

# ПОСТУРАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ

# Базовые понятия: постуральный баланс, поза, постуральный контроль

- **Постуральный баланс человека** (*posture* с лат. – «положение, поза») - способность поддерживать и управлять общим центром тяжести тела (ОЦТ) в пределах базы опоры в целях предотвращения падения или потери равновесия при статическом и динамическом положениях
  - **Статический баланс** – способность поддерживать стабильное антигравитационное положение тела в состоянии покоя за счет поддержания положения ОЦТ в рамках доступной базы опоры.
  - **Динамический баланс** включает автоматические постуральные реакции в ответ на отклонение ОЦТ при движении тела.

- **«Поза», «выравнивание тела» и «осанка»**, по сути, обозначают одно и то же - относительное выравнивание частей тела, характеризующееся их расположением относительно друг друга и относительно базы опоры.
  - **Статическая осанка** – это привычная поза тела (или выравнивание частей тела) в неизменных условиях в различных положениях, включая положение стоя, сидя, лёжа или в определённом положении, связанном с выполнением конкретной задачи.
  - **Динамическая осанка** – это привычная поза тела при движении в ходе различных видов деятельности, включая ходьбу, подъём по лестнице, перенос груза, метание и езду на велосипеде, или при переходе из одного положения в другое, например из положения сидя в положение стоя.

- **Позный (постуральный) контроль** - эффективное и продуктивное управление телом в спокойном положении или при движении в различных условиях внешней среды и ситуациях, без потери равновесия и падения.
- **Основные задачи постурального контроля:**
  - поддержание определенного постурального положения (сидя, стоя) в условиях гравитации;
  - облегчение произвольных движений (например, при изменении позы);
  - возвращение (удержание) равновесия в ответ на внешние воздействия.

- **Функциональные компоненты постурального контроля**

- **Постуральная ориентация** – способность поддерживать соответствующую взаимосвязь между отдельными сегментами тела и между телом и окружающим пространством в условиях гравитации (**поддерживать и изменять позу**). Включает контроль выравнивания тела по отношению к гравитации, опорной поверхности, визуальному окружению и системе координат тела. Ключевую роль в постуральной ориентации играют антигравитационные мышцы.
- **Постуральная устойчивость** - способность поддерживать вертикальное положение тела и особенно ОЦТ внутри границ базы опоры, т.е. **поддерживать равновесие**. Обеспечивается познотоническими рефлексамии, которые по мере необходимости ограничивают степени свободы движений в суставах.

