

Development of innovative training solutions in the field of functional evaluation aimed at updating of the curricula of health sciences schools



MÓDULO DE BIOMECÁNICA EN LA MARCHA HUMANA

Unidad Didáctica D: ANÁLISIS INSTRUMENTADO DE LA MARCHA

D.2 EVALUACIÓN BIOMECÁNICA NORMAL DE LA MARCHA



## D.2 ¿Cómo es una evaluación biomecánica normal de la marcha?

### Índice de la Unidad Didáctica

- I. Objetivos
- II. Importancia de los datos normativos sobre la marcha en la práctica clínica
- III. Evaluación espacio-temporal de la marcha normal
- IV. Evaluación cinemática de la marcha normal
- V. Evaluación cinética de la marcha normal
- VI. Evaluación de las presiones plantares durante la marcha normal
- VII. Evaluación electromiográfica de la marcha normal
- VIII. Ideas clave
- IX. Referencias

## D.2 ¿Cómo es una evaluación biomecánica normal de la marcha?

### I. Objetivos

A thick, blue, hand-drawn brushstroke underline is positioned below the text "I. Objetivos".

## I. OBJETIVOS

1. Conocer la relevancia de los datos normativos de la marcha en la práctica clínica.

2. Revisar los principales resultados que caracterizan la marcha humana, su definición y relevancia clínica.

3. Conocer los valores normativos de la evaluación biomecánica de la marcha humana en personas sanas y la influencia en los resultados según edad y sexo.

## D.2 ¿Cómo es una evaluación biomecánica normal de la marcha?

### II. Importancia de los datos normativos sobre la marcha en la práctica clínica

A thick, blue, hand-drawn brushstroke underline that spans across the width of the text above it.

## II. IMPORTANCIA DE LOS DATOS NORMATIVOS SOBRE LA MARCHA EN LA PRÁCTICA CLÍNICA

¿Por qué necesitamos conocer el patrón de marcha normal?



*Comparar*

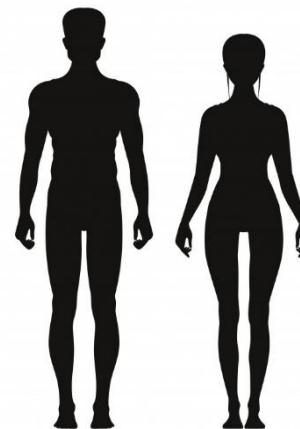
*Diagnosticar*

*Tratamiento*

## II. IMPORTANCIA DE LOS DATOS NORMATIVOS SOBRE LA MARCHA EN LA PRÁCTICA CLÍNICA

¿Cómo varía el patrón de la marcha entre la población sana?

*Influencia sexual*



*Influencia de la edad*

## D.2 ¿Cómo es una evaluación biomecánica normal de la marcha?

### III. Evaluación espacio-temporal de la marcha normal

A thick, blue, hand-drawn brushstroke underline is positioned below the text "III. Evaluación espacio-temporal de la marcha normal".



### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

- Instrumento para medir parámetros espacio-temporales

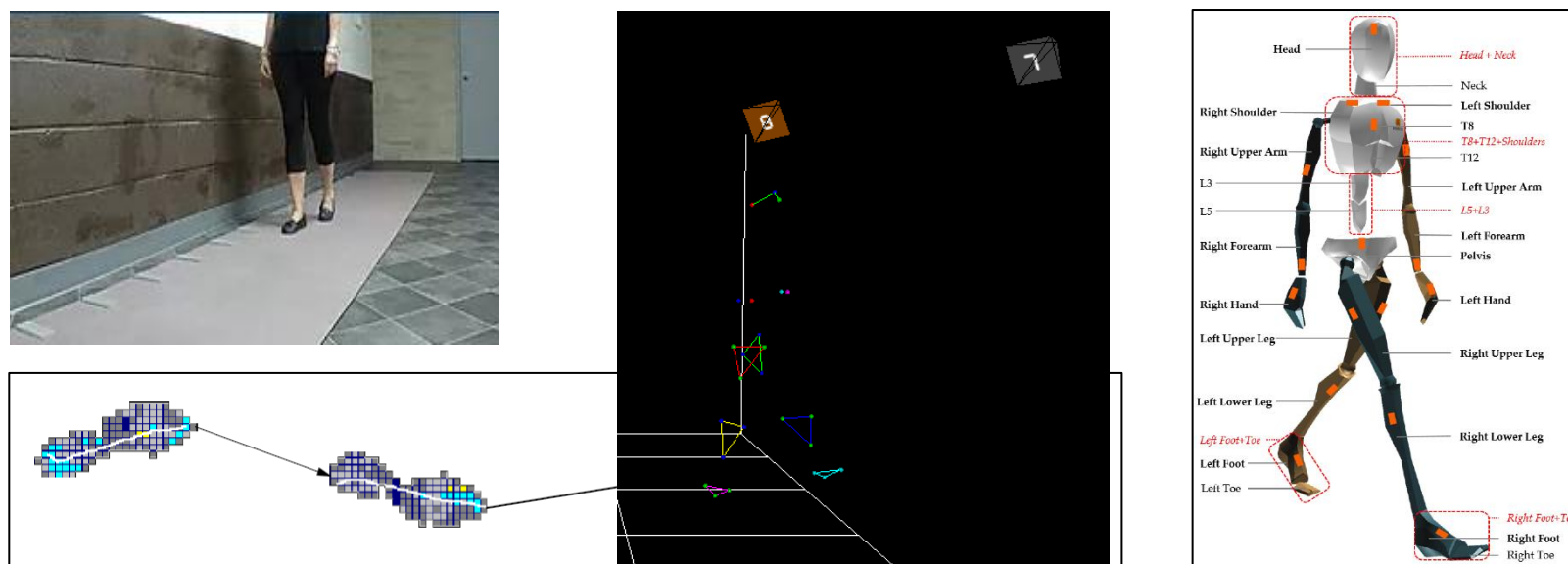


Figura 1 - Herramientas biomecánicas. Izquierda: pasarela instrumentada de GAITrite. Medio: sistema de fotogrametría 3D de Kinescan / IBV. Derecha: sensores IMU de Xsens.

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### *Parámetro espacio-temporal*

- Velocidad de la marcha/velocidad de la marcha (m/s o km/h): distancia recorrida por un cuerpo en una unidad de tiempo.
- Correlación con varios parámetros de salud.
- Condiciones de medida a la velocidad de marcha seleccionada, rápida y lenta.

Gait	<b>Otros autores: 1,20 - 1,53 m/s</b> (Murray 1970, Chao 1983, Kadaba 1990, Perry 1992)
gait speed [m/s]	

Figura 2 - Resultados de la velocidad de la marcha de Pietraszewski B. et al. 2012. Los participantes eran hombres jóvenes con  $1795 \pm 46$  mm de altura.

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### *Parámetro espacio-temporal*

- Efecto de interacción significativo de Edad x Sexo sobre la velocidad de la marcha.

Velocity [m/s]	All mean $\pm$ SD All N=191	Males mean $\pm$ SD All N=99 Young N=31 Middle N=22 Elderly N=46	Females mean $\pm$ SD All N=92 Young N=36 Middle N=21 Elderly N=35
All	1.35 $\pm$ 0.16	1.34 $\pm$ 0.18	1.37 $\pm$ 0.14
<b>27.21 y.o.</b> Young	1.36 $\pm$ 0.15	1.37 $\pm$ 0.17	1.36 $\pm$ 0.13
<b>52.74 y.o.</b> Middle	1.41 $\pm$ 0.19	1.41 $\pm$ 0.23	1.40 $\pm$ 0.14
<b>68.01 y.o.</b> Elderly	1.32 $\pm$ 0.15	1.29 $\pm$ 0.14	1.36 $\pm$ 0.15

Figura 3 - Resultados de la velocidad de la marcha de Kobayashi Y. et al. 2016. Los participantes fueron jóvenes (media 27,21 años), medianos (media 52,74 años) y ancianos (media 68,01 años). El trayecto caminado se registró a la velocidad autoseleccionada.

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### *Parámetro espacio-temporal*

- Efecto significativo del sexo en la velocidad de la marcha de personas sanas mayores de 70 años.

Gait speed (cm/s)<sup>††</sup>

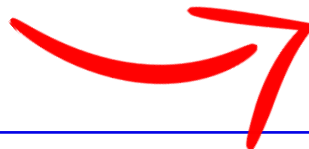
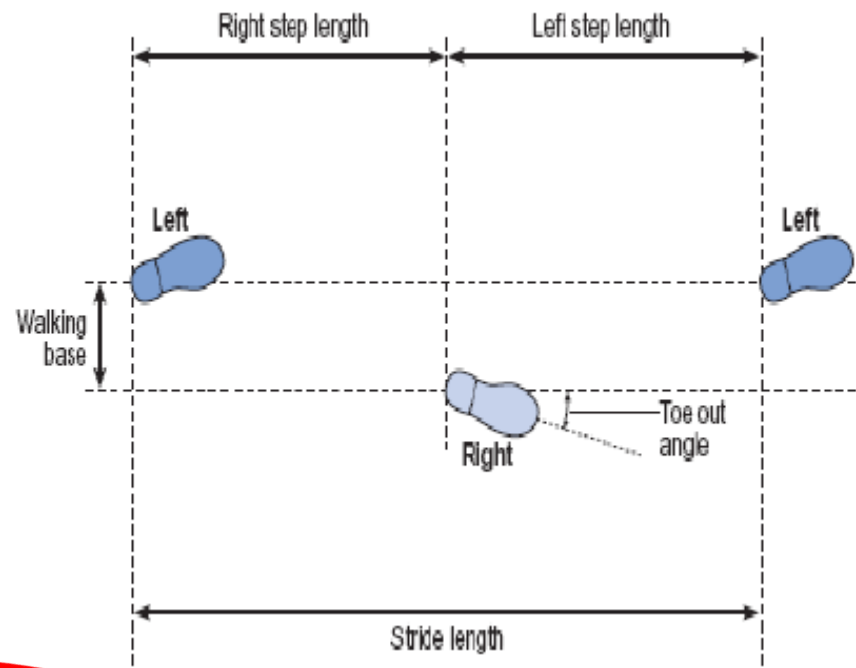
Men (N=108)				Women (N=186)			
70-74	75-79	80-84	85+	70-74	75-79	80-84	85+
N=27	N=30	N=37	N=14	N=33	N=77	N=43	N=33
117 ± 16	122 ± 15	112 ± 17	101 ± 22	116 ± 20	112 ± 17	101 ± 15	98 ± 20

Figura 4 - Resultados de la velocidad de la marcha de Hollaman J. et al. 2011. La marcha se registró a la velocidad que el paciente eligió.

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### *Parámetros espaciales*

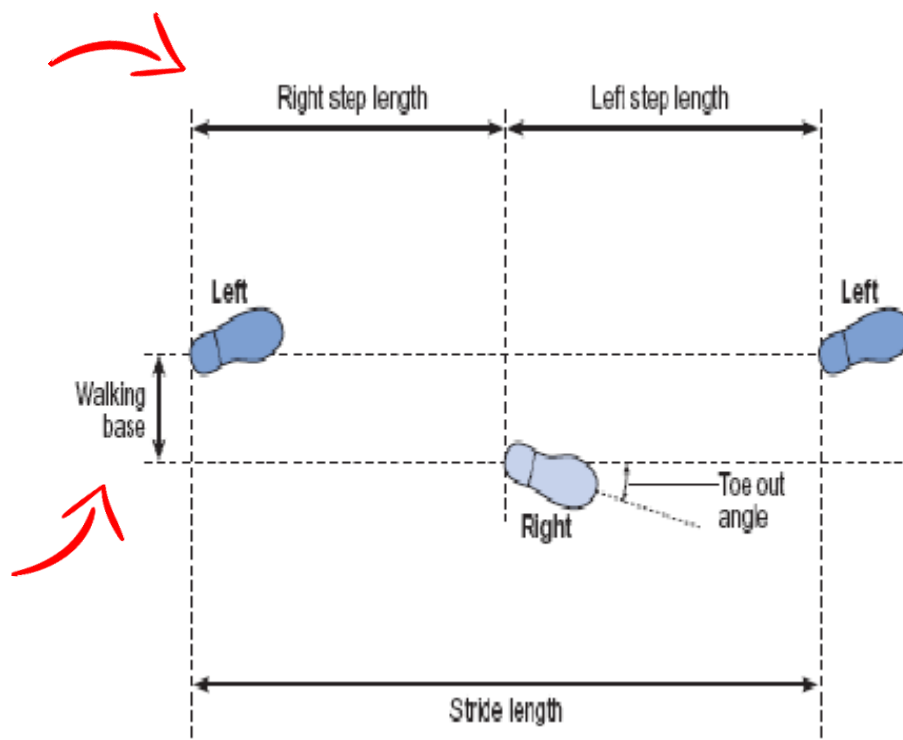
- Longitud de la zancada (m): distancia anteroposterior entre los talones de dos pisadas consecutivas del mismo pie (de izquierda a izquierda, de derecha a derecha); dos pasos (por ejemplo, un paso a la derecha seguido de un paso a la izquierda) comprenden una zancada o un ciclo de marcha.



### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### *Parámetros espaciales*

- Longitud del paso (m): distancia anteroposterior desde el talón de una pisada hasta el talón de la pisada opuesta.
- Ancho del paso (m): distancia lateral desde el centro del talón de una pisada hasta la línea de progresión formada por dos pisadas consecutivas del pie opuesto.



### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### *Parámetros espaciales*

Gait speed	High	Preferred	Low
stride length [m]	$1.73 \pm 0.19$	$1.47 \pm 0.13$	$1.35 \pm 0.13$
stride width [m]	$0.17 \pm 0.01$	$0.17 \pm 0.03$	$0.16 \pm 0.02$
step length L [m]	$0.73 \pm 0.05$	$0.64 \pm 0.04$	$0.60 \pm 0.05$
step length R [m]	$0.69 \pm 0.06$	$0.61 \pm 0.06$	$0.58 \pm 0.07$

Figura 5 - Resultados de los parámetros espaciales de Pietraszewski B. et al. 2012. Los participantes eran hombres jóvenes con  $1795 \pm 46$  mm de altura.

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### Parámetros espaciales

- El sexo y la edad influyen en la longitud del paso de forma independiente.
- En el ancho del paso, la interacción del efecto sexo x edad es significativa.

Variables	All mean ± SD All N=191	Males mean ± SD All N=99 Young N=31 Middle N=22 Elderly N=46	Females mean ± SD All N=92 Young N=36 Middle N=21 Elderly N=35
Step length [cm]			
All	69.88 ± 6.90	71.23 ± 7.32	68.42 ± 6.10
Young	71.82 ± 5.88	73.09 ± 6.15	70.72 ± 5.42
Middle	70.46 ± 8.28	72.85 ± 9.46	67.96 ± 5.92
Elderly	67.96 ± 6.36	69.20 ± 6.31	66.33 ± 6.07
		1.46 m	1.41 m
		1.45 m	1.35 m
		1.38 m	1.32 m
Step width [cm]			
All	9.11 ± 2.81	9.63 ± 2.92	8.54 ± 2.57
Young	8.58 ± 2.83	8.81 ± 3.25	8.38 ± 2.40
Middle	9.32 ± 2.25	9.73 ± 2.41	8.89 ± 1.99
Elderly	9.43 ± 3.00	10.14 ± 2.79	8.49 ± 3.01

Figura 6 - Resultados de los parámetros espaciales de Kobayashi Y. et al. 2016. Los participantes fueron jóvenes (media 27,21 años), medianos (media 52,74 años y ancianos (media 68,01 años). La marcha se registró a la velocidad autoseleccionada.



### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### *Parámetros espaciales*

- Efecto significativo de la edad sobre el paso y la longitud de la zancada de personas sanas mayores de 70 años. Con la longitud normalizada el efecto del sexo desaparece.

Parameter	Men (N= 108)				Women (N= 186)			
	70-74	75-79	80-84	85+	70-74	75-79	80-84	85+
	N=27	N=30	N=37	N=14	N=33	N=77	N=43	N=33
Step length (cm) <sup>††</sup>	69 ± 8	68 ± 7	65 ± 8	59 ± 10	61 ± 9	59 ± 7	55 ± 7	54 ± 9
Stride length (cm) <sup>§§</sup>	139 ± 14	137 ± 12	131 ± 17	119 ± 21	123 ± 17	118 ± 15	111 ± 14	109 ± 18
Step width (cm) <sup>††</sup>	9.7 ± 3.0	8.9 ± 5.2	11.2 ± 4.0	9.9 ± 4.8	7.0 ± 3.5	7.7 ± 4.0	7.9 ± 4.1	9.1 ± 2.6
Step width SD (cm)	3.1 ± 2.2	2.9 ± 1.9	3.3 ± 2.3	2.8 ± 1.2	3.4 ± 2.4	3.2 ± 2.5	3.6 ± 3.1	3.0 ± 1.1

Figura 7 - Resultados de los parámetros espaciales de Hollaman J. et al. 2011. La marcha se registró a la velocidad autoseleccionada.

