

к.м.н. В.В. Кожевников

Ж.Н. Радимова

(гл. врач ФГБУ ФЦТОЭ г. Барнаула,  
д.м.н. В.А. Пелеганчук).

# БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ТАКТИКИ ЛЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С ДЦП.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ - 2019

Значительный вклад в последующее развитие анатомии, биомеханики и кинезиологии внес римлянин Гален (131-201 гг. нашей эры). На основе своих опытов по изучению действия и строения мышц им был написан труд «О движении и мышцах» («De motu musculorum»).





J. Perry



D. Sutherland



J. Gage

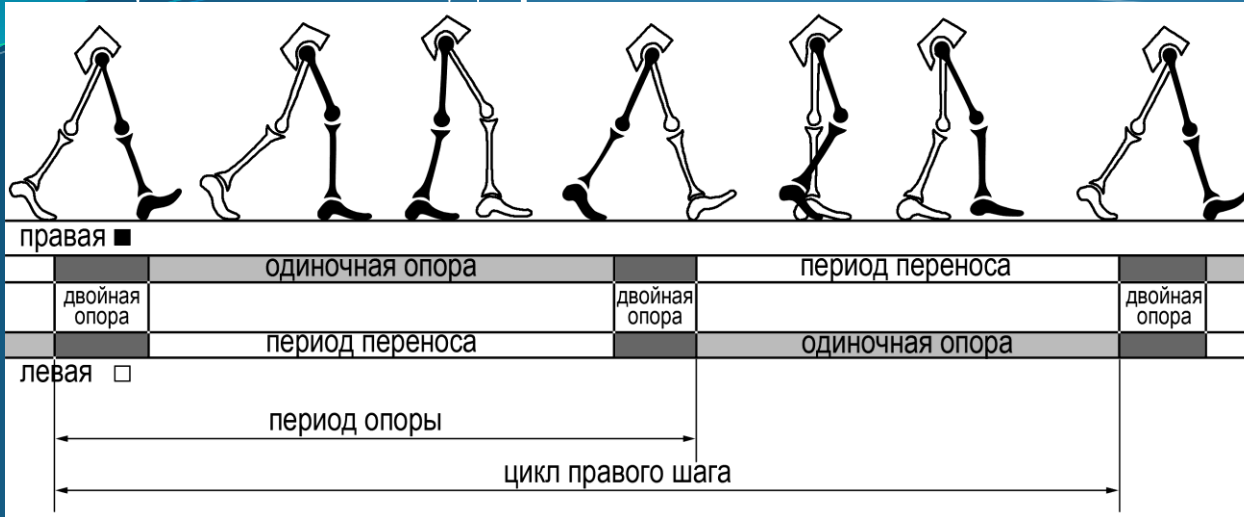


А.С. Витензон

**Технологии биомеханического анализа движений в клинической практике развитых стран применяются лишь с 80-х годов прошлого века. В 20-21 веке развитие этого направления связано с именами выдающихся зарубежных и российских ученых.**

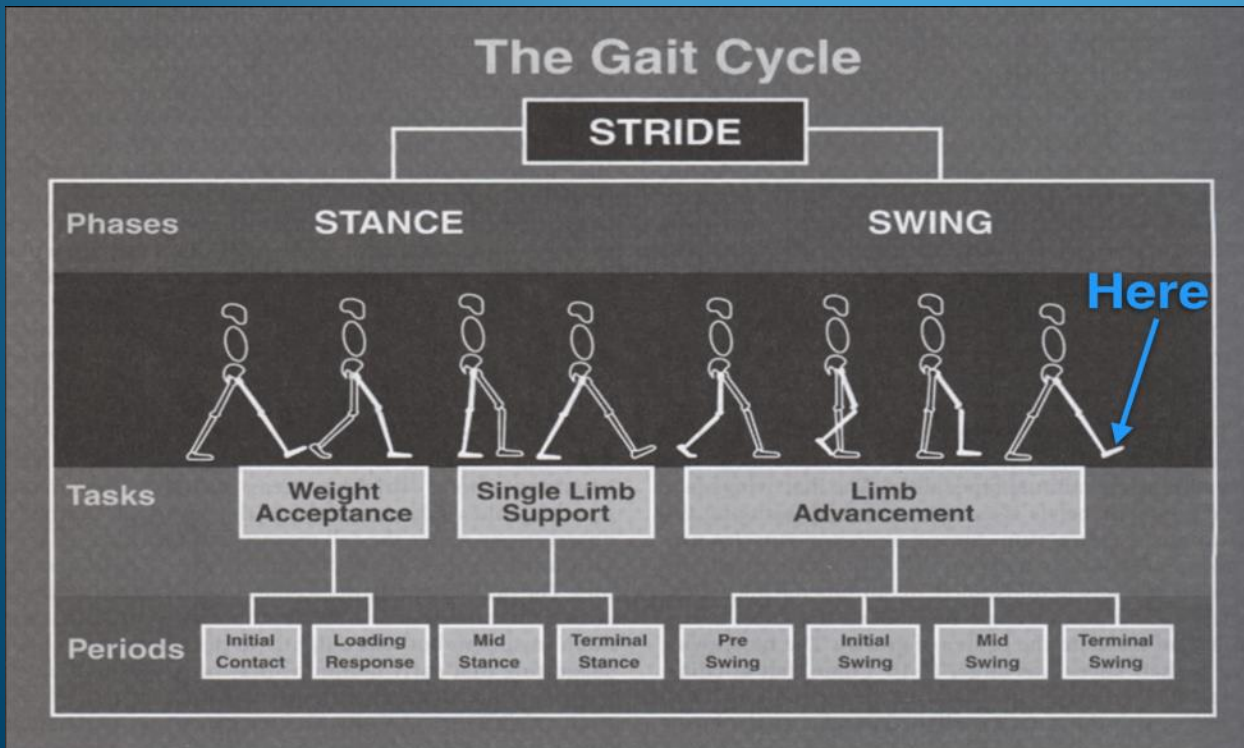
Любая практическая ортопедо-травматологическая патология является двигательной патологией. Для достижения максимально возможного результата в лечении пациентов необходим не только анатомический тип клинического мышления специалистов, но и функциональный. В значительной мере этому может помогать методики клинического (биомеханического) анализа движений и походки (КАД).

# Цикл шага здорового человека



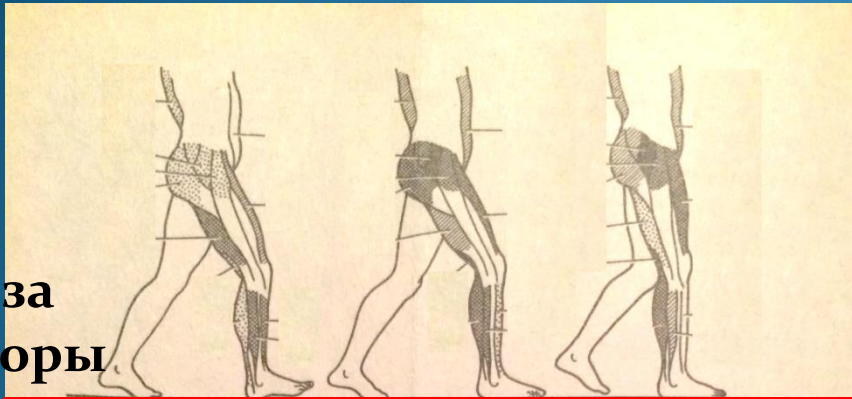
Основные мышцы, определяющие походку:

- четырехглавая мышца,
  - hamstring gr.,
  - трехглавая мышца голени
  - передняя большеберцовая
- Значимые мышцы – баланс туловища и таза:
- разгибатели спины
  - ягодичные (в том числе средняя ягодичная)
  - подвздошно-поясничная

