Оценка влияния скорости ходьбы на плантарное изменение давления под стопами

Тагиева К. Ф.[1], Аксенов А. Ю.[2], Клишковская Т. А.[3]

[1]Тагиева Кристина Фаиковна / Tagieva Kristina Faikovna – бакалавр,
направлениие: биотехнические системы и технологии;
[2]Аксенов Андрей Юрьевич / Aksenov Andrey Yurievich – PhD, ассистент,
кафедра биотехнических систем;
[3]Клишковская Татьяна Алексеевна / Klishkovskaja Tatyana Alekseevna – бакалавр,
направление: биотехнические системы и технологии,
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В. И. Ульянова (Ленина),
г. Санкт-Петербург

Аннотация: *в данной статье рассматривается влияние скорости ходьбы на изменение плантарного давления под стопами. Также описывается методика, разработанная для этих целей. Проведенное исследование демонстрирует влияние скоростей (3, 4, 5, 6 км/ч) на распределение плантарного давления в различных отделах стопы. Исследование показало, что скорость ходьбы в значительной степени влияет на распределение плантарного давления, равновесия и смещает центр масс. Вследствие этого она является одним из важнейших факторов, который необходимо учитывать при проведении диагностики, исследовании или назначении лечения.*

Abstract: *this paper examines the impact of changes in walking speed on plantar pressure under the foot. It also describes a technique developed for this purpose. This study demonstrates the effect of the velocity (3, 4, 5, 6 km / h) on the plantar pressure distribution in different parts of the foot. The study found that walking speed greatly affects the distribution of plantar pressure, balance and shifts the center of mass. As a result, it is one of the most important factors to be considered when conducting diagnostics, research, or initial treatment.*

Ключевые слова: *плантарное давление, скорость ходьбы, биомеханика походки, максимальное давление, парциальная нагрузка, траектория центра масс, интегральная нагрузка.*

Keywords: *plantar pressures, walking speed, biomechanics of gait, the maximum pressure, partial load, the center of mass trajectory integral load.*

Введение

В среднем человек совершает 10000 шагов каждый день. Стопа является главной составляющей локомоций. Она представляет собой сложную скелетно-мышечную систему, выполняющую различные функции: торможение, приспособление к различным видам поверхностей для балансирования, а также во взаимодействии с голеностопным суставом и мышцами выступает в роли системы амортизации [1]. Неправильно подобранные ортопедические изделия совместно с приобретенным стереотипом ходьбы могут со временем повысить риск развития остеоартроза колена, варусных и вальгусных изменений суставов, деформации стопы, что может отрицательно отразиться на состоянии позвоночника.

Результаты научных исследований показали, что скорость ходьбы в значительной мере влияет на изменение угловых и кинетических характеристик суставов, а также на работу мышц [2-5]. Исследование, проведенное в России, показало значительную корреляцию между фактором скорости и точностью динамоплантографического измерения [6].

Однако на сегодняшний день очень мало доступной информации о влиянии скорости ходьбы на биомеханику стопы и плантарное распределение давления под стопами.

Система измерения плантарного давления под стопами уже давно и широко нашла свое применение во многих странах мира для оценки и диагностики патологий опорно-двигательного аппарата. Такие системы, как ДиаСлед, Medilogic, Novel и многие другие применяются при диагностике стоп как в динамике, так и в статике.

В этой связи проведение таких исследований даст возможность получить недостающую информацию для более глубокого анализа и понимания механизма приобретения патологий скелетно-мышечной системы человека. В дальнейшем применение полученных результатов может способствовать улучшению качества лечения, реабилитации и повышению уровня протезно-ортопедического обеспечения пациентов.

Целью исследования является рассмотрение влияния фактора скорости на плантарное распределение давления для различных отделов стопы.

