Клинический анализ ходьбы:

ходьба по беговой дорожке против наземной ходьбы.

Авторы: Selma Papegaaij, Frans Steenbrink

Клинический анализ ходьбы является хорошо зарекомендовавшим себя инструментом для объективной оценки походки, который позволяет выявить отклонения паттерна ходьбы, чтобы составить программу реабилитации и контролировать эффект. Анализ походки был введен в клиническую практику для лечения детей с церебральным параличом (ДЦП). Лечение, основанное на рекомендациях по анализу клинической походки, действительно сообщало о более значительных улучшениях клинических исходов. ^{1,2} Использование анализа клинической походки теперь распространилось на различные группы пациентов, такие как перенесшие инсульт, люди с травмой спинного мозга и ортопедические пациенты. ³⁻⁵

В каком случае предпочтителен анализ ходьбы на беговой дорожке

Традиционно данные анализа походки собирались во время ходьбы по земле с использованием силовых платформ, трехмерного захвата движения и электромиографии (ЭМГ). Хотя такой анализ доказал, что он дает клинически полезную информацию, ходьба с одним хорошо локализованным шагом на силовую платформу вряд ли будет полноценно отражать повседневную ходьбу. Чтобы обеспечить естественную ходьбу, силовые пластины часто встраиваются в пол и скрыты от пациента, чтобы они не изменяли ритм своей ходьбы, чтобы наступить на пластину. Однако это значительно увеличивает количество необходимых испытаний и, следовательно, увеличивает время сбора данных. Опрос, посвященный рутинному использованию 28 лабораторий оценки ходьбы, показал что время исследования иногда достигает почти 5 часов на пациента, и только 30% этого времени фактически используется для анализа данных. Оставшиеся 70% используются для подготовки лаборатории и пациента, сбора данных, обработки данных и связи со специалистом. Опрос также показал, что анализ ходьбы еще не является обычным инструментом в системе здравоохранения. Несмотря на большой потенциал предоставления клиницистам полезной информации о различных типах патологий ходьбы, анализ ходьбы часто приберегается для ограниченной группы пациентов из-за нехватки времени. Использование беговой дорожки для анализа ходьбы может помочь преодолеть ограничения наземного тестирования. Одним из преимуществ анализа походки на беговой дорожке является то, что точное позиционирование стопы больше не требуется, поскольку записывается каждый шаг. Следовательно, последовательные циклы с данными походки могут быть записаны за короткий период времени, что повышает эффективность сбора данных. Это снижает затраты на анализ ходьбы на пациента и увеличивает количество пациентов, которые могут быть протестированы за день. Кроме того, сбор серии последовательных шагов повышает точность данных, и делает возможным проведение анализа вариабельности ходьбы. Кроме того, беговая дорожка позволяет использовать страховку от падения или систему поддержки веса тела. Поэтому такая система может применяться даже у пациентов с недостаточной устойчивостью. Еще одним преимуществом использования беговой дорожки является то, что скорость ходьбы можно контролировать и поддерживать постоянной между сессиями, что крайне важно для отслеживания прогресса во времени. Наконец, беговая

дорожка требует значительно меньше пространства, являющегося ограниченным и дорогостоящим ресурсом в условиях больницы.

Сравнение ходьбы по земле и на беговой дорожке

Учитывая эти преимущества, можно сказать, что анализ ходьбы на беговой дорожке проще в реализации и более эффективен, чем анализ надземной походки. Тем не менее, необходимо признать и некоторые ограничения. Хотя Ван Инген Шенау (1980) утверждал, что фундаментальная биомеханика наземной ходьбы и ходьбы по беговой дорожке одинакова, потенциальные различия в биомеханических, электрокимографических и метаболических параметрах были постоянной темой для обсуждения среди исследователей⁷.

