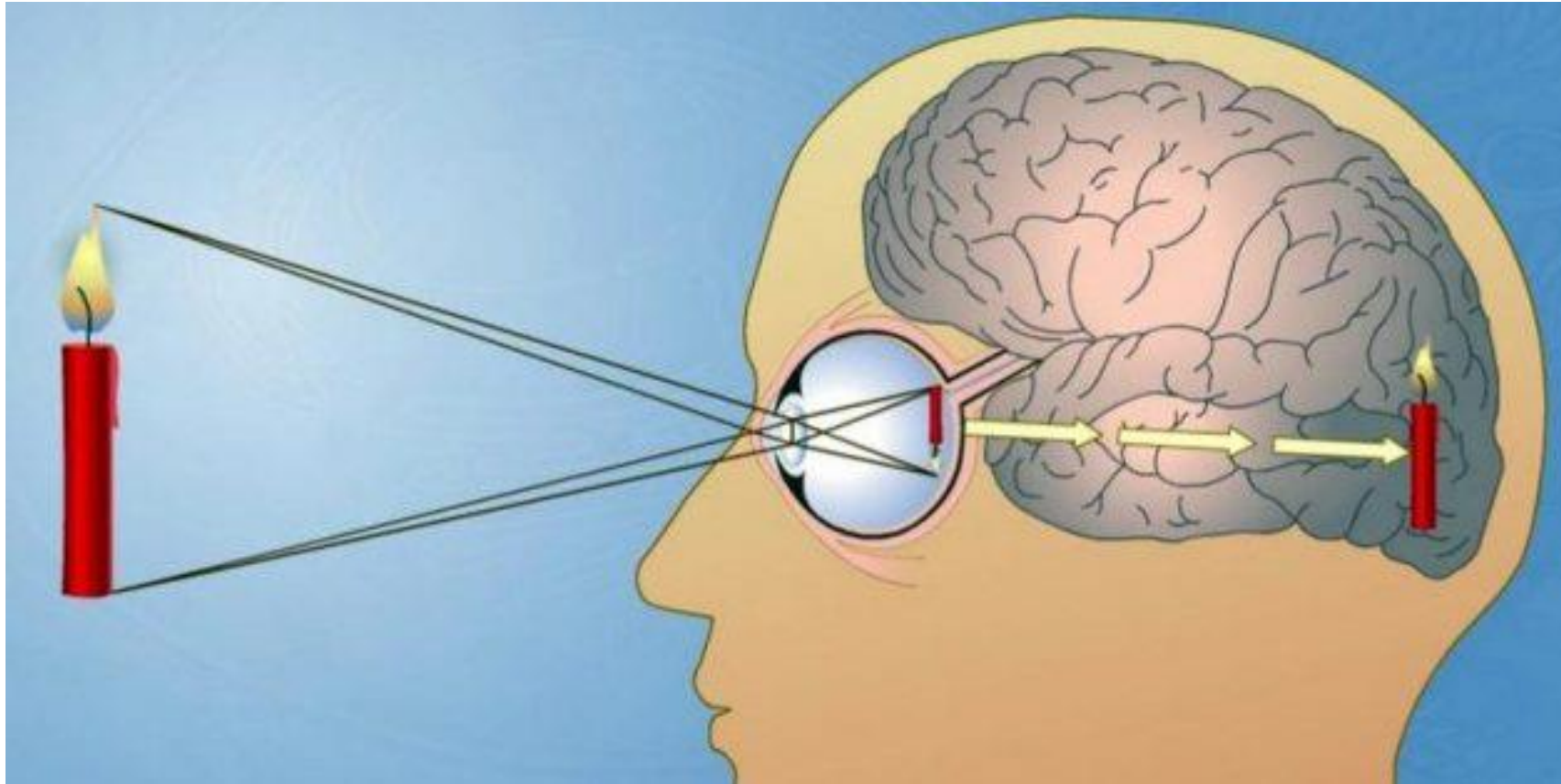


На Земле



В невесомости

Наш глаз изначально видит предметы «вверх ногами»

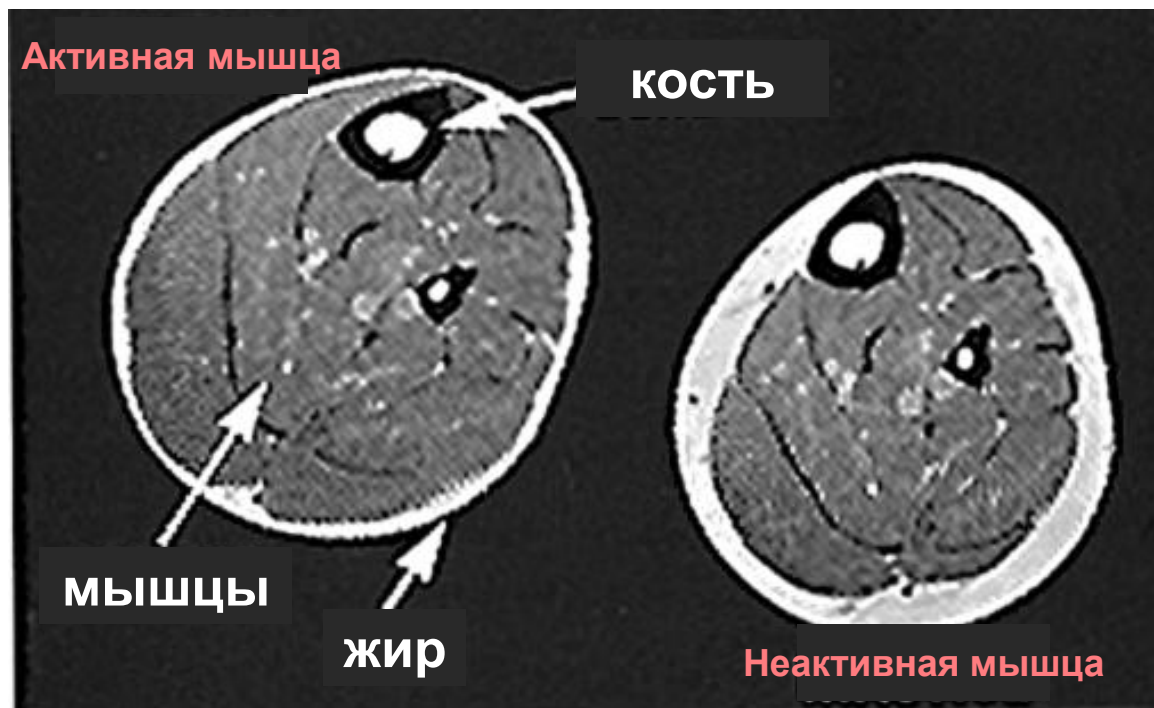


Затем **вестибулярный аппарат** «корректирует картинку»

Если он работает неправильно – нарушается ориентация в пространстве

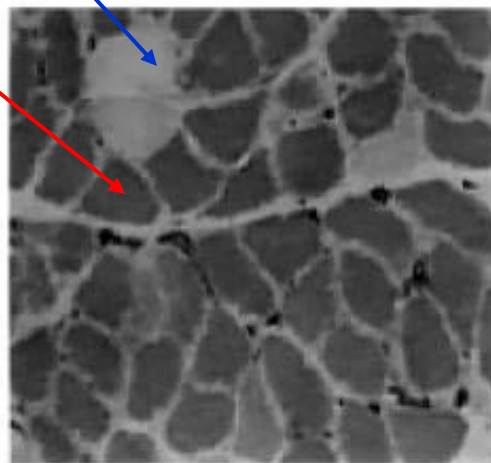
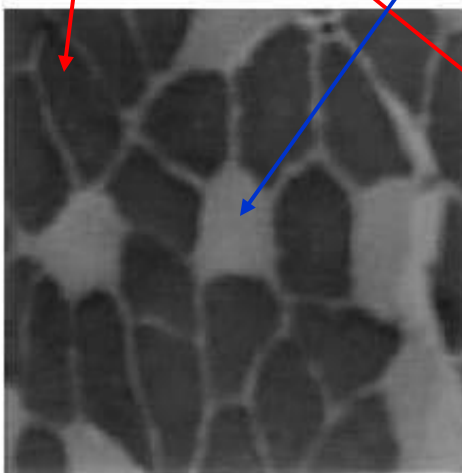
Изменения мышц