Методика исследования

Исследование проводилось в биомеханической лаборатории университета «ЛЭТИ» на аппаратно-программном комплексе «ДиаСлед-М», который представлен на рисунке 1: модуль сопряжения с компьютером (рисунок 1а), крепящие его на пояс пациента ремни (рисунок 1г), модуль преобразования и передачи данных (рисунок 1б) и измерительные стельки (рисунок 1в).

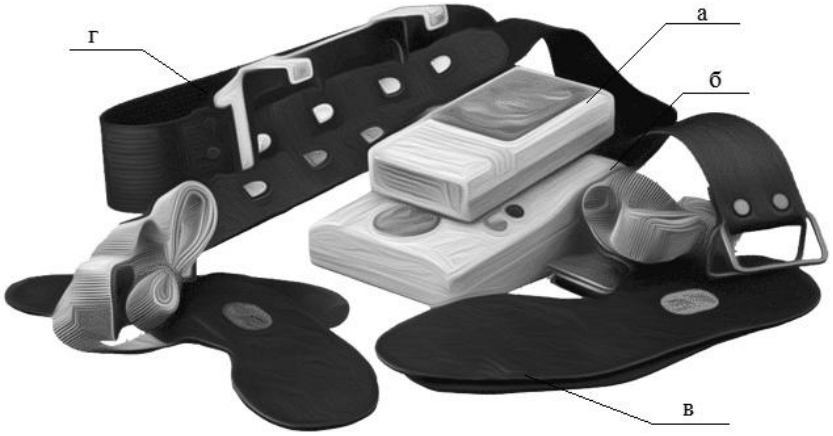

Рис. 1. Комплектация «ДиаСлед-М»

Регистрация давления осуществлялась при помощи 81 сенсора в каждой стельке с частотой регистрации 100 Гц.

В исследовании приняли участие 8 девушек в возрасте 20.3 ± 2.7 лет с массой тела 60.5 ± 4.5 кг, и размером стопы 38. Лица с патологией опорно-двигательного аппарата из тестирования исключались. Использовалась обувь с высотой подошвы 1 см.

Для всех испытуемых проводилась серия записей данных для каждой из скоростей 3, 4, 5 и 6 км/ч. При дальнейших расчетах давления скорость 3км/ч считалась контрольной и принималась за 100%.

Условие проведения эксперимента

Перед каждым измерением производилась адаптация к необходимой скорости, для того чтобы сохранить естественную походку в условиях эксперимента.

По результатам нескольких исследований отмечается влияние такого фактора, как вид покрытия опорной поверхности (паркет, бетон и т.д.), на ходьбу человека [7-9]. В связи с этим для увеличения точности исследования был подобран одинаковый и оптимальный вариант для каждого тестируемого: испытуемые ходили по ровной и твердой поверхности длиной 15 метров.

В среднем проводилась регистрация 6 записей для каждой скорости в динамике, а также результаты давления в статике для проведения нормализации данных.

Анализ экспериментальных данных

После регистрации ходьбы системой ДиаСлед (рисунок 2) производился экспорт полученных данных с целью последующей обработки в Microsoft Office Excel и анализа в специально разработанной программе в среде Matlab.

