

Metabolic cost of lateral stabilization during walking in people with incomplete spinal cord injury

Autores: J.H. Matsubara, M. Wu, K.E. Gordon

Lugar: Northwestern University, Department of Physical Therapy and Human Movement Sciences, United States.

Cita: Gait & Posture 41 (2015) 646–651

Objetivo: Cuantificar el costo de energía metabólica necesario para mantener la estabilidad en pacientes con lesión medular incompleta.

Diseño: Estudio experimental de mediciones repetidas.

Método:

Participantes: 10 sujetos con lesión medular incompleta (LMI), ASIA D, crónica (más de un año de lesión), sin otra patología neurológica asociada y capaces de caminar 5 minutos sin ayuda marcha.

Table 1
Subject information.

Subject	Gender	Age (years)	Years post SCI	Weight (kg)	SCI level	AIS	Speed (m/s)	LEMS	BBS	10 MWT (m/s)
1	M	50	17.3	79.4	C5	D	0.5	49	48	1
2	F	54	13.3	68.6	T8	D	0.5	43	55	1
3	M	47	5.4	81.8	C7	D	0.6	48	56	1.8
4	M	65	9.1	93.7	C3	D	0.1	37	36	0.3
5	M	55	6.3	83.8	C2	D	0.2	46	50	0.5
6	M	41	8.5	97.1	L3	D	0.2	33	51	1.3
7	M	59	19.1	80.3	C5	D	0.6	45	51	1.2
8	M	52	6.6	91.4	C6	D	0.4	39	46	0.8
9	M	67	3.9	75	C5	D	0.7	46	53	1.5
10	M	72	1.9	64.4	C4	D	0.9	48	56	1.5
Mean ± SD		56.2 ± 9.6	9.1 ± 5.7	81.6 ± 10.6			0.5 ± 0.2	43.4 ± 5.4	50.2 ± 6.0	1.1 ± 0.5

SCI level: level of spinal cord lesion; AIS: American Spinal Injury Association Impairment Scale classification; speed: preferred treadmill walking speed; LEMS: lower extremity motor score; BBS: Berg Balance Scale; 10 MWT: 10 Meter Walk Test.

Intervención: Se utilizó Treadmil con arnés de seguridad que no otorgaba soporte de peso ni restringía los movimientos laterales. Durante la prueba los sujetos reciben estabilización lateral externa mediante resortes tensados ajustados bilateralmente a un cinturón pélvico, cada uno adosado a un riel para permitir el movimiento antero-posterior permitiendo el balanceo de los brazos.

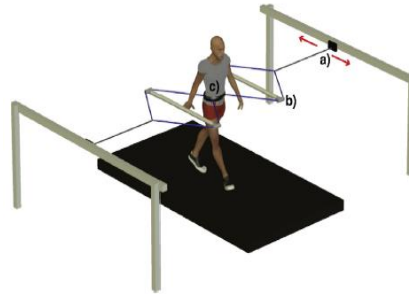


Fig. 1. External lateral stabilization setup. (a) Springs are anchored to low-friction trolleys that allow fore-aft movement of the subject. (b) To allow unrestricted arm swing, rope connected to the springs was routed around lightweight PVC tubes. (c) The rope is attached to a snug belt worn by the subject.

Variables: Cinemática de miembros inferiores y consumo de oxígeno.

Protocolo experimental: Los sujetos participaron de dos sesiones, la primera en la que se realizaron los test clínicos de Score motor de miembros inferiores (LEMS), escala de ASIA, Berg Balance Scale (BBS) y Test de 10 mts (10MWT); velocidad preferencial de marcha (velocidad autoseleccionada por el sujeto en el Treadmil que pueda mantenerse durante 5 minutos) y marcha con y sin estabilización lateral externa por 5 minutos. La segunda sesión se lleva a cabo dos/tres días más tarde repitiendo la prueba de marcha con y sin estabilización lateral por 5 minutos cada una con un período de descanso > 2 minutos entre las mismas.