В невесомости уменьшаются размеры мышц



Медленные
мышечные
клетки

Быстрые
мышечные
клетки



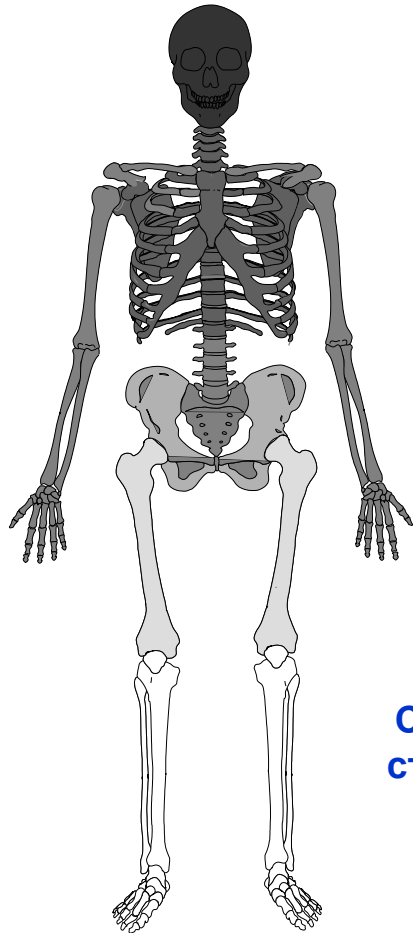
При этом в основном
страдают медленные
мышечные клетки

Уменьшение размеров медленных
мышечных клеток в мышце задней
конечности крысы после
10-дневного космического полета

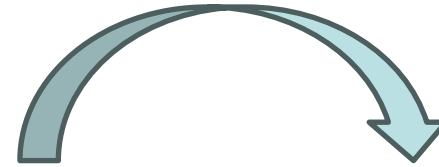
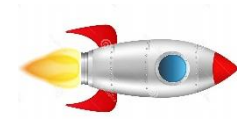
Изменения скелета



Уменьшение плотности
костной ткани
(«вымывание» кальция)



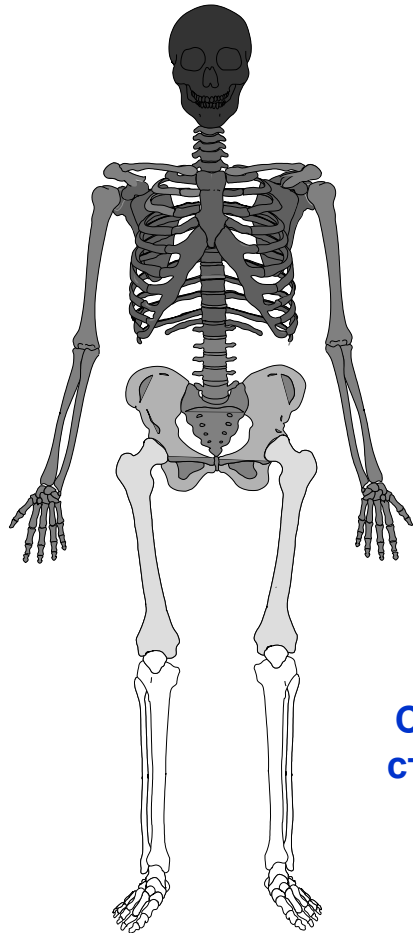
**Сильнее всего
страдают кости
нижних
конечностей**



Изменения скелета

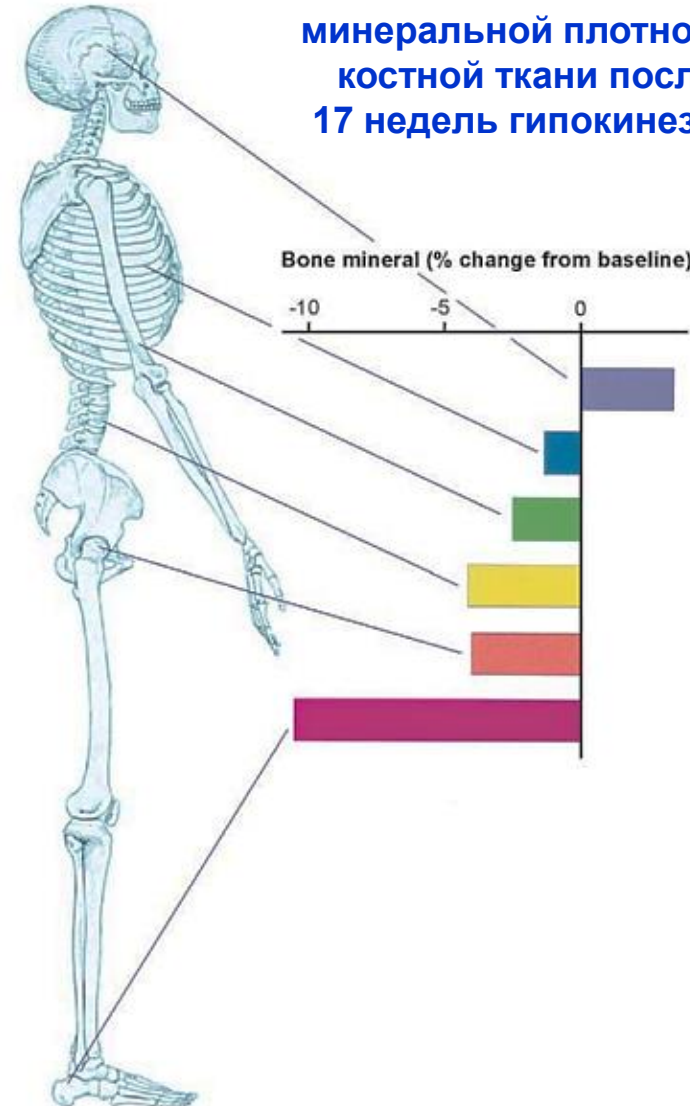


**Уменьшение плотности
костной ткани**
(«вымывание» кальция)



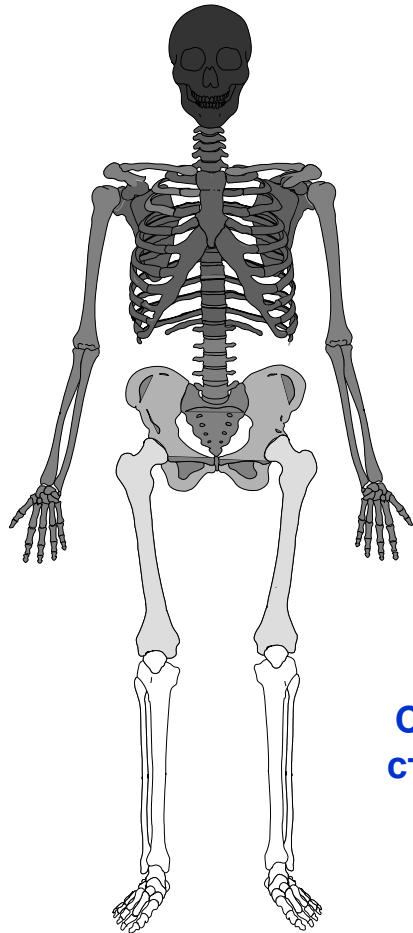
**Сильнее всего
страдают кости
нижних
конечностей**

**Изменение
минеральной плотности
костной ткани после
17 недель гипокинезии**



Изменения скелета

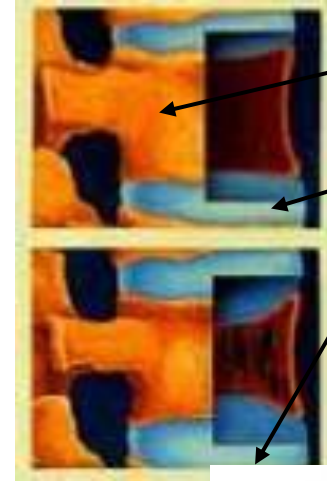
Уменьшение плотности костной ткани («вымывание» кальция)