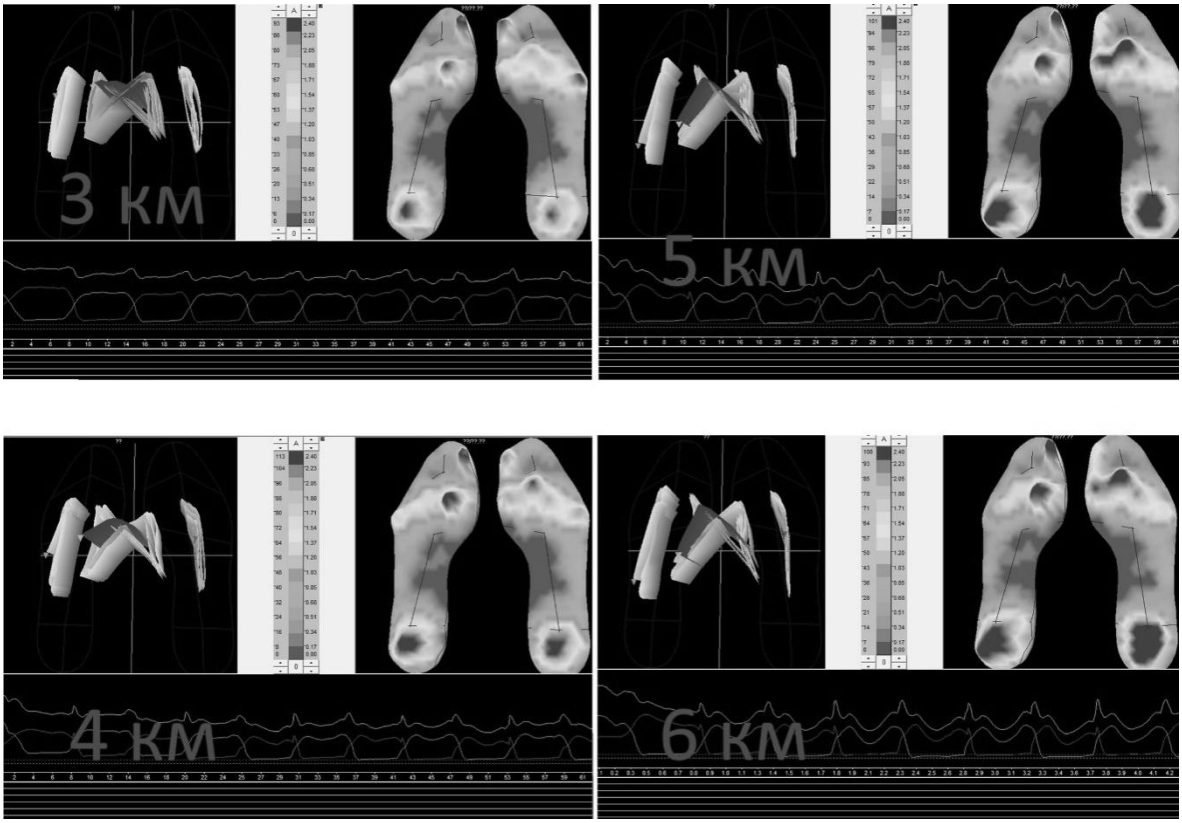

Рис. 2. Пример полученных данных с помощью комплекса «ДиаСлед»

При анализе максимального давления рассматривались следующие отделы стопы: пятка, средний и передний отделы, а также пальцы ног для латеральной и медиальной частей стопы (рисунок 3).