Análisis de los datos: La cinemática y los datos metabólicos son recolectados en los últimos 2 minutos de cada prueba. La cinemática se analizó mediante un sistema de cámaras de captura de movimiento tridimensional utilizando marcadores en diferentes partes del cuerpo. El consumo de oxígeno se midió con un sistema portátil de análisis de los gases durante las fases de bipedestación y marcha mediante una relación estándar de 20.9 W/mm O₂ consumido x seg.

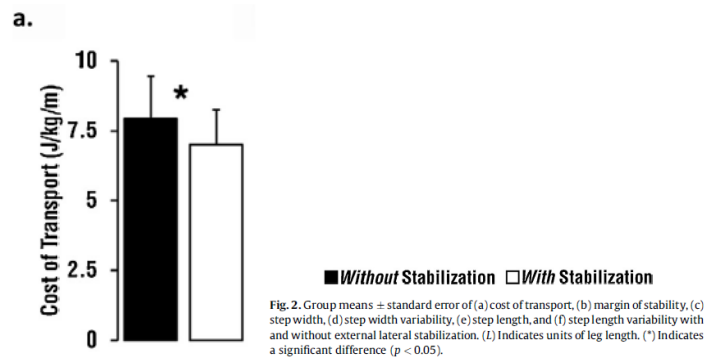
El ancho y largo de paso es definido como la distancia mediolateral y anteroposterior respectivamente entre los marcadores del calcáneo durante el apoyo del talón.

Se usa un marcador en el quinto metatarsiano para identificar la base de soporte (BOS) y en la segunda vértebra sacra para estimar la localización de centro de masa (COM).

Análisis estadístico: Todas las mediciones son comparadas con y sin la estabilización lateral externa. Las diferencias son consideradas significativas con un valor de $p > 0.05$.

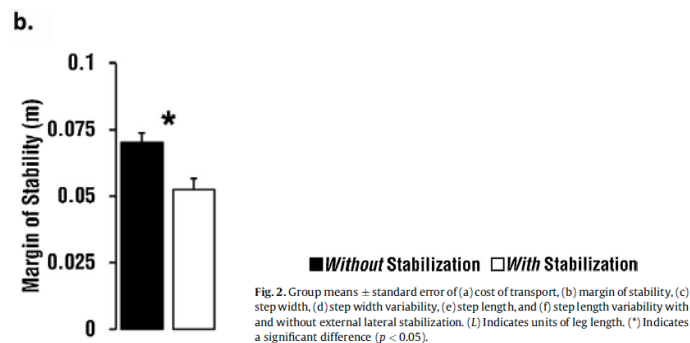
Resultados:

Todos los sujetos, excepto uno, disminuyó su COT en un 10% con estabilización lateral (7.9 ± 1.5 a 7.0 ± 1.2 J/kg/m ($p = 0.03$).



Los sujetos mostraron varios cambios significativos en lo que respecta a la cinemática en el plano frontal:

-El MOS mínimo disminuyó significativamente en un 25% (0.070 ± 0.003 m sin estabilización lateral a 0.053 ± 0.003 m con estabilización lateral $p = 0.0005$).



-El ancho de paso disminuyó significativamente en un 22% con estabilización lateral externa (0.14 ± 0.02 unidades de longitud de pierna (L) a 0.11 ± 0.02 L $p = 0.007$).

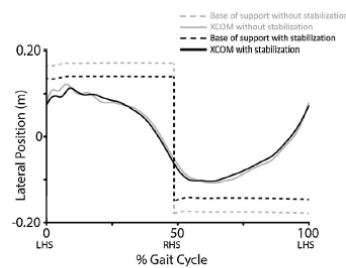
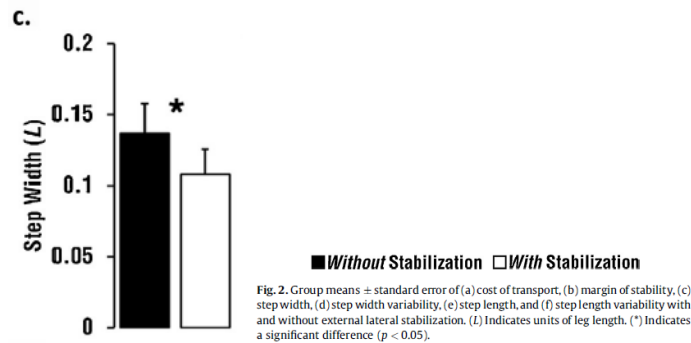
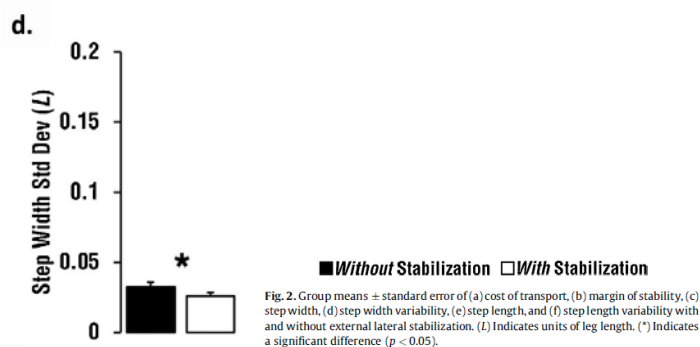


