

Патологическая биомеханика

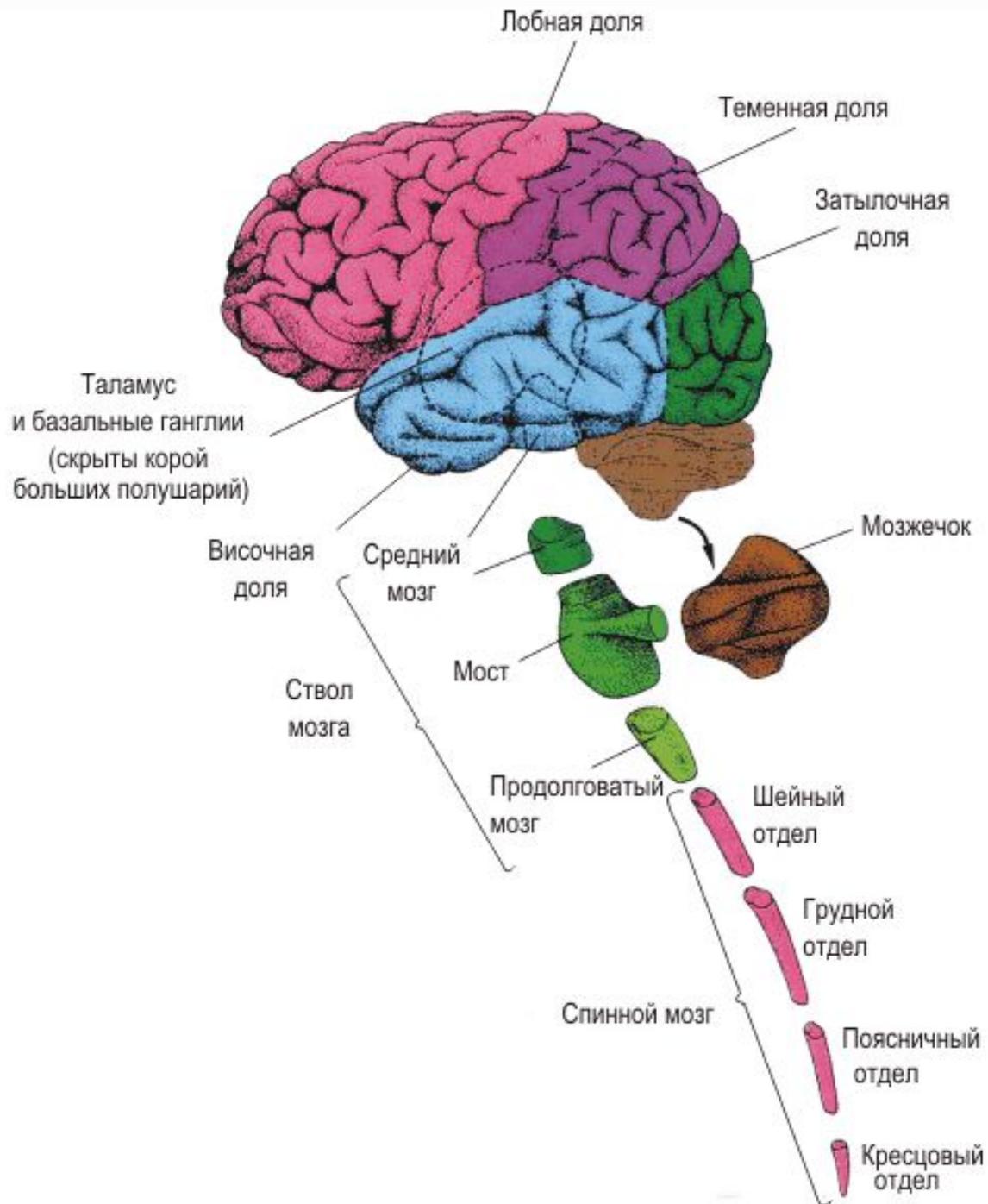
1. Биомеханика патологической походки

Основные требования для осуществления нормальной ходьбы

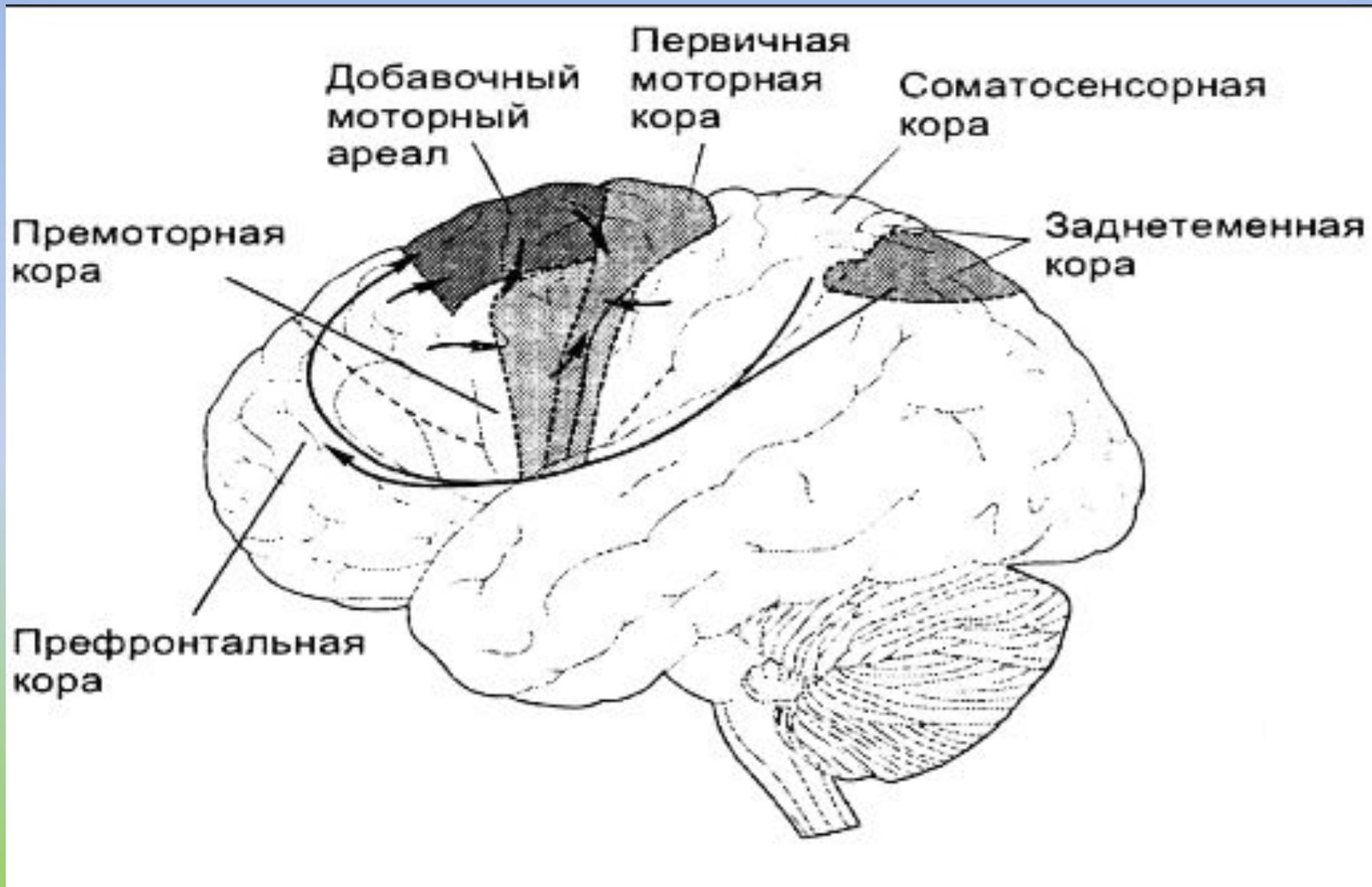
- Способность обеих ног поддерживать вес тела.
- Способность поддерживать статическое и динамическое равновесие (особенно во время периода одиночной опоры).
- Достаточная сила тяги мышц для обеспечения движения конечностей и продвижения туловища; способность модулировать силу тяги.
- Переносимая нога должна переноситься в положение, обеспечивающее дальнейшую поддержку тела.
- Способность нервной системы инициировать, контролировать и прерывать шагательные движения.
- Получение информации об окружении, состоянии ОДА (сохранность проприоцепции, вестибулярной и зрительной систем), способность интегрировать информацию.
- Способность перестраивать движение в зависимости от цели, изменения окружения и т.д.