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### *Parámetros temporales*

- Cadencia (pasos/min): número de pasos por minuto, a veces denominado frecuencia de pasos.
- Tiempo de paso (s): tiempo transcurrido desde el contacto inicial de un pie hasta el contacto inicial del pie opuesto.
- Tiempos de zancada (s): tiempo transcurrido entre los contactos iniciales de dos pisadas consecutivas del mismo pie.
- Tiempo de apoyo (s): tiempo transcurrido entre el contacto inicial y el último contacto de una misma pisada.
- Tiempo de oscilación (s): tiempo transcurrido entre el último contacto de una pisada de un pie y el contacto inicial de la siguiente pisada del mismo pie.

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### Parámetros temporales

- Tiempo de apoyo único (s): tiempo transcurrido entre el último contacto de una pisada hasta el contacto inicial de la siguiente pisada del mismo pie.

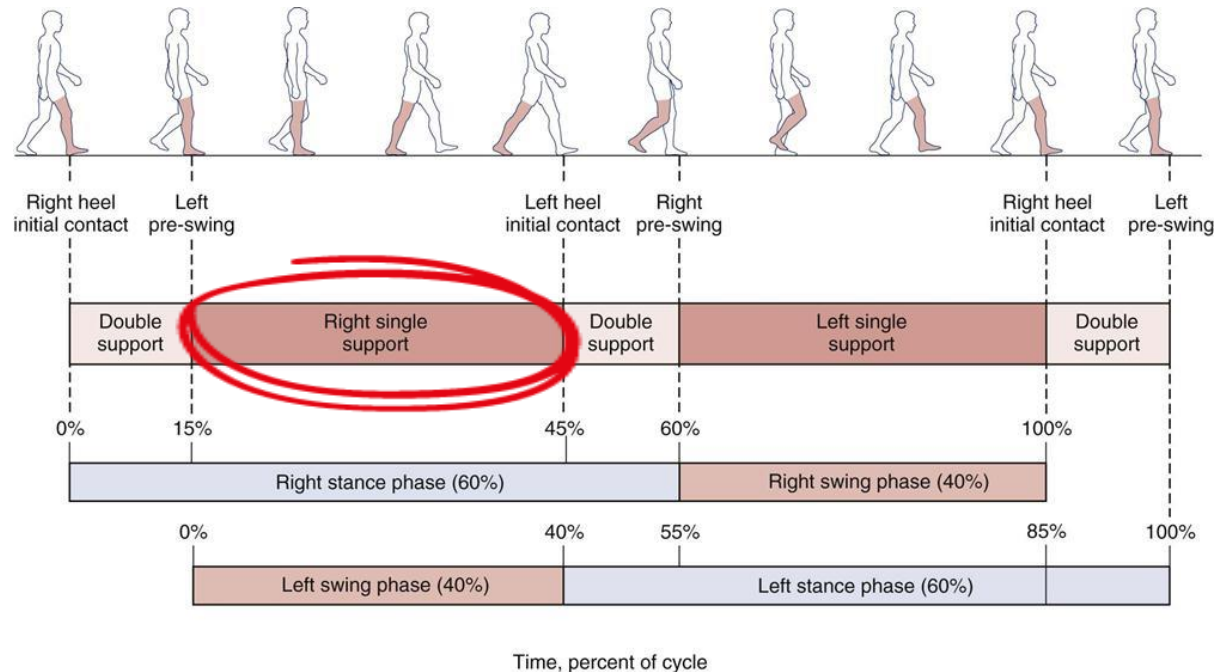


Figura 8. Ciclo de la marcha y segmentación temporal (%).  
Imagen de [www.musculoskeletalkey.com](http://www.musculoskeletalkey.com)

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### Parámetros temporales

- Tiempo de apoyo doble (s): Suma del tiempo transcurrido durante dos períodos de apoyo doble en el ciclo de la marcha.

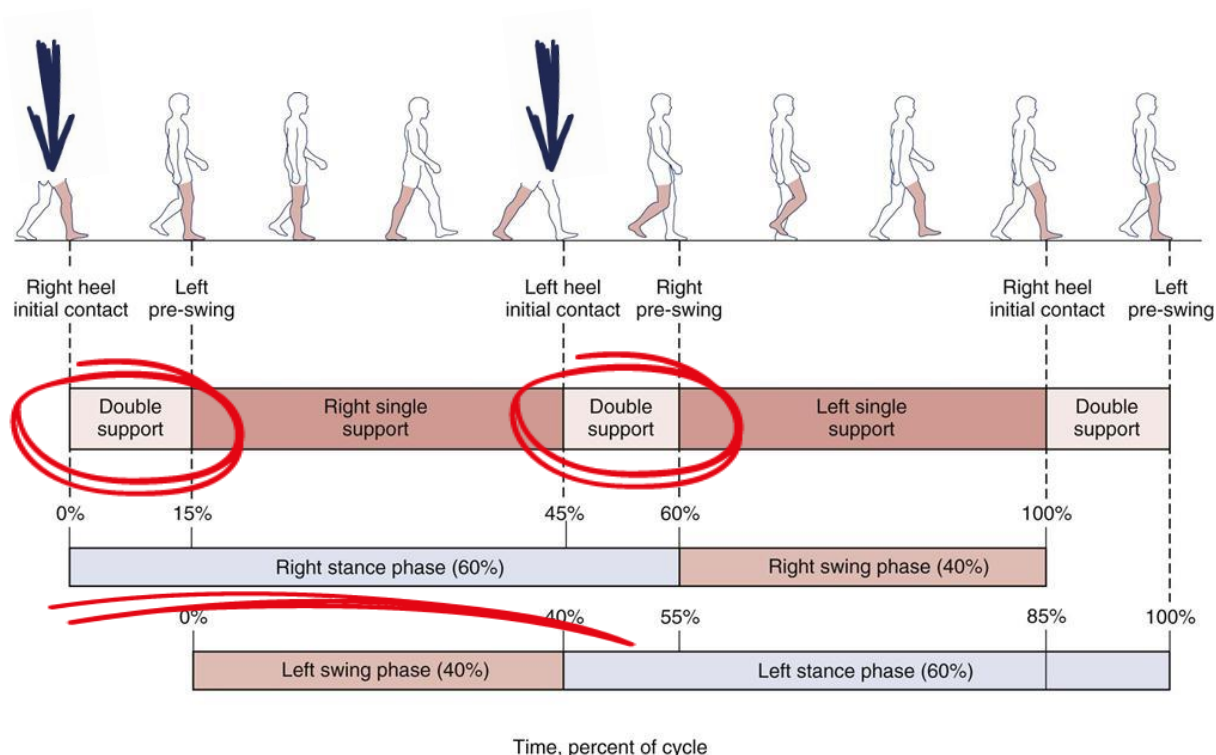


Figura 8. Ciclo de la marcha y segmentación temporal (%).  
Imagen de [www.musculoskeletalkey.com](http://www.musculoskeletalkey.com)

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### Parámetros temporales

Gait speed	Otros autores: 102-117 pasos/min (Murray 1970, Chao 1983, Kadaba 1990, Perry 1992)		
cadence [steps/min]			
stride time (cycle time) [s]	0.94 ± 0.06	1.09 ± 0.8	1.18 ± 0.08
stance duration R [s]	0.61 ± 0.04	0.71 ± 0.06	0.79 ± 0.07
swing duration R [s]	0.33 ± 0.02	0.36 ± 0.03	0.39 ± 0.02
double stance duration R [s]	0.14 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.20 ± 0.03
stance duration L [s]	0.60 ± 0.05	0.72 ± 0.06	0.78 ± 0.07
swing duration L [s]	0.34 ± 0.02	0.37 ± 0.03	0.39 ± 0.02
double stance duration L [s]	0.13 ± 0.02	0.18 ± 0.03	0.20 ± 0.02

Figura 9– Resultados de los parámetros temporales de Pietraszewski B. et al. 2012. Los participantes eran hombres jóvenes con 1795 ± 46 mm de altura corporal.

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### Parámetros temporales

- Efecto de la interacción de la edad y el sexo en la postura y la duración del oscilación.

Variables	All mean ± SD All N= 191	Males mean ± SD All N=99 Young N= 31 Middle N=22 Elderly N=46	Females mean ± SD All N=92 Young N= 36 Middle N= 21 Elderly N= 35
Stance time [s]			
All	0.59 ± 0.05	0.61 ± 0.05	0.57 ± 0.05
Young	0.60 ± 0.05	0.61 ± 0.05 <b>1,03</b>	0.59 ± 0.04 <b>1,00</b>
Middle	0.57 ± 0.05	0.59 ± 0.05 <b>0,99</b>	0.55 ± 0.03 <b>0,94</b>
Elderly	0.58 ± 0.05	0.61 ± 0.04 <b>1,03</b>	0.55 ± 0.04 <b>0,94</b>
Swing time [s]			
All	0.41 ± 0.03	0.42 ± 0.03	0.40 ± 0.03
Young	0.42 ± 0.03	0.42 ± 0.03	0.41 ± 0.03
Middle	0.40 ± 0.04	0.40 ± 0.05	0.39 ± 0.02
Elderly	0.41 ± 0.03	0.42 ± 0.03	0.39 ± 0.03

Figura 10 - Resultados de los parámetros espaciales de Kobayashi Y. et al. 2016. Los participantes fueron jóvenes (media 27,21 años), medianos (media 52,74 años y ancianos (media 68,01 años). La marcha se registró a la velocidad autoseleccionada.

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### *Parámetros temporales*

Parameter	Men (N=108)				Women (N=186)			
	70-74	75-79	80-84	85+	70-74	75-79	80-84	85+
	N=27	N=30	N=37	N=14	N=33	N=77	N=43	N=33
<b>Rhythm</b>								
Cadence (steps/min)*	102 ± 8	106 ± 10	103 ± 8	102 ± 11	113 ± 20	114 ± 13	110 ± 9	108 ± 10
Step time (s)	0.59 ± 0.05	0.56 ± 0.05	0.59 ± 0.04	0.59 ± 0.08	0.53 ± 0.06	0.53 ± 0.06	0.55 ± 0.05	0.56 ± 0.05
Stride time (s)†	1.18 ± 0.08	1.13 ± 0.09	1.16 ± 0.08	1.19 ± 0.14	1.06 ± 0.13	1.06 ± 0.12	1.10 ± 0.09	1.12 ± 0.11
Swing time (s)‡	0.43 ± 0.03	0.41 ± 0.03	0.42 ± 0.04	0.42 ± 0.05	0.39 ± 0.05	0.38 ± 0.05	0.39 ± 0.04	0.40 ± 0.04
Stance time (s)§	0.75 ± 0.07	0.72 ± 0.06	0.74 ± 0.06	0.78 ± 0.11	0.68 ± 0.10	0.67 ± 0.08	0.71 ± 0.07	0.72 ± 0.09
Single support time (s)#	0.44 ± 0.03	0.42 ± 0.03	0.42 ± 0.04	0.42 ± 0.04	0.39 ± 0.06	0.38 ± 0.06	0.39 ± 0.04	0.40 ± 0.04

Figura 11 - Resultados de los parámetros espaciales de Hollaman J. et al. 2011. La marcha se registró a la velocidad autoseleccionada.



### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### Parámetros temporofásicos

- Tiempo de apoyo (%GC): tiempo de apoyo normalizado al tiempo de paso.
- Tiempo de oscilación (%GC): tiempo de oscilación normalizado al tiempo de zancada.

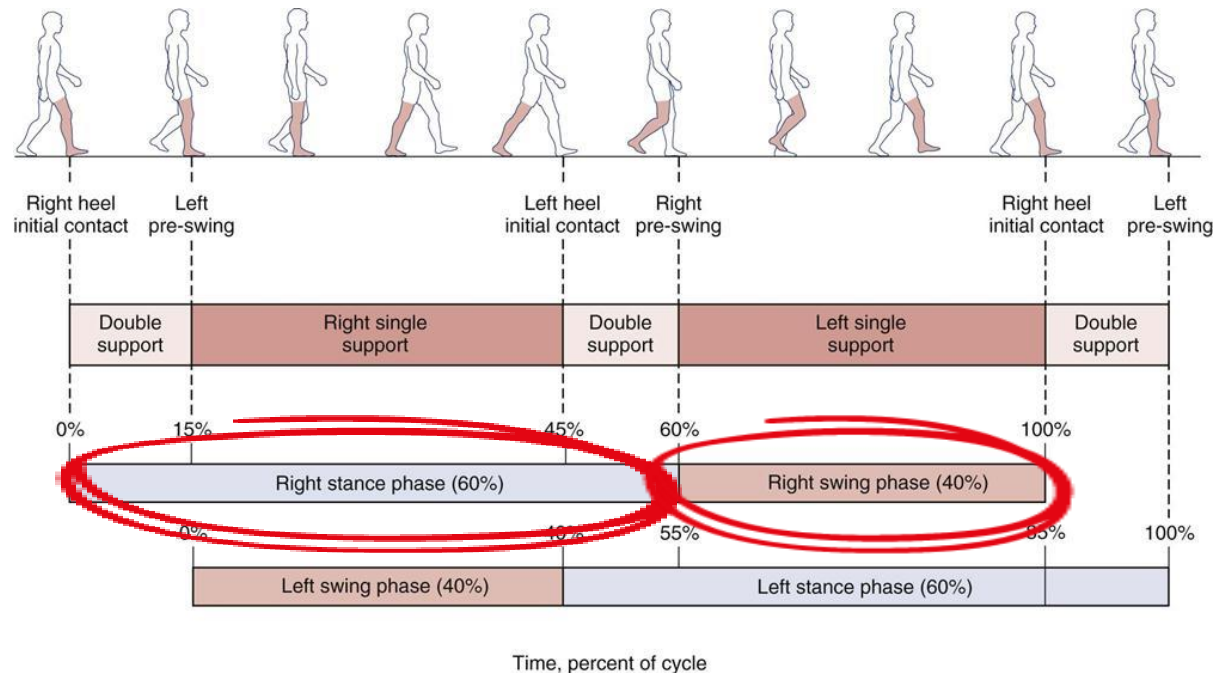


Figura 7. Ciclo de la marcha y segmentación temporal (%).  
Imagen de [www.musculoskeletalkey.com](http://www.musculoskeletalkey.com)



### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### Parámetros temporofásicos

- Tiempo de apoyo único (%GC): tiempo de soporte único normalizado al tiempo de zancada.
- Tiempo de apoyo doble (%GC): tiempo de apoyo doble normalizado al tiempo de zancada.

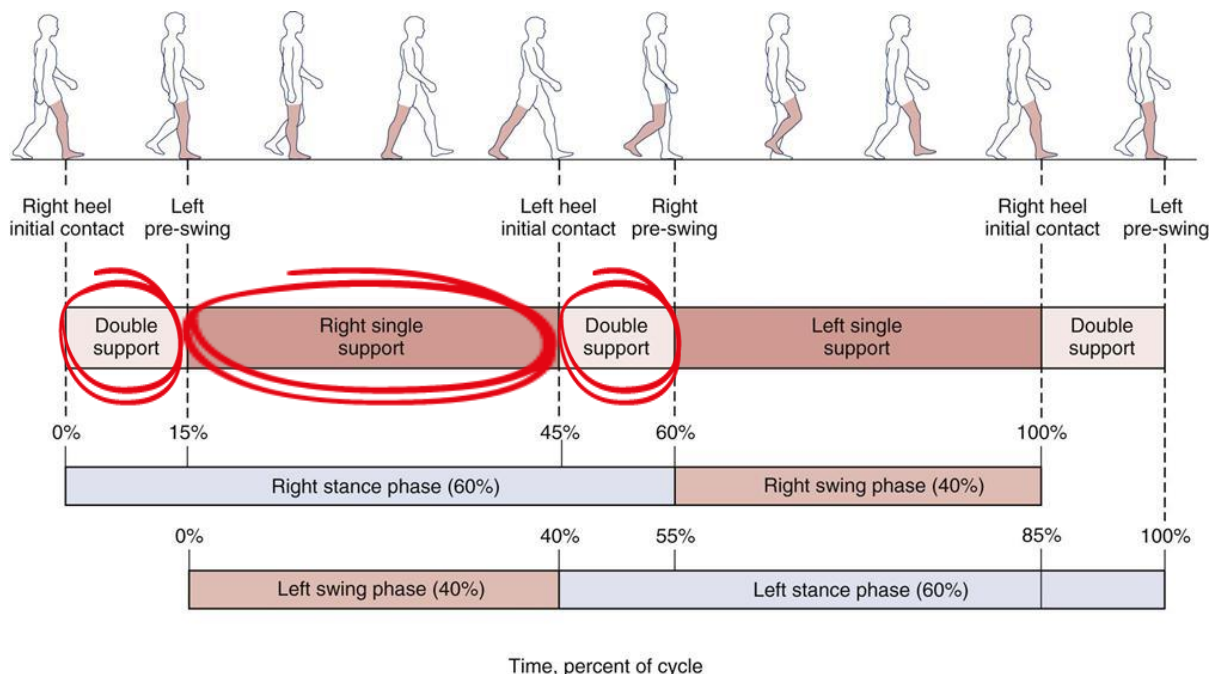


Figura 7. Ciclo de la marcha y segmentación temporal (%).  
Imagen de [www.musculoskeletalkey.com](http://www.musculoskeletalkey.com)

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### *Parámetros temporofásicos*

- La duración de la postura disminuye y la duración relativa de la oscilación aumenta a medida que aumenta la velocidad.