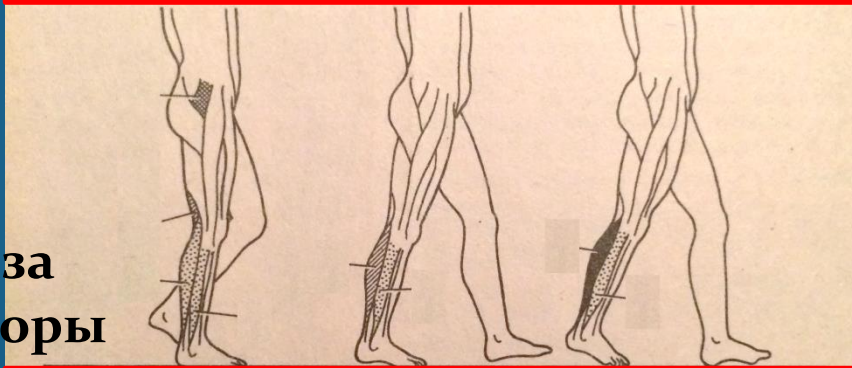


# Нормальная походка

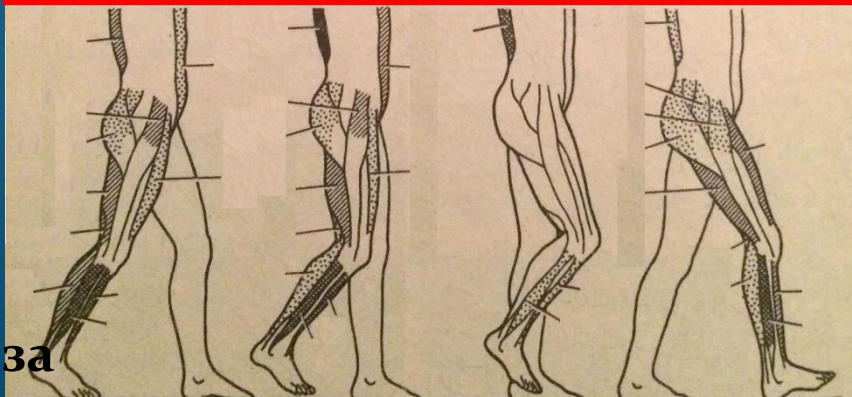
Фаза опоры



Фаза опоры



Фаза переноса



Мышцы, определяющие особенности походки и равновесия:

- Разгибатели спины, косые мышцы передней брюшной стенки
- Большая и средняя ягодичные мышцы
- Напрягающая широкую фасцию бедра
- Четырехглавая мышца бедра
- Hamstring группа
- Икроножная, камбаловидная мышцы
- Передняя большеберцовая мышца
- Малоберцовая мышца

В разные фазы шага имеют различное состояние – сокращения либо расслабления.

## Цели применения методов КАД:

- диагностика двигательной патологии
- определение ключевого звена
- определение патологической локомоции, показателей нарушенной функции
- установление последовательности включения различных составляющих локомоторной цепи в двигательный акт
- выявление механизмов компенсации
- планирование лечебно-реабилитационного процесса
- динамическое наблюдение
- оценка отдаленного результата

# Методы исследования биомеханики походки на комплексе МБН

- подометрия – измерение временных характеристик шага
- гониометрия – измерение кинематических характеристик
- ихнометрия – измерение пространственных характеристик шага (длина шага, база шага, угол разворота стопы)
- динамометрия – регистрация реакций опоры



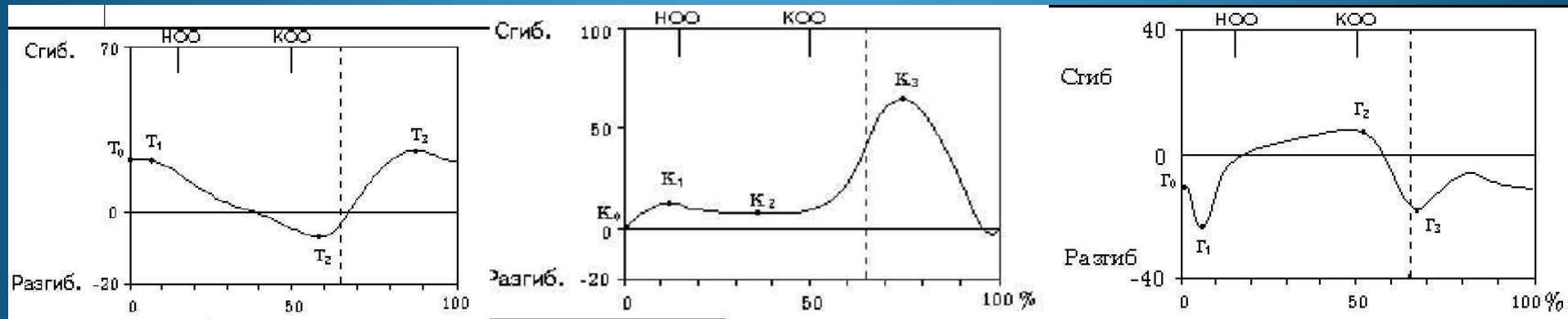


Функциональная ЭМГ является дополнительной важной опцией комплекса МБН. Позволяет изучить функциональное состояние мышц в разные фазы шага. Используются как поверхностная методика так и игольчатая.

Тем не менее существуют факторы, которые могут способствовать непрогнозируемой ошибке:

- смещение двигательной зоны мышцы относительно накожного электрода
- смещение накожного электрода относительно двигательной зоны мышцы
- изменение толщины подкожной клетчатки при удлинении или сокращении мышцы
- изменение межэлектродного расстояния

# Наибольшую амплитуду движений и оцениваемые параметры при ходьбы – движения в сагиттальной плоскости.



Гониограмма тазобедренного сустава

Гониограмма коленного сустава

Гониограмма голеностопного сустава

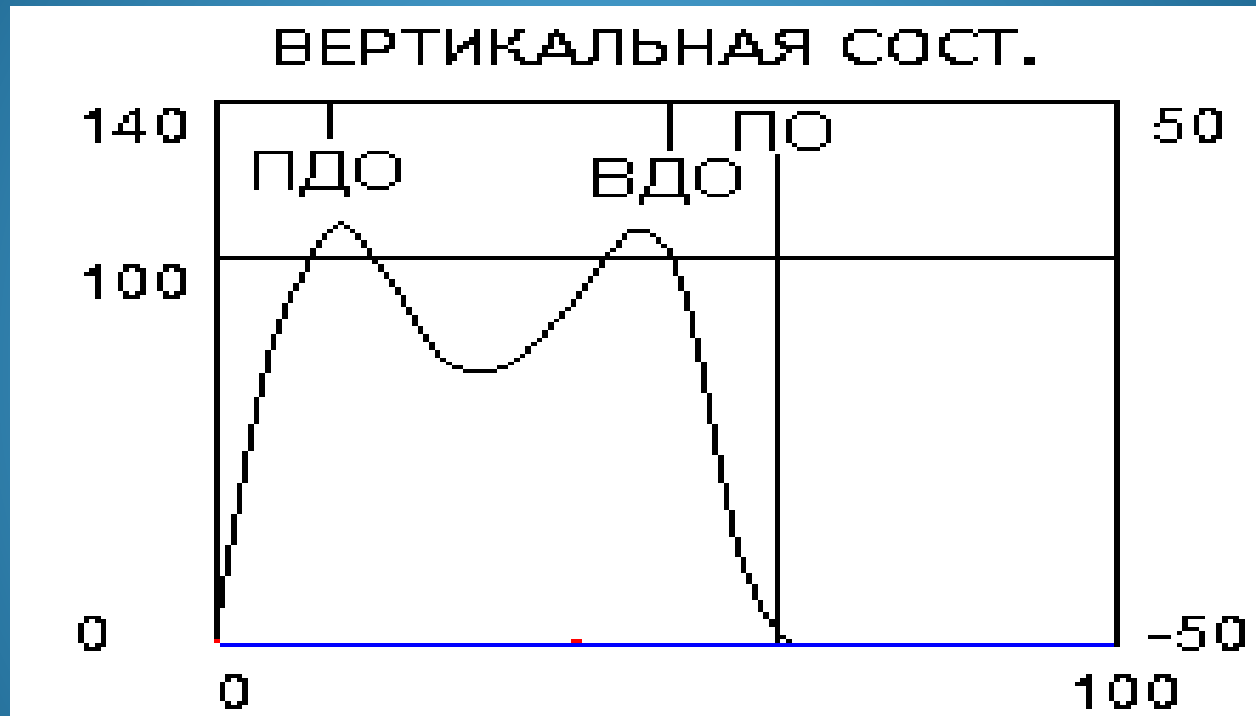
*Диагностически сложнее выявляемые, но не менее важные – движения тазобедренного сустава во фронтальной и горизонтальной плоскости.*

