

¿AFECTAN LOS ZAPATOS DE SEGURIDAD A LOS PARÁMETROS ESPACIO-TEMPORALES DE LA MARCHA?

Do they affect safety shoes to spatio-temporal parameters of gait?

Autor
Jesús Cámara
Profesor del Depto. de Ciencias de
la Act. Física y del Deporte
de la Universidad del País Vasco
/ Euskal Herriko Unibertsitatea
(España).
Jesus.camara@ehu.es

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue analizar la influencia del calzado de seguridad de corte bajo sobre los parámetros espacio-temporales de la marcha. Treinta y nueve sujetos físicamente activos recorrieron 5 veces un pasillo de marcha en dos condiciones de calzado diferentes: 1. con calzado deportivo y 2. con el calzado de seguridad Clinic ©. Se registró la velocidad, cadencia de pasos, longitud de paso, tiempo de zancada, tiempo de paso, tiempo de apoyo y tiempo de apoyo monopodal y bipodal. La marcha con el calzado de seguridad mostró una cadencia de pasos ligeramente inferior a la mostrada con calzado deportivo. La magnitud del resto de parámetros espaciotemporales fue similar entre ambas condiciones de calzado. Estos resultados sugieren que el calzado de seguridad de corte bajo, a excepción de sobre la cadencia de pasos cuya influencia es mínima, no ejerce una influencia sobre los parámetros espacio-temporales de la marcha.

PALABRAS CLAVES

Biomecánica, calzado deportivo, plataformas de fuerza y reproducibilidad.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the influence of the safety shoes without cane on the spatio-temporal parameters of the gait. Thirty-nine physically active subjects walked 5 times a pathway in two different shoe conditions: 1. with runners and 2. with the Clinic © safety footwear. The walking velocity, cadence, step length, stride time, step time, support time and monopodal and bipodal support times were determined. The gait with the safety footwear showed a slightly lower cadence in comparison to the runners. The magnitudes of the other spatio-temporal parameters were similar between the two shoe conditions. These results suggest that the safety footwear without cane, except for the cadence where its influence is minimal, did not have an influence on the spatiotemporal parameters of the gait.

KEYWORDS

Biomechanics, sports shoes, force platforms and reproducibility.



27

1. INTRODUCCIÓN

La Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) establece la normativa 93-2003 referente a los requisitos a cumplir por el calzado de seguridad, de protección y de trabajo (PDVSA, 2006). En dicha normativa se especifica que dicho calzado debe ser fabricado con el objeto de minimizar el riesgo de los usuarios al ocurrir un contacto eléctrico y al mismo tiempo debe proporcionar comodidad y protección contra las fuerzas compresoras con un nivel de energía de 200J y 15kN de carga (PDVSA, 2006). Por lo tanto, las características especiales de este calzado, tanto en lo referente a los componentes varios, así como a los requisitos específicos en la confección de la puntera como de su piso, podrían afectar a la biomecánica de la marcha. En esta línea de investigación estudios previos han señalado que la dureza y la geometría de la suela podrían estar relacionadas con cambios en los parámetros biomecánicos que describen la marcha (Forner, García, Alcántara y Ramiro, 1995; Nigg, 1986, 1987; Nigg, Luethi, Stacoff y Segesser, 1984; Nurse, Hulliger, Wakeling, Nigg y Stefanyshin, 2005).

En estudios previos se ha analizado la influencia sobre la marcha de otro tipo de calzado de seguridad como son las botas de militares (Tilbury-Davis y Hooper, 1999; Windle, Gregory y Dixon, 1999). No obstante, las diferencias entre un calzado de seguridad de caña alta, como son las botas militares con una altura de la caña para los números 43-44 de 248 mm, frente a un calzado de seguridad de caña baja, cuya altura de corte para el mismo número es menor de 79 mm, hace que los efectos de ambos tipos de calzado sobre la biomecánica de la marcha no sean comparables. Además, teniendo en cuenta que el calzado es un elemento que posibilita que en condiciones de riesgo el trabajo se realice de forma eficiente y segura se considera importante analizar el efecto del calzado de seguridad de corte bajo sobre los parámetros biomecánicos de la marcha.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es analizar la influencia del calzado de seguridad de corte bajo sobre los parámetros espacio-temporales de la marcha. La hipótesis

de esta investigación fue que el calzado de seguridad de caña baja modifica el patrón de marcha espacio-temporal durante la marcha a velocidad libre en comparación con el calzado deportivo.