Gait speed	High	Preferred	Low
relative stance duration R [%]	64.6 ± 1.3	65.1 ± 3.6	66.9 ± 1.4
relative swing duration R [%]	35.4 ± 1.3	33.3 ± 1.9	33.1 ± 1.4
relative dbl stance durat. R [%]	14.4 ± 1.5	16.4 ± 1.4	16.9 ± 1.7
relative stance duration L [%]	64.9 ± 0.9	62.2 ± 1.4	66.6 ± 1.6
relative swing duration L [%]	36.0 ± 0.9	33.8 ± 1.4	33.3 ± 1.6
relative dbl stance durat. L [%]	14.4 ± 1.0	16.7 ± 2.0	16.6 ± 1.3

Figura 12 - Los parámetros temporofásicos son resultados de Pietraszewski B. et al. 2012. Los participantes eran hombres jóvenes (media de 22 ± 1 años) con una altura corporal de 1795 ± 46 mm.

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### Parámetros temporofásicos

Variables	All mean ± SD All N= 191	Males mean ± SD All N=99 Young N= 31 Middle N=22	Females mean ± SD All N=92 Young N= 36 Middle N=21
<b>Tiempo de apoyo (% ciclo de marcha)</b>			
Stance time [s]		59.22	59
All	0.59 ± 0.05		
Young	0.60 ± 0.05		
Middle	0.57 ± 0.05	59.59	58.51
Elderly	0.58 ± 0.05		
Swing time [s]		59.22	58.51
All	0.41 ± 0.03		
Young	0.42 ± 0.03		
Middle	0.40 ± 0.04		
Elderly	0.41 ± 0.03		
<b>Tiempo de oscilación (% ciclo de marcha)</b>			
		40.77	41
		40.40	41.48
		40.77	41.48

Figura 13 - Los parámetros temporofásicos son los que se muestran en la tabla. Los participantes fueron jóvenes (media 27,21 años) y ancianos (media 68,01 años). La marcha se registró a la vez en los jóvenes y en los ancianos.

### III. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MARCHA NORMAL

#### *Parámetros temporofásicos*

- En sujetos mayores de 70 años el tiempo de apoyo doble difirió entre sexos.
- Además, la edad afecta el tiempo de apoyo doble.

Parameter	Men (N=108)				Women (N=186)			
	70-74	75-79	80-84	85+	70-74	75-79	80-84	85+
	N=27	N=30	N=37	N=14	N=33	N=77	N=43	N=33
Swing (%GC)	36.6 ± 1.5	36.7 ± 1.5	36.6 ± 2.8	35.1 ± 2.69	36.6 ± 2.6	36.1 ± 3.0	35.5 ± 2.5	35.7 ± 2.6
Stance (%GC)	63.2 ± 2.1	64.0 ± 2.5	63.8 ± 2.7	64.9 ± 2.7	63.3 ± 3.1	63.9 ± 3.0	64.5 ± 2.6	64.5 ± 2.5
Single support (%GC)	37.1 ± 1.8	37.0 ± 1.7	36.5 ± 2.2	35.2 ± 2.1	37.0 ± 3.20	35.8 ± 4.8	35.6 ± 2.4	35.7 ± 2.8
Double support (%GC)	26.3 ± 3.0	26.5 ± 2.3	27.4 ± 4.7	30.3 ± 3.5	27.14 ± 4.0	28.4 ± 6.4	29.0 ± 4.6	28.7 ± 4.8

Figura 14 - Resultados de los parámetros temporofásicos de Hollaman J. et al. 2011. La marcha se registró a la velocidad autoseleccionada.

## D.2 ¿Cómo es una evaluación biomecánica normal de la marcha?

### IV. Evaluación cinemática de la marcha normal

A decorative blue brushstroke underline consisting of two parallel, slightly wavy lines that tapers at both ends.

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

- Instrumento para medir parámetros cinemáticos

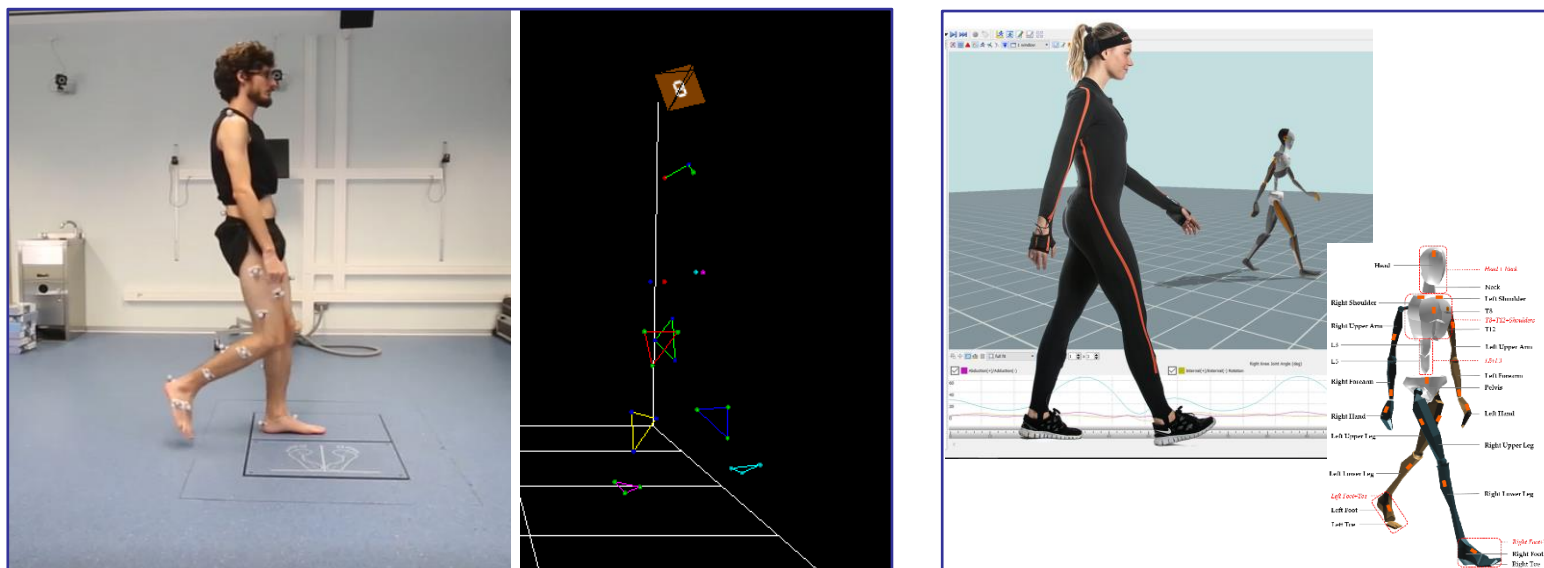


Figura 1 - Herramientas biomecánicas. Izquierda: sistema de fotogrametría 3D de Kinescan/IBV. Derecha: sensores IMU de Xsens (Motion Capture System).

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Planos de movimiento*

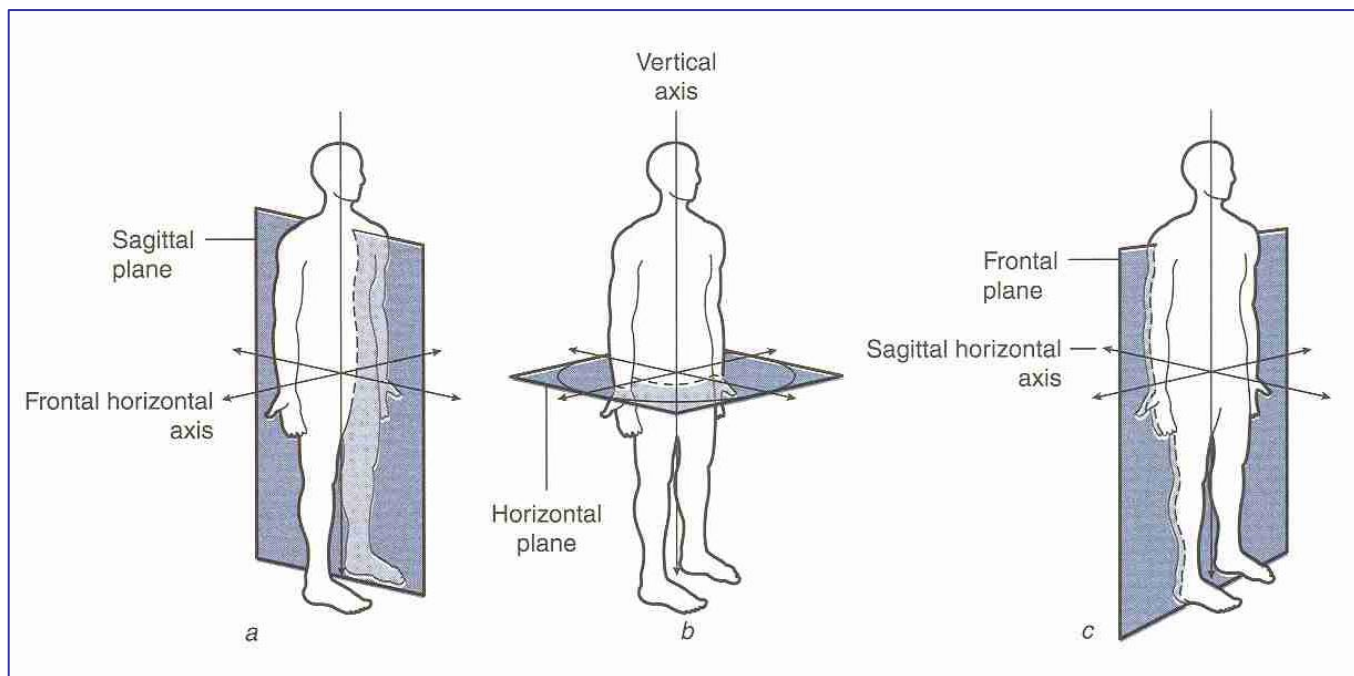


Figura 2 - Planos de movimiento. La cinemática de la marcha se describe en (a) plano sagital, (b) plano horizontal o transversal y (c) plano frontal.

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Curvas de movimiento*

FRONTAL	SAGITAL	TRANSVERSAL
-	Flexión plantar – flexión dorsal	Rotación de pie
-	Flexión – extension de rodilla	-
Abducción – aducción de cadera	Flexión – extension de cadera	Rotación de cadera
Obliquidad pélvica	Inclinación pélvica	Rotación pélvica



## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Resultados del movimiento articular

- Rango de movimiento
- Flexión / extensión máxima
- Velocidad angular
- Aceleración angular
- Reflejo

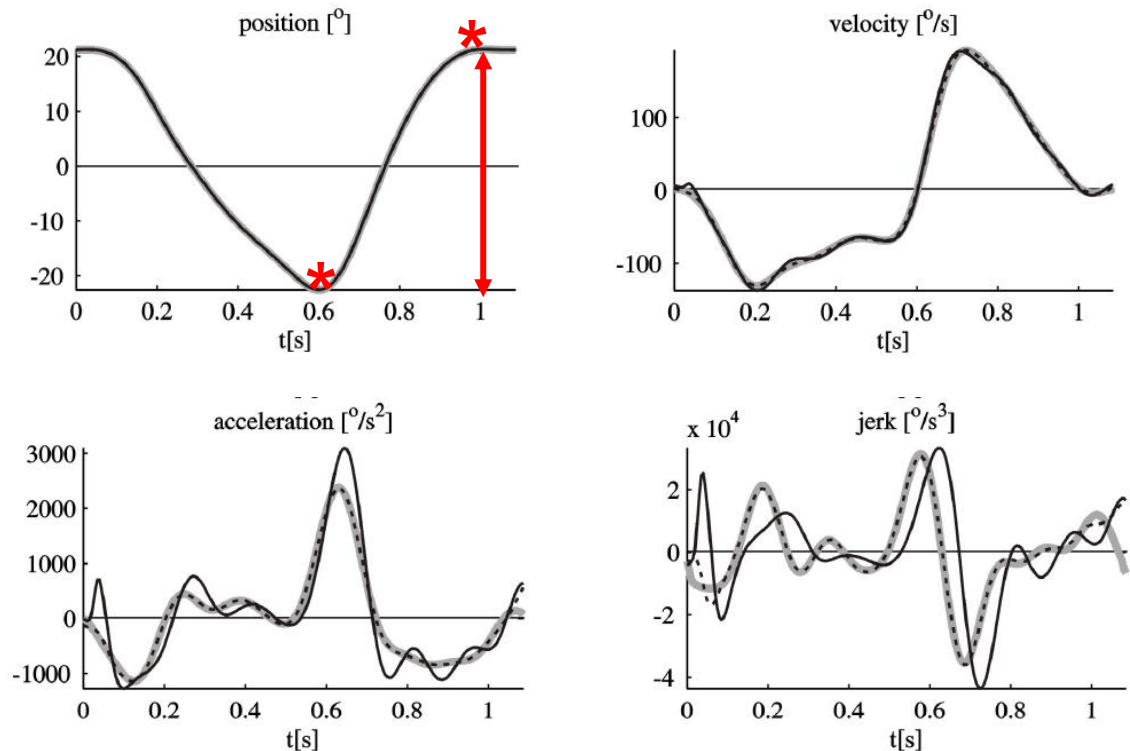


Figura 3 - Estimaciones de posición angular, velocidad, aceleración y reflejo de la cadera de De Groot, F. et al. 2008

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Recordatorio: períodos y fases del ciclo de la marcha

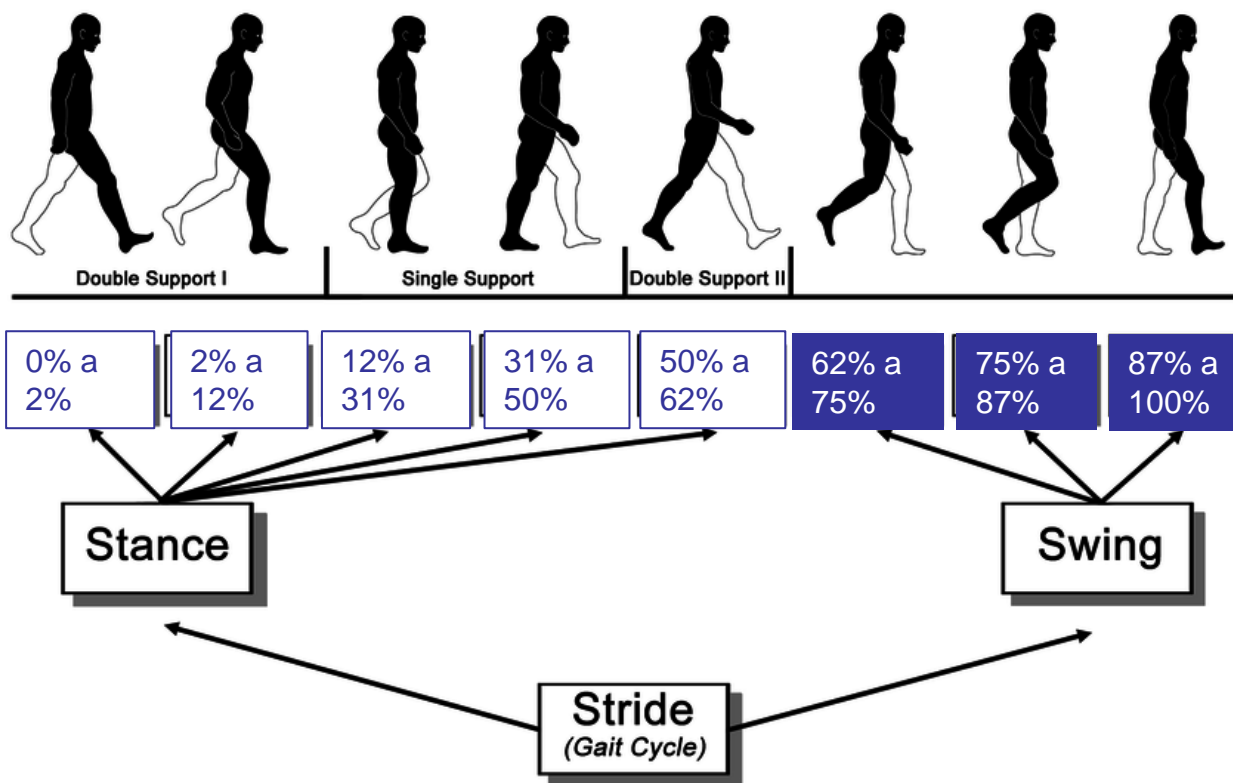


Figura 5 - Periodo y fases del ciclo de la marcha. En cada subfase se muestra el porcentaje de marcha en el que se desarrolla. (Perry J y Burnfield J. 2010)

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Cinemática del tobillo

- Plano sagital.
- Contacto inicial: posición neutra.
- Respuesta de carga: 1ª flexión plantar.
- Apoyo terminal: 1ª flexión dorsal.
- Pre-oscilación: 2ª flexión plantar.
- Oscilación media/final: 2ª flexión dorsal.