Энергетические затраты при ходьбе зависят от траектории движений ОЦМ, величины его подъёмов и спусков.

Шесть основных детерминант походки, уменьшающих энергетическую «стоимость» ходьбы:

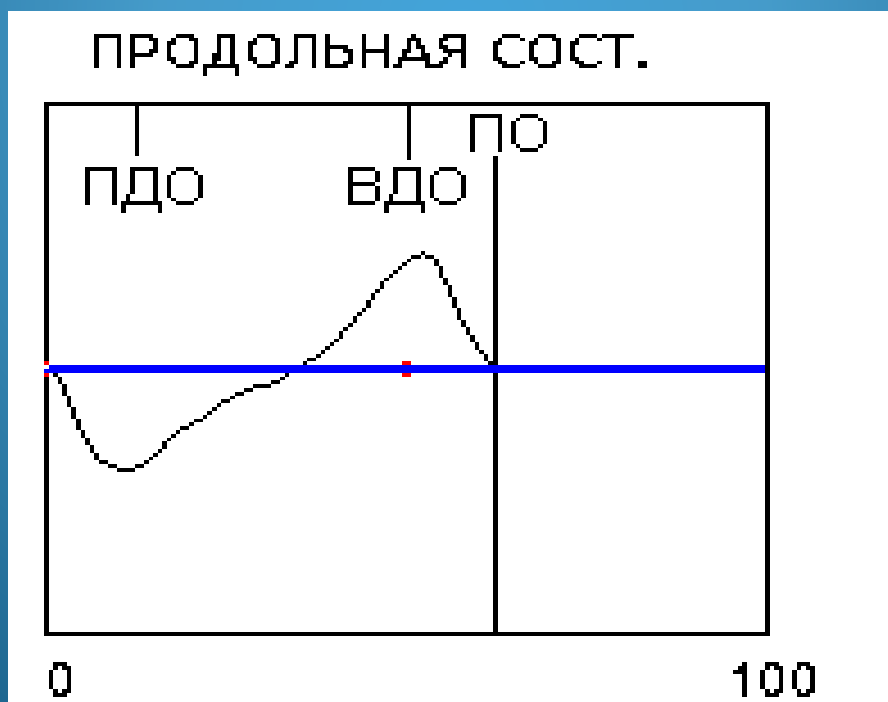
1. вращение таза в горизонтальной плоскости
2. наклон таза во фронтальной плоскости
3. сгибание коленного сустава в начале периода опоры
4. функциональное удлинение конечности в начале периода опоры (постановка стопы на пятку)
5. функциональное удлинение конечности в конце периода опоры (сгибание коленного сустава)
6. физиологический вальгус коленного сустава

# Динамические характеристики (реакции опоры)



Вертикальная составляющая реакции опоры – знаменует борьбу с силой тяжести (Н.А. Бернштейн 1935). Как максимум и так и минимум приходятся на период одиночной опоры.

Продольная составляющая реакции опоры – характеризует угол приложения силы к плоскости опоры, направление ускорения ОЦМ в сагиттальной плоскости. Вектор первого максимума – направлен против движения ОЦМ и характеризует его торможение, вектор второго максимума – показывает наличие ускорения ОЦМ.