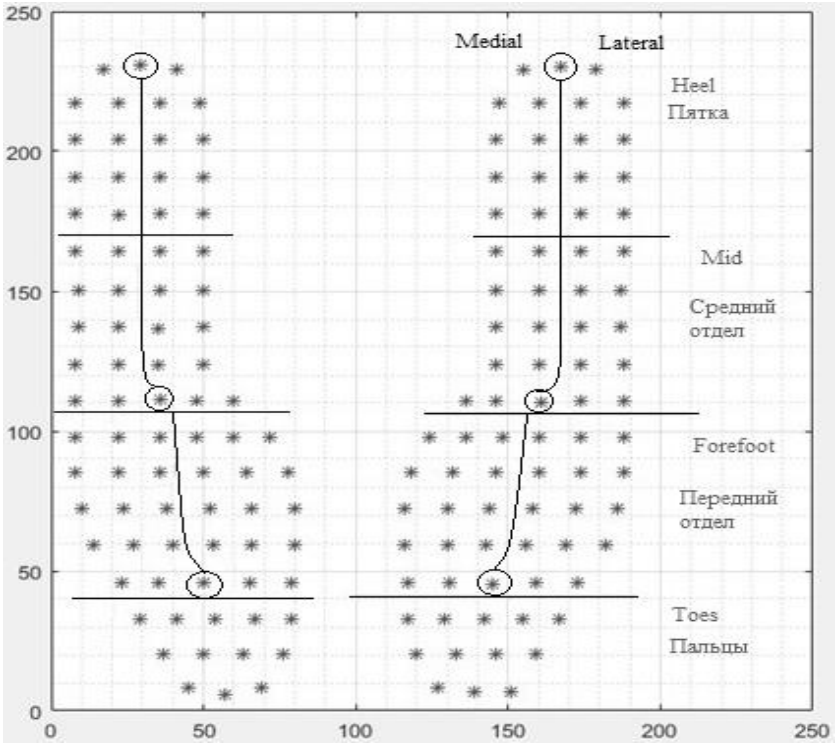

Рис. 3. Расположение датчиков в стельке, отделы стопы

Статистический анализ данных производился в программе SPSS statistics V.23 методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с коррекцией Бонферроне при стандартном уровне статистической значимости.

Результаты исследования

По результатам, приведенным в таблице 1, видно, что с увеличением скорости происходит изменение максимального давления на отделы стопы в сравнении с контрольной скоростью 3 км/ч.

Таблица 1. Результаты максимального плантарного давления и среднеквадратического отклонения для различных отделов стопы обеих ног латеральной (лат.) и медиальной (мед.) сторон, в процентах

Максимальное давление, %						
			Пятка	**Средний отдел**	**Передний отдел**	**Пальцы**
Скорость	**3 км/ч (1)**	Мед.	(100,0±1,9)	(100,0±1,7)	(100,0±5,1)	(100,0±3,1)
		Лат.	(100,0±2,0)	(100,0±2,9)	(100,0±2,2)	
	4 км/ч (2)	Мед.	(115,8±2,8) ^{1,3,4*}	(98,2± 0,6) ^{1,3,4*}	(113,2±2,4) ^{1,4*}	(118,0±2,8) ^{1,3,4*}
		Лат.	(105,9±1,7) ^{1,4*}	(95,8± 1,8) ^{1,3,4*}	(98,8±1,4) ^{4*}	
	5 км/ч (3)	Мед.	(130,2± 2,0) ^{1,2,4*}	(95,2± 1,3) ^{1,2,4*}	(121,4±5,4) ^{1,4*}	(129,0±3,0) ^{1,2,4*}
		Лат.	(112,4±4,2) ^{1,4*}	(86,4± 3,6) ^{1,2,4*}	(94,9±1,7) ^{1,4*}	
	6 км/ч (4)	Мед.	(144,7± 2,7) ^{1,2,3*}	(92,0±10,8) ^{1,2,3*}	(133,4±4,2) ^{1,2,3*}	(140,8±4,1) ^{1,2,3*}
		Лат.	(118,3± 2,2) ^{1,2,3*}	(75,5±3,6) ^{1,2,3*}	(83,6±5,7) ^{1,2,3*}	

[1,2,3,4*] Показывает статистическую значимость p<0.05 между скоростями 3(1) км/ч, 4(2) км/ч, 5(3) км/ч и 6(4) км/ч.

Результаты изменения суммарного давления (в процентах) на всю стопу для различных скоростей относительно эталонной 3 км/ч представлены в таблице 2.

Таблица 2. Суммарное максимальное давление для различных скоростей

	3 км/ч	**4 км/ч**	**5 км/ч**	**6 км/ч**
Максимальное суммарное давление всей стопы, %	0 %	увеличилось на 10-20%	увеличилось на 21-30%	увеличилось на 22-40%

На рисунках 4 и 5 показаны диаграммы динамки траектории центра масс (ТЦМ) и траектории центра давления (ТЦД) для различных скоростей.