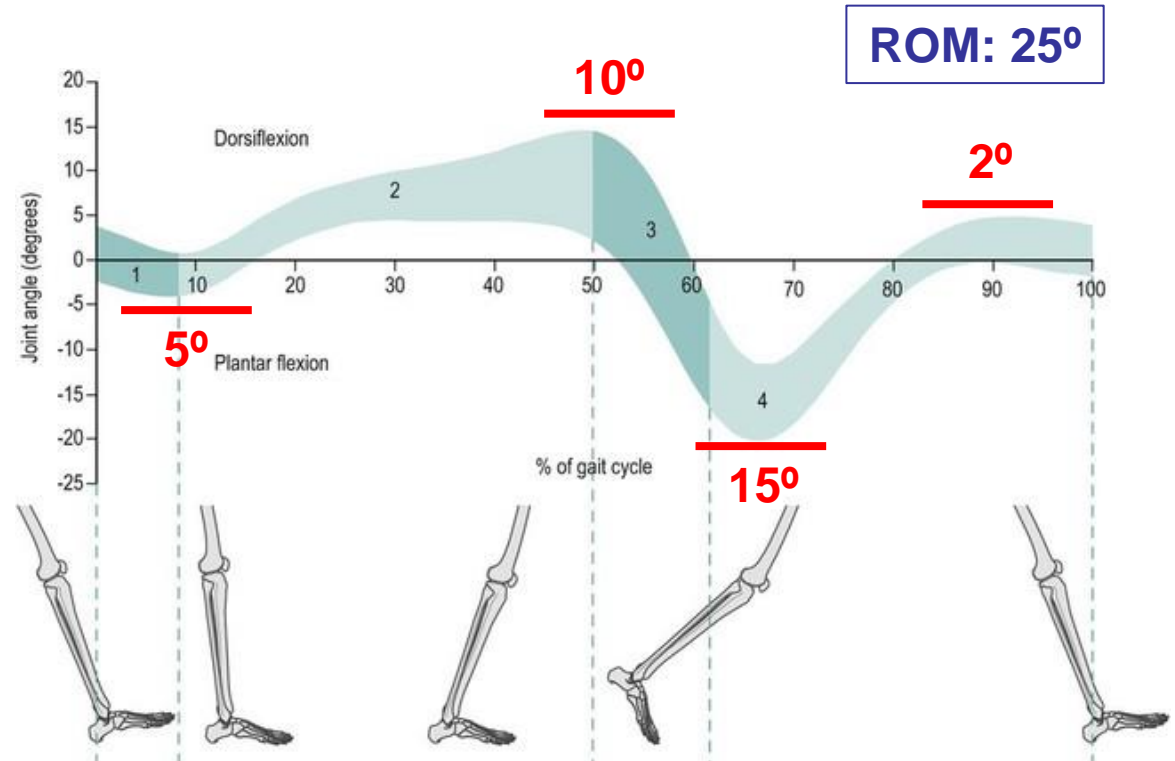


Figura 6 - Movimiento del tobillo en plano sagital a través del ciclo de la marcha. Imagen de Richards J. 2015

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Cinemática del pie*

- Las articulaciones subastragalina, mediotarsiana y metatarsiana tienen arcos de movimiento medibles al caminar.
- La articulación subastragalina permite la inversión y la eversión.
- Contacto inicial: posición neutral.
- Apoyo medio: eversión máxima.
- Fase oscilatoria: posición neutra.

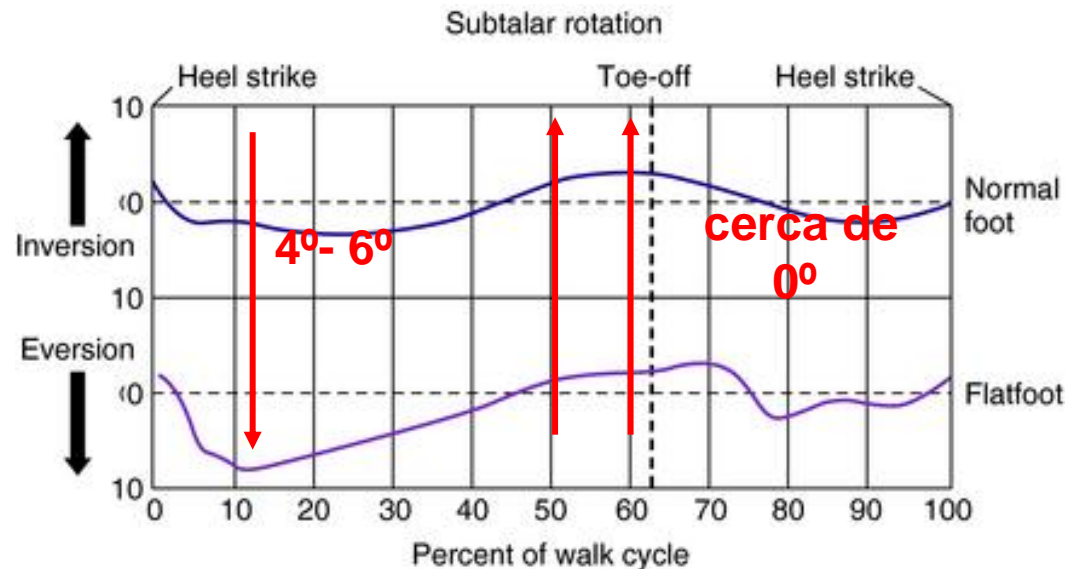


Figura 7 - Movimiento subastragalino a través del ciclo de la marcha. Imagen de <https://musculoskeletalkey.com>

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Cinemática de la rodilla

- Plano sagital: flexión y extensión de la rodilla.
- Contacto inicial: ligera flexión.
- Entre la respuesta de carga y la apoyo medio: primer pico de flexión.
- Postura terminal: primer pico de extensión.
- Oscilación inicial: segundo pico de flexión.
- Oscilación final: segundo pico de extensión.

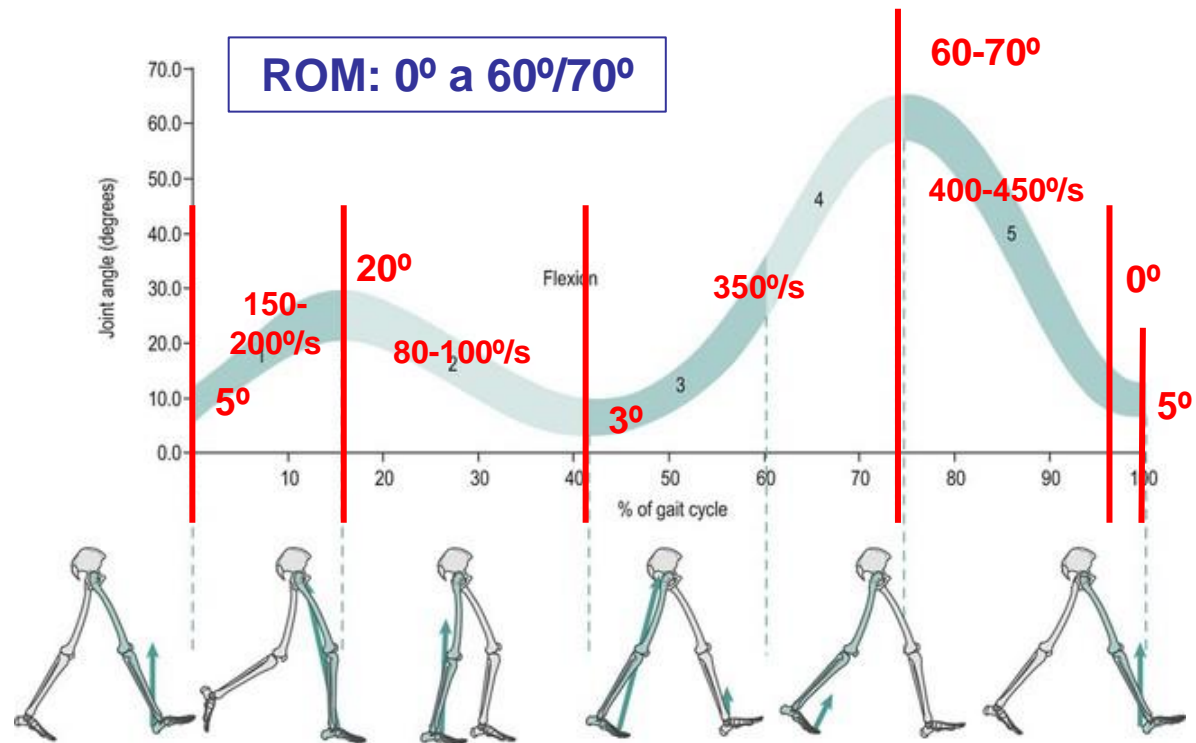
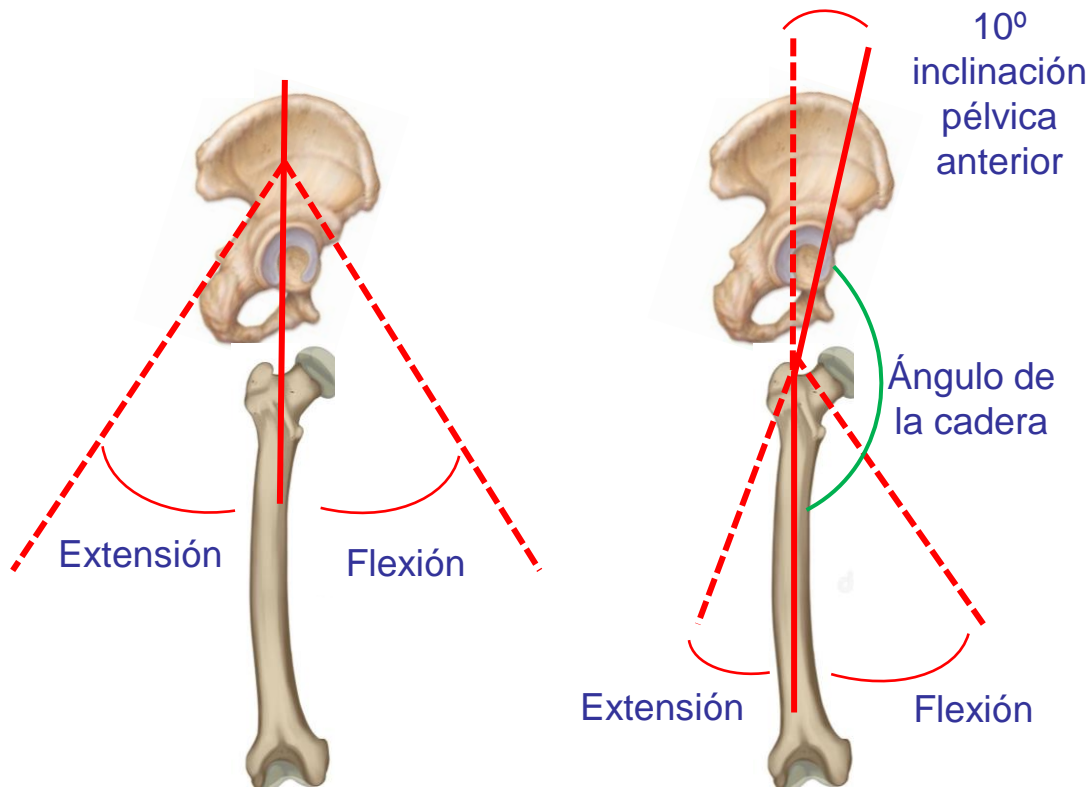


Figura 8 - Movimiento de la rodilla en plano sagital a través del ciclo de la marcha. Imagen de Richards J. 2015

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Análisis absoluto y relativo de la cadera y la pelvis.*



- Movimiento relativo versus movimiento absoluto.
- Los sistemas de análisis cinemático ópticos permiten registrar la posición absoluta del muslo y la pelvis.
- Los sistemas basados en electrogoniómetros miden posiciones relativas.

Figura 9 - Movimiento absoluto (izquierdo) y relativo (derecho) del muslo.

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Cinemática de cadera y muslo*

- Plano sagital: flexión-extensión..
- Valores de diferencia del movimiento de la cadera y el muslo.

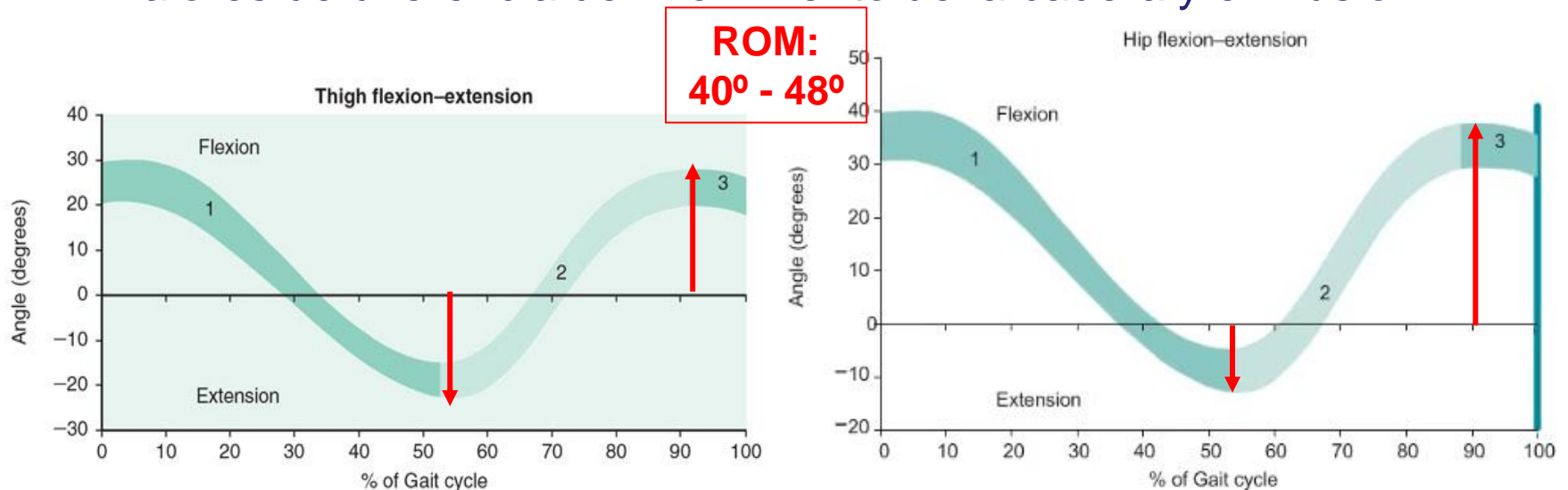


Figura 10 - Movimiento de muslo (izquierda) y cadera (derecha) en plano sagital a través del ciclo de la marcha. Imagen de Richards J. 2015



## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Cinemática de cadera y muslo*

- Plano sagital: flexión-extensión.
- Valores de diferencia del movimiento de la cadera y el muslo.
- Pre-oscilación: extensión máxima (10° cadera, 20° muslo).
- Oscilación final: flexión máxima (30° cadera, 25° muslo).

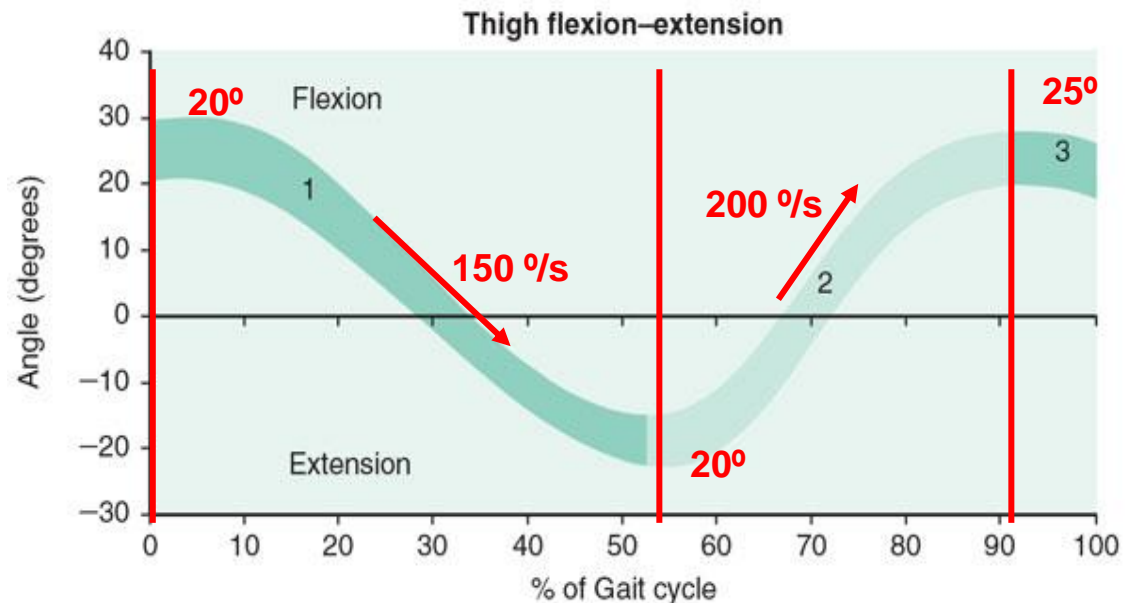


Figura 11 - Movimiento del muslo en plano sagital a través del ciclo de la marcha. Imagen de Richards J. 2015



## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Cinemática de cadera y muslo*

- Plano frontal: aducción y abducción.
- Contacto inicial: posición neutral.
- Respuesta de carga: máxima aducción.
- Pre-oscilación: posición neutral.
- Oscilación inicial: abducción máxima.
- Oscilación media y final: posición neutral.