# Системный подход к поструральному балансу

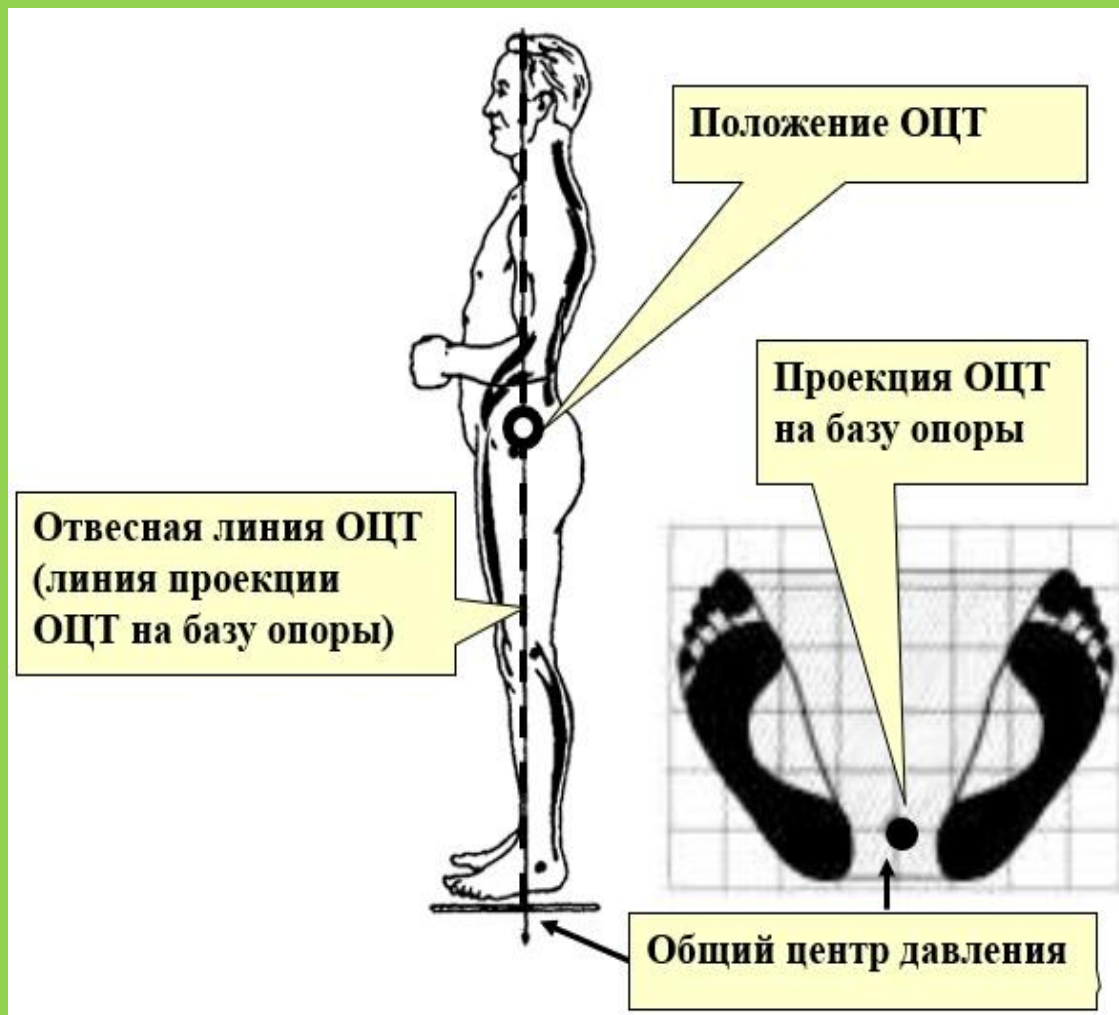
- Для поддержания пострурального баланса необходимо динамическое взаимодействие между различными системами организма
  - **Сенсорные системы** - зрительная, соматосенсорная (проприоцептивная) и вестибулярная, представляющие информацию о положении и движении тела, особенно головы, о внешней среде и ее движениях относительно тела.
  - **Мышечноскелетная (ОДА) и нервномышечная системы**, осуществляющие моторное планирование и обеспечивающие произвольные или рефлекторные реакции в ответ на сенсорную информацию.
  - **Когнитивная система** – интерпретирует сенсорную информацию, выбирает и координирует соответствующий моторный ответ.

# Ресурсы, необходимые для постурального контроля



# Биомеханические компоненты пострального контроля

- **База опоры** – область соприкосновения тела с опорной поверхностью, ограниченная внешним краем стоп включая заднюю и боковую стороны пяток, самые выступающие части боковой стороны пятого пальца и передней стороны большого пальца
- Уменьшение базы опоры или нестабильная опора приводят к снижению устойчивости вертикального положения.





## Масс-инерционные характеристики тела

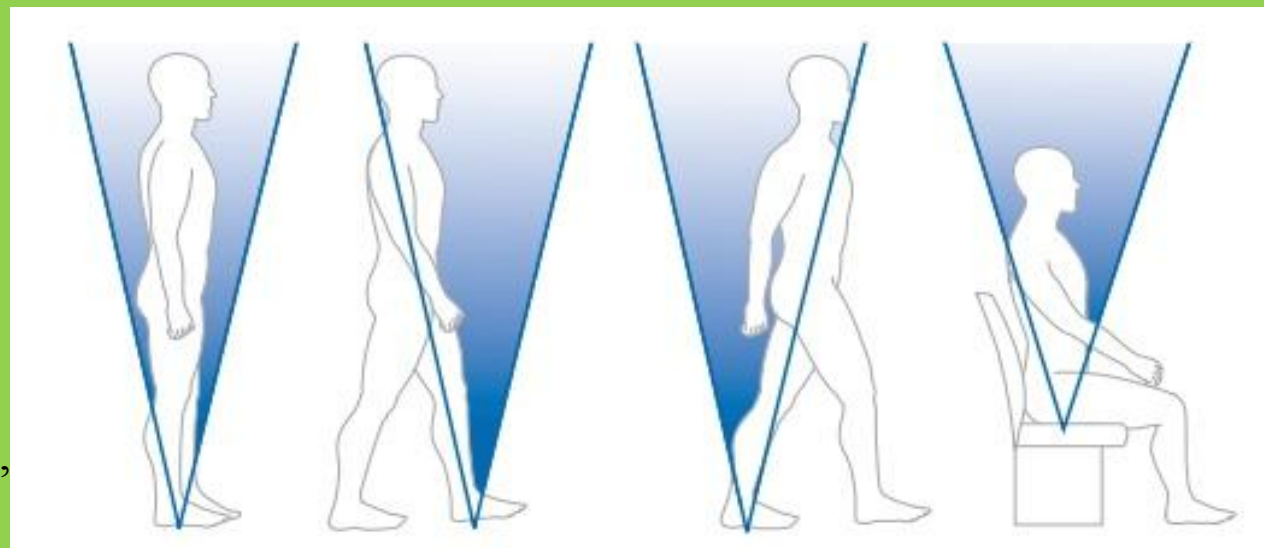
- **ОЦМ** – это теоретическая точка, расположенная в точном центре массы тела. Положение ОЦМ зависит от массы каждого сегмента тела и его расположения в пространстве.
- **ОЦД** - точка на базе опоры, в которой действует сила реакции опоры. Из этой точки выстраивается область осаночных (позных) колебаний тела.
- **ОЦИ** тела – точка приложения всех фиктивных сил инерции.
- **ОЦТ** тела – точка приложения равнодействующих сил тяжести всех составляющих тело звеньев