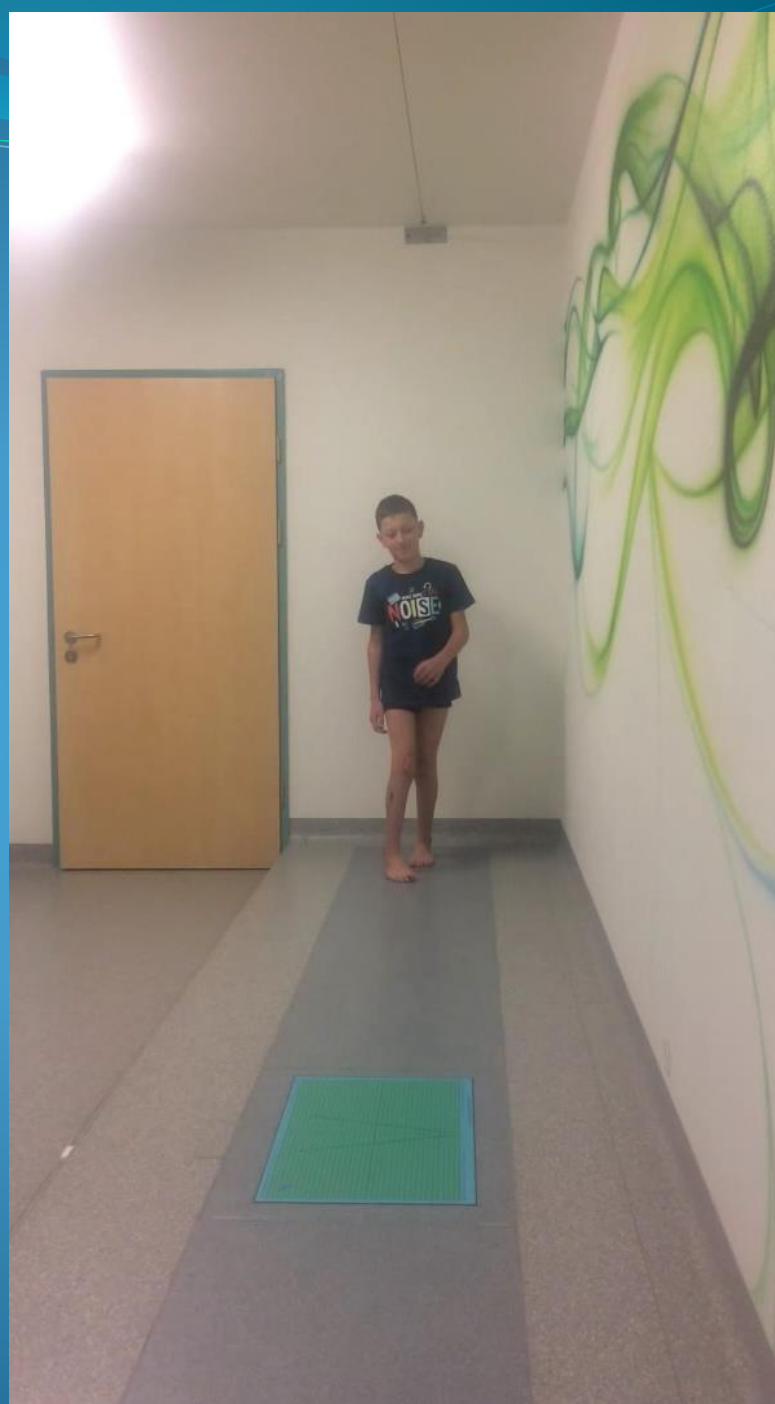
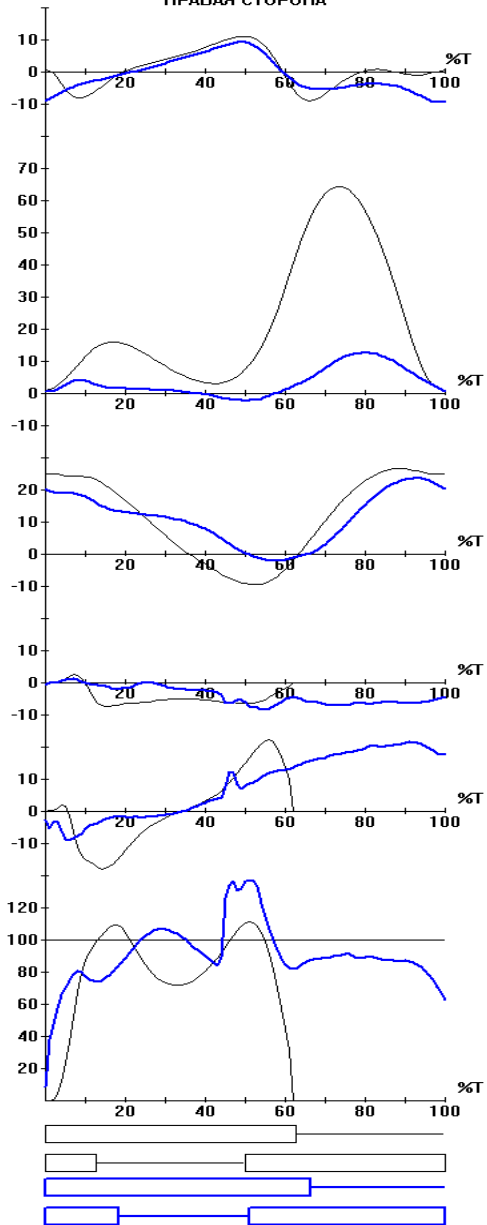
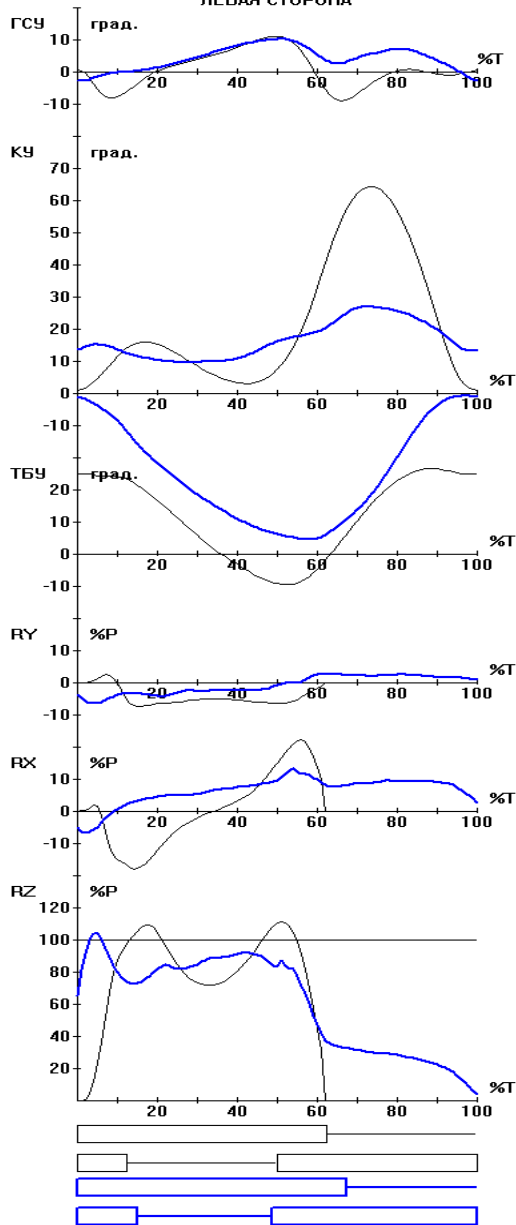
Пациент: кирилл алексеевич фролов  
 Диагноз: ДЦП  
 Обследование выполнено 18.10.19 в 07:41.  
 Возраст: 11

— Норма — Иссл.

ГРАФИКИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХОДЬБЫ

ЛЕВАЯ СТОРОНА

ПРАВАЯ СТОРОНА



# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ХОДЬБЫ

	Длина дв. шага (м)	Длит. дв. шага (с)	Скорост ь (м/с)	Скорост ь (км/ч)	Темп (шаг/мин)
<b>Норма(10)</b>	1.42	1.21	1.17	4.21	99
<b>m</b>	0.02	0.03	0.03	0.11	2
<b>Обс.(4)</b>	0.85	1.57	0.54	1.95	76
<b>m</b>	0.09	0.09	0.04	0.14	3
<b>%</b>	-40	29	-53	-53	-22
<b>Р</b>	+	+	+	+	+

# ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ХОДЬБЫ

	ЦШ (с)	ПО (%)	ПП (%)	ДО (%)	ПДО (%)	ВДО (%)	ОО (%)
<b>Норма(10)</b>	1.21	62.10	37.90	25.80	12.90	12.90	37.40
<b>m</b>	0.03	0.50	0.40	1.90	2.09	2.09	0.63
<b>Обс.(10)</b>	1.38	67.34	32.66	33.69	15.32	18.36	33.65
<b>m</b>	0.10	2.39	2.39	1.06	0.44	0.78	0.50
<b>%</b>	14	8	-13	30	18	42	-10
<b>Р</b>	-	+	+	+	-	+	+



# Диагностический матрикс (К. Graham, 2008).

стандартное  
физикальное  
обследование

рентгенография

(VGA)  
Видео анализ  
походки

клиническая  
история

GMFCS

(IMA)  
Инструменталь-  
ный анализ  
походки

Сагиттальный  
паттерн

FMS, MACS



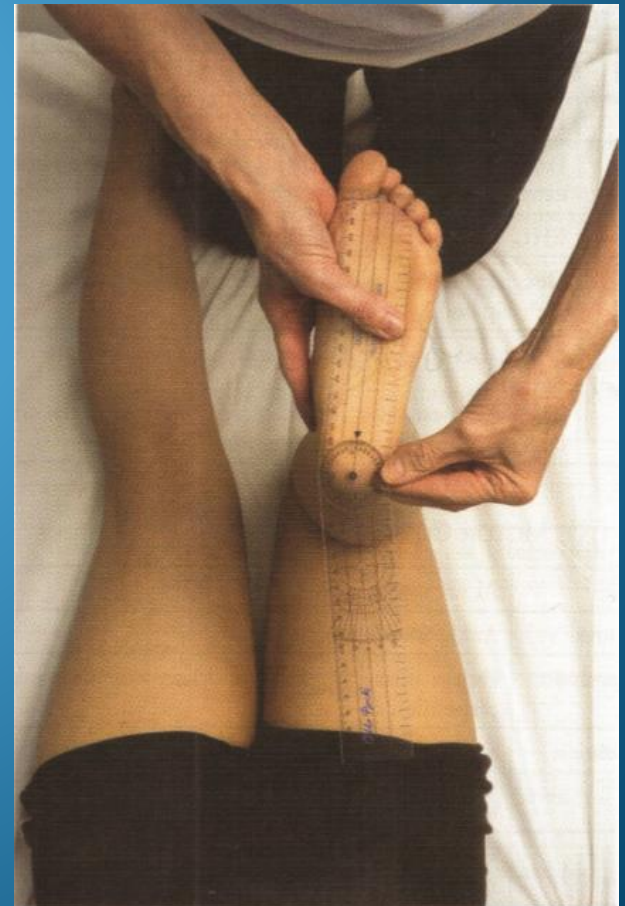


Во время физикального обследования пациент находится в положении лежа на спине, при смене положения выраженность спастичности, рефлексy на растяжения, селективную управляемость меняются. Это осложняет интерпретацию амплитуды движений. Особенно это важно при оценке состояния двусуставных мышц, которые в зависимости от положения или точки фиксации могут выполнять различные функции.