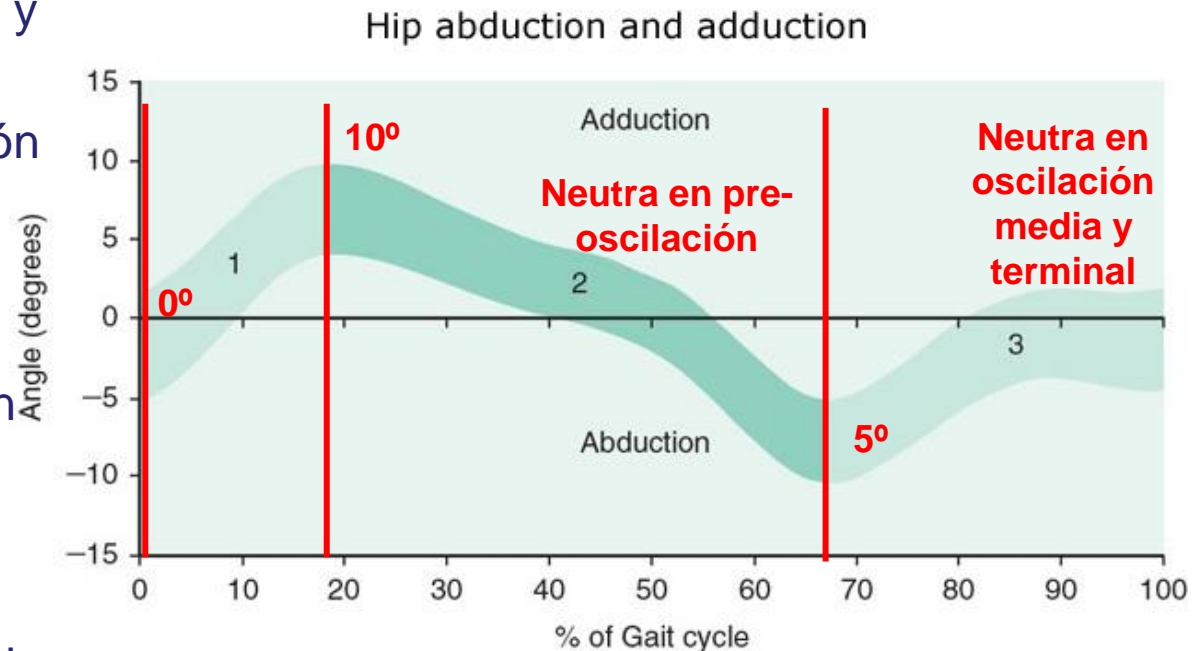


Figura 11 - Movimiento de la cadera en el plano frontal a través del ciclo de la marcha. Imagen de Richards J. 2015

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Cinemática de cadera y muslo*

- Plano transversal: rotación interna y externa.
- Respuesta de carga: máxima rotación interna del muslo..
- Oscilación inicial: máxima rotación externa del muslo..
- ROM total muslo: 8°.
- ROM total con movimiento pélvico agregado: 15°.

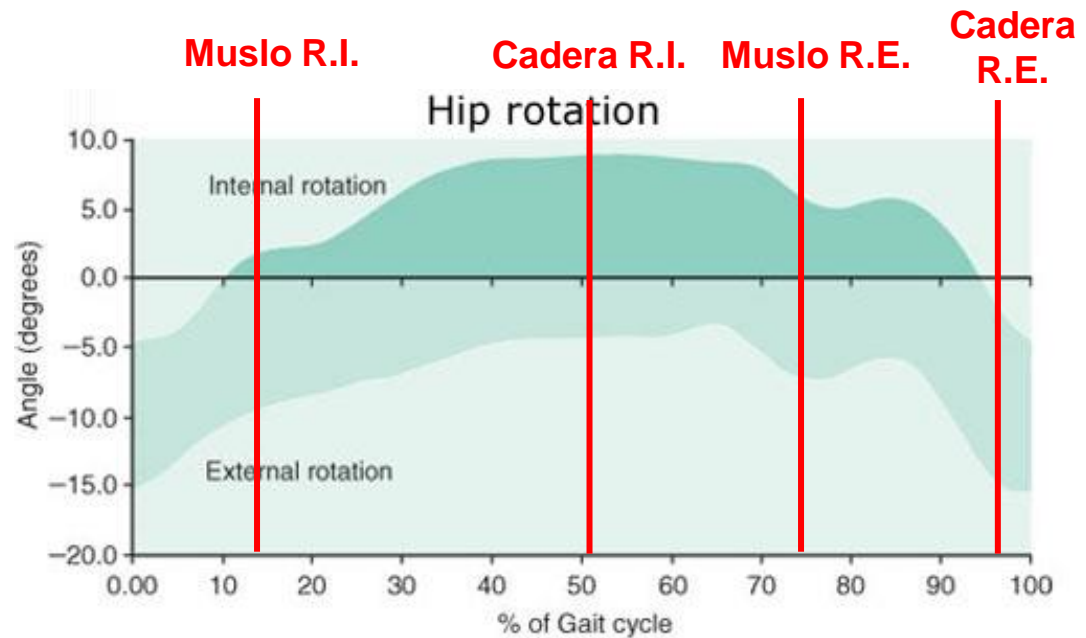


Figura 12 - Movimiento de la cadera en el plano transversal a través del ciclo de la marcha. Imagen de Richards J. 2015

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Cinemática de la pelvis*

- La pelvis se mueve de forma asincrónica en las 3 direcciones durante cada paso..
- Todos los movimientos son pequeños, lo que representa un continuo de cambio postural..

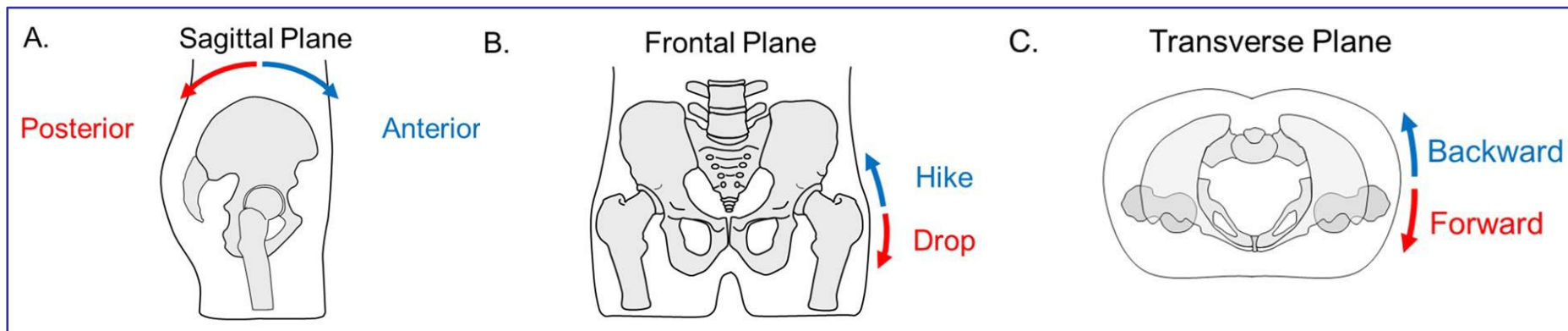


Figura 13 - Movimiento pélvico en los tres planos del espacio. Imagen de Lewis C. et al. 2017

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Cinemática de la pelvis*

- Plano sagital: inclinación anterior y posterior.
- La marcha añade 4° a la inclinación anatómica de la pelvis.
- Inclinación posterior: soporte de una sola extremidad en el apoyo medio y durante la oscilación inicial.
- Inclinación anterior: apoyo final y oscilación terminal.
- ROM: de 3° a 5°.

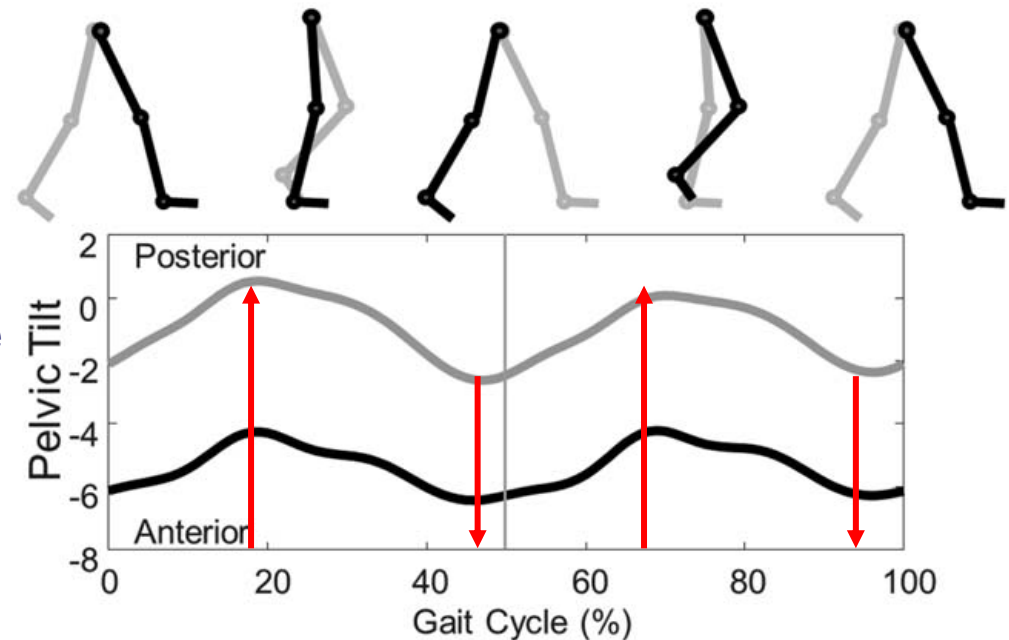


Figura 14 - Movimiento pélvico en el plano sagital durante el ciclo de la marcha. La línea negra se refiere al desempeño femenino y el gris al masculino. Imagen de Lewis C. et al. 2017.

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Cinemática de la pelvis*

- Plano frontal: caída (hacia abajo) y alzado (hacia arriba) de la pelvis.
- Aceptación de peso: pelvis ipsilateral hacia arriba.
- Pre-oscilación: pelvis ipsilateral cae 4°.
- ROM: de 6° a 10°.

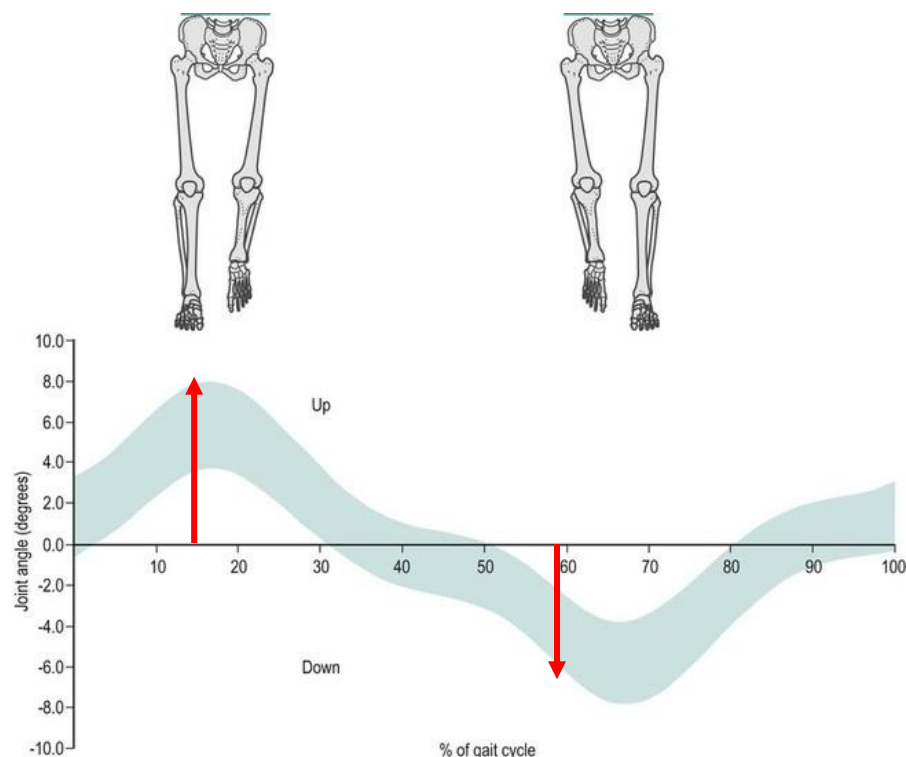


Figura 15 - Movimiento de la pelvis en el plano frontal a través del ciclo de la marcha. Imagen de Richards J. 2015

## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Cinemática de la pelvis*

- Plano transversal: rotación hacia adelante y hacia atrás de la pelvis.
- Oscilación final + Contacto inicial del siguiente ciclo: máxima rotación hacia adelante.
- Apoyo final: máxima rotación hacia atrás.
- ROM: 10°.

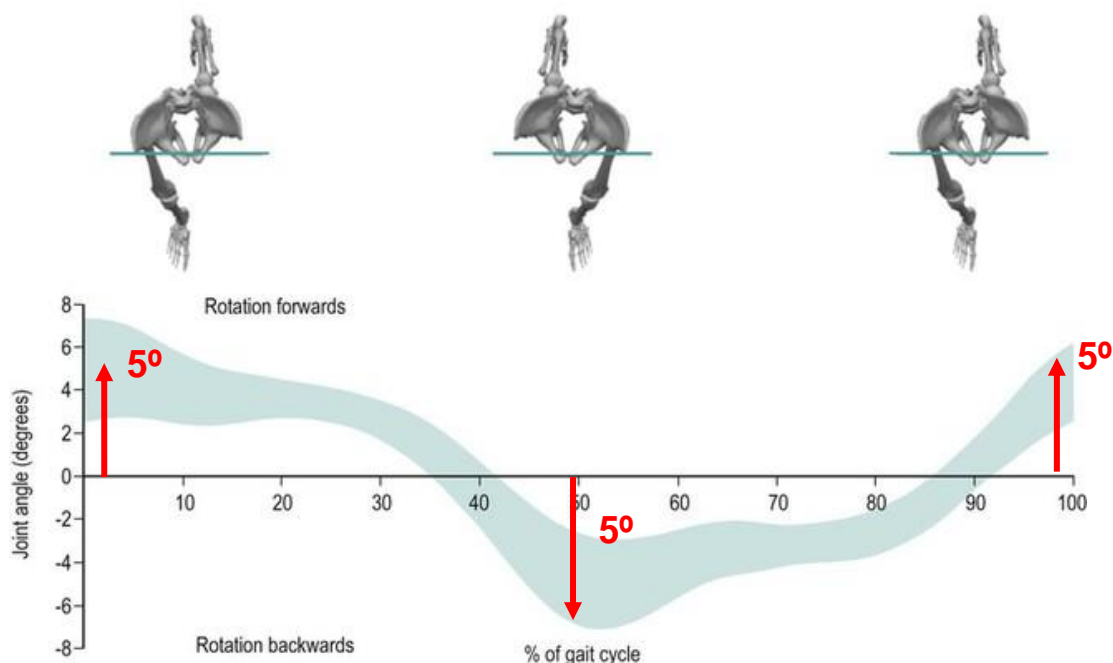


Figura 16 - Movimiento de la pelvis en el plano transversal a través del ciclo de la marcha. Imagen de Richards J. 2015

# IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

## Diferencias de edad y sexo en el patrón de marcha normal

PLOS ONE

RESEARCH ARTICLE

Whole body kinematic sex differences persist across non-dimensional gait speeds

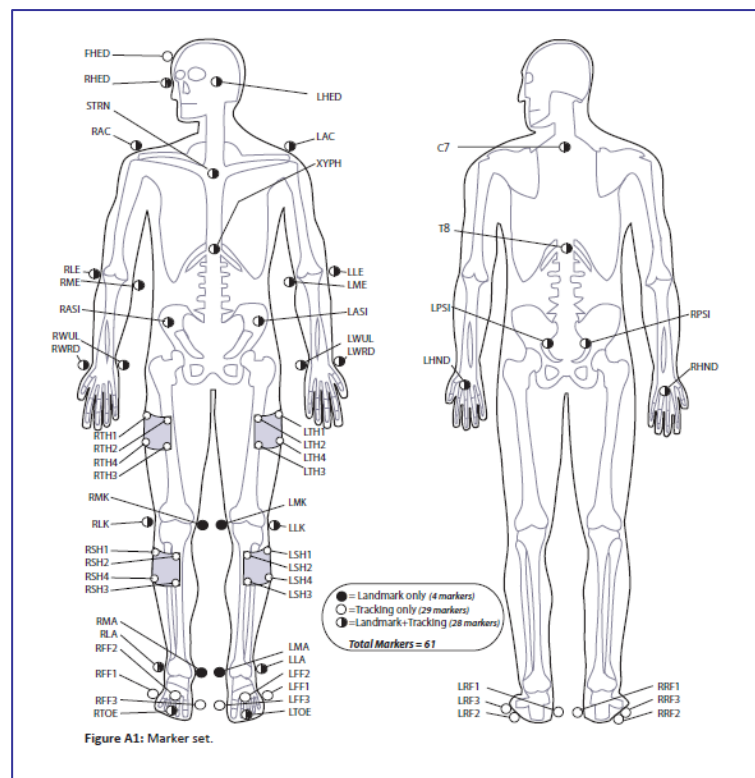
Dustin A. Bruening<sup>1\*</sup>, Andrew R. Baird<sup>2</sup>, Kelsey J. Weaver<sup>1</sup>, Austin T. Rasmussen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Exercise Sciences Department, Brigham Young University, Provo, Utah, United States of America, <sup>2</sup> Mechanical Engineering Department, Brigham Young University, Provo, Utah, United States of America

$$F = \frac{v}{\sqrt{gl}}$$

Donde F = la velocidad adimensional o la velocidad de Froude, v = velocidad, g = gravedad y l = longitud de la pierna.