Нервные структуры, участвующие в акте ходьбы

- **Спинальный генератор ходьбы**
 - Обеспечивает генерацию паттерна ходьбы – попеременное сокращение сгибателей и разгибателей нижних конечностей.
- **Нейроны дорсолатеральной части покрышки среднего мозга**
 - Контролируют спинальный генератор ходьбы.
 - Способствуют инициации акта ходьбы.
 - Обеспечивают модуляцию паттерна ходьбы в сложных ситуациях (например, при поворотах, препятствиях и т.п.)
- **Мозжечок**
 - Контролирует скорость и амплитуду движений, движения туловища и конечностей.
 - Корректирует движения при отклонении от запланированного.
 - Контролирует постуральные синергии.
 - Принимает участие в высшем уровне регуляции ходьбы.



- **Высший уровень регуляции ходьбы**
 - Обеспечивается корой больших полушарий и близлежащей подкоркой.
 - Обеспечивает адаптацию постуральных и локомоторных синергий к конкретным условиям, положению тела в пространстве, намерениям человека.
 - Включает **2 подсистемы**
 - Звенья основного корково-подкоркового круга (различные отделы коры – базальные ганглии – таламус – дополнительная моторная кора) – обеспечивают подготовку и реализацию сложных автоматизированных, упорядоченных локомоторных и постуральных синергий, выбор и переключение программы ходьбы при изменении условий.
 - Премоторная кора – обеспечивает реализацию менее автоматизированных движений, инициируемых и реализующихся под влиянием внешних стимулов.



Классификация нарушений ходьбы (J. Jancovic et al., 2000)

- гемипаретическая
- парапаретическая
- переваливающаяся
- степаж
- petits pas
- апрактическая
- пропульсивная (или ретропульсивная)
- атактическая (мозжечковая)
- дистоническая
- хореическая
- анталгическая
- «сенсорная» (при сенсетивной атаксии)
- вестибулопатическая
- истерическая (психогенная)

Классификация нарушений ходьбы на основе патофизиологических данных

(J. Nutt, 1997)

- расстройства чувствительности
- расстройства ориентации (вследствие нарушения обработки первичной сенсорной информации и формирования внутренней схемы тела и окружающего пространства)
- мышечная слабость (параличи)
- нарушение соразмерности мышечных усилий (например, при паркинсонизме и мозжечковой атаксии)
- нарушение организации и инициации постуральных и локомоторных синергий
- нарушение адаптации синергий к условиям окружающей среды и внутренним целям

Структурная классификацию нарушений ходьбы (J. Nutt et al., 1993)

- **Расстройства низшего уровня** - вызваны поражением ОДА и периферических нервов, а также соматосенсорными, зрительными и вестибулярными расстройствами. К ним также относятся эффекты вторичной мышечной детренированности, контрактуры конечностей, анкилозы межпозвонковых суставов и уменьшенная подвижность тазового пояса, распространенная среди пожилых людей
- **Расстройства среднего уровня** - вызваны поражением пирамидных трактов, мозжечковой атаксией, экстрапирамидными расстройствами. Клинические подтипы включают гемипаретическую походку, спастическую (параплегическую) походку, хореическую походку, дистоническую походку, спинальную атаксию и мозжечковую атаксию.

- **Расстройства высшего уровня** - сложные, интегративные нарушения двигательного контроля, связанные с поражением лобных долей, базальных ганглиев, среднего мозга, таламуса и их связей. Являются «первичными» - непосредственно вызваны нарушением процессов выбора и инициации локомоторных и постуральных синергий, а не их реализацией; не зависят от какой-либо другой неврологической патологии.

Характеристика нарушений функции ходьбы, возникающие на высшем уровне

- **Отсутствие или недостаточность корректирующих действий** при возникновении постуральных расстройств. Пациенты «падают как бревно» или делают слабые попытки собственного спасения. Корректирующие действия могут включать неадекватные движения конечностями или постуральные реакции.
- **Неадекватные или вычурные позы для ног**, постуральный синергизм и взаимодействие с окружающей средой (например, перекрещивание ног во время ходьбы или поворотов; наклоны в сторону находящейся впереди ноги во время поворота или наклон кзади при попытке встать из кресла или кровати).
- **Парадоксальные двигательные феномены**, спровоцированные в значительной степени средовыми и эмоциональными воздействиями.
- **Затруднения и «застывания»**, часто в ситуациях, когда пациент встречает незначительное препятствие (например, дверной порог).