**Пределы устойчивости тела** - наибольшее расстояние, на которое человек может отклонить проекцию ОЦТ на опору, не теряя равновесия и не меняя базу опоры. Предел устойчивости имеет конусообразную форму – **конус устойчивости**

- **Границы в положении стоя:** около 12 градусов отклонения в передне-заднем направлении и 16 градусов в поперечном (латеральном) направлении.

С позиций конуса устойчивости, равновесие – это не определенное положение тела в пространстве, а пространство, определяемое базой опоры и лимитируемое подвижностью суставов, мышечной силой, а также сенсорной информацией.



# Значение выравнивания частей тела (осанки) для пострурального баланса

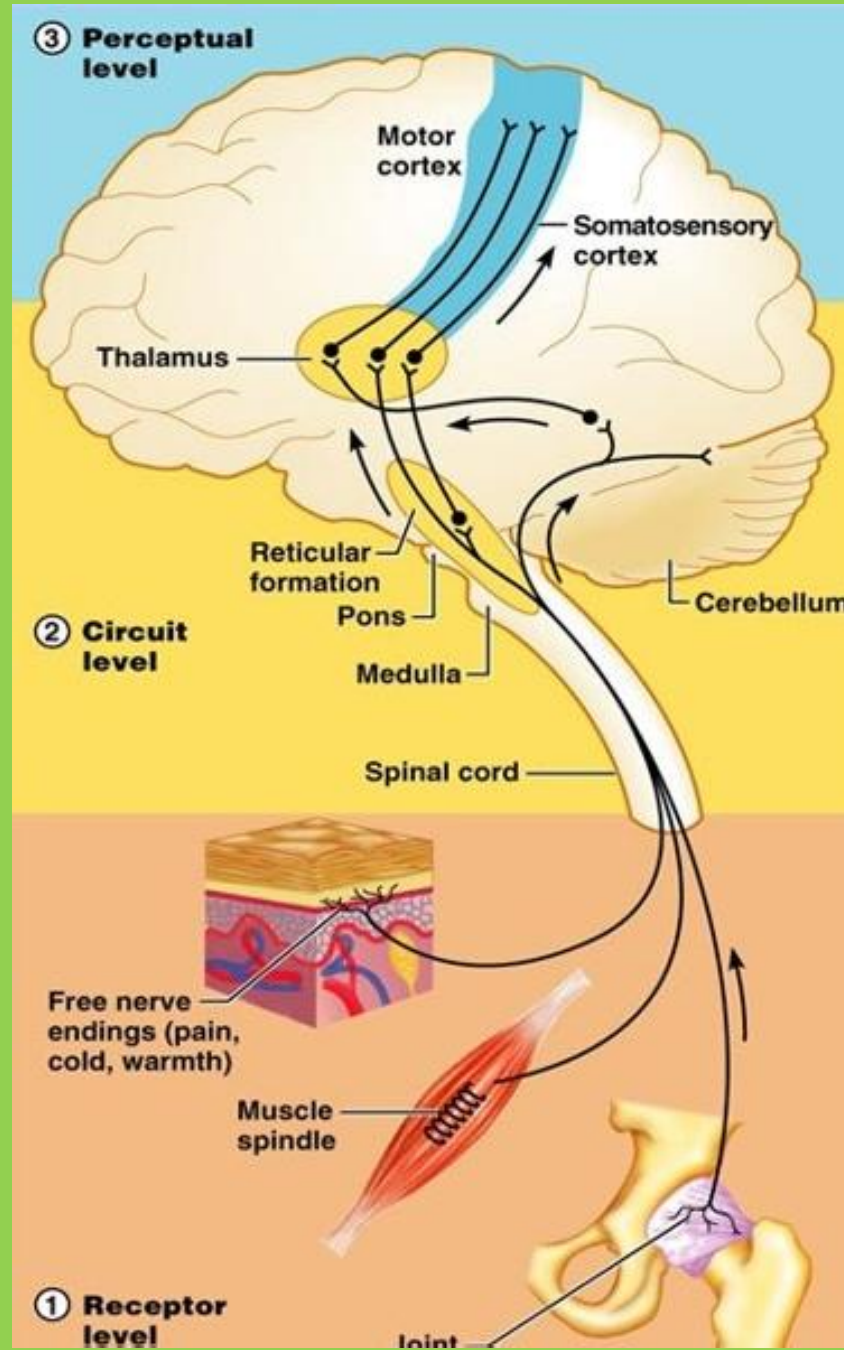
- **Идеальное выравнивание частей тела**, также известное как **хорошая (нейтральная) осанка, идеальная осанка, идеальное выравнивание** – это положение тела, при котором ОЦТ расположен над базой опоры. Это положение мышечного и скелетного равновесия.
- **Значение идеального выравнивания тела**
  - Сведение к минимуму риска травмы или постепенного деформирования опорных структур во всех функциональных положениях.
  - Обеспечение оптимального функционирования мышц, а также органов грудной и брюшной полости.
  - Минимизация затрат энергии для поддержания сбалансированного выравнивания.
  - Обеспечение эффективного механического взаимодействия и уменьшение износа суставов.
  - Статическое выравнивание тела и динамические отклонения оказывают влияние на вертикальную устойчивость тела.

