

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Федерального
государственного бюджетного учреждения
Федеральное бюро медико-социальной
экспертизы



Министерства труда и социальной защиты
Российской Федерации

Государственный федеральный эксперт по МСЭ

М.А. Дымочка

ОТЧЕТ

о сравнительном исследовании биомеханической структуры ходьбы пациентов с травматическими отчленениями нижней конечности на уровне бедра при использовании различных модулей коленного сустава

Исследование проводилось в условиях кабинета экспертно-реабилитационной диагностики нарушений статодинамической функции ФГБУ Федерального бюро медико-социальной экспертизы Минтруда России. Регистрацию основных, временных, кинематических и динамических параметров при ходьбе на протезе бедра осуществляли с помощью эргометра с функцией диагностической дорожки с силовой платформой «Zebris FDM-T, h/p /Cosmos». Объектом исследования были повторно протезированные пациенты с односторонними травматическими отчленениями нижних конечностей на уровне бедра.

Цель исследования: оценить биомеханику ходьбы пациентов на протезе бедра с применением различных видов модулей коленного сустава.

Дизайн исследования: у пациентов после кратковременного отдыха проводили исследование ходьбы на диагностической дорожке с различной периодически возрастающей скоростью передвижения (от 2,2 до 3,9 км в час), используя для исследования равные временные промежутки фиксации параметров. Фиксацию параметров ходьбы проводили до субъективного ощущения у пациента чувства легкой усталости. На первом этапе исследования ходьбы на протезе осуществлялась с применением привычного для них модуля коленного сустава, установленного при очередном протезировании. После отдыха и замены имеющегося модуля коленного сустава на модуль с наличием микропроцессорного управления (проходящий период тестирования модуль коленного сустава Актив 2), исследование повторялось с применением идентичных параметров, включающих в т.ч. время нагрузки и скорость передвижения. С целью качественного освоения ходьбы на протезе с применением модуля коленного сустава Актив 2, пациент имел возможность передвигаться с его помощью в

течение приблизительно 2 недель, после чего проводили второй этап исследования ходьбы на протезе с обратной последовательностью тестирования передвижения на протезе бедра: в начале при установленном модуле коленного сустава Актив 2, а затем, после отдыха и смены модуля коленного сустава на ранее выданный и постоянно используемый данным пациентом. Таким образом, проводилось сравнительное исследование передвижения с использованием различных типов модулей коленного сустава.

Сравнительное исследование базируется на результатах тестирования 2 пациентов. Скорость проведения обследования задавалась оператором с учетом комфортной и при этом максимально высокой скорости передвижения.

Пациент 1. Мужчина, 1980 г.р. (41 год) с ампутационной культей верхней трети левой нижней конечности. Рост: 180 см, относительная длина ноги: 94 см, вес 90 кг.

Этап 1. Исследование 1. При изучении результатов ходьбы на протезе бедра со скоростью передвижения 2,2 км в час с применением гидравлического блока коленного шарнира (рис. 1 а-в) выявлены достаточно типичные для ходьбы на протезе нарушения

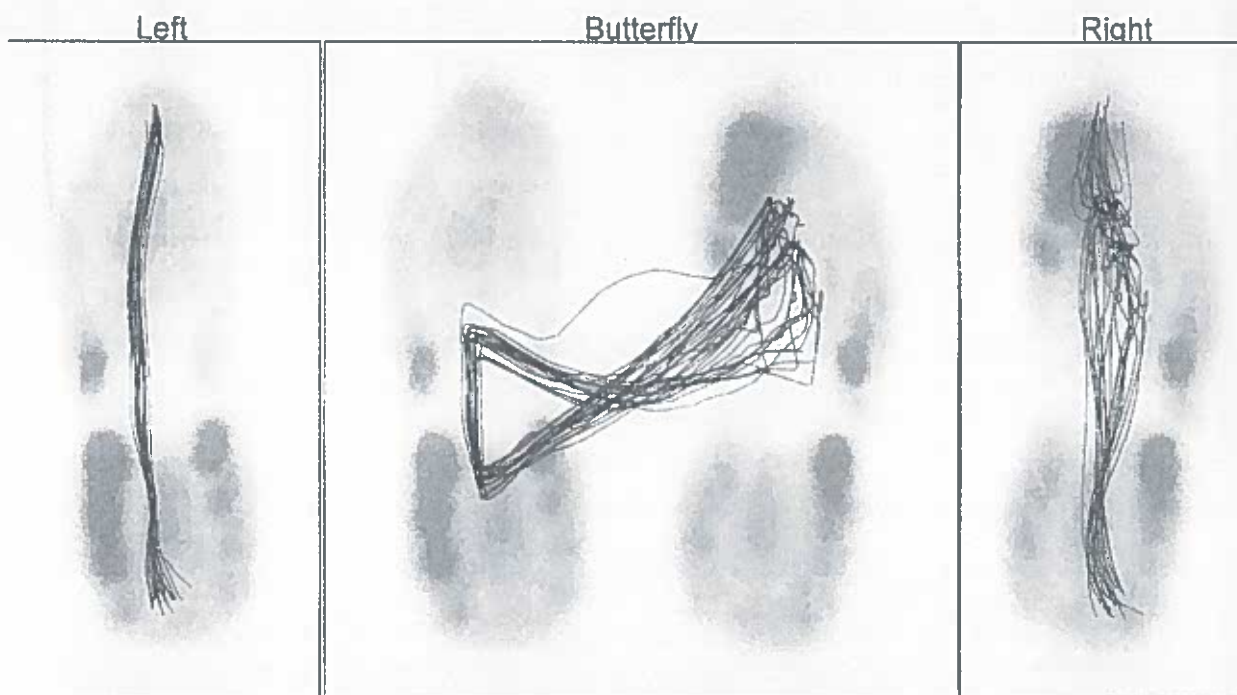


Рис. 1 а.
Распределение нагрузки в области левой стопы (протез) при ходьбе. Демонстрирует закономерно низкую балансирующую активность стопы

Рис. 1 б. Динамика миграции центра масс при ходьбе на протезе. Смещение справа центра масс кпереди и расслоение линий нагрузки свидетельствует о нарушении биомеханического паттерна, об асимметрии динамической нагрузки на конечности и о «неустойчивости» пациента при ходьбе

Рис. 1 в.
Распределение нагрузки в области правой стопы при ходьбе. Демонстрирует признаки активного поиска стопой баланса при ходьбе

(рис. 2 а-б), что может свидетельствовать об умеренных нарушениях функции биомеханики ходьбы: асимметрия длины шага (левой 46; правой 43 см при N 47-72 см) со снижением коэффициента ритмичности до 0,67 (N 0,94-1,0), различия в периодах нагружения конечностей: левой 19,4% и правой 17,8%; одиночной опоры: левой 25,2%, правой 7,8%, распределению силы между нижними конечностями: левой 60%, правой 40%, боковой симметрии – 4 мм что привело к удлинению времени шагового цикла до 1,43 сек (N 1,0-1,3 сек) резкому повышению времени двуопорной фазы до 37,1 (N 16-22%), значимой асимметрии миграции центра масс с деформированием и расслоением справа линий нагрузки, увеличению нагрузки на левую переднюю часть правой стопы передвижения.