Figura 17 - Conjunto de mercado del estudio de Bruening D. et al. 2020





## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Diferencias de edad y sexo en el patrón de marcha normal

PLOS ONE

RESEARCH ARTICLE

Whole body kinematic sex differences persist across non-dimensional gait speeds

Dustin A. Bruening<sup>1\*</sup>, Andrew R. Baird<sup>2</sup>, Kelsey J. Weaver<sup>1</sup>, Austin T. Rasmussen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Exercise Sciences Department, Brigham Young University, Provo, Utah, United States of America, <sup>2</sup> Mechanical Engineering Department, Brigham Young University, Provo, Utah, United States of America

Otros autores: las mujeres caminan con más extensión de rodilla y tienen mayor aducción máxima de la cadera y rotación interna que los hombres.

- Diferencias de sexo en el tobillo (flexión plantar-dorsal) y la pelvis (rotación y oblicuidad) ROM.

	ANOVA main effects <i>p</i> -values	
	Sex	Interaction
<i>Range of motion</i>		
Ankle (Sagittal)	<0.001*	0.008*
Midtarsal (Sagittal)	0.734	0.333
Pelvis (Frontal)	<0.001*	0.092
Pelvis (Transverse)	<0.001*	0.006*

		Walk		
Froude speed (ND)		0.32	0.48	0.64
Speed (m/s)	M	1.0 ± 0.02	1.5 ± 0.03	1.9 ± 0.04
	F	0.9 ± 0.02	1.4 ± 0.03	1.8 ± 0.04
Ankle-Sagittal (°)	M	21.1 ± 3.6	26.0 ± 3.8	31.0 ± 4.6
	F	25.0 ± 6.4	29.1 ± 4.9	32.8 ± 4.7
Midtarsal-Sagittal (°)	M	10.9 ± 2.7	12.9 ± 4.2	13.5 ± 3.7
	F	11.8 ± 2.3	12.3 ± 2.8	14.0 ± 4.1
Pelvis-Frontal (°)	M	6.0 ± 1.8	7.6 ± 2.3	9.4 ± 2.5
	F	9.3 ± 3.1	12.6 ± 3.4	14.8 ± 3.8
Pelvis-Transverse (°)	M	10.0 ± 3.2	11.4 ± 3.5	14.9 ± 4.5

Figura 18 - Resultados cinemáticos (derecha) y análisis estadístico (izquierda) de la comparación de participantes masculinos y femeninos y a través de tres velocidades de marcha adimensionales. Los resultados de Bruening D. et al. 2020.



## IV. EVALUACIÓN CINEMÁTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Diferencias de edad y sexo en el patrón de marcha normal

#### GAIT PARAMETERS OF HEALTHY, ELDERLY PEOPLE

Róbert Paróczai<sup>1</sup>, Zoltán Bejek<sup>2</sup>, Árpád Illyés<sup>2</sup>,  
László Kocsis<sup>1</sup>, Rita M. Kiss<sup>3</sup>

- Los ancianos presentan una reducción del movimiento en el tobillo y la rodilla, pero un aumento de la rotación y la oblicuidad de la pelvis..

Figura 19 - Rendimiento cinemático de participantes masculinos y femeninos de diferentes edades (ancianos y jóvenes) durante el ciclo de la marcha. Los resultados de Paróczai R. et al. 2006.

Parameter		Unit	Elderly		Young	
			Female	Male	Female	Male
<i>Hip flexion</i> Range	Dominant side	degree	52.34±3.56	59.20±3.5	61.64±4.56	64.02±3.56
	Nondominant side	degree	50.12±4.78	54.30±3.3	59.2±3.45	62.76±3.56
Maximum	Dominant side	degree	64.23±6.78	69.30±9.1	66.76±4.56	68.62±5.63
	Nondominant side	degree	60.12±4.57	63.67±8.5	64.32±3.12	67.54±5.23
Minimum	Dominant side	degree	11.89±3.78	9.91± 5.78	5.12±1.34	4.60±1.44
	Nondominant side	degree	10.00±5.08	9.63±3.89	5.32±2.1	4.79±1.45
<i>Pelvic rotation</i> Range		degree	8.29±2.96	7.42±1.69	4.46±2.34	6.57±2.01
	Maximum	degree	2.91±2.6	6.37±1.30	2.12±1.23	5.34±1.34
	Minimum	degree	-5.38±0.35	-1.26±1.15	-2.34±1.23	-1.23±2.23
<i>Pelvic obliquity</i> Range		degree	2.65±0.38	3.12±1.87	1.42±0.33	1.75±0.44
	Maximum	degree	5.64±1.58	3.97±1.55	4.56±2.34	3.12±1.23
	Minimum	degree	2.99±1.19	0.85±0.85	3.14±1.03	1.37±0.76
<i>Knee flexion</i> Range	Dominant side	degree	43.08±2.57	41.15±2.9	54.23±3.67	56.86±2.89
	Nondominant side	degree	39.67±1.79	40.45±3.1	50.79±2.99	52.97±3.12
First peak	Dominant side	degree	16.21±2.4	19.77±2.94	21.56±2.67	23.34±2.45
	Nondominant side	degree	27.45±1.08	17.83±2.36	19.89±1.99	22.39±3.47
Second peak	Dominant side	degree	56.89±0.31	50.67±2.58	59.99±3.12	61.99±3.44
	Nondominant side	degree	48.5 ±0.35	49.44±3.78	56.78±3.21	59.34±3.22
Minimum	Dominant side	degree	17.22±2.1	10.08±2.08	5.89±3.12	5.13±0.23
	Nondominant side	degree	15.41±2.22	9.80±2.88	5.99±3.33	5.74±2.12

## D.2 ¿Cómo es una evaluación biomecánica normal de la marcha?

### V. Evaluación cinética de la marcha normal

A decorative blue brushstroke underline consisting of two parallel, slightly wavy lines.

## V. EVALUACIÓN CINÉTICA DE LA MARCHA NORMAL

- Instrumento para medir parámetros cinéticos

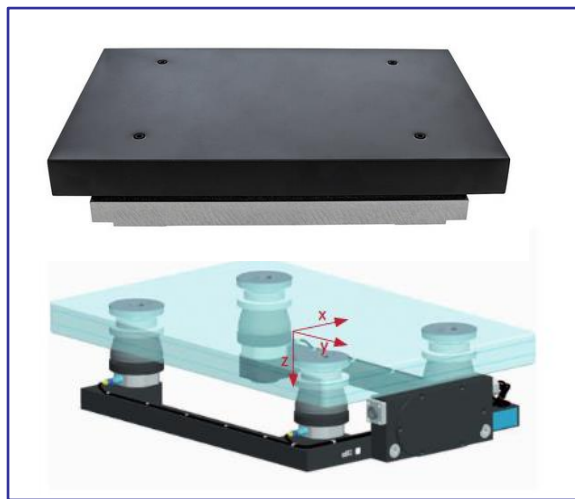


Figura 1 - Plataformas de fuerza de galgas extensométricas (arriba) y sensores piezoeléctricos (abajo) para medir las fuerzas de reacción del suelo.

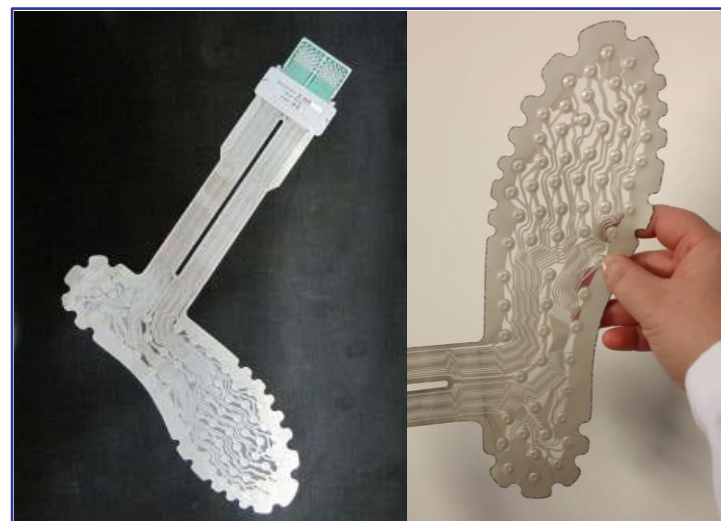


Figura 2 - Plantilla instrumentada del sistema Biofoot/IBV para medir la presión plantar.

## V. EVALUACIÓN CINÉTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Fuerza de reacción del suelo*

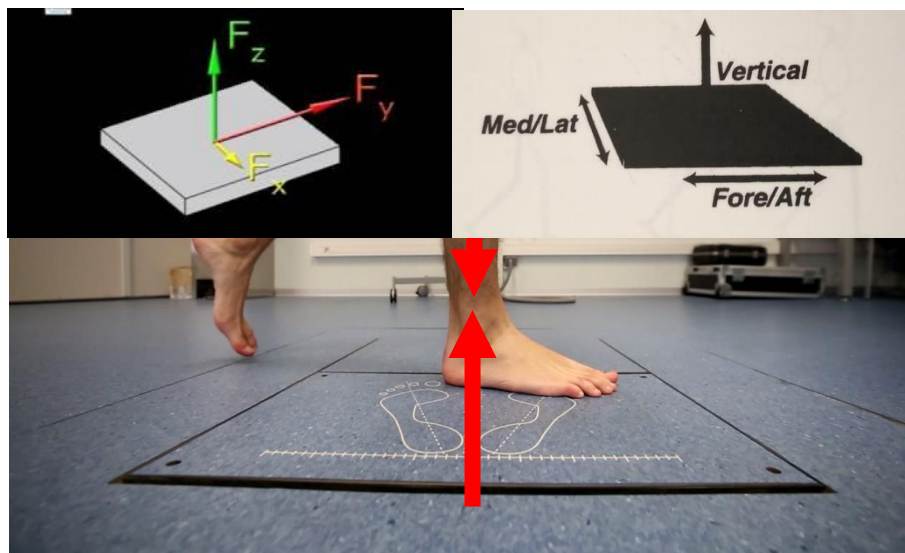


Figura 3 - Fuerza de reacción del suelo (FRS) producida cuando el cuerpo golpea el suelo durante la fase de apoyo del ciclo de marcha..

Componente de fuerza vertical del FRS

Componente anteroposterior del FRS

Componente mediolateral del FRS

Centro de presión al caminar

## V. EVALUACIÓN CINÉTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Componente de fuerza vertical de la FRS

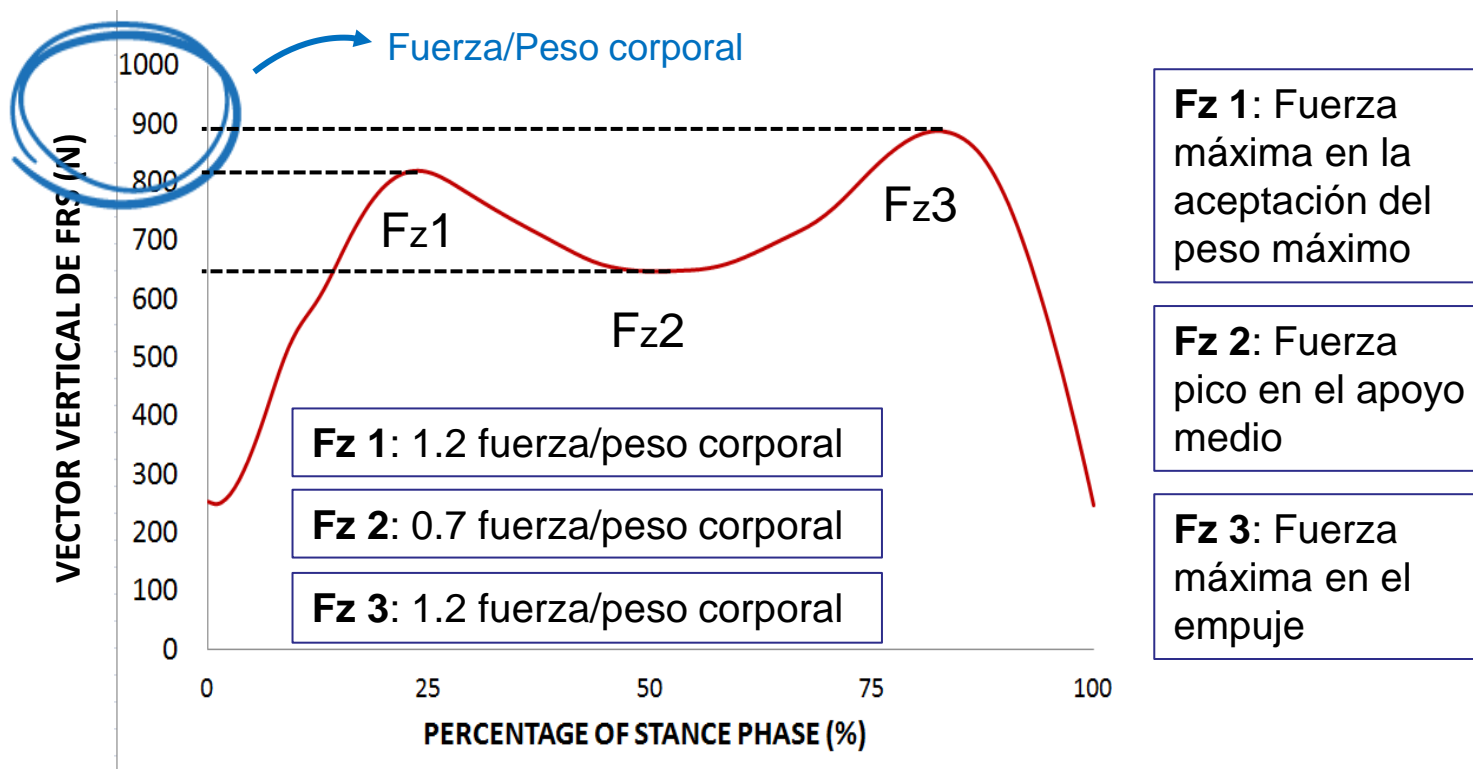


Figura 4 - Fuerza en la dirección vertical durante la marcha normal y resultados obtenidos de magnitud de fuerza.