# Сенсорные стратегии (сенсорные компоненты баланса)

- **Три сенсорные системы:** соматосенсорная, зрительная и вестибулярная. Ни одна из них не предоставляет всю необходимую информацию. Каждая сенсорная имеет свою роль в поддержании баланса.
- В хорошо освещённой среде и твёрдой базой опоры здоровый человек получает до 70% информации, необходимой для постурального контроля от соматосенсорной системы, 10% - зрительной системы и 20% - вестибулярной.
- При нестабильной опорной поверхности увеличивается значение зрительной и вестибулярной информации, а соматосенсорной – уменьшается.

# Соматосенсорная система

- Предоставляет информацию об ориентации и движении тела относительно опорной поверхности и положении частей тела относительно друг друга - то есть занимаемую позу.
- Рецепторы расположены в суставах, связках, сухожилиях и мышцах нижних конечностей, спины и шеи (**проприорецепторы**) а также на опорной поверхности стоп (**экстерорецепторы**).
- Ведущее значение для поддержания статического баланса при опоре на твердую и неподвижную поверхность или в инициировании поструральных реакций в ответ на внезапное отклонение горизонтальной опорной поверхности.

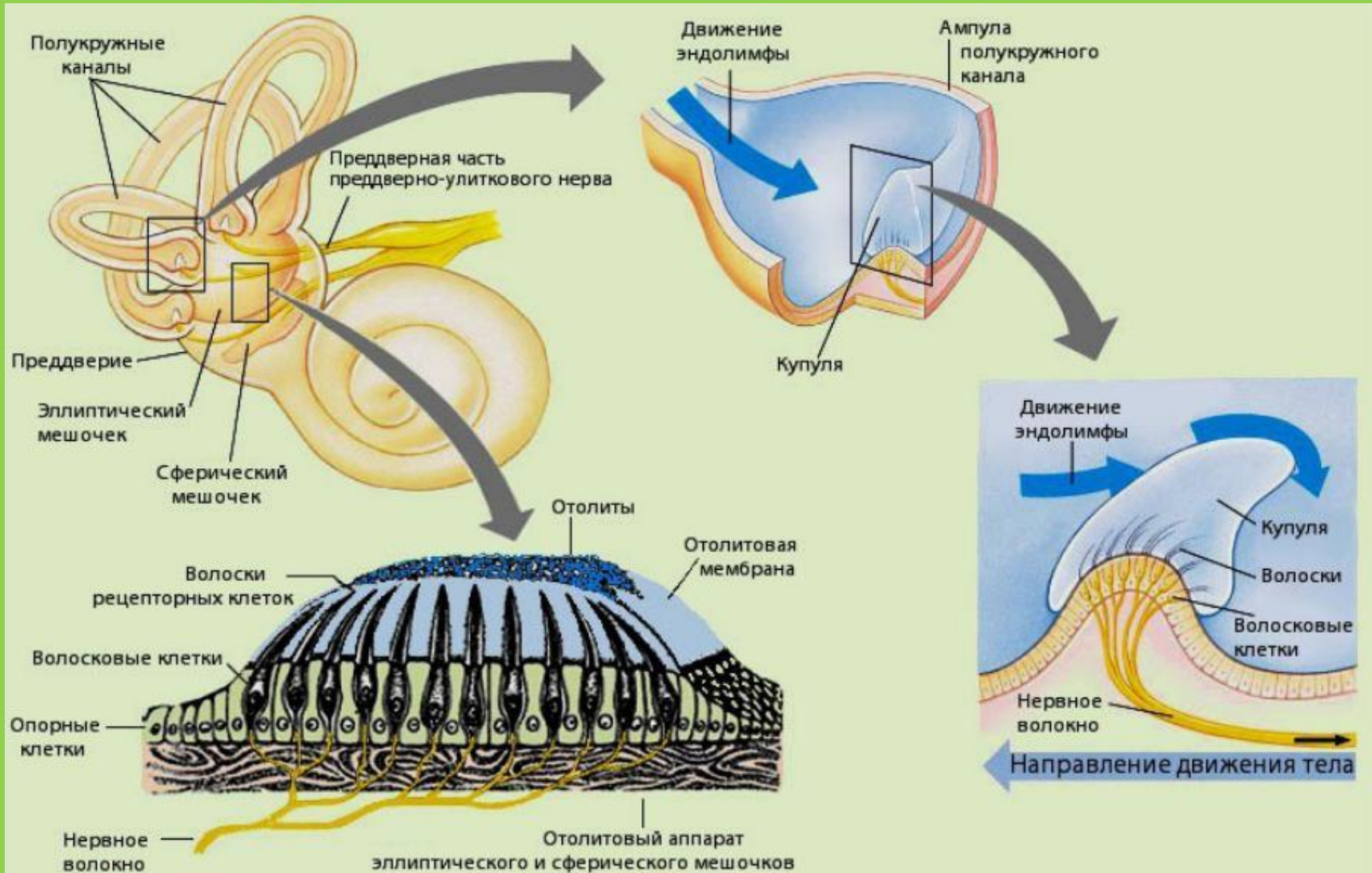


# Зрительная сенсорная система

- Предоставляет информацию об ориентации и движении тела относительно физического окружения, а также об относительном движении окружающих объектов, что необходимо для обеспечения ориентации тела в пространстве и поддержания постурального выравнивания тела и равновесия.
- Необходима для полноценного функционирования реактивного и проактивного постурального контроля.
- Значение увеличивается при нарушениях проприоцепции.

# Вестибулярная сенсорная система

Рецепторы вестибулярного аппарата расположены во внутреннем ухе: в ампулах трёх полукружных канальцев и в мешочках преддверия (отолитовый орган) – овальный мешочек (утрикулус) и круглый мешочек (саккулус).



## Вестибулярная сенсорная система

- Выполняет как сенсорную, так и моторные функции.
- **Сенсорный компонент** предоставляет информацию о положении и движении тела в пространстве.