Нарушения функции ходьбы, возникающие на низшем и среднем уровне

- Нарушения эмоций, когнитивных функций и взаимодействия с окружающей средой минимальны или отсутствуют.
- Клинические характеристики нарушений ходьбы не изменяются значительно в процессе перехода от одного положения или движения к другому.
- Компенсаторные изменения походки не носят характер неадекватных или плохо приспособленных.

Модифицированная классификация J. Nutt et al. (J.G.Nutt, C.D.Marsden, P.D.Thompson, 1993, с дополнениями, О.С.Левин, 2008) - в зависимости от этиопатогенетических механизмов и уровня нарушения генерации локомоторных и постуральных синегрий

1. Нарушения при поражениях ОДА и периферических нервов, нарушения афферентации (спинального уровня регуляции ходьбы):
 - 1.1. Нарушения ходьбы при поражениях костно-суставной системы (артрозы, артриты, остеохондроз позвоночника, сколиоз и др.), которые часто имеют анталгический характер.
 - 1.2. Нарушения ходьбы при дисфункции внутренних органов и систем (тяжелая дыхательная и сердечно-сосудистая недостаточность, облитерирующее поражение артерий нижних конечностей и др.).
 - 1.3. Нарушения ходьбы при дисфункциях афферентных систем (сенситивная, вестибулярная, зрительная атаксии, мультисенсорная недостаточность).

2. Нарушения ходьбы, вызванные поражением двигательных структур: пирамидной, парапирамидной, мозжечковой и экстрапирамидной систем (нарушения стволово-мозжечкового уровня регуляции ходьбы):
- 2.1. Нарушения ходьбы при заболеваниях с ведущим пирамидным синдромом (спастичность, парезы, параличи, контрактуры).
 - 2.2. Нарушения ходьбы при заболеваниях с ведущим мозжечковым синдромом (статическая, локомоторная, динамическая атаксия, астазия-абазия).
 - 2.3. Нарушения ходьбы при заболеваниях с ведущими экстрапирамидными синдромами (паркинсонизм, дистонии, гиперкинезии и др.).

3. Интегративные (первичные) нарушения ходьбы или сложные интегративные нарушения двигательного контроля (нарушения высшего, корково-подкоркового уровня регуляции ходьбы).
4. Психогенные нарушения ходьбы (психогенная атаксия, психогенная дисбазия при истерии, депрессии и других психических расстройствах).

Признаки, характерные для психогенных нарушений ходьбы:

- несоответствие основным подтипам нарушений ходьбы;
- странные и вычурные проявления;
- переменный паттерн нарушений;
- падения или травмы встречаются крайне редко;
- внезапное начало и окончание;
- связь с психотравмирующими ситуациями;
- необычная поза;
- чрезмерная медлительность или усилия;
- внезапно подкашиваются колени;
- психические нарушения в анамнезе;
- пациент получает какую-то выгоду от наличия нарушений.

КЛИНИЧЕСКИЕ ПОДТИПЫ НАРУШЕНИЙ ХОДЬБЫ

Гемипаретическая походка

- **Причины:** одностороннее повреждение головного мозга (инсульт, травма, опухоль, ДЦП)

Проявления

- Признаки центрального гемипареза (слабость и спастичность мышц) – сгибателей верхней и разгибателей нижней конечности.



- **Тоническое подошвенное сгибание стопы.**

- **Причина** – слабость передней большеберцовой мышцы и спастичность мышц голеностопного сустава. (Передняя большеберцовая мышца поднимает носок стопы, что необходимо во время фазы переноса.)

- **Последствия.** Из-за отвисшей стопы носок при ходьбе шаркает о поверхность пола и больному приходится перемещать ногу по полукругу (нога косит) - циркумдукция паретичной ноги (отведение ноги кнаружи и вперёд).