Сильнее всего
страдают кости
нижних
конечностей

Рост тела в длину

На Земле



Позвонок

Хрящевые диски
между позвонками
становятся толще

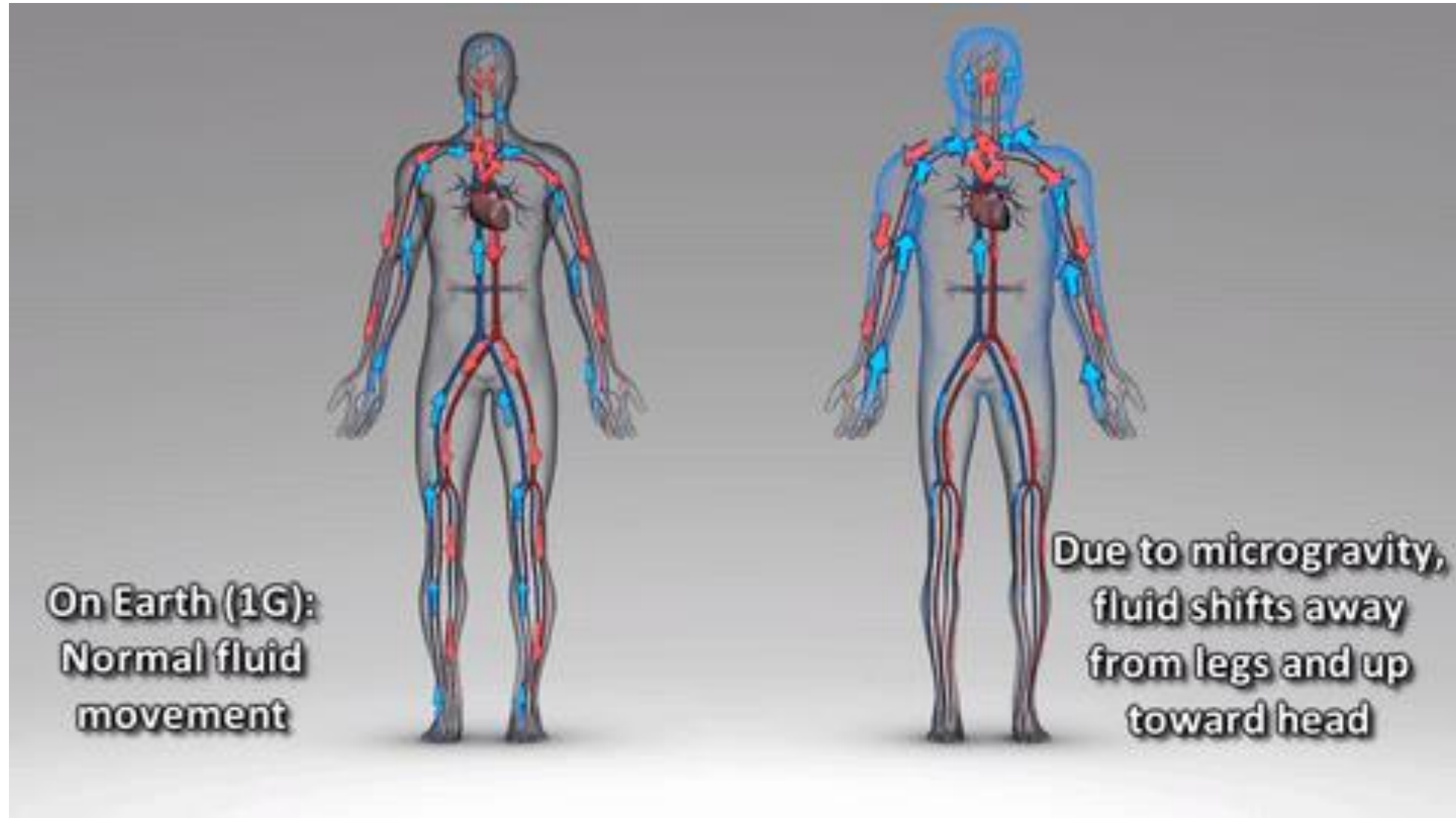
В невесомости



Ложемент, в котором космонавт спускается на Землю

В условиях микрогравитации:

- исчезновение градиента гидростатического давления
- перераспределение жидкости в организме
- разнонаправленные сдвиги давления крови в сосудах различных областей тела



Изменения в сердечно-сосудистой системе: перераспределение жидкости в организме

До полета



В невесомости

Отек
лица



«Птичьи
ноги»

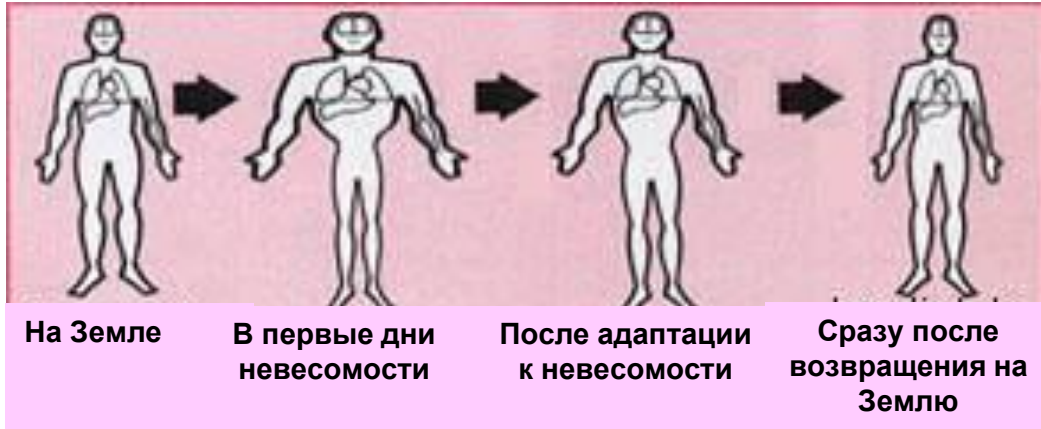
После полета

Слабость,
вплоть до
обморока



Японский астронавт Чиаки Мукаи
до и на первой неделе полета

Компенсаторные изменения в сердечно–сосудистой системе: уменьшение объема крови



Угроза
недостаточного
кровообращения
головного мозга
и обморока

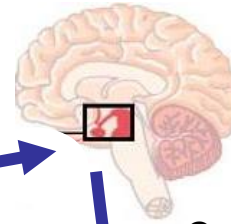


Переполнение
крупных вен
и предсердий

Активация
рецепторов
объема

Секреция
предсердного
натрийуретического
гормона

Гипоталамус
и гипофиз



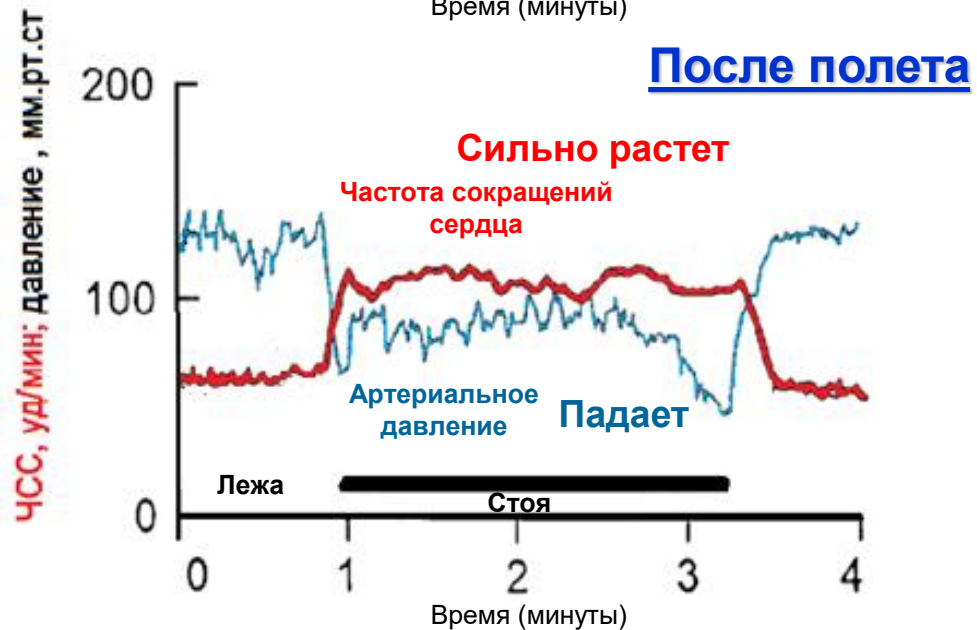
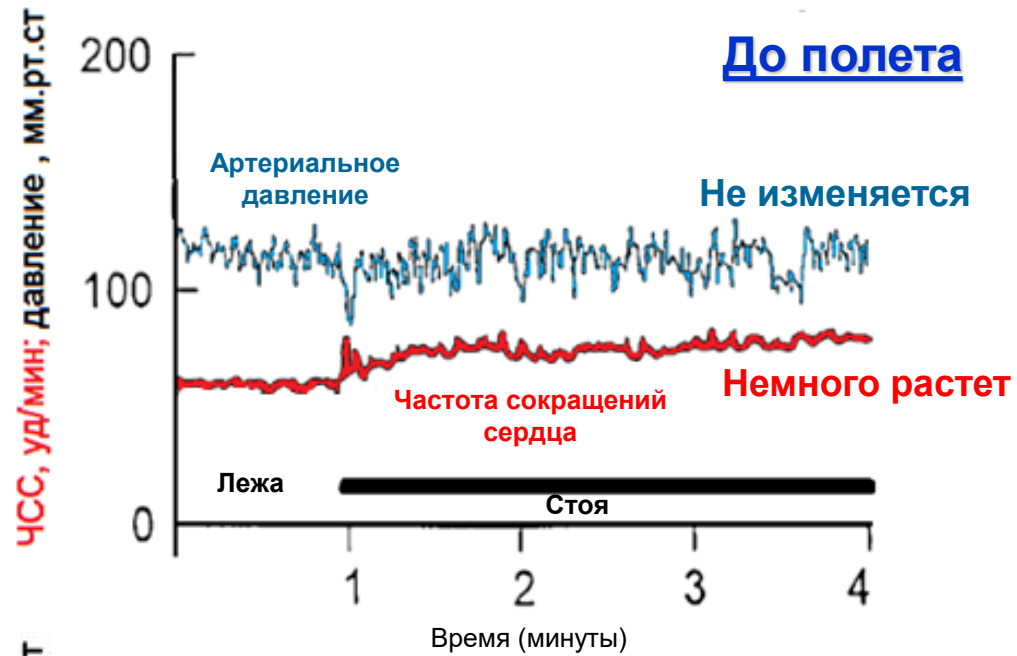
Снижение секреции
антидиуретического
гормона (вазопрессина)