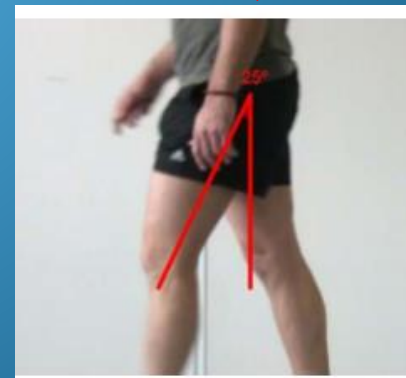
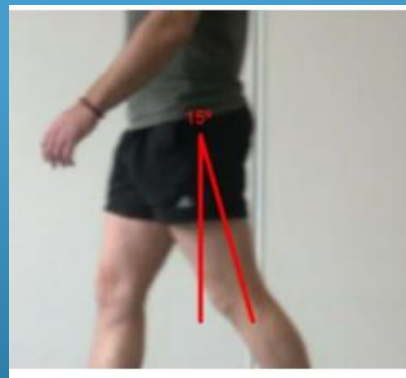
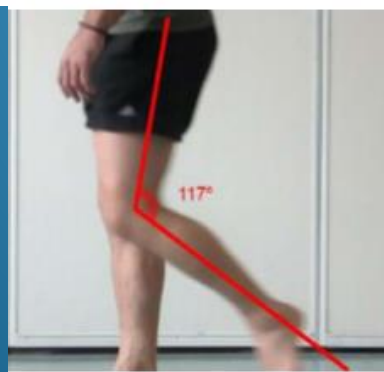
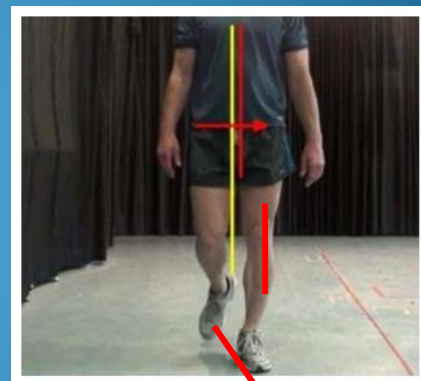
*Возможный выход из этого – исследование пациентов в различных позах и оценка походки. (Desloover et al. 2006).*

# Важные дополнительные тесты

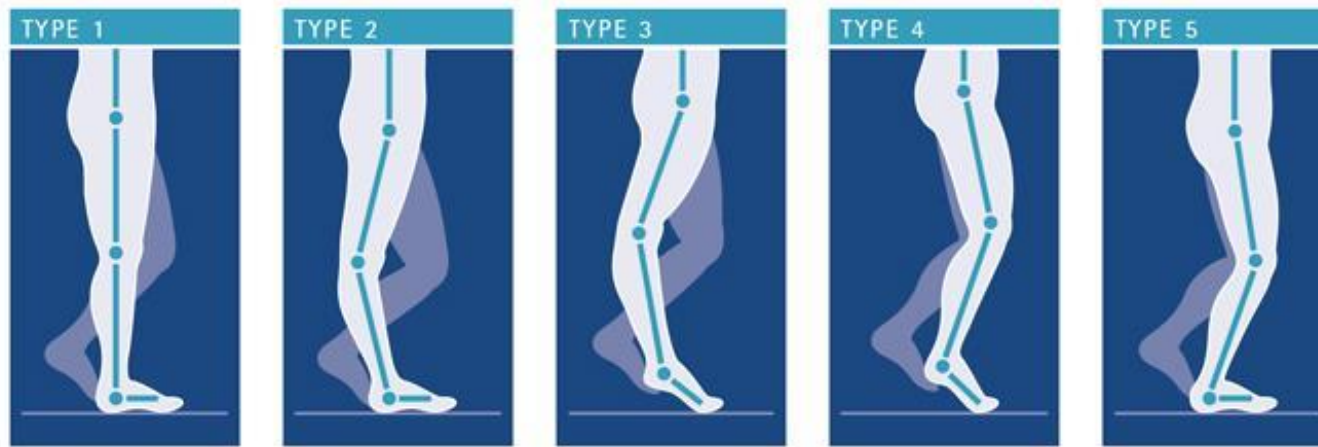
- Модифицированный тест Элли (ретракция прямой мышцы бедра)
- Модифицированный тест Томаса (ретракция подвздошно-поясничной мышцы)
- Тест Фельпса (ретракция тончайшей мышцы)
- ротационный тест бедра с определением антеверсии шейки
- определение торсии голени-стопы (Thigh-foot angle)
- тест Сильвершельда (состояние всех частей трехглавой мышцы голени)



Альтернатива 3- D видеоанализу походки – оценка видеоподходки согласно Эдинбургской шкалы.  
Gait analysis is made by Edinburg scale.



# Патологический паттерн согласно Amsterdam classification



- I тип – недостаточность передней большеберцовой мышцы, полный контакт стопы
- II тип - недостаточность передней большеберцовой мышцы, ранняя активация трехглавой мышцы, неполный контакт стопы, ранний отрыв пятки
- III тип - недостаточность передней большеберцовой мышцы, избыточная активность *m. triceps surae*, неполный контакт стопы, отсутствие контакта пятки
- IV тип – избыточная активация сгибателей голени, патологическая активация икроножной мышцы и *psaos m.*
- V тип – избыточная активация сгибателей голени, недостаточность икроножной мышцы и увеличенная активность *psaos m.*

*Тип паттерна оценивается при зрительном субъективном либо видеоанализе (с использованием фото-видеокамер), можно предположить заинтересованность главных мышечных групп.*

КЛИНИЧЕСКАЯ  
КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ  
ПОХОДКИ по D.H. Sutherland,  
1978

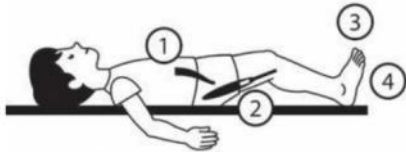
- Jump gait
- Crouch gait
- Stiff knee gait
- Recurvatum genu gait
- Scissoring gait
- Trunk lurching gait

# Алгоритм определения хирургической тактики

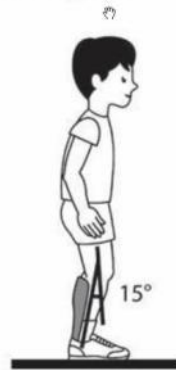


## Crouch Gait: 1<sup>st</sup> Generation Techniques

First-generation techniques for the management of crouch gait.



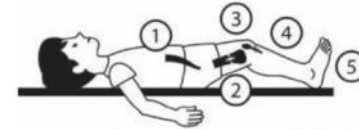
1. Lengthening psoas over the brim
2. Distal hamstring lengthening
3. Fix distal levers
4. Ground Reaction AFO



- Knee flexion deformity:**
- difficult to brace
  - leads to relapse
  - Ground Reaction AFO

Second-generation techniques for the management of crouch gait.