- **Статические рецепторы**
  - **Утрикулус** - линейное ускорение и замедление в горизонтальной плоскости
  - **Саккулюес** - линейное ускорение, замедление и направление силы тяжести в вертикальной плоскости.
  - В результате стимуляции отолитовых органов происходит сокращение постуральных мышц-разгибателей.
  - Дисфункция приводит к трудностям с поддержанием статической позы.



### • **Кинестетические рецепторы**

- Полукружные каналы реагируют на угловые и вращательные ускорения головы в трёх плоскостях.
- Предоставляют информацию о динамических движениях, что позволяет выровнять голову и тело в пространстве и имеет решающее значение для контроля взгляда и движений глаз.



- Вестибулярная система играет доминирующую роль при наличии конфликта между проприоцептивными и зрительными сигналами и для поддержания постуральной устойчивости во время ходьбы.
- В целом, вестибулярная система выполняет четыре **основные функции**:
  - распознавание и восприятие движений тела,
  - ориентация тела по вертикали,
  - контроль положения ОЦТ,
  - стабилизация положения головы.

# Виды (компоненты) постурального контроля

Постуральный контроль  
спокойного стояния (регуляция  
позы)

Реактивный или адаптивный  
контроль (в ответ на возмущения)

Преднастройка позы  
(проактивный баланс)

Произвольный контроль

# Регуляция позы (постуральный контроль спокойного стояния, статический постуральный контроль)

- Осуществляется антигравитационной мускулатурой (мышцами – разгибателями позвоночного столба, тазобедренных и коленных суставов) + рефлексy на растяжение мышц передней и задней поверхности голени.
- **Триггерные афферентные системы:** соматосенсорная – проприорецептивная + опорная сенсорная афферентация от поверхностных и глубоких тактильных рецепторов подошвенной поверхности стоп + зрительная информация и информация с проприоцепторов сухожилий глазодвигательных мышц.
- **Нервные центры** - двигательные центры ствола головного мозга + нисходящий контроль медиальных отделов (червя) мозжечка и соматосенсорной системы.