- **Переразгибание в коленном и тазобедренном суставах**
 - Причина – спастичность мышц разгибателей ноги.
 - **Последствия.**
 - Вместе с отвисшей стопой удлиняет конечность.
 - Недостаточность сгибания в тазобедренном суставе уменьшает длину шага больной ногой. Больной делает шаг больной ногой, сгибает бедро, но это движение обычно делается за счет движения корпуса, за которым следует циркумдукция и короткий шаг.
 - Недостаточность сгибания в колене также приводит к циркумдукции из-за того, что нога не сгибается в колене во время переднего толчка.



- Приведение и отсутствие взмаха паретичной руки при шаге (отсутствие содружественных движений рук при ходьбе); сгибание пальцев, локтя и кисти и пронация ипсилатеральной руки («рука просит»).
- Согласованные движения рук во время экономят кинетическую энергию, делают менее энергозатратными.



- **Слабость мышц, участвующих в опоре стопы**
 - Эти мышцы амортизируют и направляют движение ног. Работа этих мышц делает все движения плавными, сбалансированными.
- **Нарушение стабильности**
 - Проекция ОЦТ смещается в сторону здоровой ноги.

Суммарные изменения паттерна ходьбы при гемипарезе.

- Замедляется темпа и скорости ходьбы
- Уменьшение длины шага
- Ассиметричность параметров ходьбы.
- Удлинение двухопорного периода
- Увеличение риска падений

Биомеханический подход к реабилитации ходьбы при гемипарезе

1. Постановка шага

- Обучение правильной постановки стоп на опоре.
- Правила
 - стопа должна идти прямо, а не идти по полукругу
 - при первом контакте с поверхностью пола опора должна осуществляться строго на пятку
 - колено должно сгибаться перед опорой на пятку
 - тренировки постановки шага должны проводиться на ровной и неровной поверхности, специальных ковриках с различными линейными отметками, лестнице, на улице.

2. Укрепление мышц, участвующих в различные фазы ходьбы: ягодичные мышцы, мышцы бедра, передняя большеберцовая мышца, приводящие мышцы.

– Средства: традиционная ЛФК, может быть PNF-терапия, Бобат-терапия.

3. Стрейч-упражнения для спастических мышц

- Направления движений, которые проводят к растяжению: сгибание бедра, сгибание колена, тыльное сгибание стопы, подъем наружного края стопы, ротация бедра внутрь.



4. Тейпирование и ортезирование нижней конечности

- Помогает создать нужные углы в суставах нижней конечности (например, стоподержатель создает нужный угол в голеностопном суставе, поднимая носок стопы.)
- Недостатки: устраняет динамический характер работы суставов, что может неблагоприятно сказываться на трофике тканей. Ортез ставит сустав под нужным углом, но не помогает восстанавливать подвижность в нем.



5. Функциональная электростимуляция (ФЭС)

- стимуляция мышц, участвующей в ходьбе, происходит именно в тот момент движения (ходьбы), когда эта мышца в нормальных условиях должна сократиться.