## V. EVALUACIÓN CINÉTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Componente de fuerza vertical de la FRS

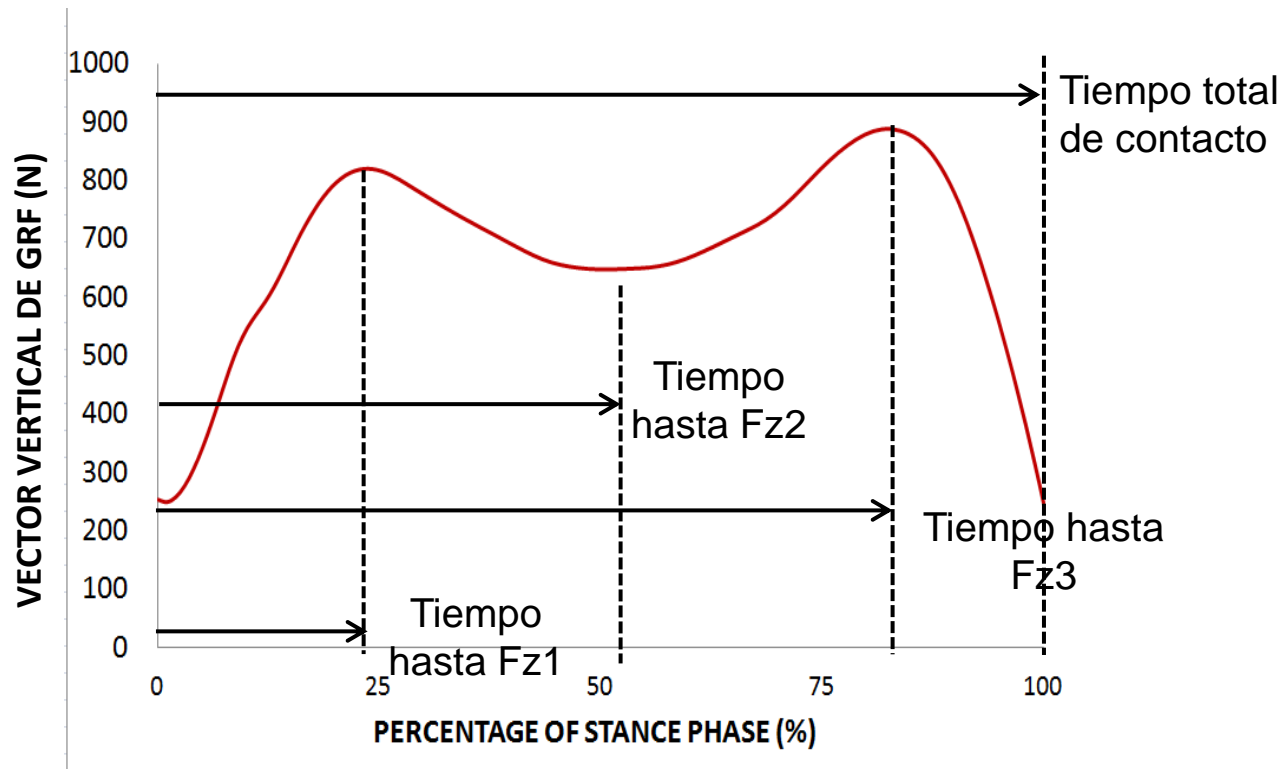
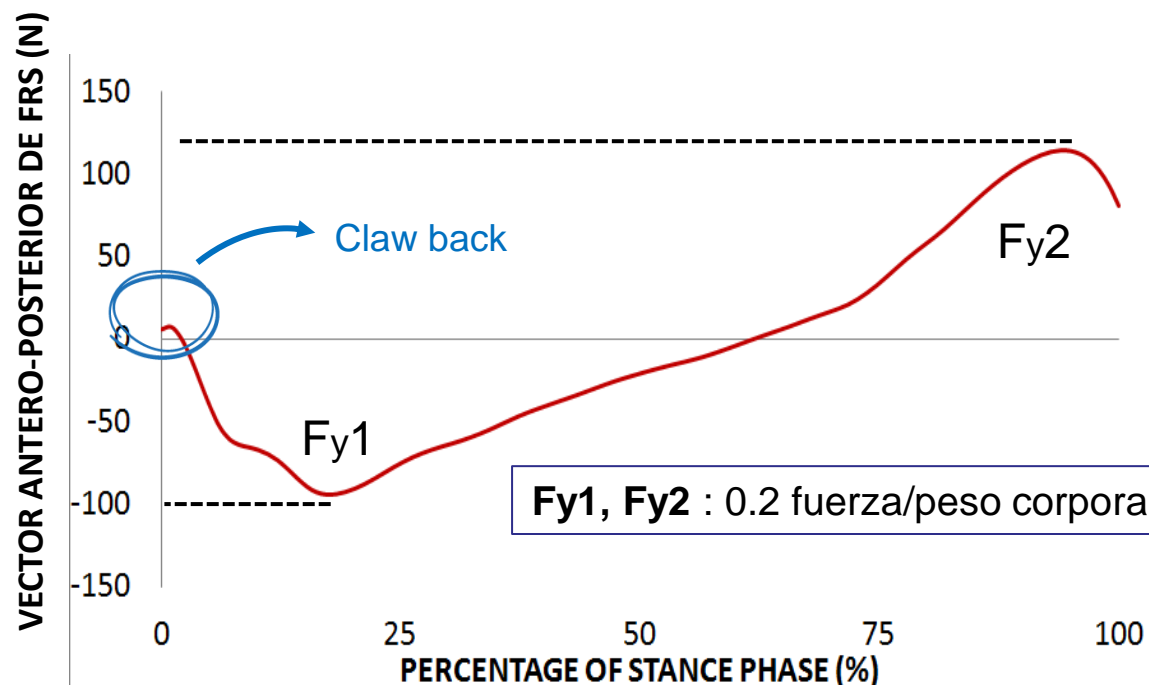


Figura 5 –Fuerza en dirección vertical durante la marcha normal y resultados obtenidos a partir del tiempo.

## V. EVALUACIÓN CINÉTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Componente de fuerza anteroposterior de la FRS



**Fy 1:**  
Fuerza posterior máxima. Corresponde al inicio.

**Fy 2:**  
Fuerza anterior máxima. Corresponde al despegue del talón.

Figura 6 - Fuerza en la dirección anteroposterior durante la marcha normal y resultados obtenidos de magnitud de fuerza.

## V. EVALUACIÓN CINÉTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Componente de fuerza anteroposterior de la FRS

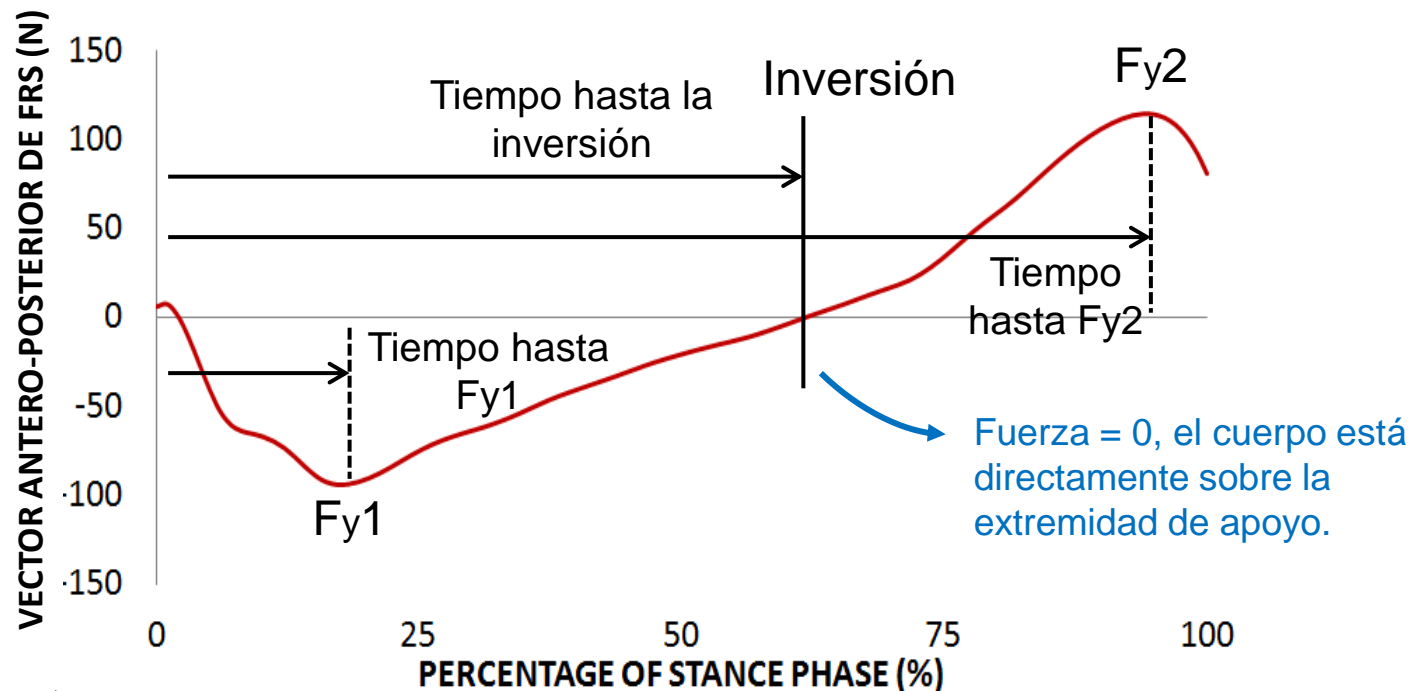


Figura 7 - Fuerza en la dirección anteroposterior durante la marcha normal y resultados obtenidos del tiempo de fuerza.



## V. EVALUACIÓN CINÉTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Componente de fuerza anteroposterior de la FRS

El impulso de una fuerza o simplemente **impulso (I)** es una magnitud vectorial que relaciona la fuerza con el tiempo que dura su acción.

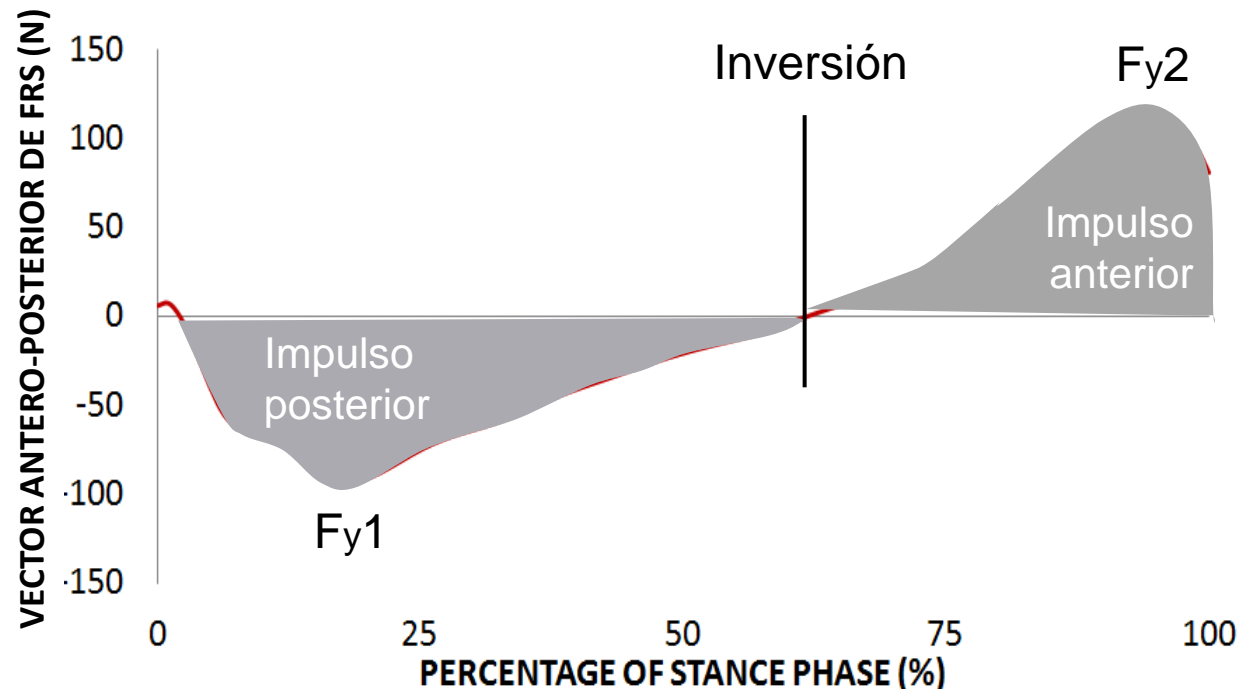


Figura 8 - Fuerza en dirección anteroposterior durante la marcha normal y resultados obtenidos del área de la curva.

## V. EVALUACIÓN CINÉTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Componente de fuerza mediolateral de la FRS

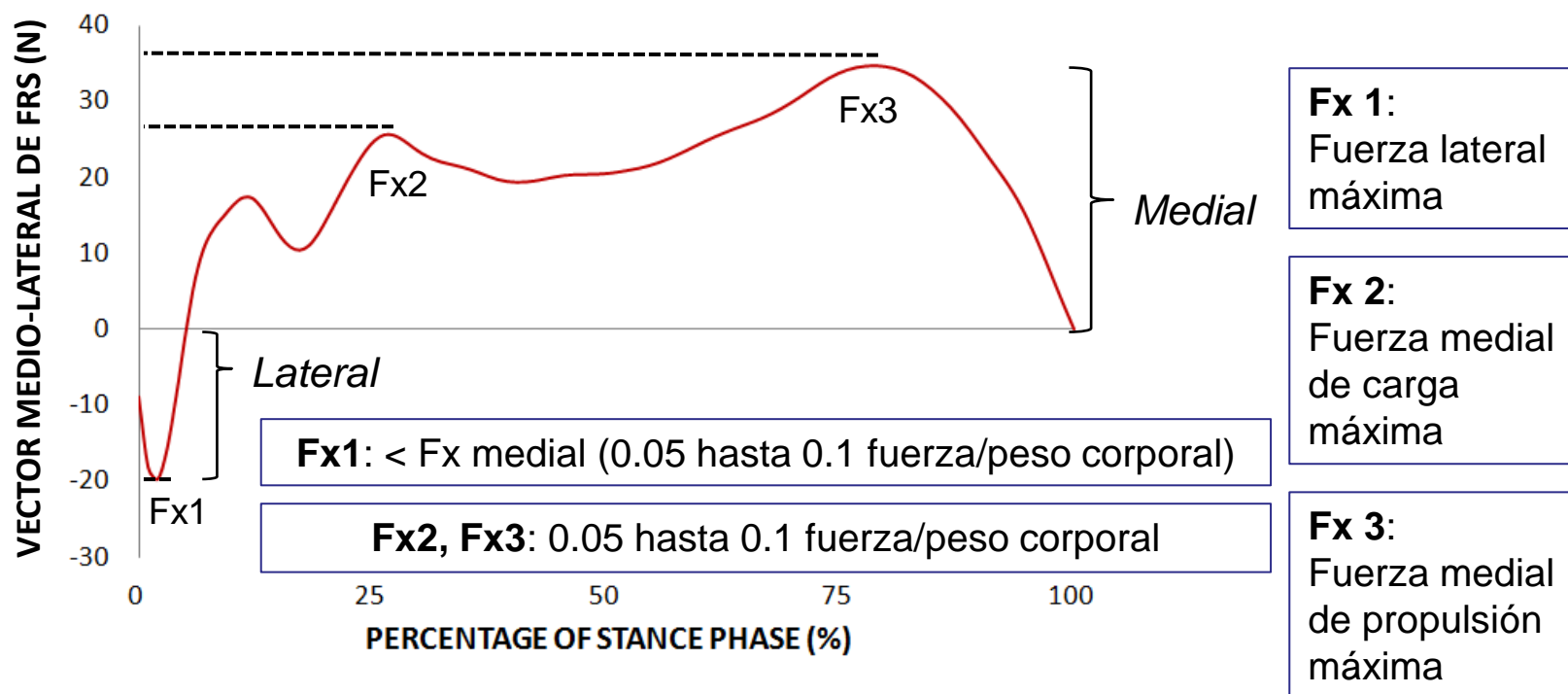


Figura 9 - Fuerza en la dirección mediolateral durante la marcha normal y resultados obtenidos de magnitud de fuerza.

## V. EVALUACIÓN CINÉTICA DE LA MARCHA NORMAL

### Movimiento del centro de presión

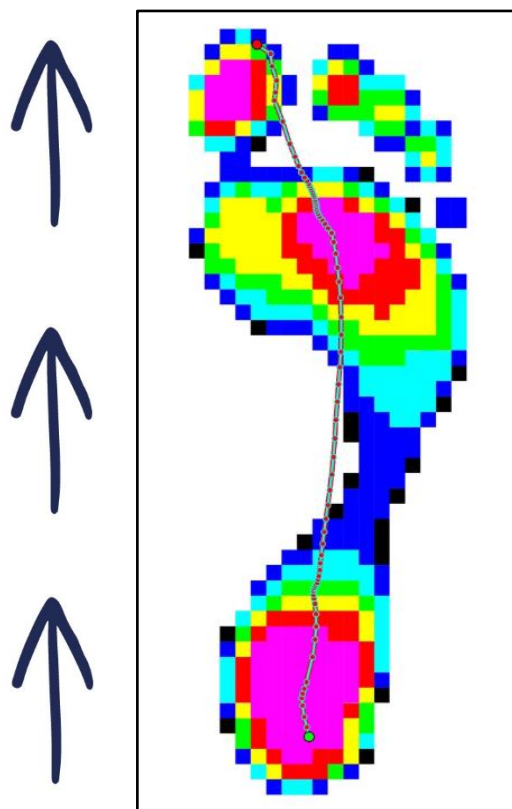


Figura 10 - Centro típico de distribución de presión. De Buldt A.K. et al. 2018.

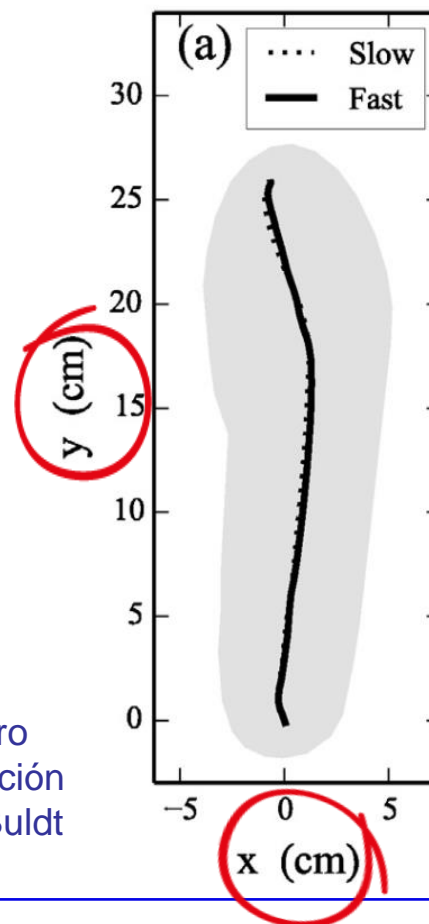


Figura 11 – Movimiento del centro de presión durante la marcha a velocidad lenta (línea discontinua) y rápida (línea continua). De Todd C. Pataky et al. 2014.