2. MÉTODO

2.1. Participantes

Treinta y nueve sujetos (media (SD): edad= 42,1 (5,3) años; altura= 174,5 (4,6) cm; masa = 78,3 (14,4) kg) físicamente activos y sin ningún tipo de lesión en el momento de la toma de registros fueron parte en la investigación.

La realización del estudio fue previamente aprobada por el comité de ética del Hospital de Basurto y se realizó siguiendo el código ético marcado en la declaración de Helsinki. Todos los sujetos firmaron el consentimiento informado previamente a su participación en el estudio.

2.2. Diseño experimental

Los registros se realizaron en dos condiciones de calzado diferentes: 1. con el calzado deportivo que normalmente utilizaban para hacer deporte (condición I) y 2. con el calzado de seguridad Clinic © (condición II) (Figura 1), caracterizado por disponer de una palmilla antiestática, piso de poliuretano, forro interior "cambrelle con foam", plantilla interior espumada con soporte textil y cierre mediante velcro. Los participantes tuvieron que completar andado a velocidad libre 5 veces un pasillo de marcha de 13 m de longitud pisando consecutivamente con el pie derecho y pie izquierdo sobre dos plataformas de fuerza (0,60 × 0,37 m) (Dinascan 8,2, IBV, España) embebidas en el suelo y situadas en medio del pasillo de marcha. Los registros en los que los sujetos no pisaban con todo el pie sobre las plataformas de fuerza eran excluidos. No se permitía alterar el patrón de marcha para pisar sobre las plataformas. Antes de la toma de registros los sujetos dispusieron de tiempo suficiente para familiarizarse con el protocolo de registro. No se impuso a los sujetos una velocidad determinada, ya que así se evitaba un condicionamiento externo



que les dificultara a los sujetos la marcha con normalidad (Andriacchi, Ogle y Galante, 1977).

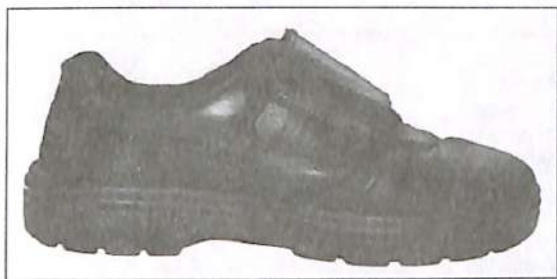


Figura 1: Calzado de cuero Clinic ©.

2.3. Variables

La velocidad de marcha se obtuvo con la ayuda de un cronómetro registrando el tiempo que tardaban los sujetos en recorrer el pasillo de marcha. Durante cada registro también se midió el tiempo que tardaban los sujetos en dar 8 pasos. De esta forma y mediante la siguiente fórmula se determinó la cadencia de pasos (CP) (Fórmula 1):

Cadencia de pasos (pasos·min⁻¹) = número de pasos (pasos) / tiempo (min) (Vaughan y Sussman, 1993).

Una vez obtenida la CP se calculó la longitud de paso mediante la siguiente fórmula (Fórmula 2):

Longitud de paso (m) = velocidad (m·min⁻¹) / cadencia de pasos (pasos·min⁻¹) (Lamoreaux, 1971)

El tiempo de zancada (TZ) se obtuvo mediante la siguiente fórmula (Fórmula 3):

Tiempo de zancada (s) = 120 / cadencia de pasos (pasos·min⁻¹) (Whittle, 2003)

La utilización de las plataformas de fuerza para el registro de la fuerza de reacción del suelo (Figura 2) permitió determinar el tiempo de apoyo del pie derecho (TAd) (Fórmula 4), el tiempo de apoyo del pie izquierdo (TAi) (Fórmula 5), el tiempo de apoyo bipodal (TAB) (Fórmula 6), el tiempo de apoyo monopodal derecho (TAMd) (Fórmula 7), el tiempo de apoyo monopodal izquierdo (TAMi) (Fórmula 8), el tiempo de paso derecho (TPd) (Fórmula 9) y el tiempo de paso izquierdo (TPi) (Fórmula 10). El TAd, TAi, TAB, TAMd, TAMi, TPd y TPi fueron

normalizados por el tiempo de zancada (TZ) para evitar la influencia de la velocidad sobre estos parámetros.