6. Стабилотренировка

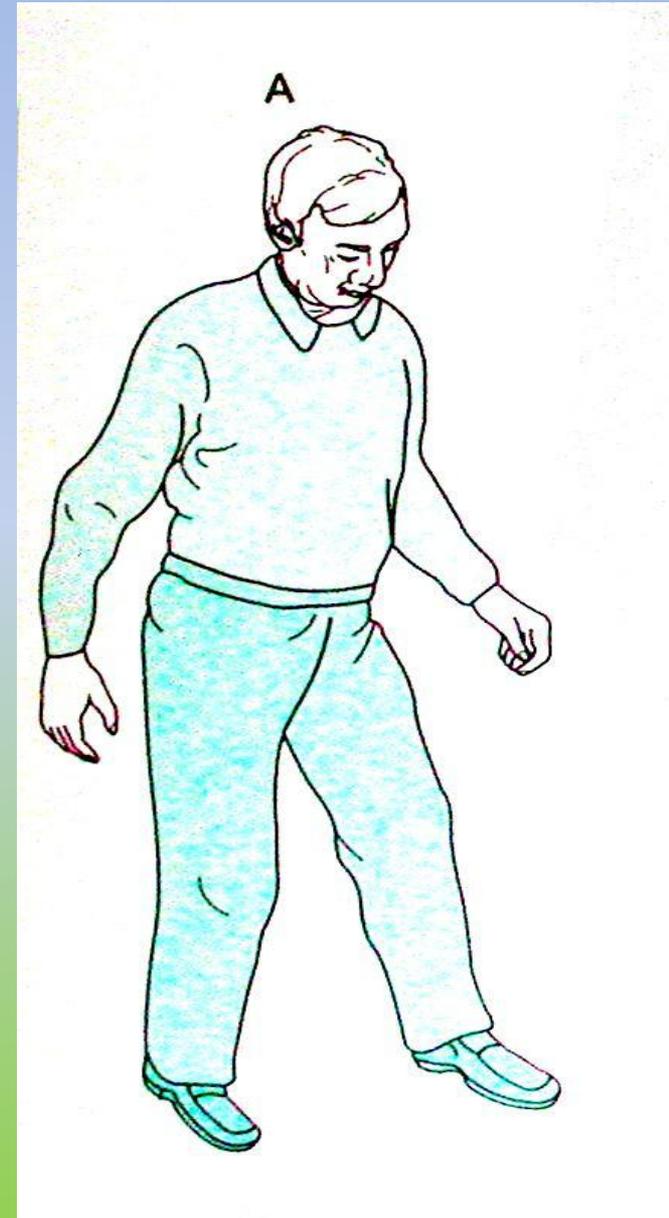
- Стабильность нужно тренировать в процессе восстановления ходьбы: во время постановки шага, переноса вес тела с одной ноги на другую, с пятки на носок.
- Применяются вспомогательные устройства стабилметрические платформы, специальные интерактивные игры.

7. Роботизированные вспомогательные устройства ходьбы



Мозжечковая атактическая походка

- **Причины:** рассеянный склероз, сосудистые нарушения, алкогольная интоксикация, антиконвульсанты, опухоли и др.
- **Проявления:**
 - сильная шаткость при ходьбе и стоянии,
 - Компенсаторно широко расставлены ноги – увеличение базы опоры (ходьба враскачку, «морская походка»),
 - шаги различной длины.
 - снижена скорость ходьбы,
 - трудности с тандемной ходьбой (носок к пятке)
 - нарушения не усугубляются в темноте.
 - признаки поражения мозжечка.



Аналгическая походка

- Формируется при болях. Направлена на уменьшение болевых ощущений.
- Проявления
 - Укорочено время опоры на поражённую конечность
 - Хромота
 - Защитное ограничение объёма активных и пассивных движений в тазовом поясе и нижних конечностях.

Паретическая гипотоническая походка

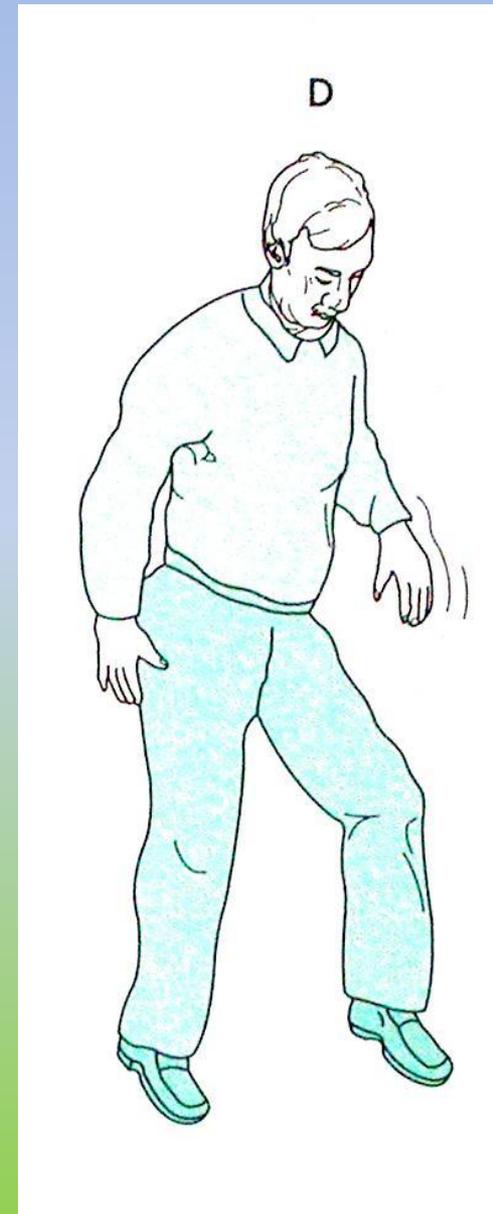
- Причины: слабость и снижение тонуса мышц (периферический парез).
- Проявления:
 - Свисающая стопа
 - Степпаж
 - Переваливающаяся «утиная походка»
 - Невозможность ходьбы на пятках
 - Симтом Тренделенбурга