Увеличение объема мочи
↓
Уменьшение объема крови

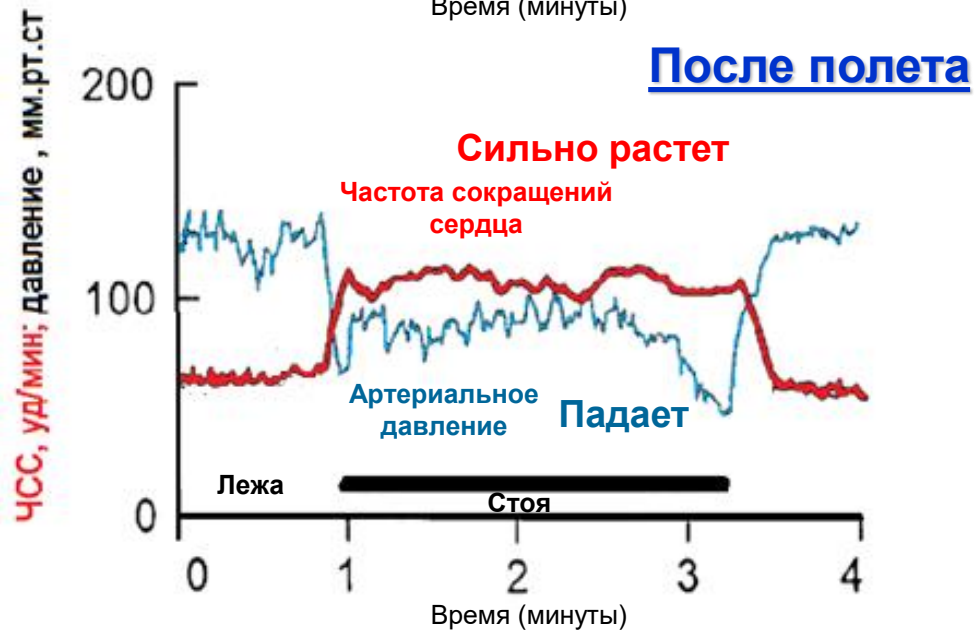
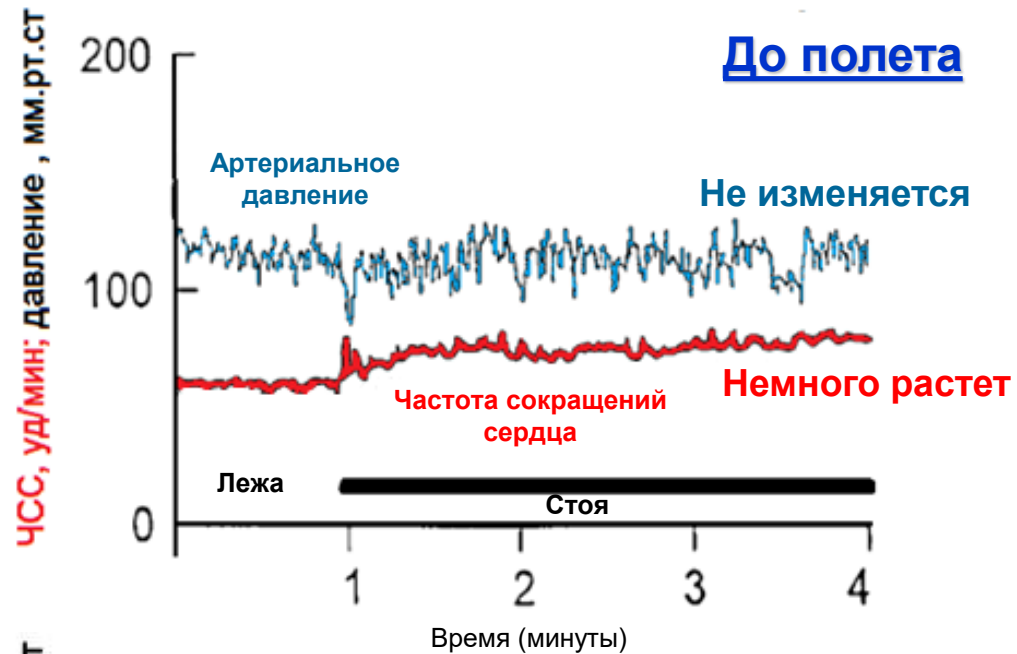
После полета наблюдается «ортостатическая гипотензия»

(падение артериального давления при переходе из положения лежа с положение стоя)

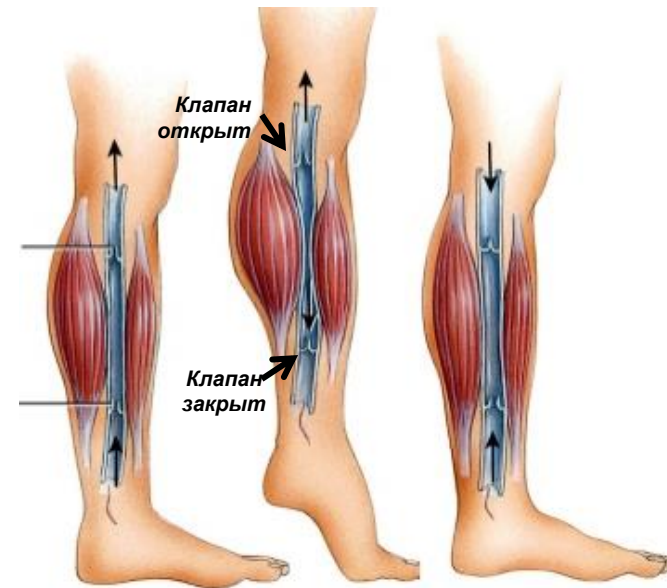


После полета наблюдается «ортостатическая гипотензия»

(падение артериального давления при переходе из положения лежа с положение стоя)



Мышечный насос возвращает кровь по венам к сердцу



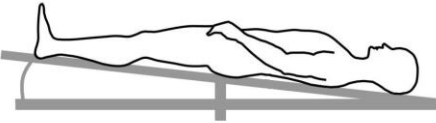
Стоя без движения

Во время сокращения мышц

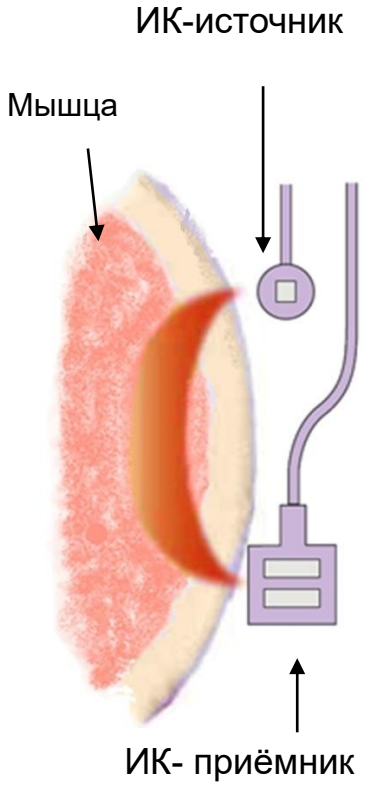
После сокращения

После полета мышечный насос работает плохо, так как мышцы становятся слабыми, а вены очень растяжимыми

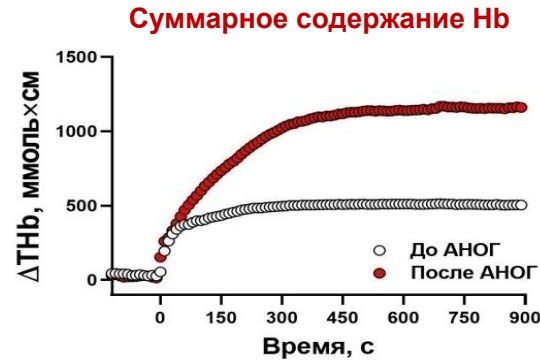
Увеличение растяжимости мелких вен, нарушение вазоконстрикции сосудов нижних конечностей → увеличение их кровенаполнения при ортостазе после АНОГ