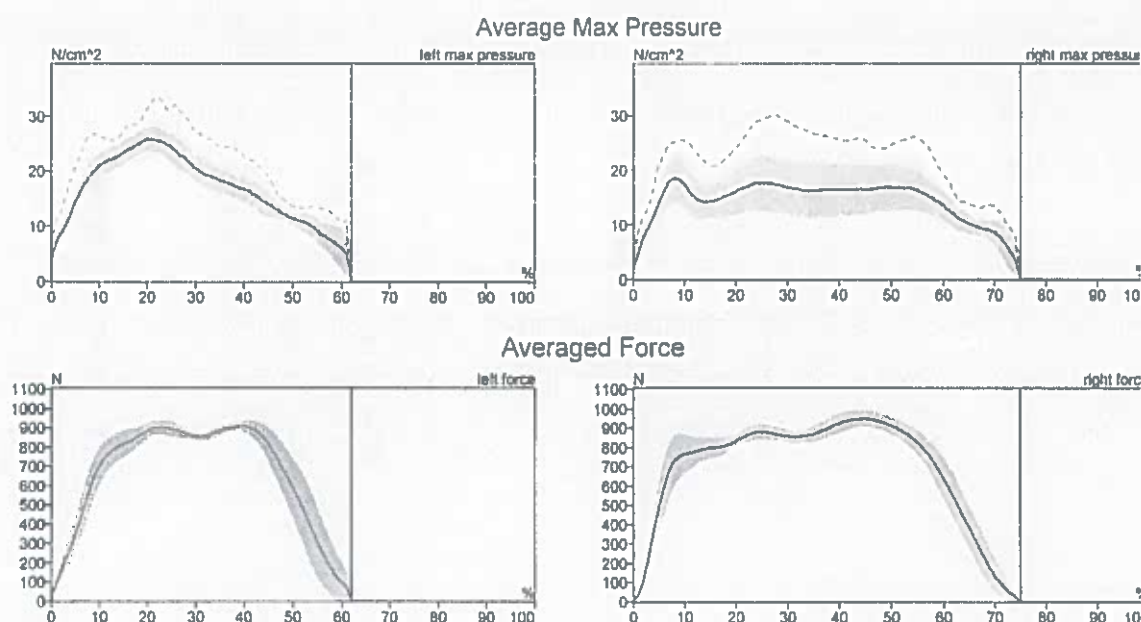


Рис. 2 а. Динамика среднего максимального давления (верхние графики, слева протез, справа – контрлатеральная конечность) и динамика усредненной силы давления стоп.

Характеризуется типичными для ходьбы на протезе изменениями: снижением переднего толчка

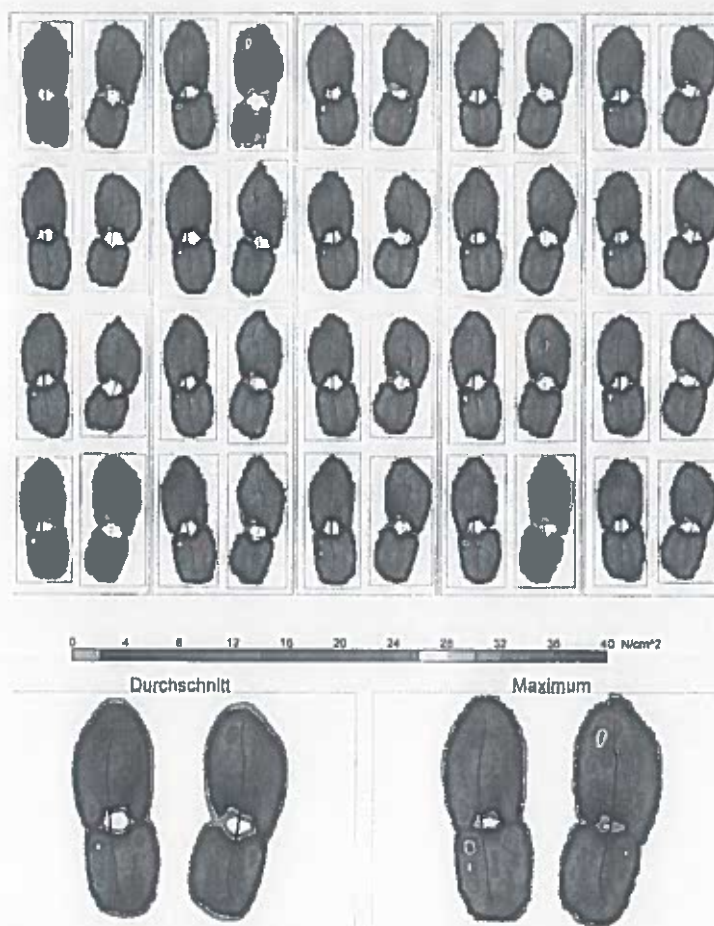


Рис. 2 б. Подографические показатели в динамике передвижения (верх), усредненные значения (внизу слева) и области максимальной нагрузки на стопы (внизу справа)

Пациент 1. Этап 1. Исследование 2. Скорость передвижения 2,2 км в час, используемый модуль коленного сустава – Актив 2. Выявлено: значимую асимметрию миграции центра масс с деформированием и расслоением справа линий нагрузки (рис. 3 а-в), незначительное уменьшение времени шагового цикла до 1,4, увеличения различия в периоде нагружения: левой 21,7%; правой 16,4%, асимметрии фазы переноса 37,3% левой и 24,7% правой. период одиночной опоры слева был 24,7%, справа 21,7%; снижен коэффициент ритмичности до 0,66; незначительно уменьшено распределение силы между нижними конечностями: левой 47%; правой 53%, т.е. при ходьбе в день смены вида коленного модуля походка имела и сохранила идентичные изменениями биомеханики ходьбы, имевшиеся при ходьбе на гидравлическом модуле коленного сустава: умеренные нарушения функции передвижения с умеренным снижением коэффициента ритмичности и длины шага, повышением уровня давления, незначительным увеличением времени шагового цикла, умеренным увеличением ширины шага, фазы опоры правой нижней конечности и двуопорной фазы (рис. 4 а-б).