# Реактивный позный контроль

- Является механизмом регуляции по рассогласованию (отклонению) реализуемым с участием обратной связи.
- Направлен на восстановление безопасного положения ЦД за счет изменения позы.
- **Механизм:** активация нервно-мышечных синергий за счет **вестибулярной афферентной импульсации** о линейных и угловых изменениях положения головы. Зрительная и проприоцептивная системы выполняют вспомогательную роль .
- Обеспечивается выбором позной стратегии.
- **Центр** - базальные ганглии.

# Преднастройка позы (проактивный контроль)

- Состоит в изменении позы, предшествующему произвольному движению в виде предвосхищающих реакций, которые предупреждают возможные угрозы равновесию.
- Заключается в перераспределении мышечного тонуса и, соответственно, позы так, что не смотря на совершение движения, ОЦТ не выходит за пределы площади опоры.
- Является механизмом **опережающего контроля** (регуляция по прогнозированию).
- **Центры:** промежуточные отделы мозжечка и лобные структуры головного мозга.

# Произвольный позный контроль

- Необходим в усложненных условиях сохранения постурального равновесия (например при ограничении сенсорной информации).
- Является наиболее сложной формой контроля - требует произвольного управления, наличия смысловой программы действия, формирующейся в ассоциативных зонах мозга, с участием базальных ганглиев и мозжечка, моторных зон коры головного мозга.
- Запускается зрительным сигналом об изменении или усложнении условий для сохранения равновесия.

# Мышечно-скелетный компонент баланса

## Основные мышечные группы

- Постуральная устойчивость прежде всего зависит от скоординированных действий между туловищем и нижними конечностями.
- Движения в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах определяются силой тяги, развиваемой соответствующими мышцами, но также зависят и от косвенных, инерционных сил соседних суставов.



# Автономные постуральные реакции (стереотипные постуральные стратегии)

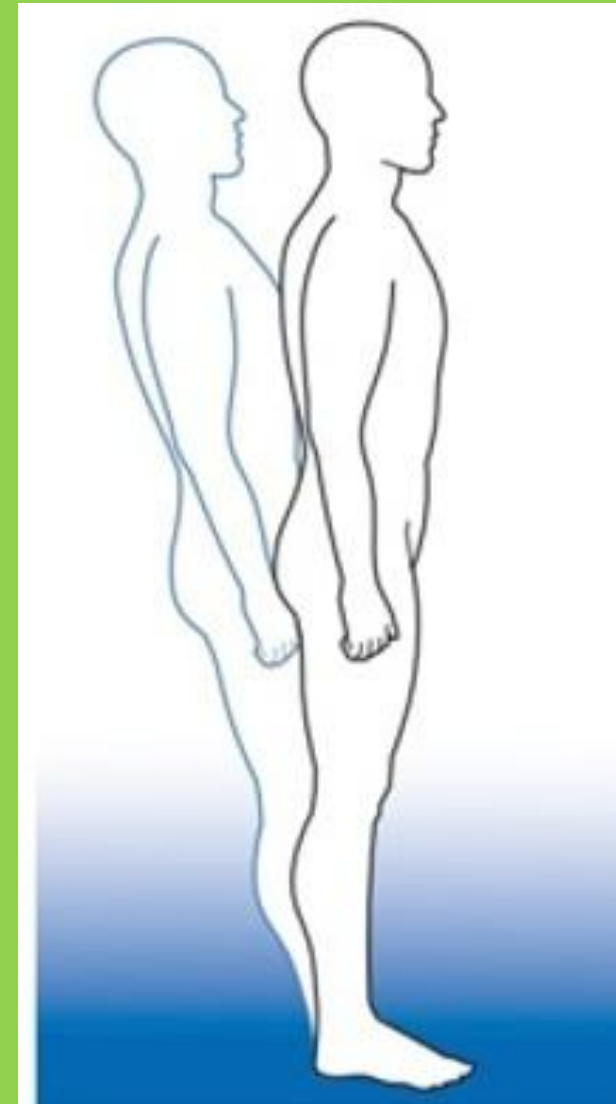
- В произвольных движениях **стратегия** – это путь, который был выбран для достижения цели. Например, траектория движения руки для дотягивания до предмета.
- Для осуществления стратегии используется определенный паттерн мышечной активности – **мышечные синергии**.
- Для поддержания постурального баланса необходимы постоянные корректировки (подстройки) положения ОЦТ относительно базы опоры за счет: **рефлекторных ответов, стереотипных постуральных стратегий и произвольных реакций**.
- **Постуральные стратегии** – это организованные стереотипные моторные ответы на внезапные возмущающие воздействия, направленные на поддержание или восстановление постурального баланса.
- Постуральные стратегии возникают до произвольных движений и после рефлекторных ответов.