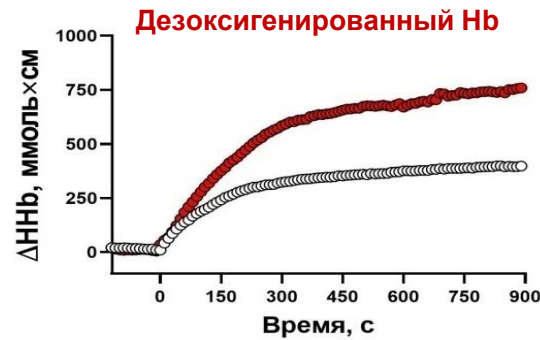
Спектроскопия в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне



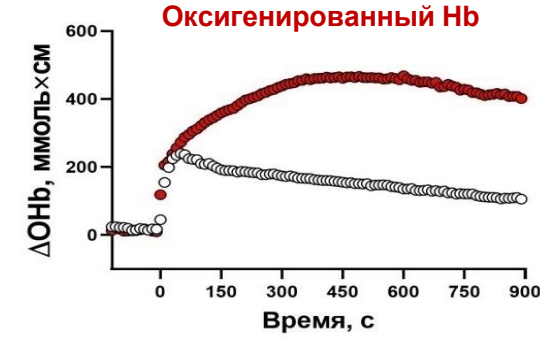
ДИНАМИКА ПРИ ОРТОСТАЗЕ



- Увеличение кровенаполнения мышц нижних конечностях после АНОГ

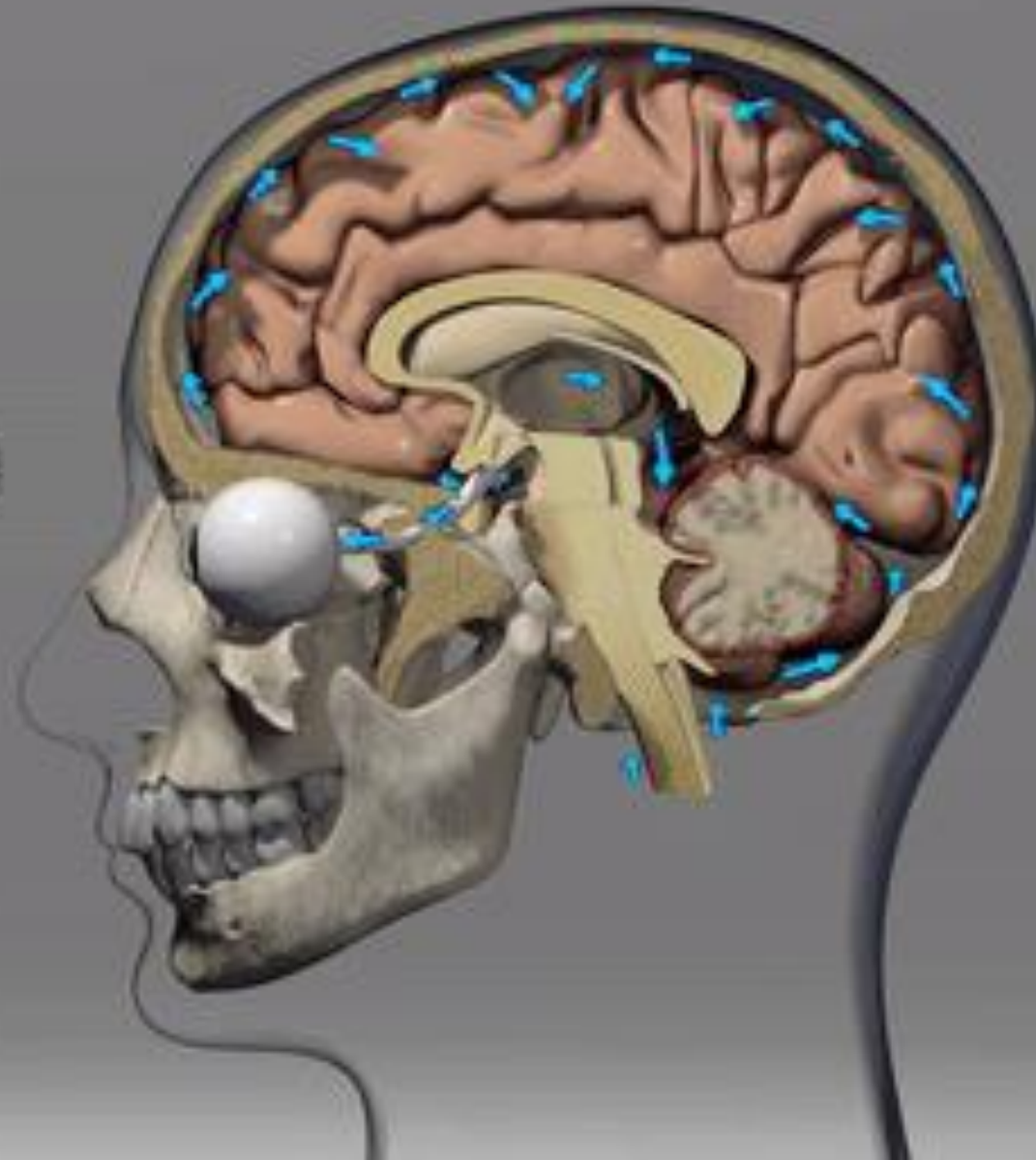


- Увеличение растяжимости мелких вен



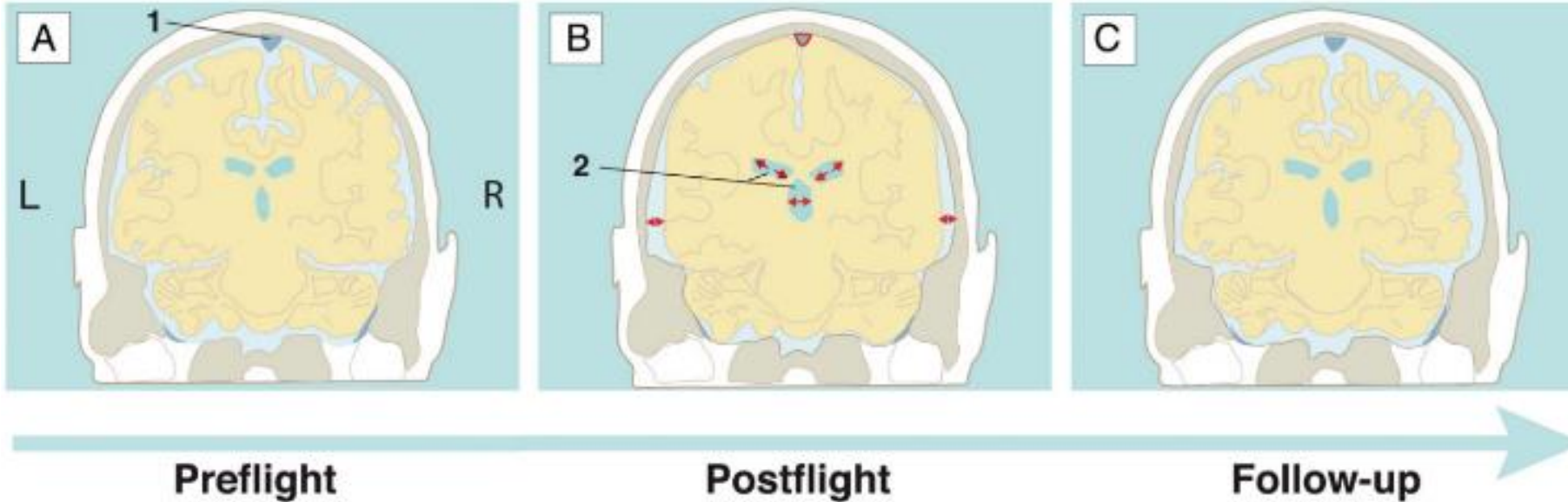
- Нарушение компенсаторной вазоконстрикции сосудов нижних конечностей. Ослабление влияния местных регуляторных механизмов или чувствительности к симпатической активации

**Fluid shift toward the head
causes increased
intracranial pressure**



Повышение внутричерепного давления у космонавтов после длительного полета (МРТ)