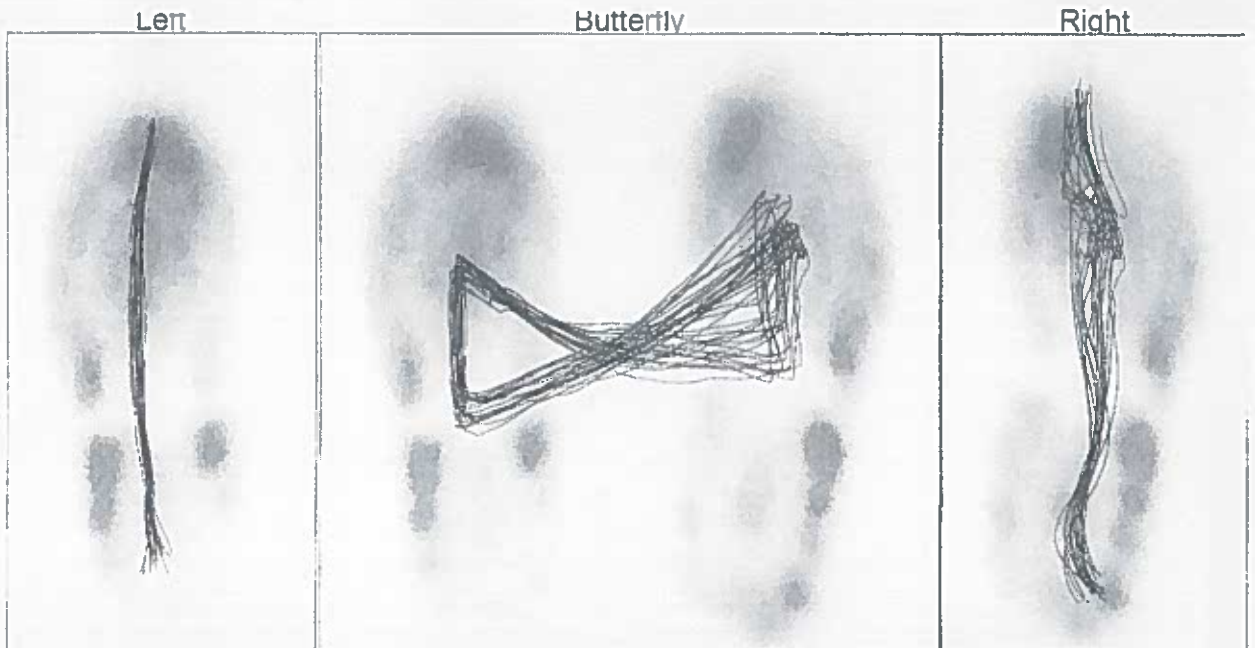


Рис. 3 а. Распределение нагрузки в области левой стопы (протез) при ходьбе

Рис. 3 б. Динамика миграции центра масс при ходьбе на протезе с модулем активного типа. Изменения подобные выявленным при ходьбе на протезе с гидравлическим модулем

Рис. 3 в. Распределение нагрузки в области правой стопы при ходьбе

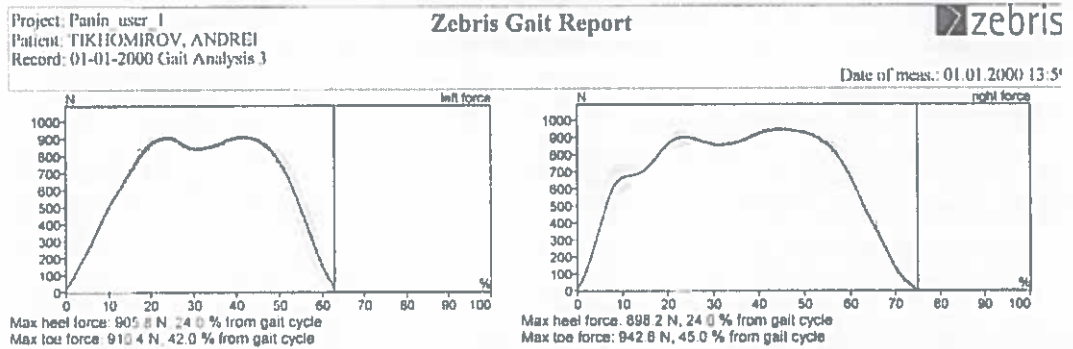
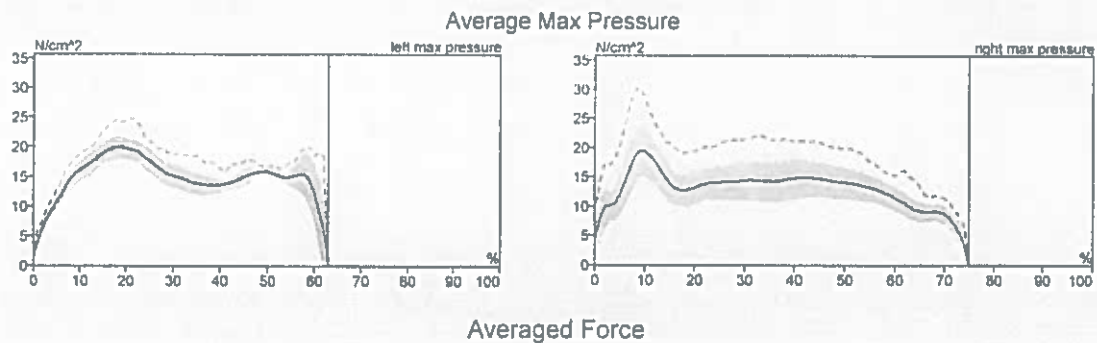


Рис. 4 а. Динамика среднего максимального давления (верхние графики, слева протез, справа – контралатеральная конечность) и динамика усредненной силы давления стоп. Характеризуется типичными для ходьбы на протезе изменениями

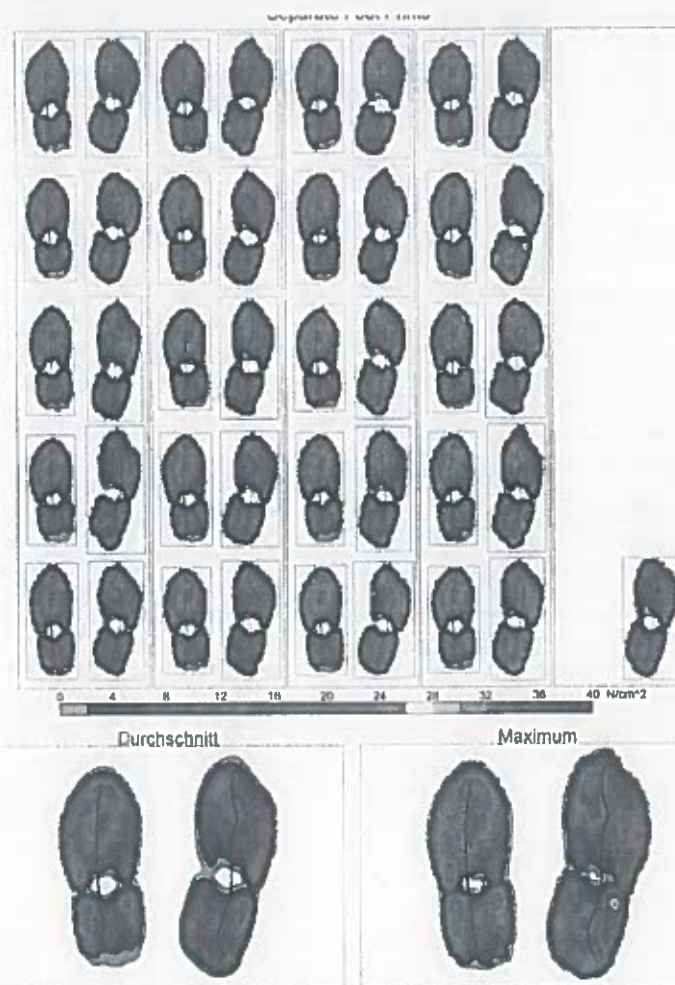


Рис. 4 б. Подографические показатели в динамике передвижения (верх), усредненные значения (снизу слева) и области максимальной нагрузки на стопы (внизу справа)

Динамика среднего максимального давления стопы так же демонстрирует приближение к показателям нормы.