## Crouch Gait: 2<sup>nd</sup> Generation Techniques



1. Lengthening psoas over the brim
2. Distal femoral extension osteotomy
3. Patella tendon shortening
4. Fix distal levers
5. Solid AFO



**Full knee extension**  
Solid AFO

Hybrid techniques for the management of crouch gait.

## Crouch Gait: Hybrid Techniques

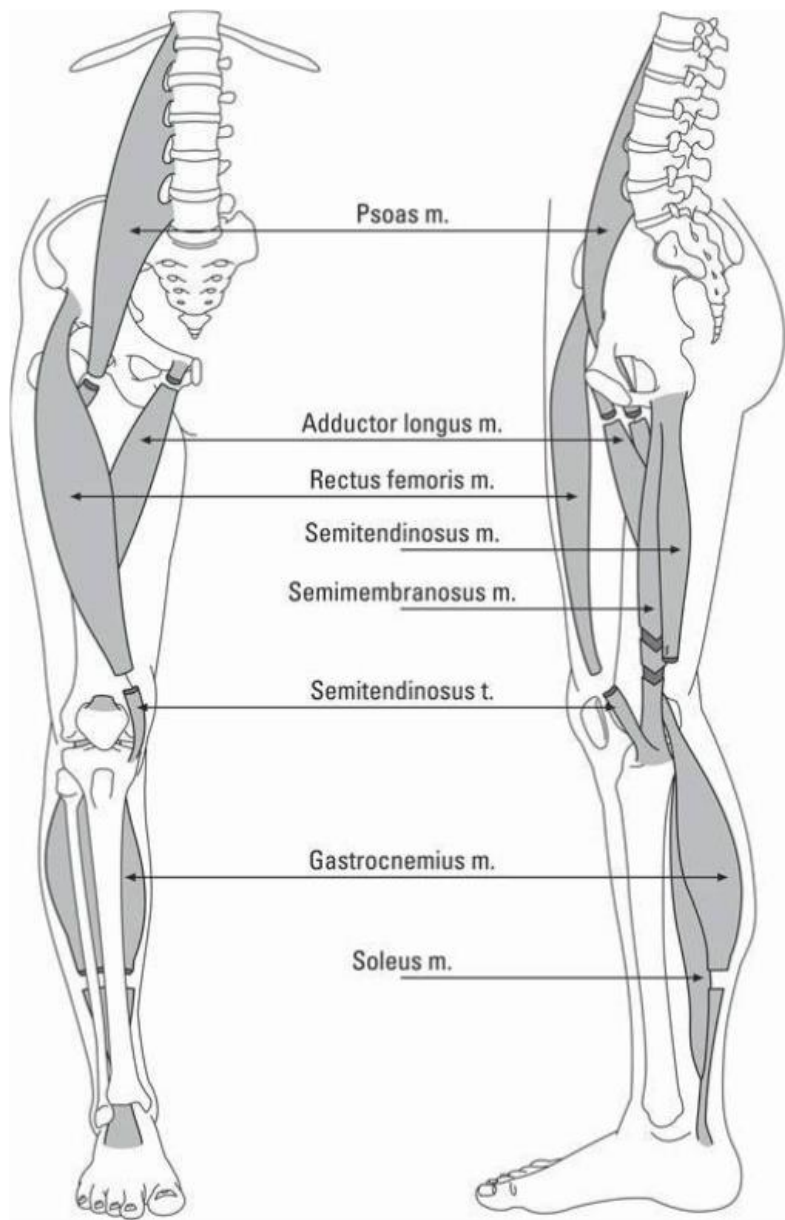


1. Lengthening psoas over the brim
2. Semitendinosus transfer to adductor tubercle
3. "8" plates to distal femur
4. Fix distal levers
5. Solid AFO

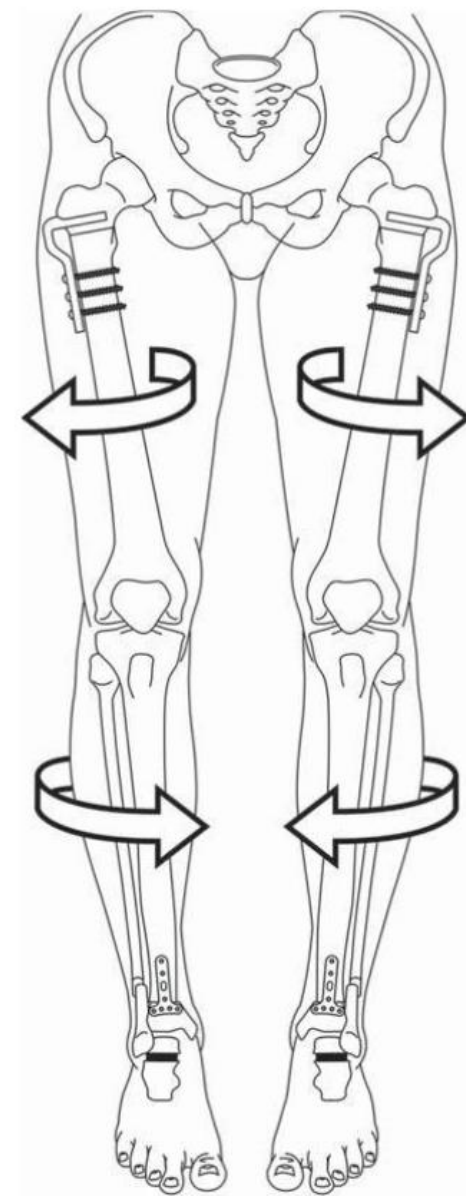


**Prerequisites:**

1. Must be pre-pubertal
2. Must know bone age (wrist & elbow)
3. Must be monitored carefully



The most commonly used soft-tissue procedures in Single Event Multilevel Surgery. (From Bache CE, Selber P, Graham HK. Mini-Symposium: cerebral palsy: the management of spastic diplegia. *Curr Orthopaed* 2003;17:88–104, with permission.)



The most commonly used bony procedures in single event multilevel surgery; femoral derotation, supramalleolar osteotomy of the tibia, and stabilization of the midfoot. (From Bache CE, Selber P, Graham HK. Mini-Symposium: cerebral palsy: the management of spastic diplegia. *Curr Orthopaed* 2003;17:88–104, with permission.)