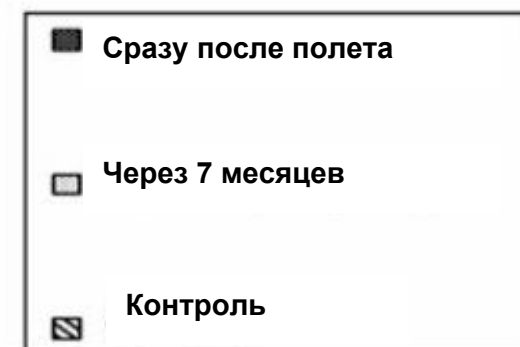
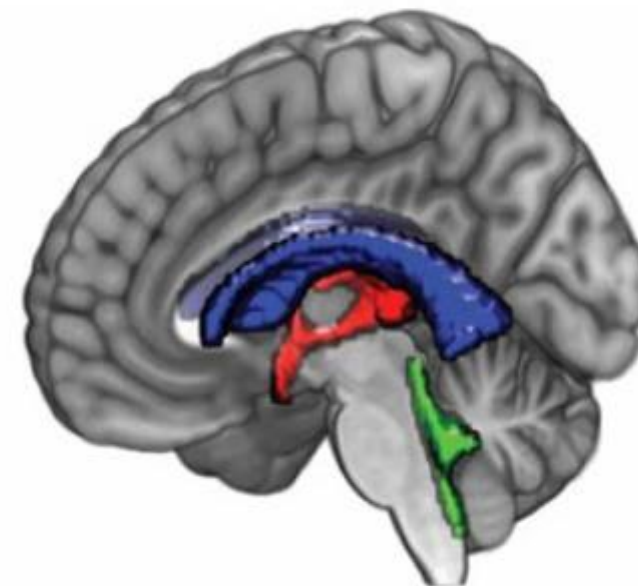
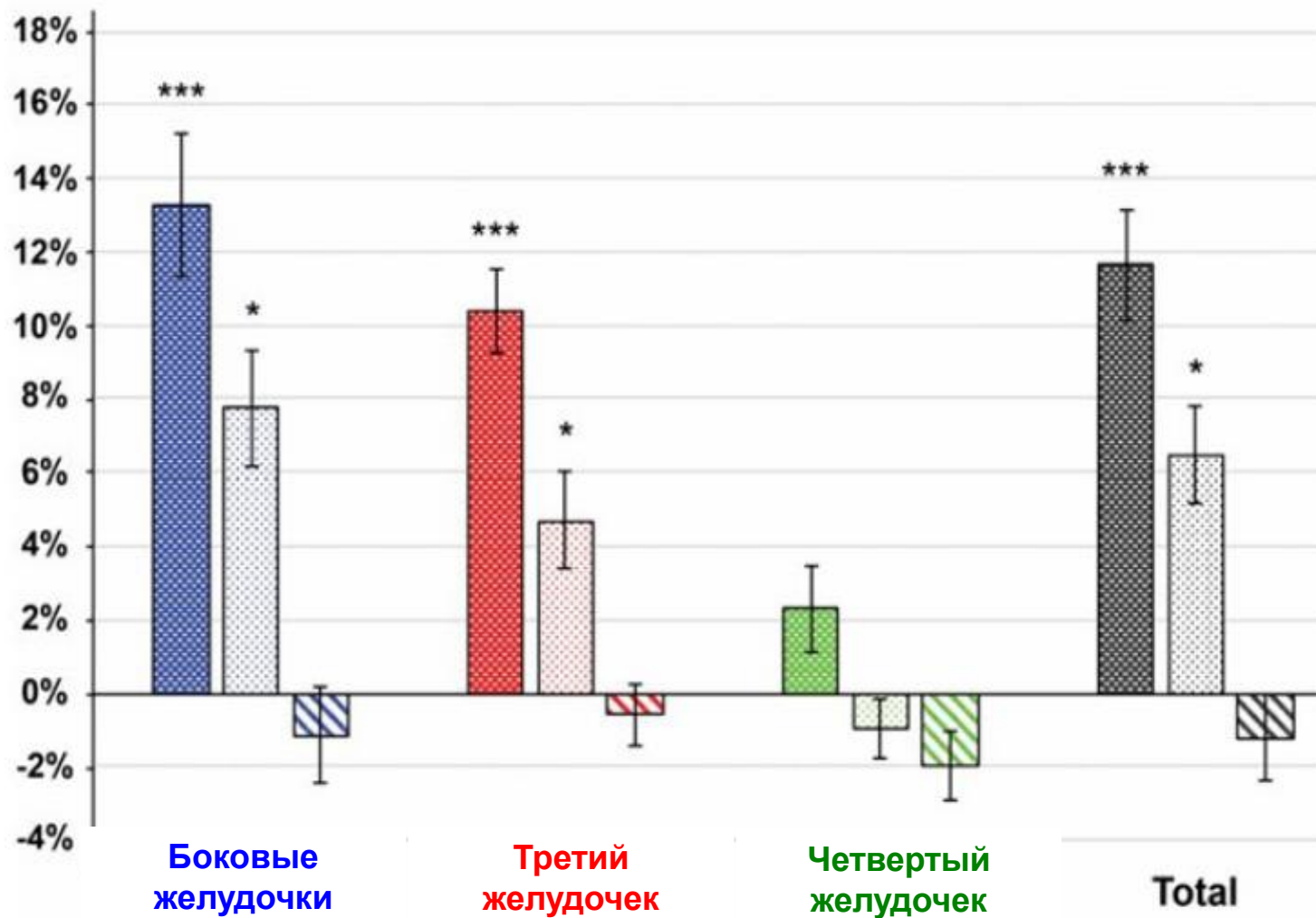
MRI brain scans before, shortly after, and 7 mo after long- duration spaceflight



Van Ombergen et al. Brain Tissue-Volume Changes in Cosmonauts. *N Engl J Med.* 2018 Oct 25;379(17):1678-1680.

Van Ombergen et al. Brain ventricular volume changes induced by long-duration spaceflight. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2019 116(21):10531-10536.

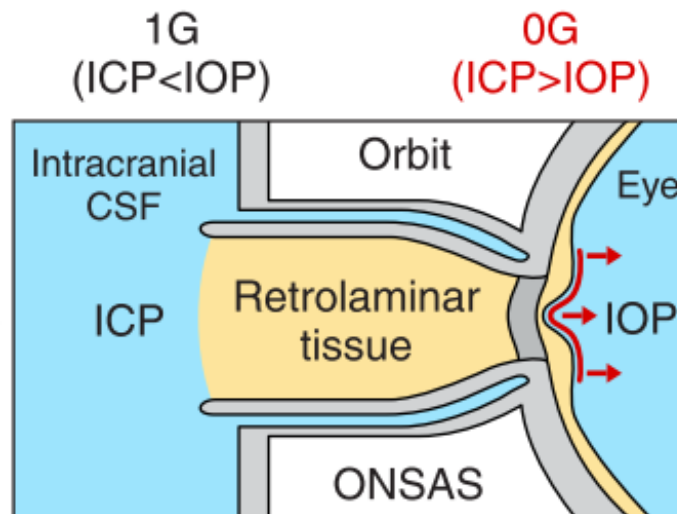
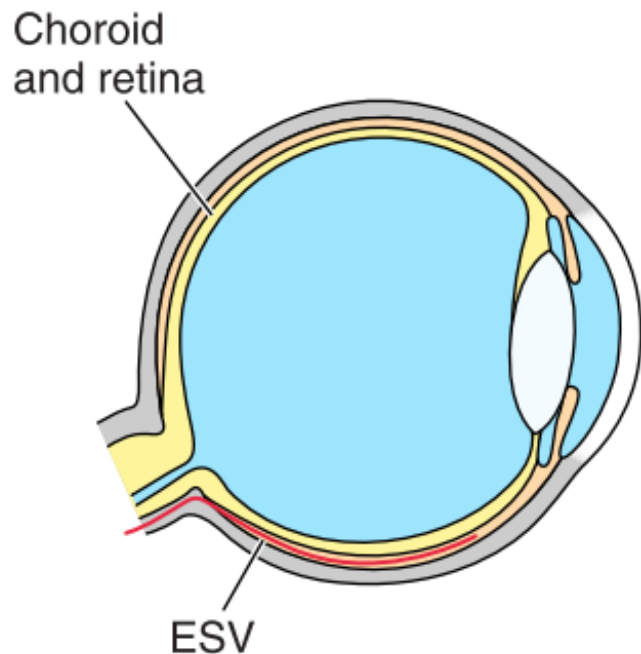
Увеличение объема желудочков головного мозга у космонавтов после длительного полета (МРТ)