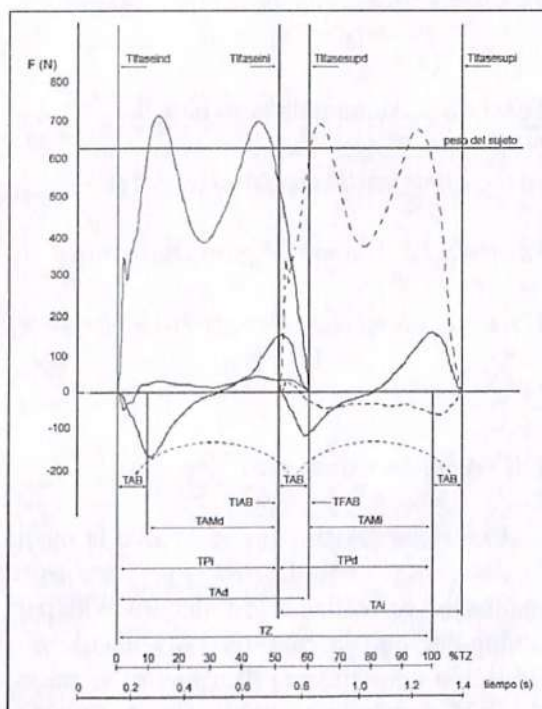


Figura 2: Identificación de variables espacio-temporales en la fuerza de reacción del suelo.

Fórmula 4. Tiempo de apoyo del pie derecho.

$$TAd (s) = Tlfasesupd (s) - Tlfaseind (s)$$

Fórmula 5. Tiempo de apoyo del pie izquierdo.

$$TAi (s) = Tlfasesupi (s) - Tlfaseini (s)$$

Fórmula 6. Tiempo de apoyo bipodal.

$$TAB (s) = Tlfasesupd (s) - Tlfaseini (s)$$

Fórmula 7. Tiempo de apoyo monopodal derecho.

$$TAMd (s) = Tlfasesupd (s) - Tlfaseind (s) - 2 \cdot (Tlfasesupd (s) - Tlfaseini (s))$$

Figura 2: TZ: tiempo de zancada; TAd: tiempo de apoyo del pie derecho; TAi: tiempo de apoyo del pie izquierdo; TPi: tiempo de paso izquierdo; TPd: tiempo de paso derecho; TAMd: tiempo de apoyo monopodal derecho; TAMi: tiempo de apoyo monopodal izquierdo; TAB: tiempo de apoyo bipodal; Tlfaseind: tiempo límite fase inferior del pie derecho; Tlfaseini: tiempo límite fase inferior del pie izquierdo; Tlfasesupd: tiempo límite fase superior del pie derecho; Tlfasesupi: tiempo límite fase superior del pie izquierdo.

Fórmula 8. Tiempo de apoyo monopodal izquierdo.

$$TAMi (s) = Tlfasesupi (s) - Tlfaseini (s) - 2 \cdot (Tlfasesupd (s) - Tlfaseini (s))$$

Fórmula 9. Tiempo de paso derecho.

$$TPd (s) = Tlfaseini (s) - Tlfaseind (s)$$

Fórmula 10. Tiempo de paso izquierdo.

$$TPI (s) = Tlfasesupi (s) - (Tlfasesupd (s) - Tlfaseini (s)) - Tlfaseini (s)$$

2.4. Análisis estadístico

Con fines descriptivos se obtuvo la media \pm desviación estándar de los parámetros analizados. Se realizó el test Shapiro-Wilk para comprobar que la muestra provenía de una población normalmente distribuida. Se utilizó el test de Levene para comprobar la igualdad de varianzas. Se utilizó la t de student para determinar si había diferencias significativas de los parámetros analizados entre los dos tipos de calzado. El nivel de significación utilizado fue de $p < 0.05$. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPSS versión 15 (Statistical Package for Social Sciences, Chicago, IL, USA).