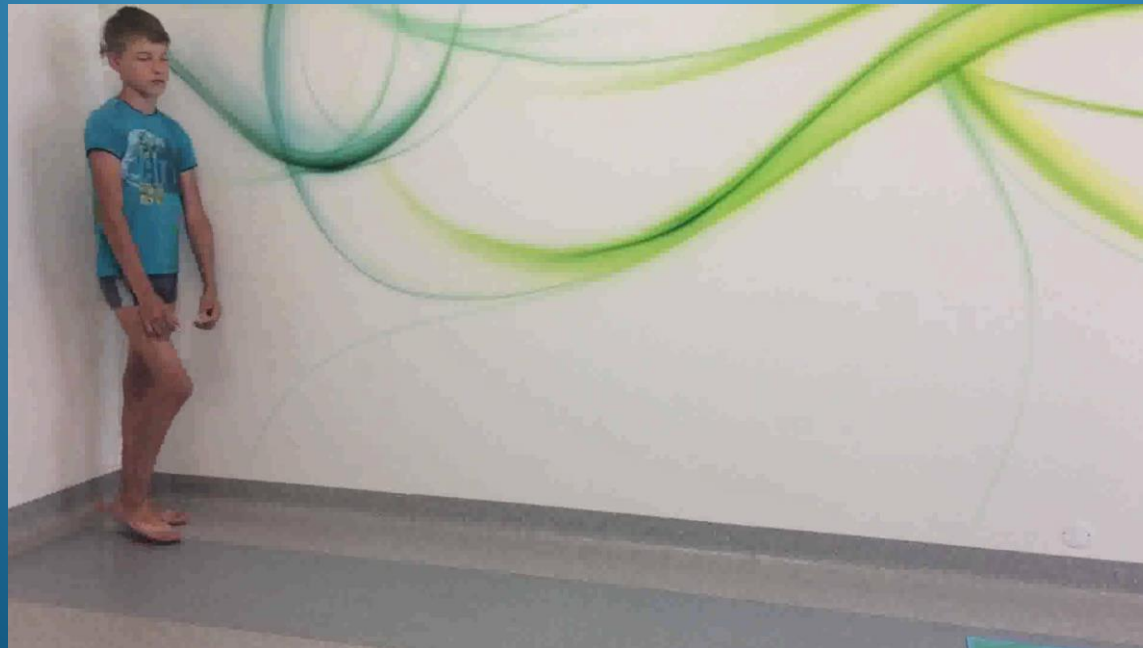
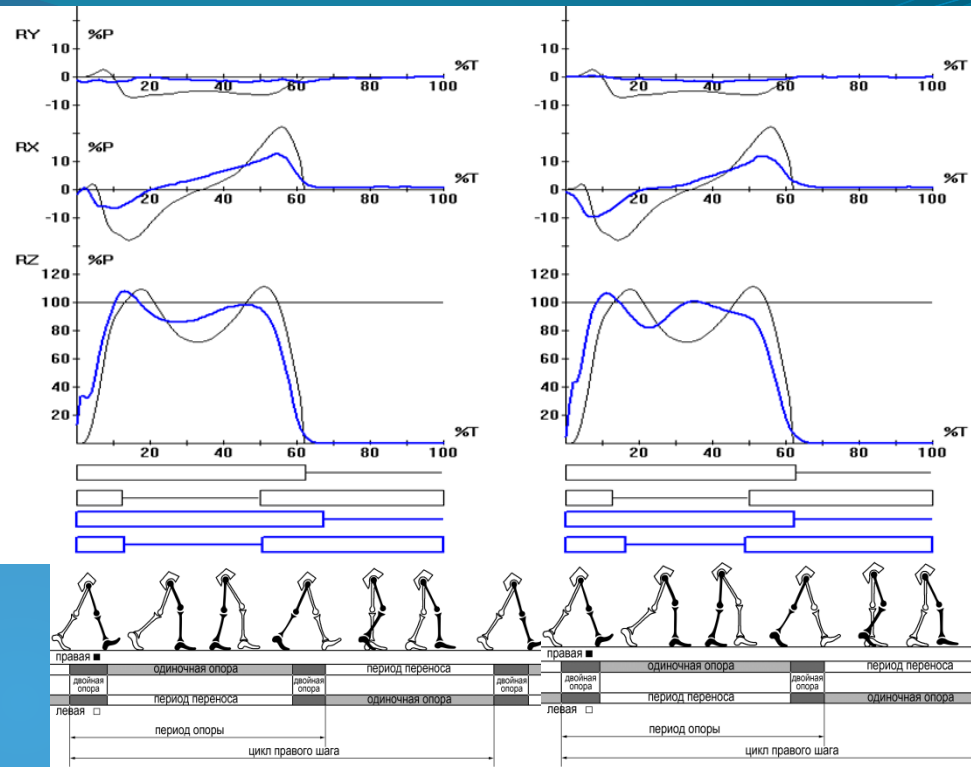
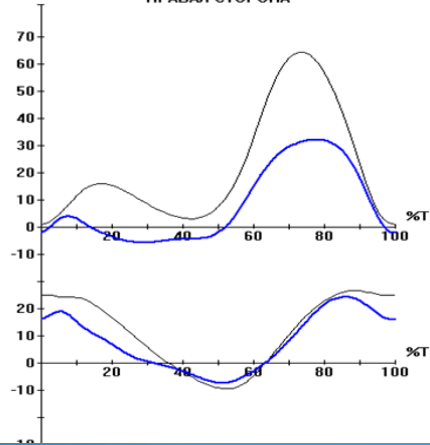
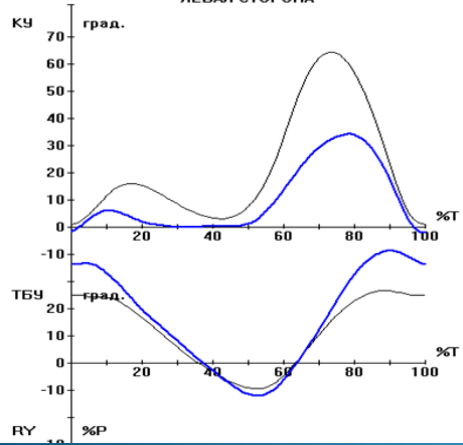
Пациент: Кирилл Самвелович Зырянов  
 Диагноз: ДЦП  
 Обследование выполнено 04.09.19 в 07:52.  
 Возраст: 14

— Норма — Иссл.

ГРАФИКИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХОДЬБЫ

ЛЕВАЯ СТОРОНА

ПРАВАЯ СТОРОНА



# Диагностический анализ походки имеет ряд недостатков:

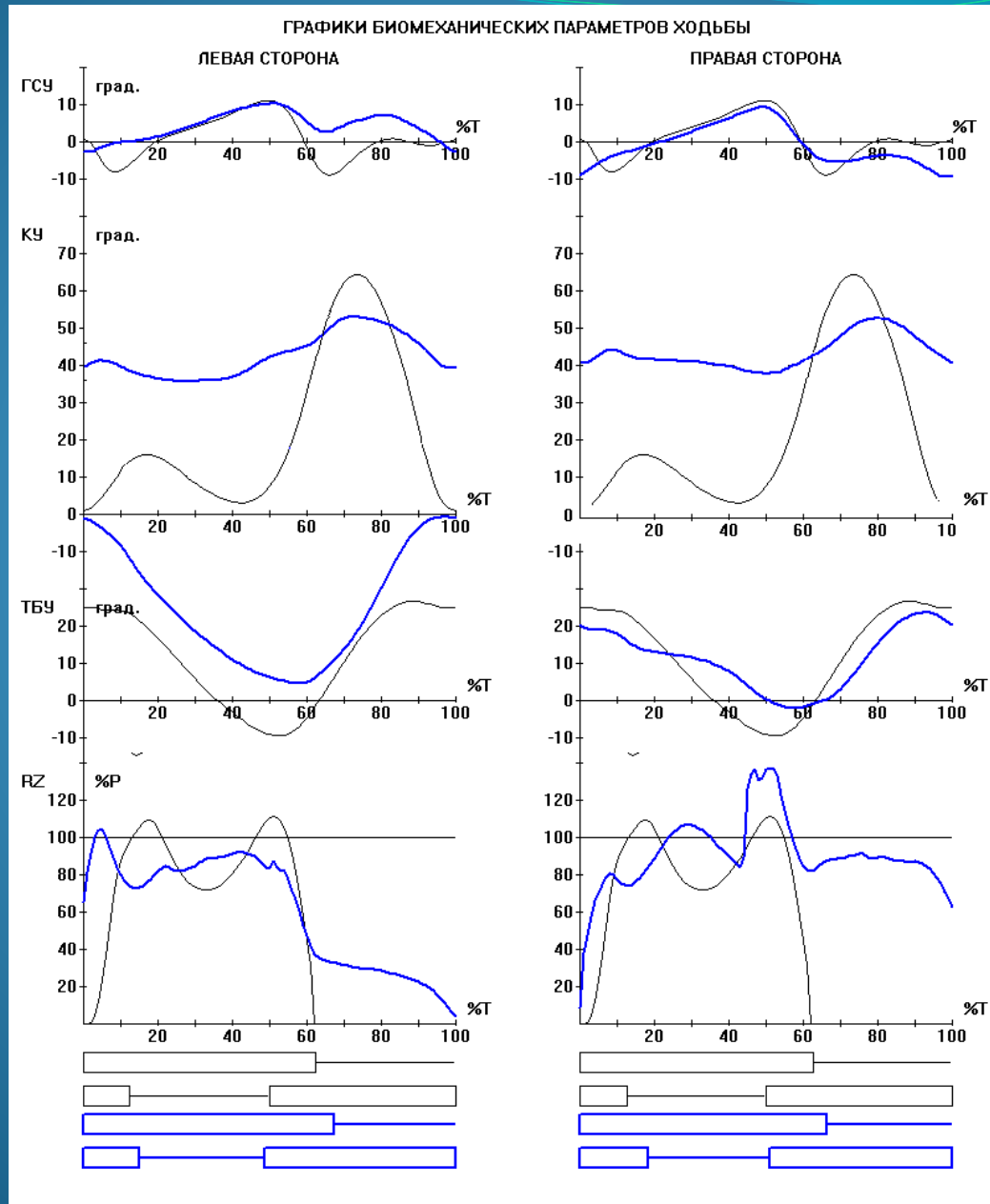
- Выявленные дефекты могут быть проявлением компенсации
- мышечная сила отличная от электрической ее активности (в некоторой степени динамическая ЭМГ позволяет объективно оценить мышечную активность во времени)
- кинетические и кинематические данные основаны на записи простого цикла шага, но не на суммировании цикла походки (интерпретация должна сравниваться с данными физикального осмотра, видеоанализа походки)
- проблемы с точностью числовых показателей – связано с погрешностью при фиксации маркеров на мягких тканях, которые смещаются относительно движений костей
- анализ походки сложен у пациентов с тяжелыми двигательными нарушениями