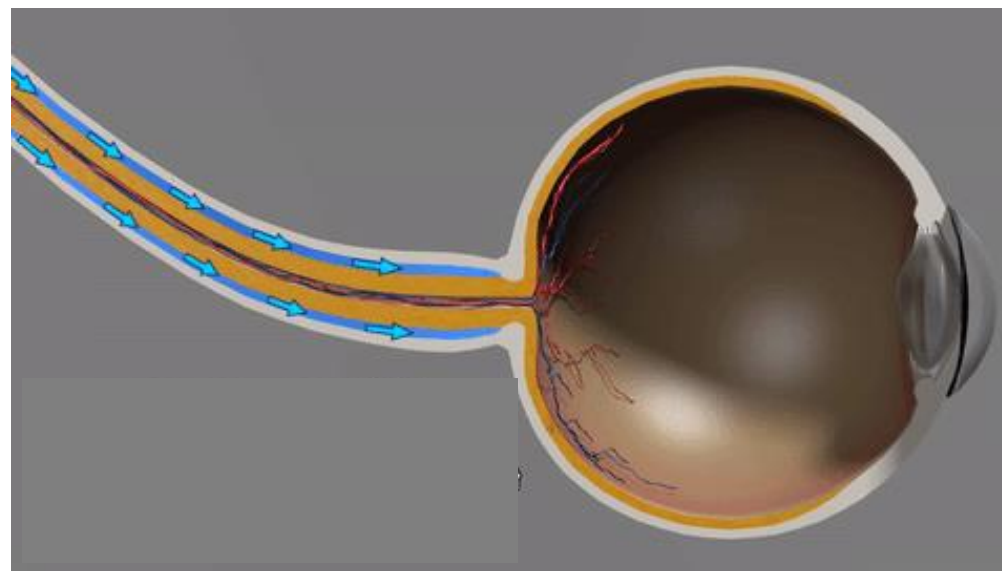
SPACEFLIGHT-INDUCED INTRACRANIAL HYPERTENSION AND VISUAL IMPAIRMENT: PATHOPHYSIOLOGY AND COUNTERMEASURES

Li-Fan Zhang and Alan R. Hargens

ICP – внутричерепное давление
IOP – внутриглазное давление

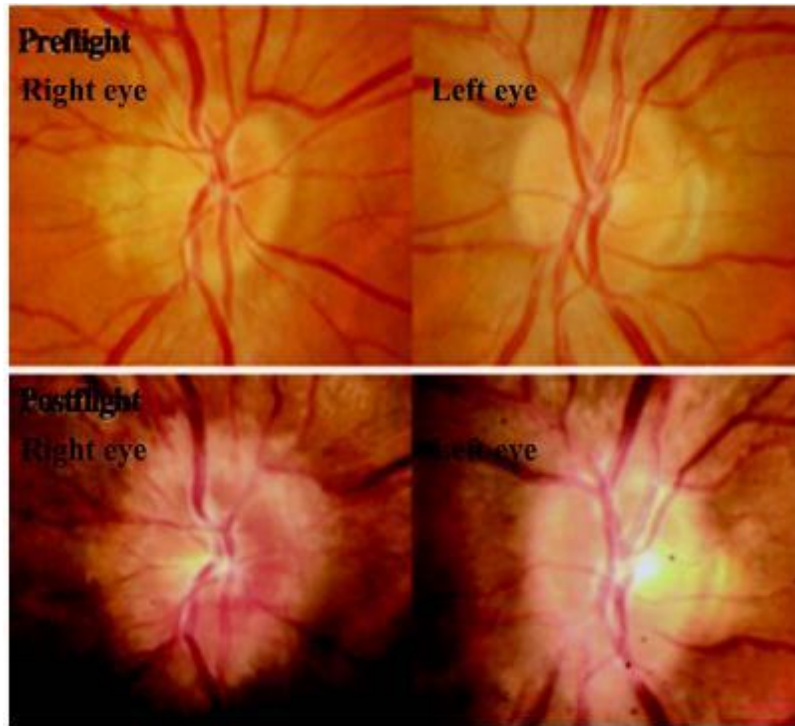


Повышение внутричерепного давления может служить причиной развития глаукомы и других нарушений органа зрения



Нарушения в органе зрения после длительного космического полета

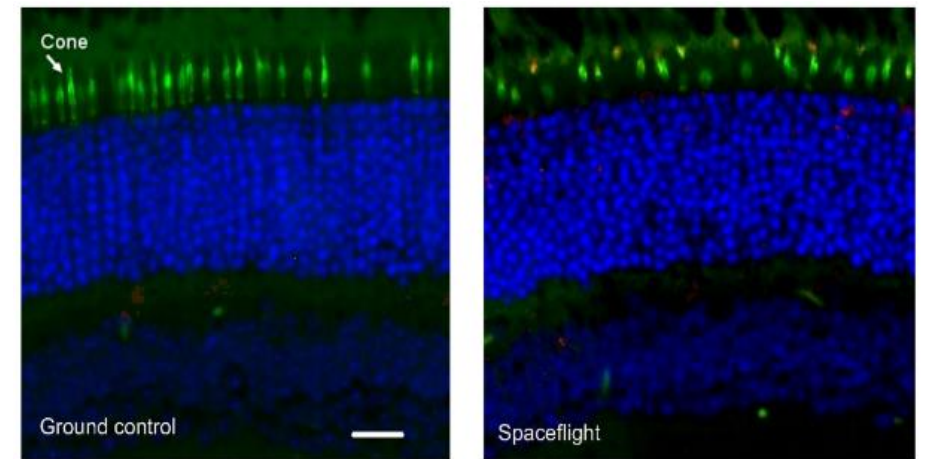
Космонавт после
длительного полета



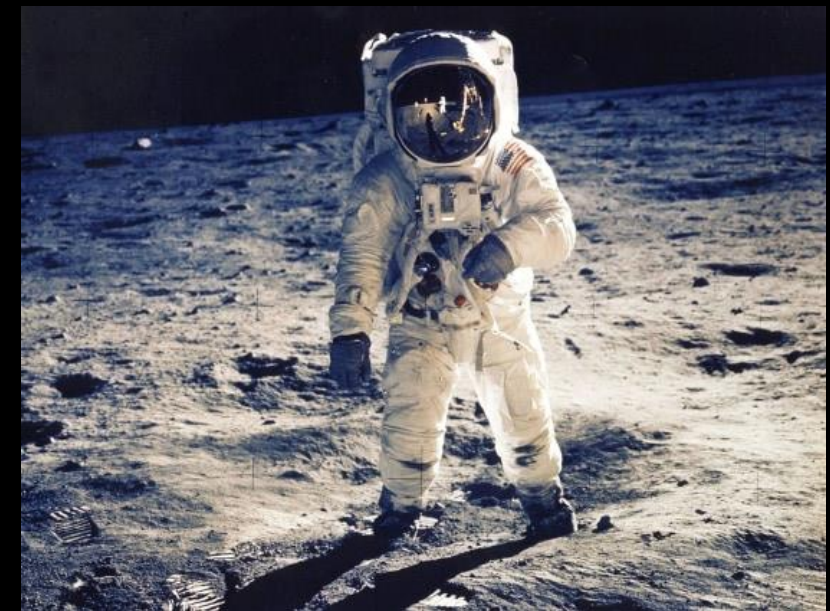
- Отек диска зрительного нерва
- Складки сосудистой оболочки
- Уплотнение глазного яблока
- Дальнозоркость

Mader et al. Optic disc edema, globe flattening, choroidal folds, and hyperopic shifts observed in astronauts after long-duration space flight. Ophthalmology. 2011 Oct;118(10):2058-69.

Мыши, 35-суточный полет:
нарушение структуры сетчатки глаза



Overbey et al. Spaceflight influences gene expression, photoreceptor integrity, and oxidative stress-related damage in the murine retina. Sci Rep. 2019 Sep 16;9(1):13304.



Apollo Lunar Astronauts Show Higher Cardiovascular Disease Mortality: Possible Deep Space Radiation Effects on the Vascular Endothelium

SCIENTIFIC REPORTS | 6:29901 | DOI: 10.1038/srep29901

Michael D. Delp¹, Jacqueline M. Charvat², Charles L. Limoli³, Ruth K. Globus⁴ & Payal Ghosh¹

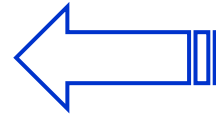
	Cardiovascular Disease	Cancer	Accident	Other
Reference Groups				
US Population Ages 55–64, (<i>n</i> = 338, 127)	27%	34%	5%	35%
Non-Flight Astronauts, (<i>n</i> = 35)	9%*	29%	53%*	9%*
Astronaut Groups				
All Flight Astronauts, (<i>n</i> = 42)	17%	31%	43%*	10%*
Low Earth Orbit Astronauts, (<i>n</i> = 35)	11%*	31%	49%*	9%*
Apollo Lunar Astronauts, (<i>n</i> = 7)	43%†‡	29%	14% [^]	14%

Table 2. Proportional mortality rates (%) due to cardiovascular disease, cancer, accidents and all other causes. Values are mean ± SE. *n* = the number of individual deaths per group. *Significantly different from the US population age 55–64 group, $P \leq 0.05$; †significantly different from non-flight astronaut group, $P \leq 0.05$; [^]significantly different from the non-flight astronaut group, $P \leq 0.1$; ‡significantly different from the low Earth orbit astronaut group, $P \leq 0.1$.

Как можно бороться с изменениями работы органов в условиях невесомости?