3. RESULTADOS

Todos los parámetros mostraron provenir de una población normalmente distribuida. Respecto a la comparación entre la marcha con calzado deportivo y con calzado de seguridad se ha observado que a excepción de la CP el resto de parámetros espacio-temporales no ha mostrado diferencias significativas entre las dos condiciones de marcha (Tabla I).

TABLA I. Estadísticos descriptivos de los parámetros espacio-temporales en las dos condiciones de calzado.

	Condición I	Condición II
	Media (DS)	Media (DS)
V (m·s ⁻¹)	1,41 (0,10)	1,40 (0,10)
CP (pasos·min ⁻¹)	111,43 (7,27)	110,09 (7,17)*
LP (m)	0,75 (0,04)	0,75 (0,04)
TZ (s)	1,11 (0,06)	1,12 (0,07)

TABLA I. (continuación)

	Condición I	Condición II
	Media (DS)	Media (DS)
TAd (%TZ)	63,57 (1,28)	63,62 (1,25)
TAi (%TZ)	63,90 (1,21)	63,90 (1,43)
TAB (%TZ)	13,74 (1,16)	13,76 (1,22)
TAMd (%TZ)	36,09 (1,21)	36,09 (1,43)
TAMi (%TZ)	36,42 (1,28)	36,37 (1,25)
TPd (%TZ)	50,16 (0,44)	50,13 (0,57)
TPI (%TZ)	49,83 (0,44)	49,86 (0,57)

Condición I: calzado deportivo; Condición II: calzado de seguridad Clinic ©; V: velocidad; CP: cadencia de pasos; LP: longitud de paso; TZ: tiempo de zancada; TAd: tiempo de apoyo derecho; TAi: tiempo de apoyo izquierdo, TAB: tiempo de apoyo bipodal, TAMd: tiempo de apoyo monopodal derecho, TAMi: tiempo de apoyo monopodal izquierdo, TPd: tiempo de paso derecho, TPI: tiempo de paso izquierdo. * diferencias estadísticamente significativas con la condición I para $p < 0.05$.

4. DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio han mostrado que la marcha con calzado de seguridad de corte bajo, a pesar de los requisitos específicos que debe cumplir, no ejerce una influencia sobre los parámetros espacio-temporales de la marcha, a excepción de la CP. En este parámetro se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa al compararlo con el calzado deportivo. El resto de parámetros espacio-temporales no ha mostrado diferencias significativas.

En el presente estudio se ha observado que la velocidad que los sujetos eligieron libremente no fue significativamente diferente entre ambas condiciones de calzado. Además, esta velocidad fue similar a la obtenida en anteriores estudios (zilstra 2004; Sekiya 1997; Menz 2003; Menz 2004; Van Uden 2004; Mills 2001; Minetti, 2001). Así mismo, la longitud de paso no mostró diferencias entre ambas condiciones de calzado. En este sentido, estudios previos han sugerido que la masa adicional que puede suponer llevar un calzado determinado puede provocar un aumento de la inercia durante el periodo de balanceo dando lugar a una mayor longitud de paso (Halliday 2966). No obstante, a pesar de la mayor masa del calzado Clinic © respecto al calzado deportivo (800 g vs. 250-400 g, respectivamente), ésta no ha sido suficiente como para provocar una mayor longitud de paso con el calzado de seguridad.



Por el contrario, la CP sí se ha visto afectada por la utilización del calzado de seguridad, mostrando con este calzado una menor CP que con el calzado deportivo. Si bien es cierto que la diferencia entre ambas condiciones de calzado es sólo de $1 \text{ paso} \cdot \text{min}^{-1}$, la alta reproducibilidad de la CP (Danion, Varraine, Bonnard y Pailhous, 2003; Menz, Latt, Tiedemann, Mun San Kwan y Lord, 2004; Murray, Drought y Kory, 1964) ha provocado que esta diferencia sea significativa.