Например, люди ходят с более высокой частотой ритма, более короткой фазой опоры и уменьшенной предпочтительной скоростью ходьбы на беговой дорожке по сравнению с наземной ходьбой.^{8–16} Кроме того, ходьба по беговой дорожке искусственно уменьшает естественную изменчивость и сложность, создавая тем самым более устойчивую и предсказуемую модель походки.^{10,17–19} Кинематические и кинетические закономерности в целом очень похожи между беговой дорожкой и наземной ходьбой, хотя можно обнаружить некоторые различия в амплитуде параметров 20 . Для кинематики эти различия, как правило, очень малы ($<2^{\circ}$) и ниже минимального обнаруживаемого изменения (см. Таблицу 1), что свидетельствует об отсутствии клинически значимых различий в кинематике между движением по земле и по беговой дорожке. 9,11,12,20 Различия в амплитуде кинетических профилей немного более выражены (см. Таблицу 2). Сообщалось о меньшей силе толчка в конце фазы опоры и угловой скорости сгибания бедра и разгибания колена, а также большей скорости разгибания бедра и сгибания колена. 12,13,20 Кроме того, профили активации мышц схожи между ходьбой на беговой дорожкой и ходьбой по земле, о чем свидетельствовали высокие коэффициенты корреляции (> 0,97) между усредненными сигналами ЭМГ.²¹ Единственное постоянно сообщаемое различие заключается в том, что мышцы подколенного сухожилия имеют тенденцию к большей активации в конце фазы переноса при ходьбе по беговой дорожке. 9,13,15,21 Это может быть связано с короткими шагами, характерными для ходьбы по беговой дорожке.

Таблица 1. Обзор изменений максимального угла в суставах при наземной ходьбе и ходьбе по беговой дорожке. Возраст представлен как среднее значение \pm стандартное отклонение или диапазон, в зависимости от предоставленной информации. Разг. = разгибание; сгиб. = сгибание; \uparrow = увеличение на беговой дорожке; \downarrow = снижение на беговой дорожке; \uparrow С = толеностопный сустав.

Автор (год)	Количество	Возраст (лет)	Углы в суставах (градусы)					
	испытуемых		Разг.	Сгиб.	Разг.	Сгиб.	Разг.	Сгиб.
			TC	TC	КС	кс	ГС	ГС
Alton (1998)	17	28±5	=	4↑	=	=	=	=
Nymark (2005)	18	23–58	=	6↑		=	1	\
Gates (2012)	27	23±6	=	=	0.9↑	0.7↑	=	=
Parvataneni (2009)	10	50-73	=	3.0↑	1.5↑	=	=	=
Riley (2006) 26		18–35	1.5↓	0.6↓	0.6↓	=	=	=
Lee(2007)	19	18–70	=	=		=	=	=

Watt (2010)	18	65–81	2.8↓	=		=	=	=	
-------------	----	-------	------	---	--	---	---	---	--

Таблица 2. Обзор изменений силы толчка и угловых скоростей при наземной ходьбе и ходьбе по беговой дорожке. Разг. = разгибание; сгиб. = сгибание; \uparrow = увеличение на беговой дорожке; \downarrow = снижение на беговой дорожке; ТС = тазобедренный сустав; КС = коленный сустав; ГС = голеностопный сустав.

Автор	Количество	Возраст	Сила	Углы в суставах (градусы)						
(год)	испытуемых	(лет)	толчка							
				Разг.	Сгиб.	Разг.	Сгиб.	Разг.	Сгиб.	
				TC	TC	KC	KC	ГС	ГС	
Riley	26	18-35	\downarrow	0.05↑	0.15↓	0.09↓	0.11↑	=	=	
(2006)										
Lee(2007)	19	18-70	\downarrow	0.17↑	0.13↓	0.24↓	0.05↑	=	0.09↓	
Watt	18	65–81	\downarrow	=	0.12↓	=		=	=	
(2010)										

Несколько исследовательских групп исследовали различия между ходьбой по беговой дорожке и наземной ходьбой в группах пациентов, таких как дети с ДЦП,^{22–25} пациентов с инсультом,¹⁵ и пациентов после ампутации ноги. В целом отклонения ходьбы более выражены при ходьбе по беговой дорожке, что делает его валидным и, возможно, даже лучшим методом для выявления нарушений двигательного контроля.^{15,23} Однако систематические различия между ходьбой по беговой дорожке и ходьбой по земле действительно требуют использования специфических для беговой дорожки нормативных данных.²⁴

Понимание и минимизация потенциальных различий

В итоге, кажется, что биомеханика ходьбы по беговой дорожке и по земле сравнима с некоторыми незначительными различиями, которые наиболее выражены в кинетических измерениях. Эти различия можно отнести к четырем основным принципам, касающимся ходьбы по беговой дорожке:

- 1. Во время ходьбы по беговой дорожке существует несоответствие между визуальным восприятием субъекта и его моделью движения, поскольку отсутствует визуальной сенсорной информации. Это вызывает изменения в зрительно-моторных или других сенсорных ожиданиях, связанных с локомоцией. Использование системы виртуальной реальности (ВР) может обеспечить решение этой проблемы. Показывая иммерсионную среду виртуальной реальности, синхронизированную со скоростью беговой дорожки, визуальный поток и восприятие движения объекта соответствуют. Хотя параметры ходьбы на самом деле, кажутся, не сильно отличающимися между ходьбой в виртуальной реальности или вне ее, субъекты оценивают ходьбу в ВР как более похожую на ходьбу по земле. 11,22,27
- 2. Ходьба по беговой дорожке определяет направление и скорость ходьбы, вынуждая тем самым идти по прямой без изменения скорости. Это может объяснить уменьшенную вариацию, наблюдаемую в пространственно-временных параметрах. 10,17-19. Увеличенная беговая дорожка и поверхность для ходьбы позволят добиться более естественного смещения, 11 и, кроме того, можно

использовать режим с саморегулируемым шагом, в котором скорость беговой дорожки автоматически подстраивается под скоростью ходьбы объекта, записываемой с помощью трехмерной системы захвата движений. Это допускает естественные изменения скорости ходьбы. Действительно, ходьба с собственной скоростью по сравнению с ходьбой с фиксированной скоростью показала большую вариабельность скорости в течение длительного времени улучшенную кинематическую и кинетическую структуру походки. 30

- 3. Во время ходьбы по беговой дорожке наблюдаются колебания скорости полотна дорожки в пределах шага, что может объяснить снижение силы толчка и, следовательно, уменьшение угловой скорости сгибания голеностопного сустава и разгибания коленного сустава. 13,20 Действительно, кинетика и кинематика ходьбы различаются при ходьбе на беговой дорожке малой или высокой мощности с соответственно высоким (6%) или низким (3%) изменением скорости полотна. Современные беговые дорожки сводят к минимуму колебания скорости полотна дорожки с помощью мощного двигателя и соответствующего программного обеспечения для управления, а также за счет уменьшения возможного проскальзывания ремня над роликами.
- 4. Большинство людей не так хорошо знакомы с ходьбой по беговой дорожке, как с наземной ходьбой. Поэтому основным ограничением большинства вышеупомянутых исследований является то, что они включали только короткий период (две минуты) тестирования на беговой дорожке. Было показано, что после шести минут ходьбы по беговой дорожке пространственно-временные параметры и кинематика коленного сустава более не отличаются от наземной ходьбы³². Поэтому рекомендуется ввести шестиминутный период тестирования. Таким образом, можно сделать вывод, что существуют различные способы минимизации различий между беговой дорожкой и ходьбой по земле, и, следовательно оптимизация широкого применения в повседневной жизни. В идеале анализ походки на беговой дорожке должен проводиться на большой дорожке с мощным двигателем и программным обеспечением для его управления, с использованием режима саморегулируемой скорости ходьбы и ВР.

Функциональный анализ ходьбы

Несмотря на то, что для многих пациентов и клинических пользователей будет достаточно стабильного анализа походки, недавние исследования показали пользу более сложных условий для исследования функциональной ходьбы. 33-36 Во время анализа функциональной ходьбы моделируются реальные проблемы, такие как избегание препятствие, двойная задача или реагирование на ситуацию, близкую к проскальзыванию или спотыканию. Это может быть более чувствительным и показательным способом оценки патологий движения и риска падения. Анализ ходьбы на беговой дорожке позволяет добавить систему ВР и движущуюся опору для облегчения реализации различных типов визуальных, механических и когнитивных пертурбаций во время ходьбы. Кроме того, предоставляя обратную связь в реальном времени о параметрах ходьбы, можно оценить способность пациентов адаптировать свою походку, предоставляя информацию о компенсаторных механизмах. Таким образом, использование беговой дорожки расширяет возможности анализа ходьбы, обеспечивая более функциональную и, вероятно, более чувствительную оценку.5

Заключение

В заключение, различия между беговой дорожкой и наземной ходьбой невелики и обычно не имеют клинического значения. Потенциальные различия могут быть дополнительно

минимизированы с помощью периода тестирования, саморегулирующегося режима и виртуальной среды. Следовательно, преимущества анализа ходьбы на беговой дорожке, такие как повышение эффективности и функциональности, по-видимому, перевешивают потенциальные ограничения. Если мы готовы принять небольшие отличия от наземной ходьбы, анализ ходьбы на беговой дорожке открывает множество новых возможностей, в том числе функциональный анализ ходьбы. Это может укрепить позиции объективного клинического анализа ходьбы в реабилитации и расширить его использование в неврологии, ортопедии и гериатрии.