Парапаретическая спастическая походка

- Причины: двустороннее повреждение головного мозга (инсульт, травма, опухоль, ДЦП, рассеянный склероз).
- Проявления:
 - Большие усилия при ходьбе
 - Ноги согнуты, колени приведены; ножницеобразные движения ног
 - Двусторонняя циркумдукция, компенсирующие движения туловища
 - Признаки центрального парапареза (слабость и спастичность мышц, высокие рефлексy)

Сенситивная атактическая походка

- Причины: нарушение проприоцепции вследствие повреждения задних корешков спинного мозга, периферических нервов, дорзальных столбов спинного мозга и др.
- Проявления:
 - Скорость снижена; ноги широко расставлены («морская походка»).
 - Высокое поднятие стоп и шлёпание ими по полу.
 - Нарушения усугубляются в темноте.
 - Дистальное симметричное снижение чувствительности



Паркинсоническая походка

- Согнутая поза, ограничение колебательных движений верхних конечностей при ходьбе, короткие шаги.
- Трудности с инициацией ходьбы, поворотами, завершением ходьбы.



Биомеханика лиц с ампутированной конечностью и протезом

Основные последствия ампутации и протезирования конечности

- **Смещение ОЦТ**
- **Нарушения функций опоры (в статике и динамике) и движений**
- **Асимметрия межзвенных углов и опорных сил между здоровой и протезированной конечностями**
- **Изменение углов в суставах**
 - При односторонней ампутации голени – увеличение угла в тазобедренном суставе обеих конечностей
 - При односторонней ампутации бедра - увеличение угла в тазобедренном суставе только на протезированной конечности
 - Отсутствие угла в коленном шарнире при опоре (отсутствие подгибания в протезе коленного сустава)

- **Асимметрия ходьбы**

- Опорный период на протезе меньше, чем на здоровой ноге (коэффициент ритмичности)

- **Хромота**

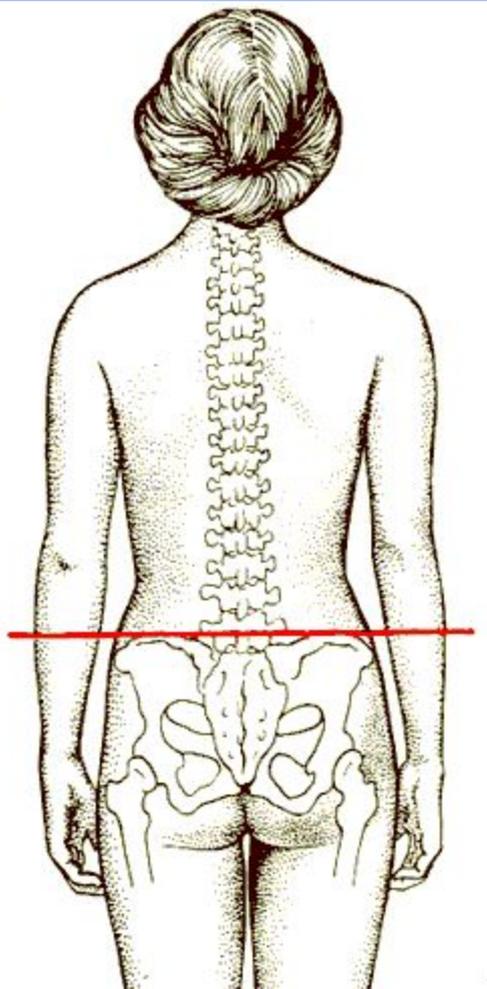
- При опоре на сохранившуюся конечность увеличивается подъём ОЦТ вверх
- При опоре на протез увеличивается поперечное перемещение ОЦТ