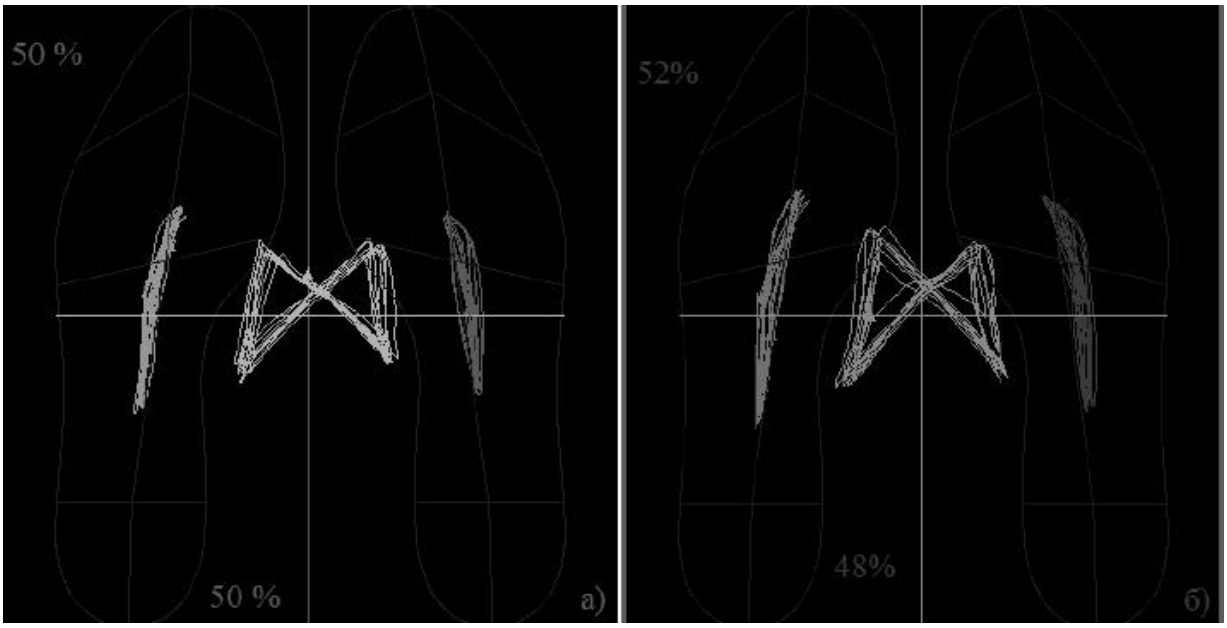

Рис.4. ТЦМ и ТЦД: а) 3 км/ч; б) 4 км/ч

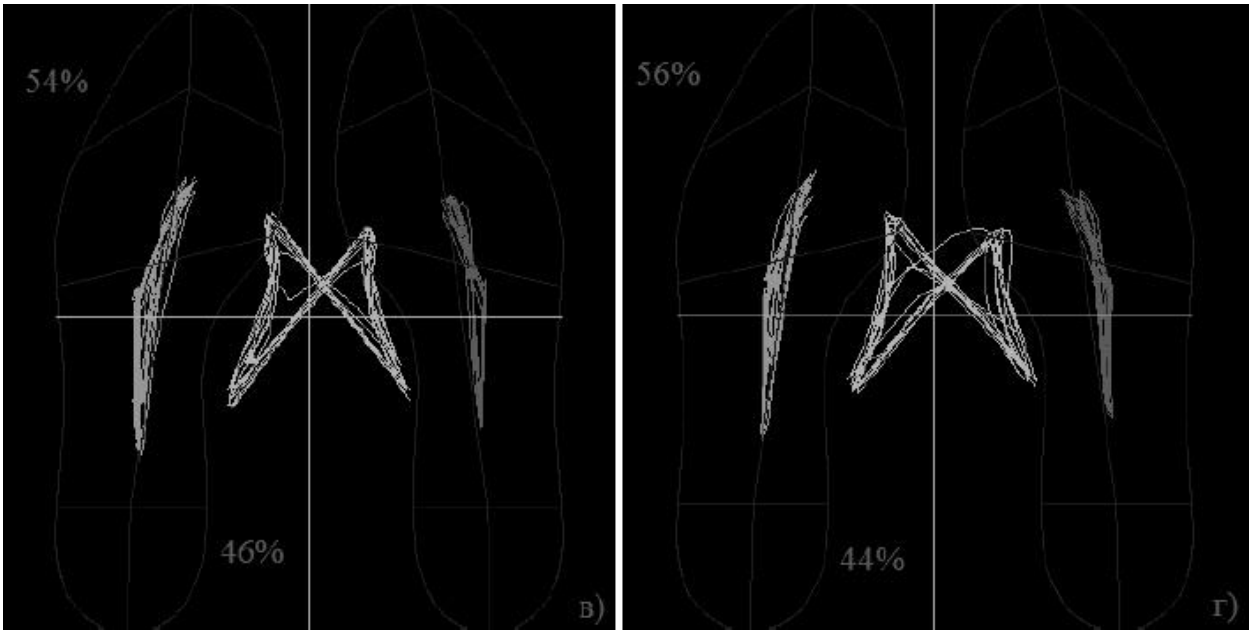

Рис. 5. ТЦМ и ТЦД: в) 5 км/ч; г) 6 км/ч

По результатам анализа можно отметить, что при скорости 6 км/ч происходит смещение центра масс в переднюю область на 6%, а при снижении скорости смещение уменьшается. Также при