Список литературы

- 1. Wren TAL, Otsuka NY, Bowen RE, et al. Influence of gait analysis on decision-making for lower extremity orthopaedic surgery: Baseline data from a randomized controlled trial. 2011. doi:10.1016/j.gaitpost.2011.06.002.
- 2. Wren TAL, Gorton GE, Õunpuu S, Tucker CA. Efficacy of clinical gait analysis: A systematic review. Gait Posture. 2011;34(2):149-153. doi:10.1016/j.gaitpost.2011.03.027.
- 3. Patrick JH. The Case for gait analysis as part of the management of incomplete spinal cord injury. Spinal Cord. 2003;41(9):479-482. doi:10.1038/sj.sc.3101524.
- 4. Esquenazi A. Gait Analysis in Lower-Limb Amputation and Prosthetic Rehabilitation. Phys Med Rehabil Clin N Am. 2014;25(1):153-167. doi:10.1016/j.pmr.2013.09.006.
- 5. Baker R, Esquenazi A, Benedetti MG, Desloovere K. Gait analysis: clinical facts. Eur J Phys Rehabil Med. 2016;52(4):560-574. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27618499. Accessed May 3, 2017.
- 6. Monaghan K, Delahunt E, Caulfield B. Increasing the number of gait trial recordings maximises intrarater reliability of the CODA motion analysis system. Gait Posture. 2007;25(2):303-315. doi:10.1016/j. gaitpost.2006.04.011.
- 7. van Ingen Schenau GJ. Some fundamental aspects of the biomechanics of overground versus treadmill locomotion. Med Sci Sports Exerc. 1980;12(4):257-261. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7421475. Accessed September 5, 2016.
- 8. Alton F, Baldey L, Caplan S, Morrissey MC. A kinematic comparision of overground and treadmill walking. Clin Biomech. 1998;13(6):434-440.
- 9. Nymark JR, Balmer SJ, Melis EH, Lemaire ED, Millar S. Electromyographic and kinematic nondisabled gait differences at extremely slow overground and treadmill walking speeds. J Rehabil Res Dev. 2005;42(4):523-534. doi:10.1682/JRRD.2004.05.0059.
- 10. Warabi T, Kato M, Kiriyama K, Yoshida T, Kobayashi N. Treadmill walking and overground walking of human subjects compared by recording sole-floor reaction force. Neurosci Res. 2005;53(3):343-348. doi:10.1016/j. neures.2005.08.005.
- 11. Gates DH, Darter BJ, Dingwell JB, Wilken JM. Comparison of walking overground and in a Computer Assisted Rehabilitation Environment (CAREN) in individuals with and without transtibial amputation. J Neuroeng Rehabil. 2012;9(1):81. doi:10.1186/1743-0003-9-81.
- 12. Watt JR, Franz JR, Jackson K, Dicharry J, Riley PO, Kerrigan DC. A three-dimensional kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy elderly subjects. Clin Biomech. 2010;25(5):444-449. doi:10.1016/j.clinbiomech.2009.09.002.