En referencia al tiempo de zancada y de paso no se han observado diferencias significativas. El tiempo de zancada durante ambas condiciones de calzado ha mostrado ser similar al obtenido en anteriores estudios (Dubost, Kressig, Gonthier, Herrmann y Beauchet, 2005; Murray, et al., 1964; Murray, Kory, Clarkson y Sepic, 1966; Van Uden y Besser, 2004) e incluso ligeramente inferior al obtenido por Mills y Barrett (Mills y Barrett, 2001). Por otro lado, teniendo en cuenta que el tiempo de paso se define como el tiempo transcurrido entre el contacto inicial de un pie con el suelo y el contacto inicial del pie contrario (Lamoreux, 1971; Murray, et al., 1964; Perry, 1992; Titianova, Pitkänen, Pääkkönen, Sivenius y Tarkka, 2003) era de esperar que, al normalizar el tiempo de paso izquierdo y derecho con el tiempo de zancada de la marcha en sujetos sin ningún tipo de patología, estos tiempos supusieran aproximadamente el 50% del tiempo de zancada independientemente de la condición de calzado que utilizaran.

El tiempo de apoyo, definido como el tiempo que un pie está en contacto con el suelo (Aminian, Najafi, Büla, Levyraz y Robert, 2002; Diop, et al., 2004; Dommasch, Brandell y Murray, 1972; Macellari, Giacomozzi y Saggini, 1999; Oatis, 2004) y formado por un tiempo, dos tiempos de apoyo bipodal y un tiempo de apoyo monopodal ha mostrado ser similar entre ambas condiciones de marcha. Además, las magnitudes obtenidas de estos parámetros son similares a las obtenidas en anteriores estudios (Chao, Laughman, Schneider y Stauffer, 1983; Mills y Barrett, 2001; Murray, et al., 1964; Stacoff, Diezi, Luder, Stüsi y Krames-de Quervain, 2005). La escasa afectación de este tipo de calzado sobre la marcha sugiere la pertinencia de utilizar

este calzado para desarrollar las labores de una forma segura sin que los requisitos específicos que debe cumplir este calzado afecten a la marcha de los sujetos.

5. CONCLUSIONES

A pesar de que las condiciones específicas que debe cumplir el calzado de seguridad podrían ejercer una influencia sobre los parámetros espaciotemporales de la marcha, los resultados de este estudio sugieren que este calzado no modifica la magnitud de estos parámetros en comparación con los resultados obtenidos durante la marcha con calzado deportivo, a excepción de la cadencia de pasos. No obstante, la afectación sobre este parámetro ha sido mínima, ya que la cadencia de pasos con el calzado de seguridad Clinic © ha mostrado disminuir $1 \text{ paso} \cdot \text{min}^{-1}$. Estos resultados sugieren la idoneidad de utilizar el calzado de seguridad cuando su uso sea necesario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aminian, K., Najafi, B., Büla, C., Levyraz, P.-F., & Robert, P. (2002). Spatiotemporal parameters of gait measured by an ambulatory system using miniature gyroscopes. *Journal of Biomechanics*, 35(5), 689-699.
2. Andriacchi, T., Ogle, J., & Galante, J. (1977). Walking speed as a basis for normal and abnormal gait measurements. *Journal of Biomechanics*, 10(4), 261-268.
3. Chao, E. Y., Laughman, R. K., Schneider, E., & Stauffer, R. N. (1983). Normative data of knee joint motion and ground reaction forces in adult level walking. *Journal of Biomechanics*, 16(3), 219-233.
4. Danion, F., Varraine, E., Bonnard, M., & Pailhous, J. (2003). Stride Variability in Human Gait: The Effect of Stride Frequency and Stride Length. *Gait and Posture*, 18(1), 69-77.
5. Diop, M., Rahmani, A., Belli, R., Gautheron, V., Geysant, A., & Cottalorda, J. (2004). Influence of Speed Variation