увеличении скорости можно заметить незначительное нарушение симметричности ТЦМ.

На рисунке 6 представлены результаты интегральной нагрузки для скорости 3км/ч.

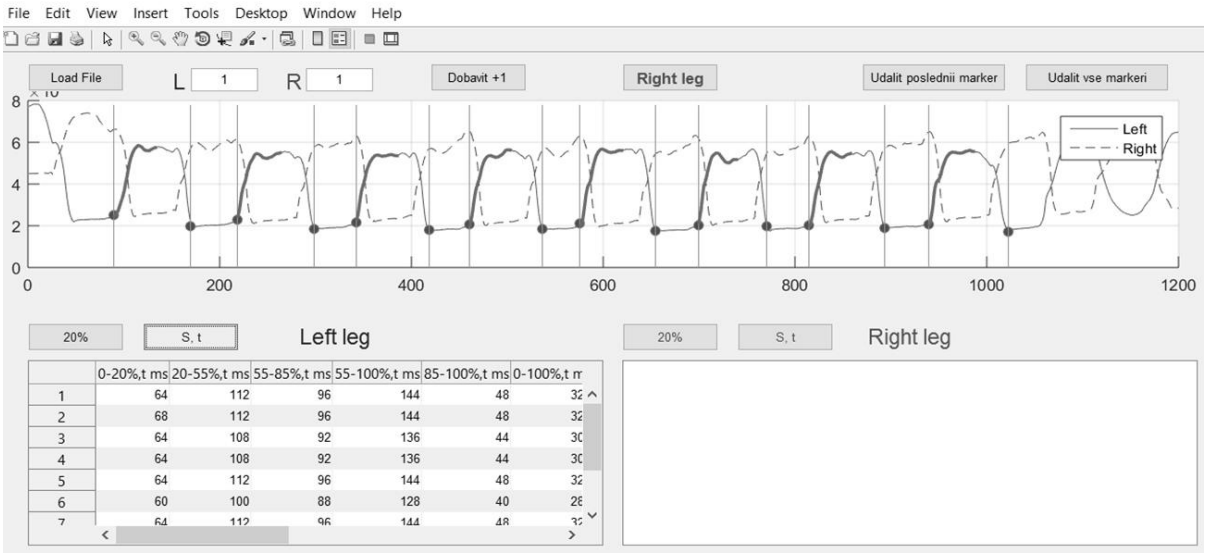

Рис. 6. Интегральная нагрузка при скорости 3 км/ч

Рисунок 7 отображает результат интегральной нагрузки для максимальной скорости тестирования.