Нужно отметить, что данные изменения достаточно характерны для ходьбы на протезе бедра, которые традиционно имеют снижение основных показателей ходьбы, таких как снижения коэффициента ритмичности до 0,74-0,75, возрастания длительности двуопорной фазы, редукцию или выпадение отдельных движений в течение цикла, ослабление опорной и толчковой функции, особенно протезированной нижней конечности с понижением устойчивости при ходьбе, которые в целом укладываются в общую картину временной, пространственной (кинематической) и динамической асимметрии.

Пациент 1. Этап 2. Исследование 1. Повторное исследование с максимально высокой, но при этом комфортной скоростью, 3,5 км в час, провели через 7 дней после установления модуля Актив 2 и его использования пациентом при ходьбе на протезе и осуществлении обычного для него образа жизни. Использование данного модуля показало значимое улучшение показателей ходьбы. Определялись следующие изменения:

комфортный максимальный темп ходьбы был 101 шаг /мин (N 80-100), длина шага: левой 58; правой 55 см (N 47-72 см); фаза опоры: левой 58,7%, правой 69,2% (N 65-67%); двуопорная фаза: 27,9 (N 16-22%); период нагружения: левой 14,3%; правой 13,6%; период одиночной опоры: левой 30,8%; правой 41,3%; распределение силы между нижними конечностями: левой 49%; правой 51%. Сохраняется увеличение нагрузки на переднюю и среднюю части левой стопы (протеза); миграция центра масс с деформацией контуров и прокатных линий с их разволоknением справа, боковой симметрией -2 мм (рис. 5 а-в). Другие параметры так же были с улучшениями показателей. При этом можно отметить, что при значительном снижении коэффициента ритмичности и выраженном увеличении двуопорной фазы, определяется незначительное повышение уровня давления и ширины шага, при этом такие показатели как время шагового цикла, длина шага и количество шагов при ходьбе на 100 метров пришли в норму (рис. 6 а-б).

Нужно отметить, что при повышении скорости передвижения по диагностической дорожке до 3,7 км в час после проведения основного тестирования без дополнительного отдыха не было отмечено значимых изменений в структуре шага: ряд показателей имели тенденцию к незначительному улучшению, в то время как другие – тенденцию к незначительному снижению.

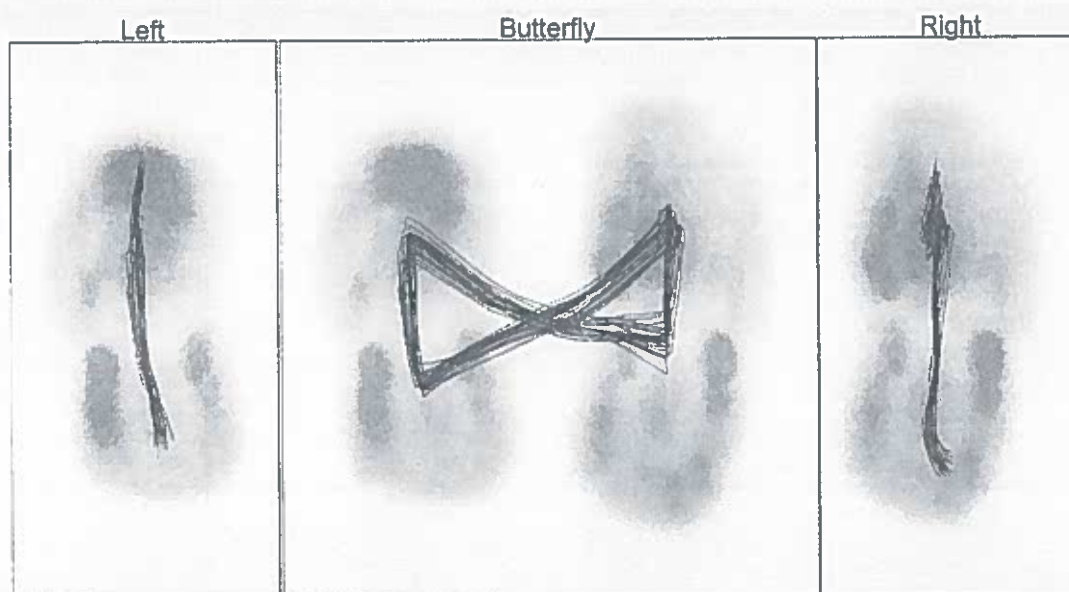


Рис. 5 а. Распределение нагрузки в области левой стопы (протез) при ходьбе. Демонстрирует незначительно возросшую балансирующую активность стопы

Рис. 5 б. Динамика миграции центра масс при ходьбе на протезе. Демонстрирует близкую к норме динамику распределения нагрузки

Рис. 5 в. Распределение нагрузки в области правой стопы при ходьбе. Демонстрирует положительную динамику распределения нагрузки, характеризующую устойчивость при ходьбе