Fig. 3. Average gait cycle from one subject (subject 5) showing base of support (dashed lines) and XCOM position (solid lines) when walking without external lateral stabilization (gray lines) and with external lateral stabilization (black lines). LHS: left heel strike; RHS: right heel strike.

-La variabilidad en el ancho de paso disminuyó significativamente en un 18% con estabilización lateral (0.032 ± 0.004 L a 0.026 ± 0.003 L $p = 0.007$).



-No hubo cambios significativos en la extrapolación lateral del centro de masa (0.16 ± 0.04 m sin estabilización lateral externa y 0.17 ± 0.04 m con estabilización lateral $p = 0.4397$).

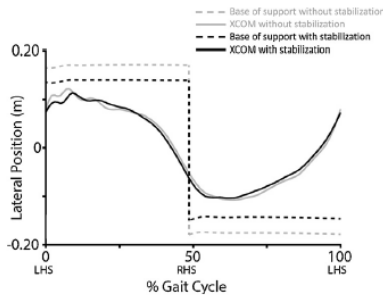


Fig. 3. Average gait cycle from one subject (subject 5) showing base of support (dashed lines) and XCOM position (solid lines) when walking without external lateral stabilization (gray lines) and with external lateral stabilization (black lines). LHS: left heel strike; RHS: right heel strike.

Los sujetos no cambiaron su cinemática en el plano sagital con estabilización lateral:

-El largo de paso fue de 0.38 ± 0.05 L sin estabilización lateral a 0.38 ± 0.05 L con estabilización lateral ($p = 0.6$).

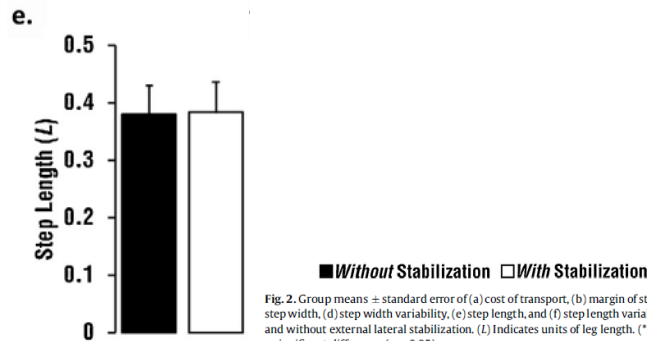


Fig. 2. Group means \pm standard error of (a) cost of transport, (b) margin of stability, (c) step width, (d) step width variability, (e) step length, and (f) step length variability with and without external lateral stabilization. (L) Indicates units of leg length. (*) Indicates a significant difference ($p < 0.05$).

-La variabilidad en el largo de paso fue de 0.05 ± 0.00 L sin estabilización a 0.05 ± 0.01 L con estabilización ($p = 0.8$).