- 13. Lee SJ, Hidler J. Biomechanics of overground vs. treadmill walking in healthy individuals. J Appl Physiol. 2008;104(3):747-755. doi:10.1152/japplphysiol.01380.2006.
- 14. Yang F, King GA. Dynamic gait stability of treadmill versus overground walking in young adults. J Electromyogr Kinesiol. 2016;31:81-87. doi:10.1016/j.jelekin.2016.09.004.
- 15. Kautz S a, Bowden MG, Clark DJ, Neptune RR. Comparison of motor control deficits during treadmill and overground walking poststroke. Neurorehabil Neural Repair. 2011;25(8):756-765. doi:10.1177/1545968311407515.
- 16. Row Lazzarini BS, Kataras TJ. Treadmill walking is not equivalent to overground walking for the study of walking smoothness and rhythmicity in older adults. Gait Posture. 2016;46:42-46. doi:10.1016/j.gaitpost.2016.02.012.
- 17. Dingwell JB, Cusumano JP, Cavanagh PR, Sternad D. Local dynamic stability versus kinematic variability of continuous overground and treadmill walking. J Biomech Eng. 2001;123(1):27-32. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11277298. Accessed September 5, 2016.
- 18. Hollman JH, Watkins MK, Imhoff AC, Braun CE, Akervik KA, Ness DK. A comparison of variability in spatiotemporal gait parameters between treadmill and overground walking conditions. Gait Posture. 2016;43:204-209. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.09.024.
- 19. Hollman JH, Watkins MK, Imhoff AC, Braun CE, Akervik KA, Ness DK. Complexity, fractal dynamics and determinism in treadmill ambulation: Implications for clinical biomechanists. Clin Biomech. 2016;37:91-97. doi:10.1016/j.clinbiomech.2016.06.007.
- 20. Riley PO, Paolini G, Della Croce U, Paylo KW, Kerrigan DC. A kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy subjects. Gait Posture. 2007;26(1):17-24. doi:10.1016/j.gaitpost.2006.07.003.
- 21. Arsenault AB, Winter DA, Marteniuk RG. Treadmill versus walkway locomotion in humans: an EMG study. Ergonomics. 1986;29(5):665-676. doi:10.1080/00140138608968301.
- 22. Sloot LH, Harlaar J, van der Krogt MM. Self-paced versus fixed speed walking and the effect of virtual reality in children with cerebral palsy. Gait Posture. 2015;42(4):498-504. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.08.003.
- 23. van der Krogt MM, Sloot LH, Harlaar J. Overground versus self-paced treadmill walking in a virtual environment in children with cerebral palsy. Gait Posture. 2014;40(4):587-593. doi:10.1016/j.gaitpost.2014.07.003.
- 24. van der Krogt MM, Sloot LH, Buizer Al, Harlaar J. Kinetic comparison of walking on a treadmill versus over ground in children with cerebral palsy. J Biomech. 2015;48(13):3586-3592. doi:10.1016/j. jbiomech.2015.07.046.
- 25. Jung T, Kim Y, Kelly LE, Abel MF. Biomechanical and perceived differences between overground and treadmill walking in children with cerebral palsy. Gait Posture. 2016;45:1-6. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.12.004.
- 26. Durgin FH, Pelah A. Visuomotor adaptation without vision? Exp brain Res. 1999;127(1):12-18. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10424410. Accessed September 5, 2016.
- 27. Sloot LH, van der Krogt MM, Harlaar J. Effects of adding a virtual reality environment to different modes of treadmill walking. Gait Posture. 2014;39(3):939-945. doi:10.1016/j.gaitpost.2013.12.005.

- 28. Plotnik M, Azrad T, Bondi M, et al. Self-selected gait speed--over ground versus self-paced treadmill walking, a solution for a paradox. J Neuroeng Rehabil. 2015;12:20. doi:10.1186/s12984-015-0002-z.
- 29. Sloot LH, van der Krogt MM, Harlaar J. Self-paced versus fixed speed treadmill walking. Gait Posture. 2014;39(1):478-484. doi:10.1016/j.gaitpost.2013.08.022.
- 30. Turconi AC, Biffi E, Maghini C, Piccinini L. Immersive VR rehabilitation: a comparison between self-paced and fixed velocity gait. Dev Med Child Neurol. 2015;57:58-59. doi:10.1111/dmcn.12780_96.6
- 31. Savelberg HHCM, Vorstenbosch MATM, Kamman EH, Van De Weijer JGW, Schambardt HC. Intra-stride belt-speed variation affects treadmill locomotion. Gait Posture. 1998;7(1):26-34. doi:10.1016/S0966-6362(97)00023-4.
- 32. Matsas A, Taylor N, McBurney H. Knee joint kinematics from familiarised treadmill walking can be generalised to overground walking in young unimpaired subjects. Gait Posture. 2000;11(1):46-53. doi:10.1016/S0966-6362(99)00048-X.
- 33. Mansfield A, Peters AL, Liu B a, Maki BE. A perturbation- based balance training program for older adults: study protocol for a randomised controlled trial. BMC Geriatr. 2007;7(12). doi:10.1186/1471-2318-7-12.
- 34. Zijlstra A, Ufkes T, Skelton DA, Lundin-Olsson L, Zijlstra W. Do Dual Tasks Have an Added Value Over Single Tasks for Balance Assessment in Fall Prevention Programs? A Mini-Review. Gerontology. 2008;54(1):40-49. doi:10.1159/000117808.
- 35. Balasubramanian CK, Clark DJ, Fox EJ. Walking adaptability after a stroke and its assessment in clinical settings. Stroke Res Treat. 2014;2014:591013. doi:10.1155/2014/591013.
- 36. Lee H, Sullivan SJ, Schneiders AG. The use of the dual- task paradigm in detecting gait performance deficits following a sports-related concussion: A systematic review and meta-analysis. J Sci Med Sport. 2013;16(1):2-7. doi:10.1016/j.jsams.2012.03.013.
- 37. van Gelder L, Booth ATC, van de Port I, Buizer AI, Harlaar J, van der Krogt MM. Real-time feedback to improve gait in children with cerebral palsy. Gait Posture. 2016;52:76- 82. doi:10.1016/j.gaitpost.2016.11.021.