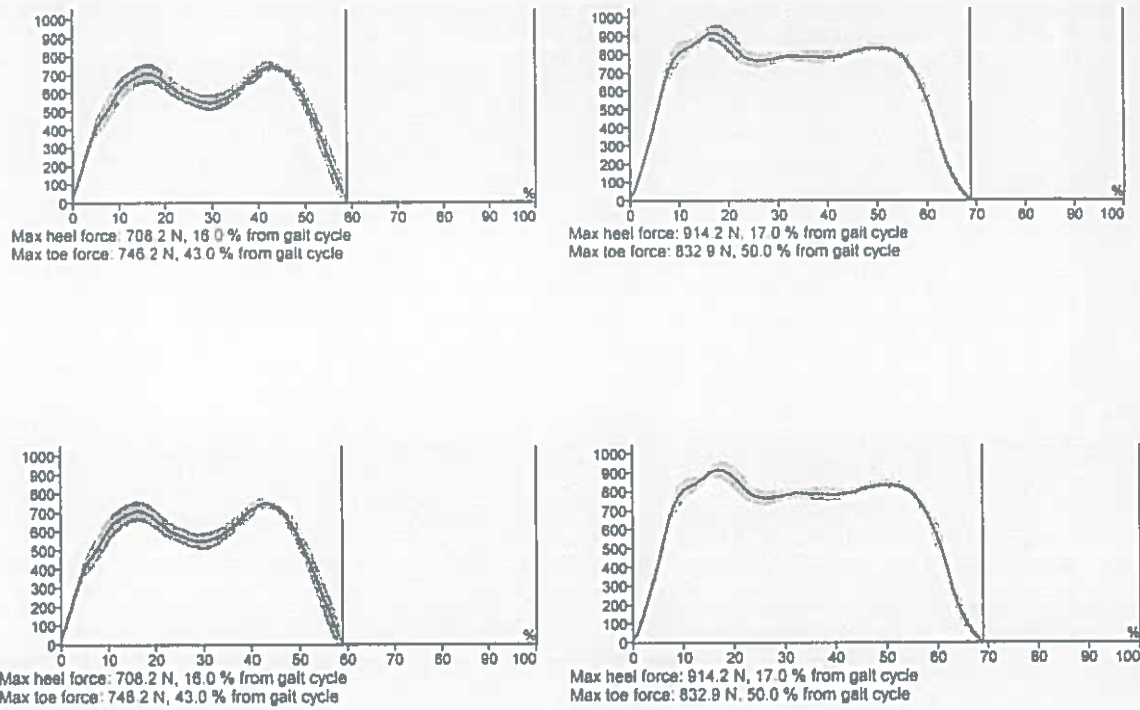


Рис. 6 а. Динамика среднего максимального давления (верхние графики, слева протез, справа – контрлатеральная конечность) и динамика усредненной силы давления стоп

Кесорд: 01-01-2000 Gait Analysis 10

Date of meas.: 01.0

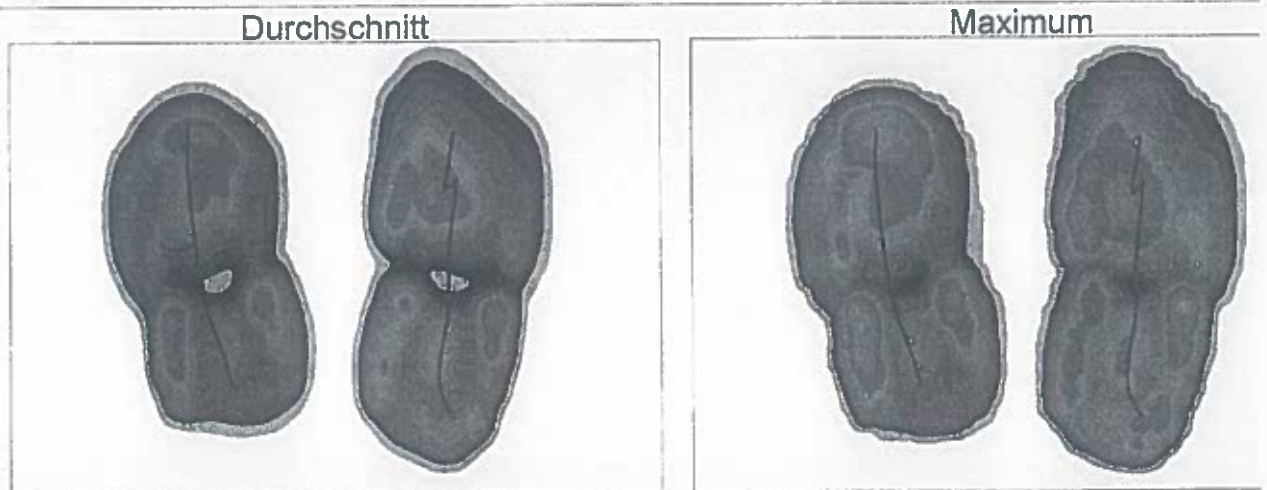


Рис. 6 б. Усредненные подографические показатели (слева) и области максимальной нагрузки на стопы (справа)

Пациент 1. Этап 2. Исследование 2. Повторное исследование, проведенное с использованием гидравлического коленного модуля после проведения отдыха и смены модуля коленного сустава по окончании исследования 1, со скоростью 3,5 км в час, так же показало улучшение показателей ходьбы с улучшением или нормализацией части параметров: скорость ходьбы: в норме; коэффициент ритмичности снижен умеренно; уровень давления повышен; время шагового цикла увеличено незначительно; длина шага не снижена; ширина шага увеличена; фаза опоры левой нижней конечности снижена умеренно; двуопорная фаза: увеличена; количество шагов при ходьбе на 100 метров в норме. Так же сохраняется увеличение нагрузки на заднюю части левой стопы (протеза); миграция центра масс с деформацией контуров и прокатных линий с их разволокнением справа, боковой симметрией 2 мм. Сравнительные биомеханические характеристики ходьбы на указанных выше коленных модулях протеза смотри в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики ходьбы пациента Т., 41 года на протезе с модулем Актив 2 и гидравлическим модулем

Показатель	Актив 2	Норма	Гидравлический
Скорость ходьбы	3,5	4,0 – 5,0 км/час	3,5
Темп ходьбы	101	80-100 шаг /мин	98
Время шагового цикла	1,18	1,0-1,3	1,23
Длина шага	левой 58; правой 55	47-72 см	левой 63; правой 58
Фаза опоры	левой 58,7; правой 69,2	65-67%	левой 58,2; правой 69,1
Двуопорная фаза	27,9	16-22%	27,3
Фаза переноса	левой 41,3; правой 30,8	33-35%	левой 41,8; правой 30,9
Коэффициент ритмичности	0,75	0,94-1,0	0,74
Количество шагов при ходьбе на 100 метров	88	80-120 шагов	83
Длина двойного шага	114	-	121
Период нагружения	левой 14,3%; правой 13,6%	-	левой 13,5%; правой 13,8%
Период одиночной опоры	левой 30,8%; правой 41,3%	-	левой 31,0%; правой 41,8%
Период отталкивания ноги от пола	левой 13,6%; правой 14,3%	-	левой 13,8%; правой 13,5%
Макс. уровень давления	25	N <20 N/cm2	35
Распределение силы между НК	левой 49%; пр. 51%	50/50%	левой 45%; пр. 55%

Таким образом, можно констатировать тот факт, что передвижение в протезе активного типа улучшило показатели ходьбы, при этом при практически равных показателях ходьбы при проведении исходного тестирования в сравнительном аспекте, через неделю после освоения модуля нового типа значительно улучшались показатели стати-

динамической функции. Однако, данные показатели имели не только положительную динамику при ходьбе с применением активного модуля коленного сустава, но и при ходьбе на протезе с гидравлическим модулем коленного сустава (рис. 7 а-в). Подобный эффект наблюдался нами при освоении протеза для бега, после применения которого пациенты в значимой степени улучшали биомеханические показатели своей ходьбы на «обычном» протезе (рис. 8 а-б).