*Complication in Pediatric Surgery, edited by Chales H. Epps, Jr. and J. Richard Bowen.  
Complication in Cerebral Palsy. Freeman Miller, Kirk W. Dabney. 477 – 544, 1995.*

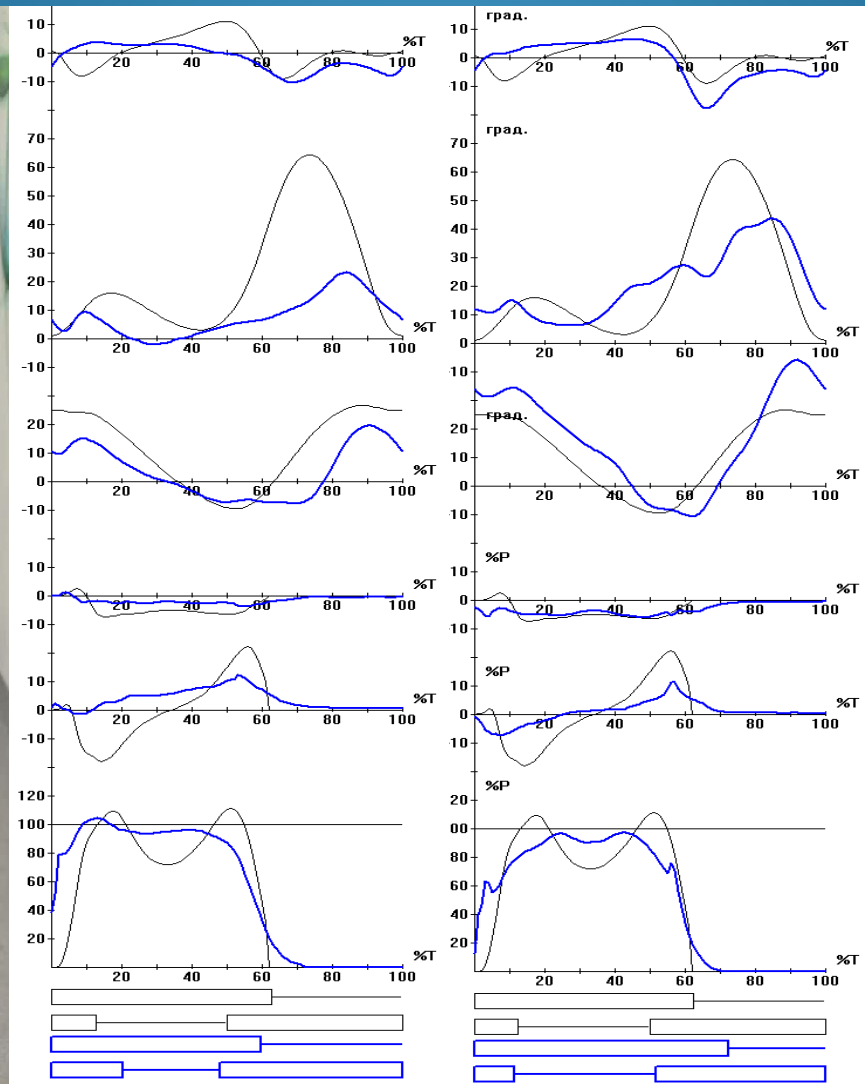
Пациент Т., 15 лет.  
ДЦП. Спастическая  
диплегия.  
Контрактура  
коленных суставов.



# Анализ походки пациента Т.



# Пациент В., ДЦП, спастическая диплегия. До и после SEMLS. Видео и биомеханический анализ походки.



## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ХОДЬБЫ до операции

	Длина дв. шага (м)	Длит. дв. шага (с)	Скорость (м/с)	Скорость (км/ч)	Темп (шаг/мин)
Норма(10)	1.42	1.21	1.17	4.21	99
m	0.02	0.03	0.03	0.11	2
Обс.(4)	1.15	1.85	0.62	2.24	64
m	0.04	0.06	0.03	0.10	2
%	-18	52	-46	-46	-34
P	+	+	+	+	+

### До операции

### После операции

	ЦШ (с)	ПО (%)	ПП (%)	ДО (%)	ПДО (%)	ВДО (%)	ОО (%)		ЦШ (с)	ПО (%)	ПП (%)	ДО (%)	ПДО (%)	ВДО (%)	ОО (%)
Норма(10)	1.21	62.10	37.90	25.80	12.90	12.90	37.40	Норма(10)	1.21	62.10	37.90	25.80	12.90	12.90	37.40
m	0.03	0.50	0.40	1.90	2.09	2.09	0.63	m	0.03	0.50	0.40	1.90	2.09	2.09	0.63
Обс.(7)	1.54	72.44	27.56	32.24	11.66	20.58	40.19	Обс.(13)	1.22	59.81	40.19	27.24	13.58	11.66	27.56
m	0.04	2.41	2.41	2.07	0.63	2.11	0.76	m	0.04	0.10	0.10	2.76	2.45	0.86	2.69
%	27	16	-27	24	-9	59	7	%	33	-3	6	24	59	-9	-26
P	+	+	+	+	-	+	+	P	+	+	+	-	+	-	+

Всестороннее исследование паттерна у детей с ДЦП, даже с использованием доступных методик, позволяет получить более достоверную информацию об особенностях походки. Параметры гониометрии и биомеханического анализа походки позволяют выбрать оптимальный алгоритм в реабилитации и объеме хирургического вмешательства.



Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
г. Барнаул

# Благодарю за внимание!