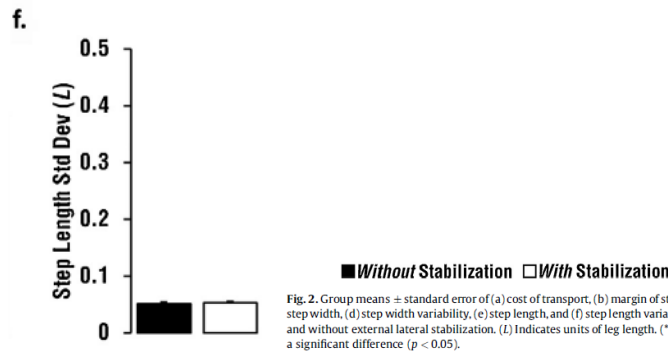
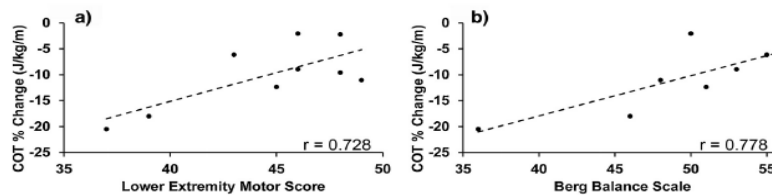


Fig. 2. Group means \pm standard error of (a) cost of transport, (b) margin of stability, (c) step width, (d) step width variability, (e) step length, and (f) step length variability with and without external lateral stabilization. (L) Indicates units of leg length. (*) Indicates a significant difference ($p < 0.05$).

Se encontraron, correlaciones significativas entre el porcentaje de cambio del COT tras la estabilización lateral con el LEMS ($r = 0.728$; $p = 0.026$) y BBS score ($r = 0.778$; $p = 0.014$).



Las correlaciones entre el porcentaje de cambio del COT y 10 MWT ($r = 0.384$; $p = 0.322$) al igual que con la velocidad preferencial de marcha ($r = 0.463$; $p = 0.210$) no fueron significativas

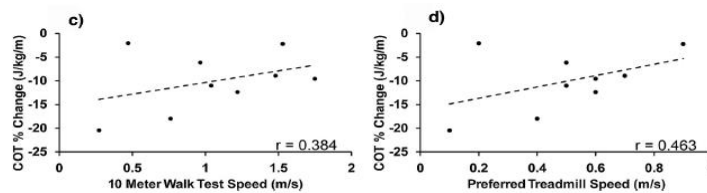


Fig. 4. Pearson correlation coefficients between decrease in cost of transport with external stabilization (COT % change) and (a) lower extremity motor score, (b) Berg Balance Scale score, (c) 10 Meter Walk Test speed, and (d) preferred treadmill speed.

Discusión:

Cuando se otorgó estabilización lateral los individuos con LMI mostraron una disminución significativa en el ancho de paso, la variabilidad del ancho de paso y el margen mínimo de estabilidad. Estas adaptaciones en la marcha se corresponden con un 10% menos de costo de transporte. Se observó que el costo metabólico para la estabilización lateral fue mayor en aquellos pacientes que mostraron mayor déficit en la BBS y el LEMS. Estos hallazgos soportan la hipótesis de este trabajo indicando que estos sujetos son capaces de adaptar su patrón de marcha de acuerdo a la demanda de equilibrio y que el costo metabólico está asociado con la estabilidad lateral siendo sustancial para esta población.

Se le atribuye la disminución en el margen de estabilidad lateral a la disminución en el ancho de paso de los sujetos ya que si los cambios en el MOS fuesen solo por la estabilización lateral externa se esperaría que el sostén externo redujera la excursión del centro de masa sin haber ajustes activos por parte del paciente.

La ausencia de los cambios en el largo de paso se corresponde con estudios previos. Con lo que respecta a la ausencia de cambios en la excursión del centro de masa se observó que puede deberse a que la reducción en el ancho de paso es insuficiente.

Dado que la estabilización lateral externa disminuye la necesidad de hacer pasos de corrección pero no impacta directamente en las dificultades sensorio-motoras propias del sujeto, la disminución observada de la variabilidad en el ancho de paso es menor respecto a los estudios en sujetos sanos.

El gasto metabólico (COT) para individuos con LMI (7.9 J/kg/m) disminuyó 0.9 J/kg/m con la estabilización lateral externa. Cuando se comparó con sujetos sanos el COT fue de ~ 3.0 J/kg/m a la misma velocidad, estimando que del $\sim 3-7\%$ del total del COT es destinado a la estabilización lateral durante la marcha.