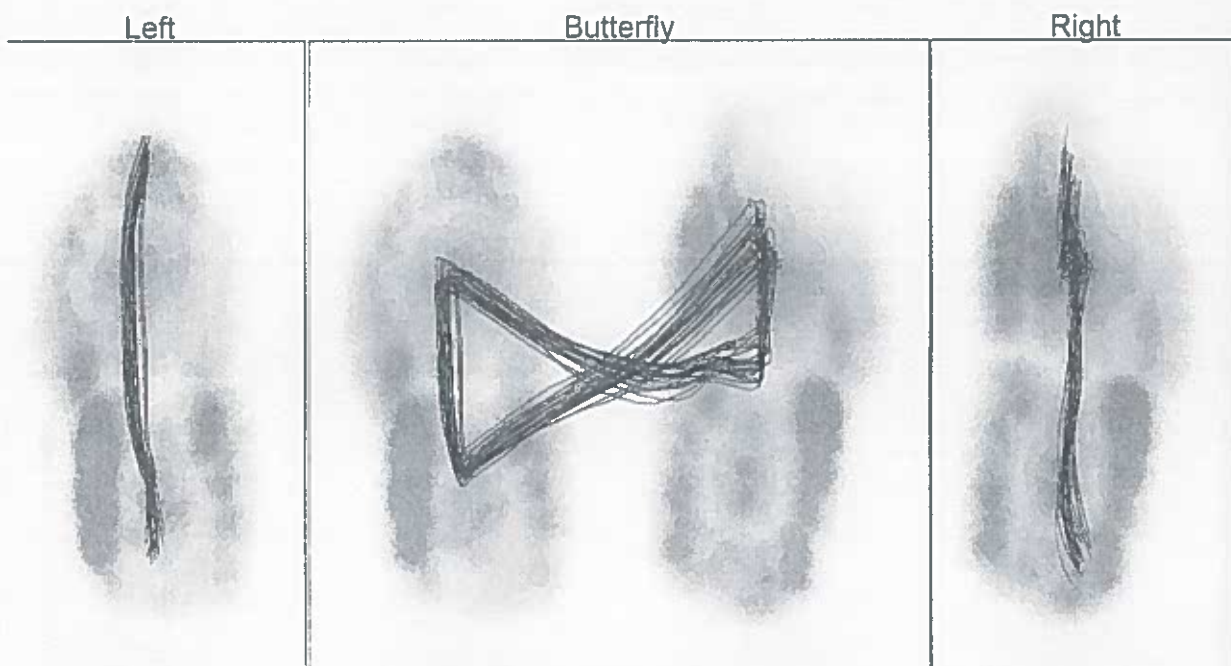


Рис. 7 а.
Распределение нагрузки в области левой стопы (протез) при ходьбе. Демонстрирует незначительно возросшую балансирующую активность стопы

Рис. 7 б. Динамика миграции центра масс при ходьбе на протезе. Незначительное смещение справа центра масс кпереди и положительная динамика по расслоению линий нагрузки. Асимметрия миграции центра масс выражена в большей степени в сравнении с ходьбой на протезе с модулем Актив 2

Рис. 7 в. Распределение нагрузки в области правой стопы при ходьбе. Демонстрирует положительную динамику со снижением асимметрии балансирующих реакций в сравнительном аспекте

Учитывая, что основной задачей было проведение сравнительного анализа ходьбы на протезах с использованием различного типа коленных модулей, исследования проводились в режиме максимально высокой, но при этом комфортной скорости ходьбы, которая подбиралась при пробном тестировании и устанавливалась самим пациентом. Это в определенной степени снижало ряд биомеханических характеристик (ходьба с меньшей скоростью передвижения была бы закономерно лучше по их показателям), но в лучшей степени выявляла возможности применения изделий.

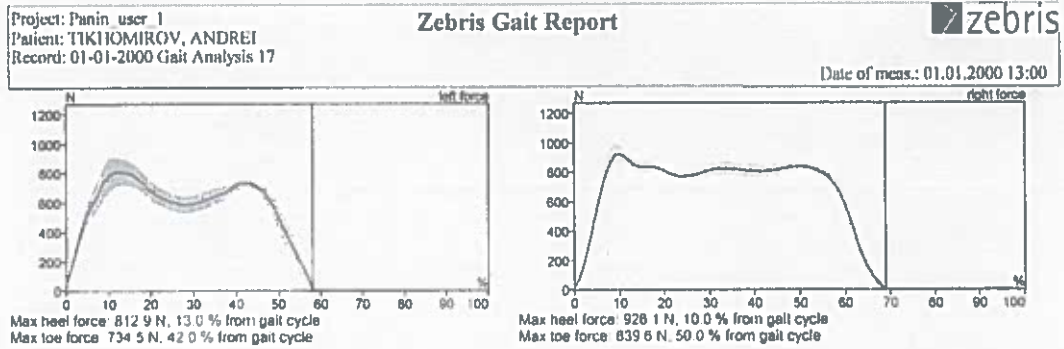
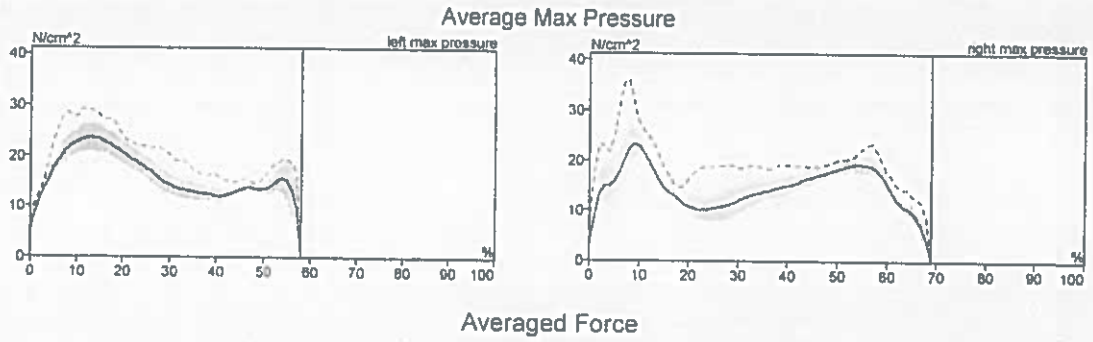


Рис. 8 а. Динамика среднего максимального давления (верхние графики, слева протез, справа – контралатеральная конечность) и динамика усредненной силы давления стопы. Характеризуется типичными для ходьбы на протезе изменениями

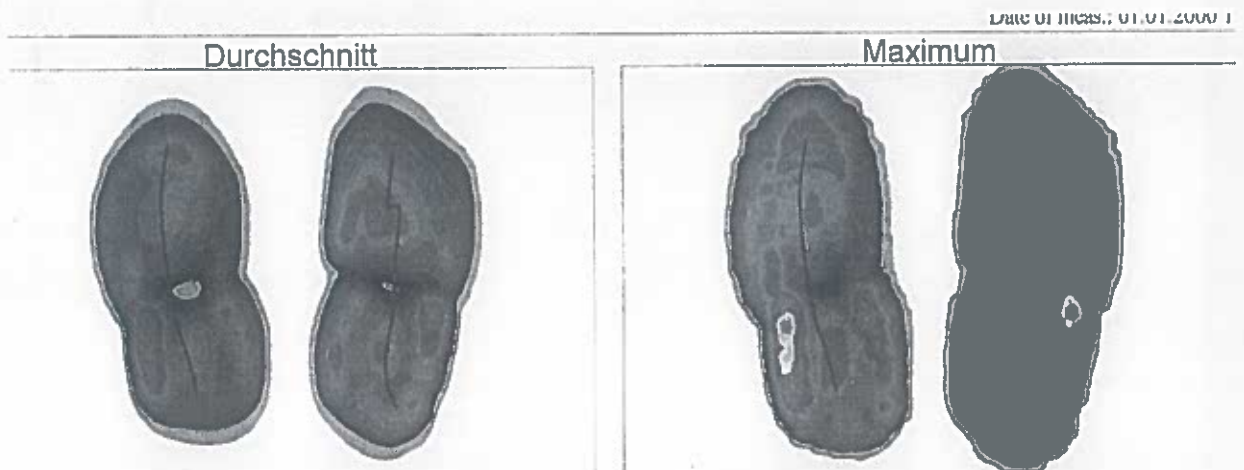


Рис. 8 б. Усредненные подографические показатели (слева) и области максимальной нагрузки на стопы (справа)

Пациент 2. Женщина, 1980 г.р. (44 года) с ампутированной культей верхней трети правой нижней конечности. Рост: 180 см, относительная длина ноги: 94 см, вес 90 кг.