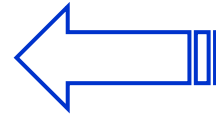
ИЗМЕНЕНИЯ

Опорно-двигательной системы (скелета и мышц, в том числе, дыхательных)



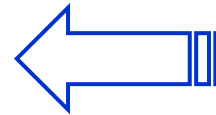
Физическая тренировка

Нервной системы (управление движением и др.)



Физическая тренировка

Сердечно-сосудистой системы



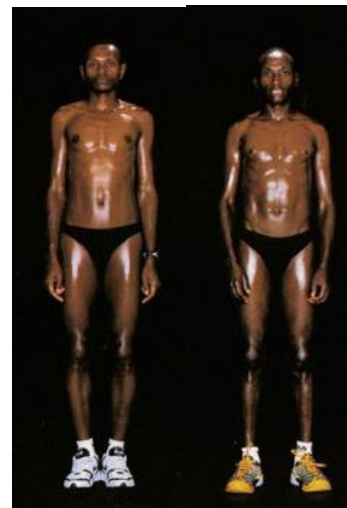
Создание разности давлений между верхней и нижней частями тела (как на Земле)

Почек (водно-солевой баланс в организме)

Многих гормональных систем

Два вида физической тренировки

Тренировка силы
(тяжелая атлетика)



Тренировка
выносливости
(марафон)



<i>Виды тренировки</i>	
тренировка силы	тренировка выносливости (аэробная)
использование очень больших нагрузок, повторяющихся ограниченное количество раз	использование относительно небольших нагрузок, повторяющихся многократно
<i>Эффекты</i>	
Гипертрофия мышц	увеличение активности митохондриальных ферментов
относительно небольшие изменения в системах дыхания и кровообращения	изменения в системах дыхания и кровообращения: увеличение жизненной емкости легких, плотности капилляров в мышцах, гипертрофия сердца, увеличение вагусного тонуса в покое

Как выглядят тела спортсменов: <http://bigpicture.ru/?p=461972>

Специальная физическая тренировка для космонавтов: бег + «продольная нагрузка» (60-70% от массы тела)



Expedition 13 Flight engineer Jeff Williams exercises on a treadmill aboard the International Space Station.

Нагрузочный костюм «ПИНГВИН» (он же «Регент»)





Компенсатор опорной разгрузки (Корвит): воздействие на рецепторы стопы = «чувство опоры»



Космическая медицина против земных заболеваний

Нагрузочный костюм Регент

Нарушения движений

Детский церебральный паралич

После инсульта
(нарушение кровоснабжения головного мозга)

«Компенсатор опорной разгрузки»

Другие заболевания, связанные с длительным пребыванием в постели



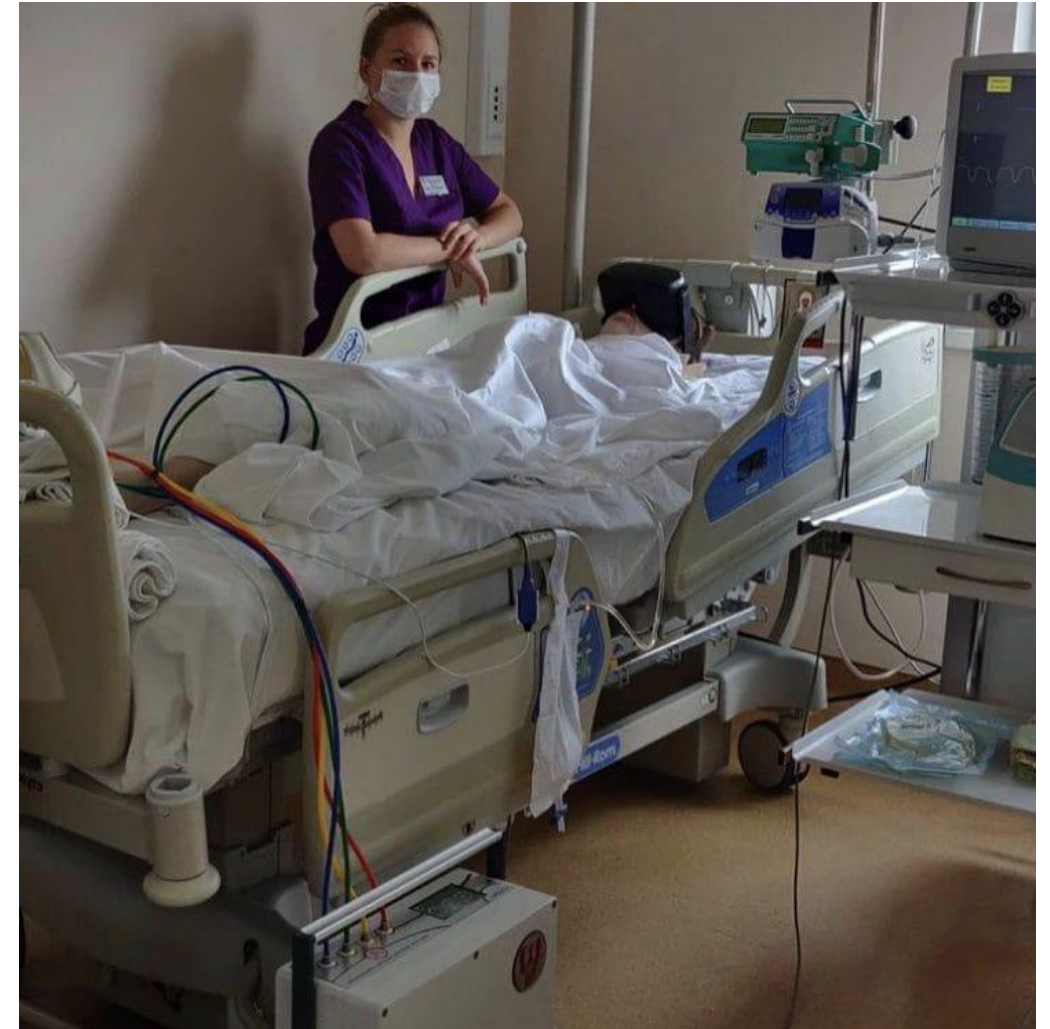


«Компенсатор опорной разгрузки»: *воздействие на рецепторы стопы = «чувство опоры»*



Использование аппарата «Корвит» в восстановительной медицине

Тренировочный комплекс: аппарат «Корвит», синхронизированный с системой виртуальной реальности (дополняет восприятие движения за счет активации зрительного входа)



Создание искусственной силы тяжести (ЦЕНТРИФУГА КОРОТКОГО РАДИУСА)



<http://isrc.imbp.ru/csr.html>

Создание центробежного ускорения
на уровне стоп до 5 G
(обычно используется режим 2 G)

ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ:

- улучшение кровоснабжения нижних конечностей
- ускорение реабилитации после переломов



Создание разности давлений между верхней и нижней частями тела (как на Земле)

Пневмовакуумный костюм «Чибис»



*Снижение давления
вокруг нижней
части тела*

*Такое воздействие
имитирует повышение
давления в сосудах ног*

ost.msu@gmail.com

Рекомендации

Мои подписки

Социальные сети

Журнал

Посмотреть позже

подписки

Добавить канал

Популярные на YouTube

Музыка

Спорт

Компьютерные игры

Кинозал

Телепередачи

В центре внимания

Каталог каналов

Управление подписками



tvroskosmos

Подписаться

20 249

Космическая одиссея XXI век

4-х серийный фильм рассказывает о Международной космической станции. Зрители впервые увидят «изнутри», как готовятся к полету космонавты, что чувствуют при старте на орбиту, как живут и работают...

5 видео • 3 часа 21 минута • 7 367 просмотров

Показать еще

32 понравилось, 0 не понравилось

▶ Воспроизвести все



Нравится



Отправить



Космическая одиссея XXI век 1 серия

Автор tvroskosmos 41 741 просмотр

1 серия: «Девять минут до космоса»

Зритель получает возможность вместе с космонавтами прожить последние часы перед стартом космического корабля, почувствовать, ч...



Космическая одиссея XXI век 2 серия

Автор tvroskosmos 22 980 просмотров

2 серия: «Номер с видом на звезды»

МКС – это самый большой внеземной суперконструктор, который строит все человечество. Внутренняя длина станции составляет почт...



Космическая одиссея XXI век 3 серия

Автор tvroskosmos 20 898 просмотров

3 серия: «Homo futurus»

МКС – это огромный научный институт, работающий на расстоянии 400 километров от Земли. Вместе с космонавтами, работающими на...



Космическая одиссея XXI век 4 серия

Автор tvroskosmos 20 558 просмотров

4 серия: «Привет, земляне!»

Космическое путешествие подходит к концу... Пора возвращаться на Землю. Как подготовиться к обратной дороге? Почему нужно обяз...