- Три базовые постуральные стратегии, которые вовлекают нижние конечности и нижнюю часть туловища: голеностопная, тазобедренная и шаговая.
- **Факторы, определяющие выбор наиболее эффективной стратегии для удержания равновесия в ответ на возмущающее воздействие:**
  - скорость и интенсивность возмущающего воздействия,
  - характеристики опорной поверхности,
  - величина смещения ОЦТ.

# Голеностопная стратегия

- Небольшие медленные колебания ОЦТ при стоянии на ровной твёрдой поверхности компенсируются движениями в голеностопном суставе.
- Начинается с сокращения сгибателей или разгибателей стопы с последующим вовлечением мышц бедра и туловища. Верхняя и нижняя части тела отклоняются в одном направлении.
- Условия для эффективного функционирования голеностопной стратегии:
  - достаточная амплитуда движений в голеностопном суставе,
  - адекватная сила сгибателей и разгибателей стопы,
  - интактная проприорецепция стоп и голеностопного сустава,
  - твердая и широкая площадь опоры.



- Отклонению тела вперед противодействует сокращение икроножной мышцы, которая тянет тело кзади.
- Заднее отклонение тела компенсируется сокращением передней большеберцовой мышцы, которая тянет тело кпереди.



Оклонение  
вперед

Оклонение  
кзади

## Голеностопная стратегия

Паравертебральные  
мышцы

Задняя группа  
мышц бедра

Икроножная  
мышца



Абдоминальные  
мышцы

Четырехглавая  
мышца бедра

Передняя  
большеберцовая  
мышца



# Тазобедренная стратегия

- Голеностопная стратегия не эффективна при достаточно большом или быстром отклонении ОЦТ, особенно на неровной, узкой или движущейся поверхности, а также при отклонении ОЦТ в латеральном направлении. (Например, стоя в автобусе, который быстро разгоняется.)
- Условия для эффективного функционирования тазобедренной стратегии:
  - достаточная подвижность тазобедренного сустава и сила мышц,
  - интактная проприорецепция тазобедренного сустава и туловища.



- Стратегия начинается с активации мышц бедра и туловища, с последующим вовлечением мышц голеностопного сустава.
- Верхняя и нижняя части туловища движутся в противоположных направлениях.
- Например, при быстром смещении ОЦТ вперед происходит быстрое движение верхней части туловища кзади, а таза и нижних конечностей – вперед.



## Тазобедренная стратегия

Абдоминальные  
мышцы

Четырехглавая  
мышца бедра



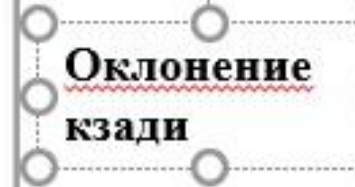
Оклонение  
вперед

Паравертебраль-  
ные мышцы

Задняя группа  
мышц бедра



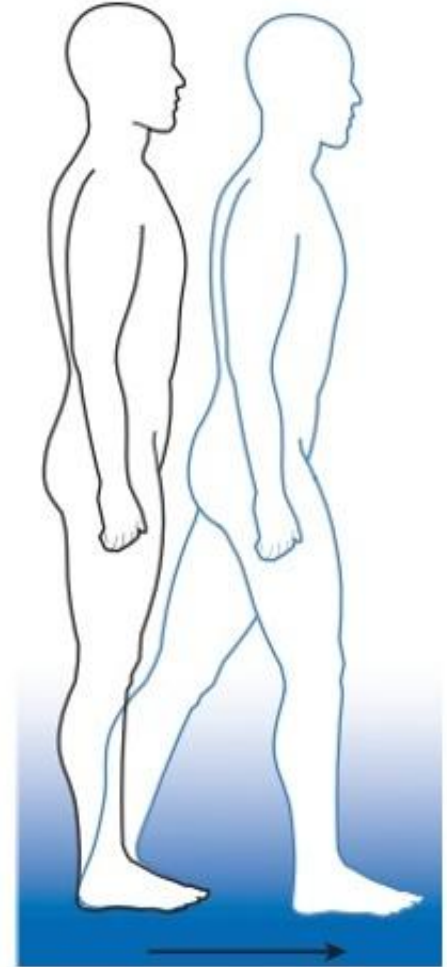
Оклонение  
кзади



# Шаговая стратегия

- Применяется при существенном отклонении положения ОЦТ, когда он приближается к границам базы опоры или выходит за ее пределы..
- Условия для эффективного функционирования шаговой стратегии: достаточная подвижность суставов нижней конечности и сила мышц нижней части туловища, особенно на опорной стороне, а также способность нервной системы инициировать и координировать движения.