Пациентке по организационным причинам проведен только первый этап исследования.

Этап 1. Исследование 1. Проведено сравнительное исследование при передвижении на протезе бедра пациенткой с применением двух различных модулей коленного сустава активного типа. Для более качественного сравнения биомеханических показателей, предлагается провести сравнительную характеристику ходьбы здорового человека на протезе с использованием коленных модулей различного типа (остальные части протеза при смене коленного модуля оставались неизменными), см. таблицу 2. Второй столбец демонстрирует качество ходьбы с использованием коленного модуля Genium фирмы Otto Bock, четвертый – при использовании коленного модуля Актив 2.

Таблица 2. Сравнительные характеристики ходьбы пациентки В., 44 лет на протезе с модулям Genium (Otto Bock) и Актив 2

Показатель	Genium	Норма	Актив 2
Скорость ходьбы	2,5	4,0 – 5,0 км/час	2,5
Темп ходьбы	80	80-100 шаг /мин	81
Время шагового цикла	1,5	1,0-1,3	1,48
Длина шага	левой 52; правой 52	47-72 см	левой 52; правой 51
Ширина шага (база опоры)	14	6,0-12,5 см	15
Фаза опоры	левой 70,6; правой 65,6	65-67%	левой 72,3; правой 64,0
Двуопорная фаза	36,3	16-22%	36,3
Фаза переноса	левой 29,4; правой 34,4	33-35%	левой 27,7; правой 36,0
Коэффициент ритмичности	0,86	0,94-1,0	0,8
Количество шагов при ходьбе на 100 метров	95	80-120 шагов	97
Длина двойного шага	105	-	103
Период нагружения	левой 16,5%; правой 19,8%	-	левой 16,0%; правой 20,3%
Время шага	левой 0,74; правой 0,76	-	левой 0,71; правой 0,77
Период одиночной опоры	левой 34,3%; пр-й 29,3%	-	левой 36,0%; правой 27,7%
Период отталкивания ноги от пола	левой 19,8%; пр-й 16,5%	-	левой 20,3%; правой 16,0%
Макс. уровень давления	22,5	N <20 N/cm ²	22,5
Распределение силы между НК	левой 49%; правой 51%	50/50%	левой 49%; правой 51%

Из данной таблицы видно, что ходьба при использовании активного модуля коленного сустава Genium коэффициент ритмичности снижен умеренно, уровень давления

повышен незначительно, время шагового цикла увеличено незначительно, длина шага в норме, ширина шага увеличена незначительно, фаза опоры левой нижней конечности увеличена, двуопорная фаза увеличена, количество шагов при ходьбе на 100 метров в норме. Изображение следов давления с незначительным увеличением нагрузки на заднюю часть правой стопы (протеза); миграция центра масс: слева линии незначительно распушены, боковая симметрия -2 мм; прокатные линии разволокнены слева (рис. 9 а-в).

Все вышеперечисленное свидетельствует об умеренном нарушении статодинамической функции (рис. 10).

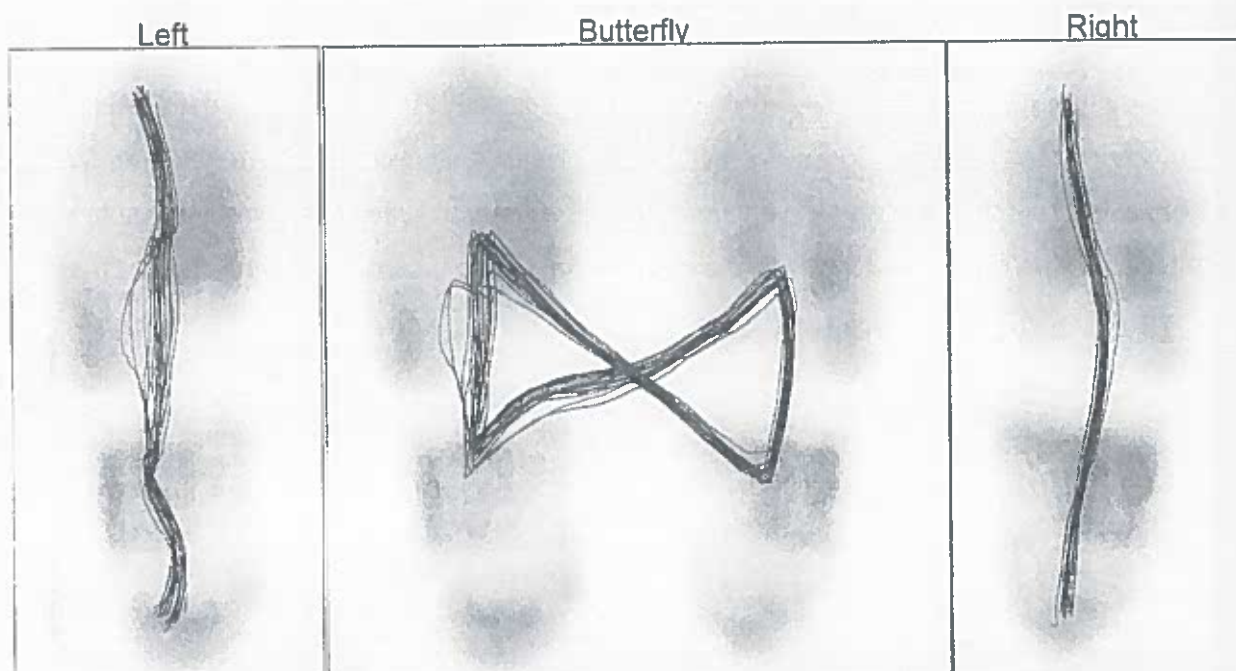


Рис. 9 а. Распределение нагрузки в области левой стопы при ходьбе. Демонстрирует балансирующую активность стопы

Рис. 9 б. Динамика миграции центра масс при ходьбе на протезе. Незначительное смещение слева центра масс кпереди, незначительное расслоение линий нагрузки

Рис. 9 в. Распределение нагрузки в области правой стопы (протез) при ходьбе. Демонстрирует низкие, но сохраненные балансирующие реакции