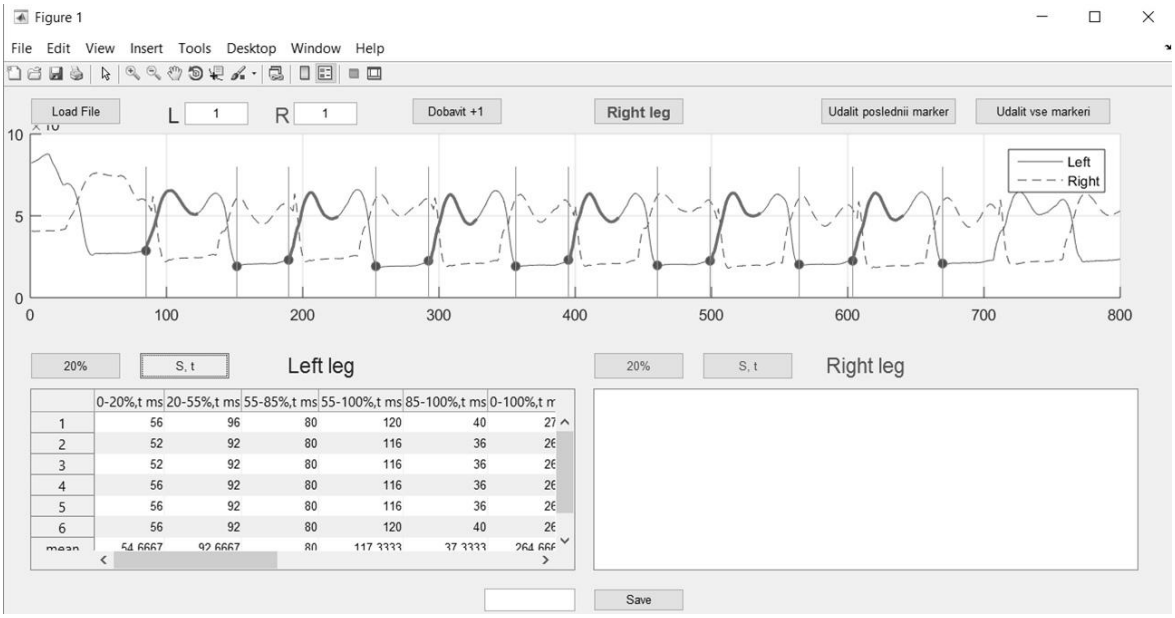

Рис. 7. Интегральная нагрузка при скорости 6 км/ч

Анализ результатов показал значительные изменения экстремумов графиков интегральной нагрузки для скоростей 3 и 6 км/ч в периодах 20-40% и 60-80% цикла переката стопы. А также при скорости 6 км/ч в значительной степени увеличилось максимальное давление на передний и задний отделы стопы (приблизительно на 40%), а нагрузка на средний отдел уменьшилась в среднем на 17%. Стоит подчеркнуть, что с увеличением скорости центр масс в значительной степени смещается в медиальную сторону переднего и заднего отдела, а нагрузка на пальцы возрастает до 40%.

Дискуссия

Данное исследование фокусируется на влиянии скорости ходьбы на плантарное распределение давления под стопами. Результаты исследования показали, что с увеличением скорости происходит смещение центра масс давления в медиальную сторону стопы. Это может способствовать развитию выраженной деформации первой плюсневой кости, а также увеличить вальгус голеностопного сустава и варус колена. Поэтому неправильно подобранные ортопедические изделия в сочетании с высокой скоростью ходьбы могут не только способствовать развитию осложнений голеностопного, коленного и тазобедренного суставов, но и отрицательно повлиять на состояние позвоночника.