En este estudio, las compensaciones de los movimientos pélvicos en el plano frontal habrían sido contrarrestadas por la estabilización lateral externa aumentando el costo metabólico y el trabajo mecánico. Si las estrategias compensatorias fueron contrarrestadas, los resultados pudieron haber sido subestimados. Por lo tanto es importante reconocer las limitaciones en el uso de estabilización lateral para cuantificar el costo metabólico.

La correlación observada entre el COT y la BBS fue significativa indicando que a alto puntaje de BBS (debido a la alta funcionalidad que presentaban los sujetos inicialmente) el COT requerido para la estabilización lateral fue menor. El LEMS también mostró correlación significativa con el COT dado que influye en el equilibrio.

Sin embargo la correlación entre el porcentaje de cambio del COT y 10 MWT no fue significativa dado que la velocidad no es un fuerte indicador requerido para la estabilidad lateral ya que a bajas velocidades la demanda es menor.

Cuando se provee asistencia para lograr estabilidad se facilita el aprendizaje de algunos componentes de la marcha, como las características del paso en el plano sagital, pero podría limitar la capacidad del paciente para aprender sus propias estrategias de equilibrio.

Conclusión:

Las personas con LMI invierten una cantidad sustancial de energía para mantener la estabilidad lateral. El costo metabólico se correlacionó fuertemente con los test clínicos de balance y fuerza de miembros inferiores. Cuando se brindó estabilización lateral externa los sujetos respondieron disminuyendo el ancho de paso, la variabilidad en el ancho de paso y un mínimo margen de estabilidad (MOS) demostrando que esta población es capaz de modular su patrón de marcha para satisfacer las demandas durante el equilibrio dinámico.

Comentario:

Hasta el momento no existía evidencia científica sobre aspectos específicos que influyan en el costo metabólico durante la marcha en pacientes con lesión medular incompleta ASIA D, como lo es la falta de estabilidad lateral. (1)

Este estudio muestra que el costo metabólico para la estabilización lateral durante la marcha es de relevancia en pacientes con lesión medular incompleta (ISCI) ASIA D. El nivel de costo energético necesario para caminar puede interferir en la independencia de los pacientes para lograr una marcha comunitaria (2; 3) por esto consideramos que es un aspecto de importancia a tener en cuenta en el proceso de rehabilitación.

Los resultados demuestran que las personas con LMI se adaptarían a la estabilización lateral externa disminuyendo el ancho de paso lo que resulta en una sustancial disminución del costo de transporte. Por otra parte la Berg Balance Scale y el score motor de miembros inferiores están relacionados con el costo energético requerido para la estabilización lateral.

Según Ijmker T. y cols la velocidad de marcha no parece ser un factor que genere diferencias en el costo energético para el control del equilibrio medio-lateral (4).

A partir de este artículo, consideramos de importancia el entrenamiento de la estabilidad lateral en estos pacientes ya que constituye un factor de costo metabólico sustancial durante la marcha. Ahora bien: ¿El entrenamiento con estabilización lateral externa serviría para todos los pacientes ASIA D como medio de entrenamiento aeróbico, al aumentar la distancia recorrida con menor índice de fatiga? ¿Este mismo entrenamiento permitiría mejorar los componentes de la marcha en el plano sagital? De ser así, ambos aspectos influirían positivamente en que estos pacientes logren un mejor desempeño en la comunidad.

Referencias:

- 1-Matsubara JH, Wu M, Gordon KE (2015) Metabolic cost of lateral stabilization during walking in people with incomplete spinal cord injury. *Gait & Posture* 41: 646–651.
- 2-Waters RL, Mulroy S. The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait Posture* 1999;9:207–31.
- 3-Freixes O, Rivas ME, Agrati PE, Bochkezanian V, Waldman SV, Olmos LE. Fatigue level in spinal cord injury AIS D community ambulatory subjects. *Spinal Cord* 2012;50:422–5.
- 4-Ijmker T, Houdijk H, Lamothe CJC, Beek PJ, van der Woude LHV. Energy cost of balance control during walking decreases with external stabilizer stiffness independent of walking speed. *J Biomech* 2013;46:2109–14.