Parameters			
Foot rotation, deg	Left	7.7±1.4	
	Right	13.9±1.3	
Step width, cm		15±2	
Step length, cm (% of leg length)	Left	52/-1 (61/-1)	
	Right	51/-2 (61/-2)	
Step time, sec	Left	0.71±0.02	
	Right	0.77±0.02	
Stance phase, %	Left	72.3±1.1	
	Right	64.0±1.1	
Load response, %	Left	16.0±0.7	
	Right	20.3±1.1	
Single support, %	Left	38.0±1.0	
	Right	27.7±1.1	
Pre-swing, %	Left	20.3±1.0	
	Right	16.0±0.8	
Swing phase, %	Left	27.7±1.1	
	Right	38.0±1.1	
Total Double support, %		36.3±1.0	
Stride length, cm (% of leg length)		103/-2 (121/-2)	
Stride time, sec		1.48±0.03	
Cadence, steps/min		81±2	
Velocity, km/h		2.5±0.0	

Рис. 10. Биомеханические показатели опорных реакций при ходьбе на протезе с модулем коленного сустава Genium (Otto Bock). Примечание: красным отображены показатели, характеризующие функцию левой, контрлатеральной, конечности, зеленым – усеченной

Пациент 2. Этап 1. Исследование 2.

Исследование проведено после кратковременного отдыха, смены коленного модуля и настройки его параметров. При использовании модуля коленного сустава Актив 2 коэффициент ритмичности снижен незначительно, уровень давления повышен незначительно, время шагового цикла повышено, длина шага в норме, ширина шага увеличена умеренно, двуопорная фаза: увеличена выражено, количество шагов при ходьбе на 100 метров в норме (рис. 11). Так же отмечается незначительно увеличенная нагрузка на заднюю часть правой стопы (протеза), линии миграции центра масс правильной формы, не деформированы, симметричные; прокатные линии не разволокнены; боковая симметрия 1 мм (рис. 12 а-в).

Parameters			
Foot rotation, deg	Left	7.4+/-1.2	
	Right	10.6+/-1.6	
Step width, cm		14+/-2	
Step length, cm (% of leg length)	Left	52/-1 (61/-1)	
	Right	52/-2 (62/-2)	
Step time, sec	Left	0.74+/-0.02	
	Right	0.76+/-0.02	
Stance phase, %	Left	70.6+/-1.2	
	Right	65.6+/-1.2	
Load response, %	Left	16.5+/-0.7	
	Right	19.8+/-1.1	
Single support, %	Left	34.3+/-1.2	
	Right	29.3+/-1.1	
Pre-swing, %	Left	19.8+/-1.0	
	Right	16.5+/-0.7	
Swing phase, %	Left	29.4+/-1.2	
	Right	34.4+/-1.2	
Total Double support, %		36.3+/-1.0	
Stride length, cm (% of leg length)		105/-2 (123/-2)	
Stride time, sec		1.50+/-0.03	
Cadence, steps/min		80+/-2	
Velocity, km/h		2.5+/-0.0	

Рис. 11. Биомеханические показатели опорных реакций при ходьбе на протезе с модулем коленного сустава Актив 2. Примечание: красным отображены показатели, характеризующие функцию левой, контрлатеральной, конечности, зеленым – усеченной

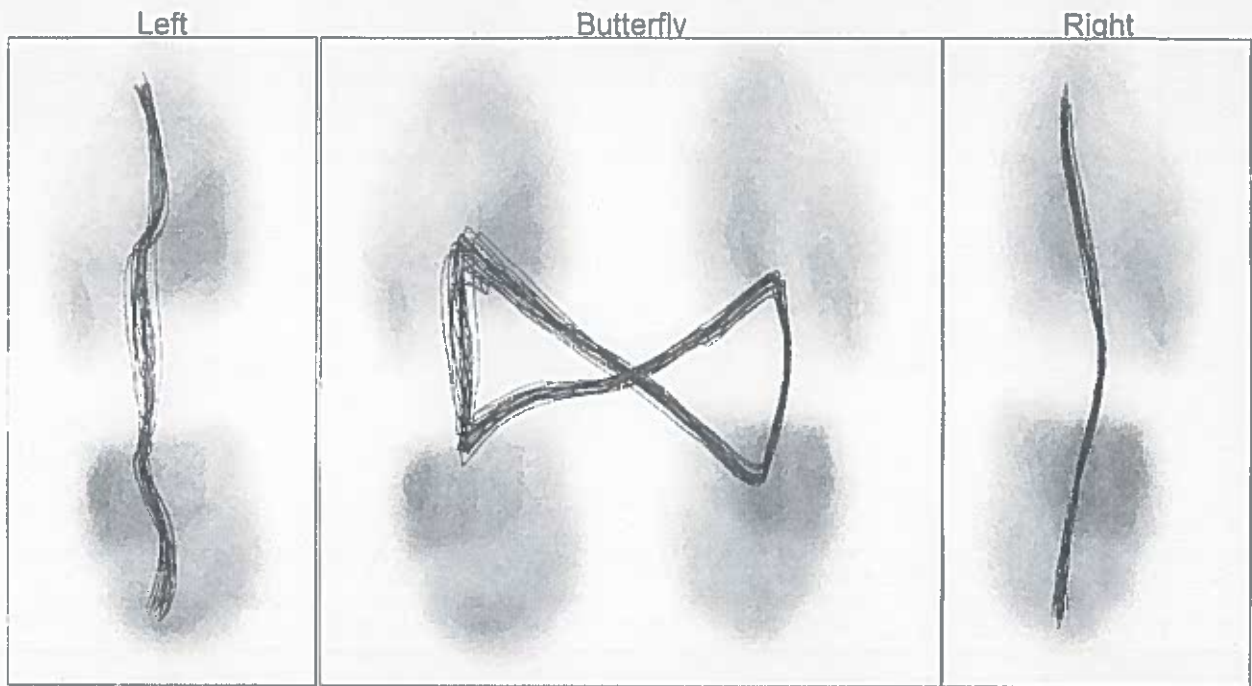


Рис. 12 а.
Распределение нагрузки в области левой стопы при ходьбе.
Демонстрирует балансирующую активность стопы

Рис. 12 б. Динамика миграции центра масс при ходьбе на протезе с модулем Актив 2. Незначительное смещение слева центра масс кпереди, незначительное расслоение линий нагрузки – картина идентичная таковой при ходьбе на протезе с модулем Genium

Рис. 12 в. Распределение нагрузки в области правой стопы (протез) при ходьбе.
Демонстрирует низкие, но сохраненные балансирующие реакции

Исходя из представленных при обследовании параметров, значимого отличия при использовании активного модуля коленного сустава Genium в сравнении с использованием активного модуля коленного сустава Актив 2 не выявлено.

Данные результаты являются сравнительным анализом биомеханических параметров ходьбы на протезе с использованием коленных модулей различного типа пациентов, полученных при тестировании двух пациентов и требуют продолжения дальнейшего набора данных до статистически значимых показателей с их последующей интерпретацией.