Стоит отметить, что с увеличением скорости максимальное давление увеличилось в медальной части переднего и заднего отдела, однако время нагрузки в значительной степени снизилось. Людям, имеющим диабетическое заболевание стоп и скелетно-мышечные нарушения в области первой метатарзальной зоны, рекомендуется следить за скоростью ходьбы для снижения вероятности развития деформаций, язв и других осложнений.

Из результатов исследования видно, что при медленной скорости ходьбы давление на средний отдел в значительной степени увеличилось, что удостоверяет увеличение нагрузки на свод стопы. В дальнейшем при постоянной медленной ходьбе может развиться плоскостопие стопы.

У людей, не имеющих патологий опорно-двигательного аппарата, траектория центра давлений имеет симметричный характер и наблюдается незначительная выпуклость линий в сторону I-й плюсневой кости [10]. С увеличением скорости происходит нарушение ТЦД, а также смещение центра масс вперед, что свидетельствует об уменьшении баланса и увеличенной нагрузке на нижний отдел позвоночника и коленного сустава.

Для людей, имеющих различные заболевания опорно-двигательного аппарата, рекомендуется подбирать ортопедические изделия, соответствующие той или иной патологии, и учитывать скорость ходьбы для снижения риска осложнений.

Заключение

Результаты экспериментального исследования показали, что скорость ходьбы при регистрации биомеханики походки является чрезвычайно важным фактором. Поэтому ее необходимо контролировать при

диагностике опорно-двигательного аппарата для повышения точности получения и интерпретации данных, что позволит улучшить не только качество полученных данных, но и эффективность лечения пациентов.

Литература

1. *Young C. C., N. M. W., Morris G. A., Eerkes K. J.* Clinical examination of the foot and ankle. Prim Care, 2005: p. 105-132.
2. *Sousa A. S. and Tavares J. M.* Effect of gait speed on muscle activity patterns and magnitude during stance. Motor Control, 2012. **16** (4): p. 480-92.
3. *Chung M.-J. and Wang M.-J.* The change of gait parameters during walking at different percentage of preferred walking speed for healthy adults aged 20–60 years. Gait & Posture, 2010. **31** (1): p. 131-135.
4. *van Hedel H. J. A., Tomatis L. and Müller R.* Modulation of leg muscle activity and gait kinematics by walking speed and bodyweight unloading. Gait&Posture, 2006. **24** (1): p. 35-45.
5. *Chiu M.-C. and Wang M.-J.* The effect of gait speed and gender on perceived exertion, muscle activity, joint motion of lower extremity, ground reaction force and heart rate during normal walking. Gait & Posture, 2007. **25** (3): p. 385-392.
6. *Смирнова Л. М. и Никулина С. Е.* Игнорирование фактора скорости локомоции как причина снижения точности динамоплантографического исследования. Биомедицинская радиоэлектроника, 2010 (№ 5): стр. 19-25.
7. *Garcia-Perez J. A., P.-S. P., Llana S., Martinez-Nova A., Sanchez-Zuriaga D.* Effect of overground vs treadmill running on plantar pressure: influence of fatigue. Gait&Posture, 2013. 38 (4): p. 929-33.
8. *Segal A., Rohr E., Orendurff M., Shofer J., O'Brien M., Sangeorzan B.* The effect of walking speed on peak plantar pressure. Foot&Ankle Int, 2004. 25 (12): p. 926-933.
9. *Choi S. C. H., Kang B., Lee D. H., Kim M. J., Jang S. H.* Slip-related changes in plantar pressure distribution, and parameters for early detection of slip events. Annals of rehabilitation medicine, 2015. 39 (6): p. 897-904.
10. *Смирнова Л. М., Аржанникова Е. Е., Карапетян С. В., Гаевская О. Э.* Методика использования комплексов серии «ДиаСлед-Скан» при диагностике состояния стопы и нарушений опорно-двигательной функции пациента, назначении ортопедических стелек и оценке их эффективности, 2014.