- and Age on the Asymmetry of Ground Reaction Forces and Stride Parameters of Normal Gait in Children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 13(5), 308-314.
6. Dommasch, H. S., Brandell, B. R., & Murray, E. B. (1972). Investigation into techniques of gait analysis. *Journal of the Biological Photographic Association*, 40(3), 106-116.
 7. Dubost, V., Kressig, R. W., Gonthier, R., Herrmann, F. R., & Beauchet, O. (2005). *XVIIth Conference of the International Society of Posture and Gait Research*. Paper presented at the Dual-task related changes in stride time variability among healthy young adults: result of walking speed or effect of attention-demanding task?, Marsella.
 8. Forner, A., García, A. C., Alcántara, E., & Ramiro, J. (1995). Properties of Shoe Insert Materials Related to Shock Wave Transmission During Gait. *Foot & Ankle International*, 16(12), 778-786.
 9. Lamoreaux, L. W. (1971). Kinematic measurements in walking. *Bulletin of Prosthetics Research*, 10(15), 3-84.
 10. Macellari, V., Giacomozzi, C., & Saggini, R. (1999). Spatial-temporal Parameters of Gait: Reference Data and a Statistical Method for Normality Assessment. *Gait and Posture*, 10(2), 171-181.
 11. Menz, H. B., Latt, M. D., Tiedemann, A., Mun San Kwan, M., & Lord, S. R. (2004). Reliability of the Gaitrite walkway system for the quantification of temporospatial parameters of gait in young and older people. *Gait and Posture*, 20(1), 20-25.
 12. Mills, P. M., & Barrett, R. S. (2001). Swing Phase Mechanics of Healthy Young and Elderly Men. *Human Movement Science*, 20(4-5), 427-446.
 13. Murray, M. P., Drought, B., & Kory, R. C. (1964). Walking Patterns of Normal Men. *The Journal of Bone And Joint Surgery*, 46 A(2), 335-360.
 14. Murray, M. P., Kory, R. C., Clarkson, B. H., & Sepic, S. B. (1966). Comparison of free and fast speed walking patterns of normal men. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 45(1), 8-24.
 15. Nigg, B. M. (1986). *Biomechanics of running shoes*. Champaign, IL.: Human Kinetic Publishers.
 16. Nigg, B. M. (1987). Biomechanical aspects of playing surfaces. *Journal of Sports Science*, 5(2), 117-145.
 17. Nigg, B. M., Luethi, S. M., Stacoff, A., & Segesser, B. (1984). Biomechanical effects of pain and sportshoe corrections. *The Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, June(6), 10-17.
 18. Nurse, M. A., Hulliger, M., Wakeling, J. M., Nigg, B., & Stefanyshin, D. (2005). Changing the texture of the footwear can alter gait patterns. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15(5), 496-506.
 19. Oatis, C. A. (2004). *Kinesiology. The mechanics & pathomechanics of human movement* (1st. ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
 20. PDVSA. (2006). *Manual de especificaciones técnicas de materiales*. Unpublished manuscript.
 21. Perry, J. (1992). *Gait Analysis. Normal and Pathological Function*. Yorba Linda, CA.: Slack incorporated.
 22. Stacoff, A., Diezi, C., Luder, G., Stüsi, E., & Krames-de Quervain, I. A. (2005). Ground reaction forces on stairs: effects of stair inclination and age. *Gait and Posture*, 21(1), 24-38.
 23. Tilbury-Davis, D. C., & Hooper, R. H. (1999). The kinetic and kinematic effects of increasing load carriage upon the lower limb. *Human Movement Science*, 18(5), 693-700.
 24. Titianova, E. B., Pitkänen, K., Pääkkönen, A., Sivenius, J., & Tarkka, I. M. (2003). Gait characteristics and functional ambulation profile in patients with chronic



- unilateral stroke. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82(10), 778-786.
25. Van Uden, C. J. T., & Besser, M. P. (2004). Test-retest reliability of temporal and spatial gait characteristics measured with an instrumented walkway system (GAITRite). *BMC Musculoskeletal Disorders*, 5(13).
26. Vaughan, C. L., & Sussman, M. D. (1993). Human Gait: From Clinical Interpretation to Computer Simulation. In M. D. Grabiner (Ed.), *Current issues in Biomechanics* (pp. 53-68). Cleveland: Human Kinetics.
27. Whittle, M. W. (2003). *Gait Analysis. An introduction*: Butterworth - Heinemann - Elsevier.
28. Windle, C. M., Gregory, S. M., & Dixon, S. J. (1999). The shock attenuation characteristics of four different insoles when worn in a military boot during running and marching. *Gait and Posture* (9), 31-37.