**Шаговая стратегия** - перемещение ОЦТ за счет шага, увеличивающего базу опоры. Постуральный контроль затем подстраивается к новому положению.



# Особенности постурального контроля у детей

- В детском возрасте происходит развитие координационных способностей и постурального контроля, которые тесно взаимосвязаны.
- Обучение предвосхищающим постуральным стратегиям и координации позы и локомоций начинается с самостоятельного сидения и ползания.
- Дети 4-6 лет способны на более выраженные и переменные ответы на различные возмущающие воздействия в фазу опоры при ходьбе, чем дети более раннего возраста.

# Особенности постурального контроля у пожилых

## Возрастные изменения компонентов постурального баланса

Система	Компонент	Возрастные изменения и их последствия
Сенсорные	Зрительная	<ul style="list-style-type: none"><li>• Зрительная система имеет ведущее значение у пожилых людей в поддержании баланса</li><li>• Снижение остроты зрения, сужение полей зрения, снижение способности восприятия глубины пространства и контраста, снижение чувствительности к визуальному потоку</li><li>• Снижение остроты зрения и другие негативные изменения искажают зрительную информацию, повышают риск падений, снижают безопасность подъёма и спуска по лестнице</li></ul>
	Вестибулярная	<ul style="list-style-type: none"><li>• Уменьшенное количество рецепторных клеток, нейронов в вестибулярных ядрах, диаметра и степени миелинизации нервных волокон</li><li>• Снижение функции вестибулярной системы коррелирует с увеличением постуральных колебаний тела на податливой опорной поверхности с закрытыми глазами</li></ul>
	Соматосенсорная	<ul style="list-style-type: none"><li>• Снижение вибрационной, проприоцептивной, тактильной и кинестетической чувствительности, ощущения положения суставов.</li><li>• Коррелирует с усилением постуральных колебаний тела, падениями и нарушением мобильности</li></ul>



<b>Моторный</b>	<b>Двигательная координация</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Нарушение центральных механизмов постурального контроля</li> <li>• Увеличенные постуральных колебаний ОЦТ и ОЦД при спокойном стоянии</li> <li>• Замедление (увеличение латентного периода) и уменьшение выраженности реактивных постуральных ответов при спокойном стоянии и ходьбе вследствие увеличения сенсорных порогов для постуральных стимулов (с увеличенной продолжительностью компенсаторных реакций)</li> <li>• Увеличение количества шагов предпринимаемых для восстановления постурального баланса при умеренных отклонениях</li> <li>• Замедление и дезорганизация проактивных постуральных реакций</li> </ul>
<b>Когнитивный</b>	Высший уровень сенсорной интеграции	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение способности переключаться с одного сенсорного входа на другой для контроля позы</li> <li>• Нарушения вестибуло-окулярных и оптокинетических рефлексов</li> </ul>
	Внимание	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Осуществление постурального контроля требует повышенного внимания, что отражающееся в более низкой производительности в ситуациях с двойным заданием</li> <li>• По мере усложнения постуральной задачи снижается эффективность выполнения когнитивных задач.</li> </ul>
<b>Мышечно-скелетный</b>	Мышечная сила	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Уменьшение мышечной массы</li> <li>• Снижение силы и скорости сокращения мышц снижение способности создавать быстрый крутящий момент в голеностопном суставе</li> <li>• Снижение мышечной силы коррелирует с потерей равновесия</li> </ul>

# Причины нарушений баланса

Система	Область	Область повреждения	Последствия
Сенсорная	Периферическая	Рецепторы зрительной, вестибулярной систем; Рецепторы соматосенсорной системы (особенно нижних конечностей)	Снижение способности воспринимать положение и движения тела и головы в статике и динамике
	Центральная	Корковые области, обеспечивающие интерпретацию и интеграцию сенсорной информации	Снижение способности интегрировать информацию из различных сенсорных источников, воспринимать пространство
Моторная	Периферическая	Мышцы, суставы, двигательные единицы	Снижение способности выполнять постуральные стратегии или реагировать на постуральные колебания
	Центральная	Структуры ЦНС, отвечающие за планирование, координацию и моторный контроль	Снижение способности планировать и координировать постуральный контроль в статике и динамике
Когнитивная	Центральная	Структуры ЦНС и лимбическая система, участвующие во внимании, бодрствовании	Снижение способности запоминать прошлые успешные стратегии или оценивать и реагировать на потенциально опасные ситуации