- **Энерготраты при ходьбе на протезах**

- Усечение одной конечности значительно снижает её энергетические ресурсы (ампутация на уровне голени → снижение мышечных энергоресурсов на 60-66%, бедра – на 70-85%) → мышцы культы работают в режиме компенсаторных перегрузок*

Биомеханика сколиоза

Нормальные изгибы позвоночника



Шейный и
поясничные
лордозы

Отсутствие
боковых
искривлений во
фронтальной
плоскости (или
минимальные
искривления)



Грудной и
крестцовый
кифозы

Механогенез сколиоза

Воздействие физических нагрузок на позвоночник

Повышение давления на вогнутой стороне позвоночника

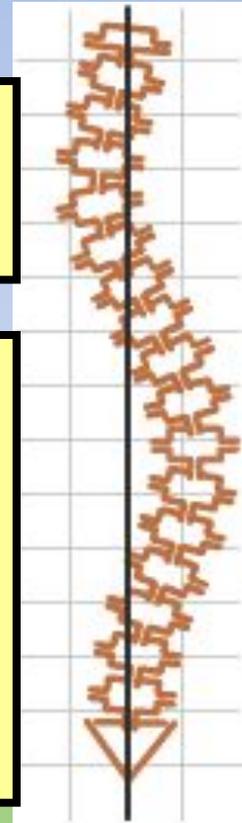
Межпозвоночный диск:

- ядро перемещается в выпуклую сторону,
- фиброзное кольцо выпячивается в вогнутую сторону;
- дистрофические изменения и потеря амортизирующих свойств

Позвонки:

- компрессия на вогнутой стороне с задержкой роста
- продолжение роста менее нагруженных частей позвонка на выпуклой стороне

- Клиновидная форма позвонков** с вершиной на вогнутой стороне
- Боковое искривление позвоночника и торсия** вокруг вертикальной оси
- Деформация дужек и отростков позвонков**
- Растяжение связок и мышц** на выпуклой стороне и контрагирование на вогнутой стороне – **образование мышечных валиков**
- Деформация рёбер** на выпуклой стороне искривления с расширением межрёберных промежутков – **реберный горб**



Механогенез сколиоза

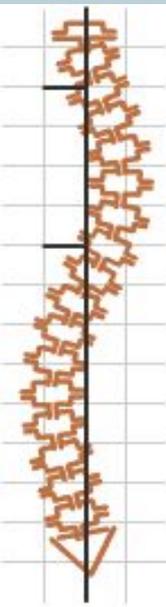
Формирование сложной деформации позвоночника в 3х плоскостях

Фронтальная плоскость: боковое искривление позвоночника

Сагитальная плоскость: усиление поясничного лордоза и грудного кифоза

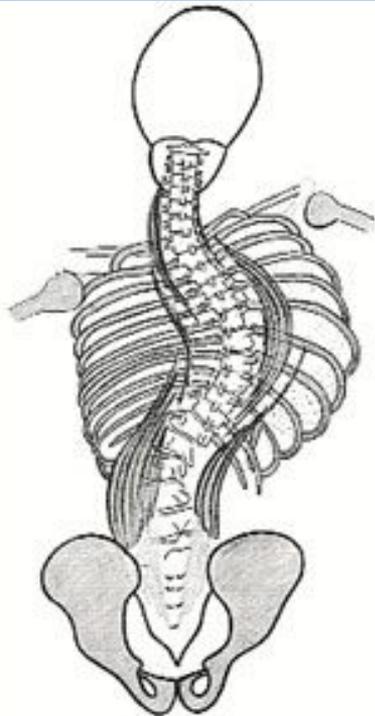
Горизонтальная плоскость: торсия позвоночника

- Одна дуга искривления (влево, вправо)
- S-образный с двумя или 3 дугами



Клинические проявления сколиоза

- Разная высота плечей во фронтальной плоскости
- Асимметрия расположения лопаток
- Отклонение остистых отростков от средней линии
- Наличие торсии по реберному горбу и мышечному валику
- Косое стояние таза во фронтальной плоскости
- Лордоз поясничного отдела позвоночника



Спина при сколиозе