## V. EVALUACIÓN CINÉTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Movimiento del centro de presión*

*¿Qué resultados podemos analizar del desplazamiento del centro de presión?*

#### Índice de excursión del centro de presión

El desplazamiento del CDP, representada por una línea que conecta el primer y el último punto de la curva del CDP medido en el tercio distal del pie y normalizado a lo ancho del pie.

#### Velocidad del centro de presión

Desplazamiento resultante del CDP dividido por el tiempo transcurrido entre mediciones.

Partes de la fase de apoyo, áreas del pie (posterior, medio, antepié) En eje X o Y.

## V. EVALUACIÓN CINÉTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Movimiento del centro de presión*

#### Índice de excursión del centro de presión

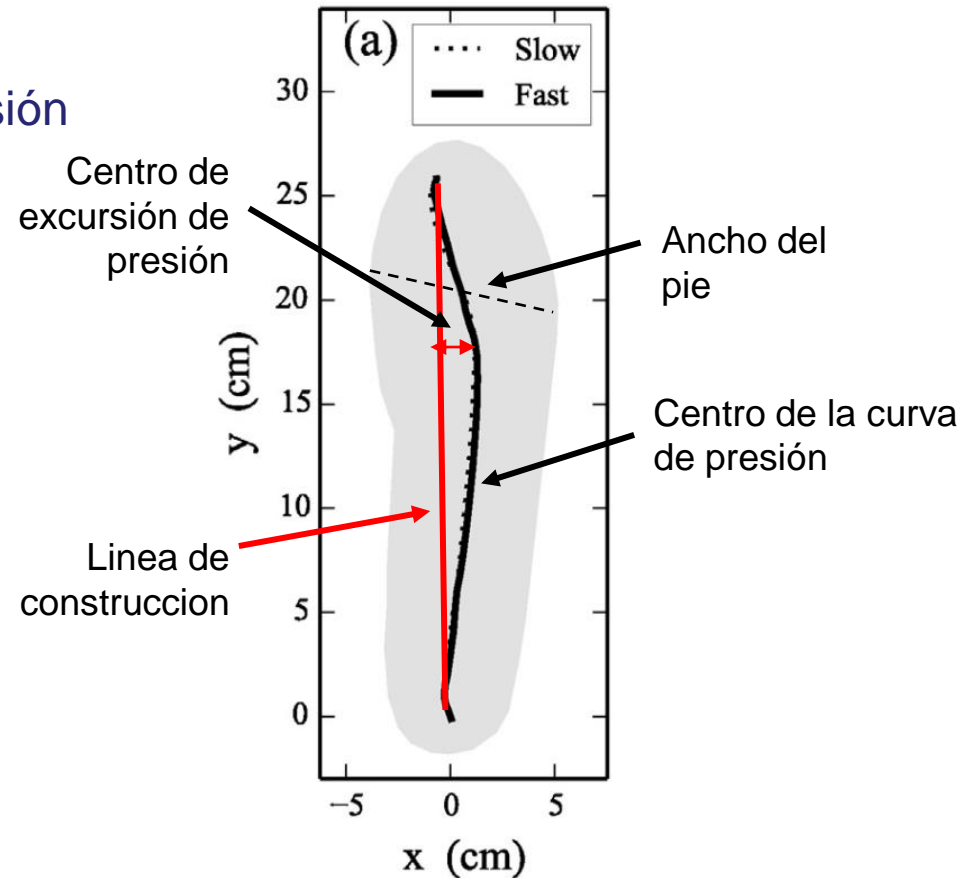
$$CPEI = \frac{\text{Center of pressure excursion}}{\text{Foot Width}} \times 100 \%$$

Valores de 92 sujetos sanos (de 18 a 45 años) con diferente postura del pie caminando a una velocidad cómoda :

CPEI en normal: 20.4 (6.5)

CPEI en pie plano: 18.4 (4.5)

CPEI en pie cavo: 20.2 (5.8)



## V. EVALUACIÓN CINÉTICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Movimiento del centro de presión*

#### Velocidad del centro de presión

Bo Li et al.	AP velocidad (m/s)	ML velocidad (m/s)	Buldt et al.	AP velocidad (m/s)	Fuchioka et al.	AP velocidad (cm/s)	Valor medio en m/s
Contacto inicial	0.426 (0.157)	0.106 (0.057)	Respuesta de carga	0.405 (0.084)	Retropie	26.9 ± 8.8	0.26
Contacto del antepié	0.723 (0.405)	0.090 (0.058)	Apoyo medio	0.435 (0.061)	Mediopie	83.0 ± 33.1	0.83
Fase plana del pie	0.292 (0.087)	0.028 (0.010)	Apoyo final	0.177 (0.069)	Antepie	20.9 ± 5.3	0.20
Empuje del antepié	0.277 (0.050)	0.117 (0.029)	Pre-oscilación	0.453 (0.098)			

Figura 12 - Valor medio (SD) de la velocidad del centro de presión (m/s) de sujetos sanos con una postura normalizada del pie según estudios de Bo Li et al. 2020, Buldt et al. 2018 y Fuchioka et al. Estudios de 2015 en el eje anteroposterior y mediolateral.

## D.2 ¿Cómo es una evaluación biomecánica normal de la marcha?

### VI. Evaluación de las presiones plantares durante la marcha normal

A thick, blue, hand-drawn brushstroke underline that spans across the width of the text above it.

## VI. PLANTAR PRESSURE DURING NORMAL GAIT

### *Presión plantar*

- Unidad para informar de la presión: KPa
- $10 \text{ kPa} = 10 \text{ kN/m}^2$

Para sujetos normales, la presión máxima típica debajo del pie es de 80 a 100 kPa al estar de pie y de 200 a 250 kPa al caminar.

El área alrededor de la cabeza del segundo y tercer metatarsiano experimenta la mayor presión máxima para el pie durante la marcha en adultos sanos..

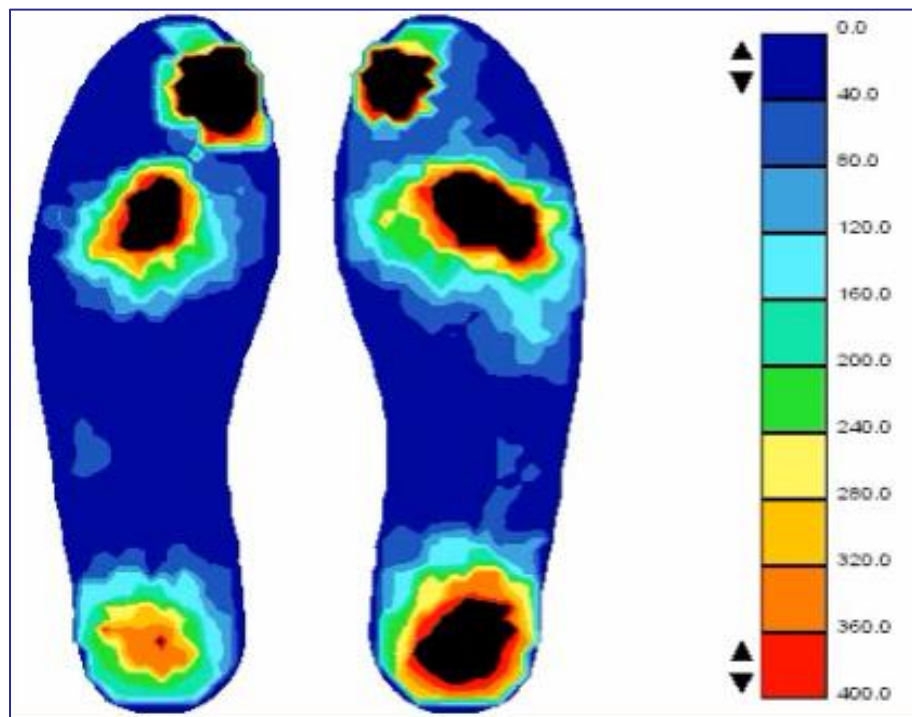


Figura 13 - Mapa de escala de colores de una evaluación de la presión plantar con equipo Biofoot / IBV.



## VI. PLANTAR PRESSURE DURING NORMAL GAIT

### Presión plantar

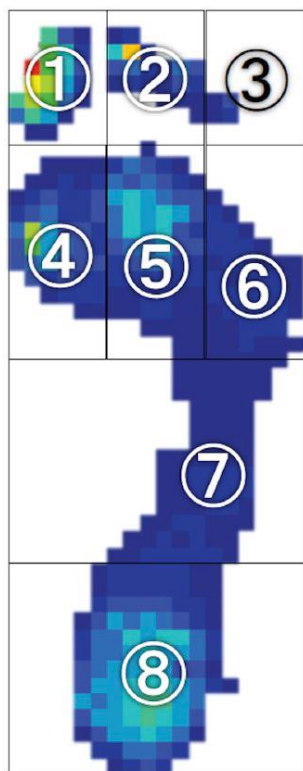


Figura 14 - Ejemplo de análisis por regiones del pie. (1) el dedo gordo del pie; (2) el segundo y tercer dedo del pie; (3) el cuarto y quinto dedo del pie; (4) el antepié medial; (5) el antepié central; (6) el antepié lateral; (7) el mediopié; y (8) el retropié. Imagen de Tsujinaka S. et al. 2019.

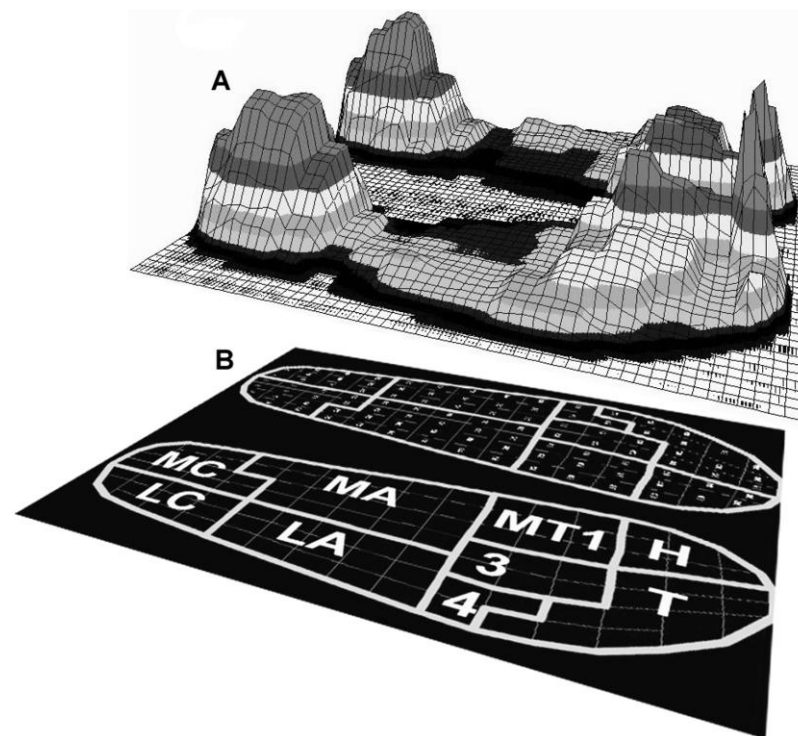
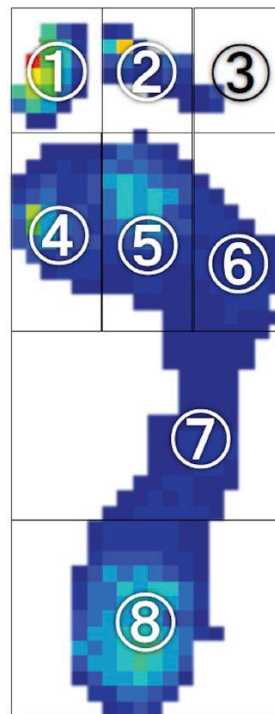


Figura 15 - Ejemplo de análisis por regiones del pie. MC = calcáneo medial, LC = calcáneo lateral, MA = arco medial, LA = arco lateral, MT1 = primer metatarso, 3 = segundo y tercer metatarso, 4 = cuarto y quinto metatarso, H = hallux y T = dedos de los pies. Imagen de Hessert M. et al. 2005.

## VI. PLANTAR PRESSURE DURING NORMAL GAIT

### Presión plantar

- Equipo de medición: plantillas con sensores de presión.
- Los participantes caminaron una distancia de 4 a 5,5 m durante 5 segundos de grabación (50 Hz).
- Velocidad normal de marcha.



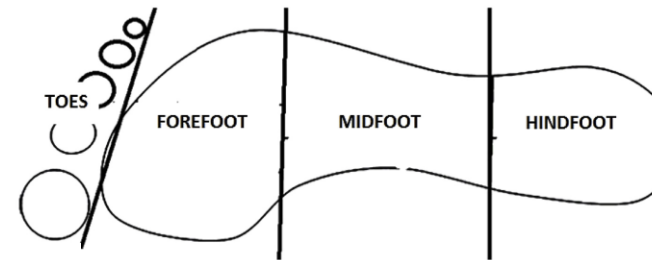
Picos de presión (kPa) (n = 24. Media de edad 52.4 ± 11.8)	
1. Dedo gordo	311.7 (236.3)
2. 2º y 3º dedos	186.9 (91.0)
3. 4º y 5º dedos	141.6 (94.4)
4. Antepie medial	304.5 (227.0)
5. Antepie central	590.9 (357.1)
6. Antepie lateral	215.0 (161.6)
7. Mediopie	128.5 (69.1)
8. Retropie	296.1 (155.1)

Figura 16 - Pico de presión plantar de sujetos que caminan normalmente, estudio de Tsujinaka et al. Estudio 2019.

## VI. PLANTAR PRESSURE DURING NORMAL GAIT

### Presión plantar

- Equipo de medida: plataforma instrumentada.
- Los datos se recopilaban descalzos en medio de la marcha y a la velocidad de marcha autoseleccionada por el paciente.



Gender comparison of pedobarographic data (MaxF, PP, CA) of adolescents according to age.

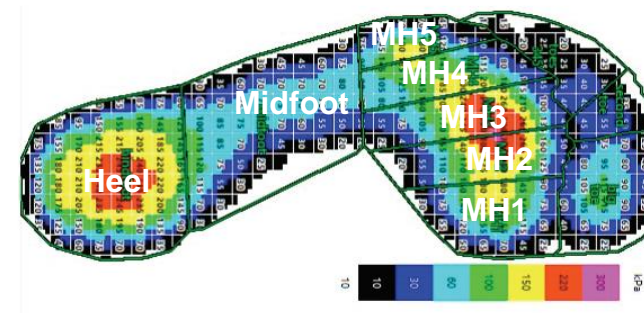
Age (Year)	11		12		13		14		
	F (n = 64)	M (n = 41)	F (n = 62)	M (n = 99)	F (n = 25)	M (n = 78)	F (n = 60)	M (n = 95)	
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	
Peak pressure (kPal)	Total	316.68 ± 94.66*	282.87 ± 66.36	333.70 ± 92.05	311.51 ± 67.96	305.80 ± 56.60	318.1 ± 72.2	374.08 ± 113.93*	338.61 ± 85.85
	Hindfoot	262.38 ± 93.90	241.34 ± 65.90	261.77 ± 91.37	260.90 ± 68.87	229.90 ± 42.84	261.05 ± 73.12*	271.71 ± 61.12	265.61 ± 78.40
	Midfoot	106.79 ± 27.01	100.37 ± 26.53	100.27 ± 29.54	103.35 ± 31.27	106.90 ± 36.73	113.84 ± 31.23	118 ± 32.76	108.52 ± 36.49
	Forefoot	253.39 ± 77.91*	221.52 ± 60.53	251.08 ± 73.36	244.04 ± 64.23	246.60 ± 55.63	255.12 ± 67.30	305.66 ± 82.14	281.35 ± 79.59
	Toes	201.05 ± 86.77	198.72 ± 69.96	253.79 ± 104.93*	216.00 ± 81.12	264.40 ± 65.02*	227.21 ± 83.4	299.75 ± 140.60*	238.75 ± 103.32

Figura 17 - Presión plantar máxima (SD) de Demirbükten I. et al. 2019

## VI. PLANTAR PRESSURE DURING NORMAL GAIT

### Presión plantar

- Equipo de medida: plataforma instrumentada.
- Las presiones plantares se registraron al caminar descalzo a la velocidad de marcha elegida de forma natural.



		Mean pressure									
		Toe 1	Toe 2	Toes 345	MH1	MH2	MH3	MH4	MH5	Midfoot	Heel
Males 60–69	Mean	109.45	62.56	44.70	111.48	145.94	142.21	118.31	90.45	49.56	160.06
	SD	46.71	23.38	22.81	33.19	28.62	35.13	31.22	35.61	20.99	23.84
Males 70–79	Mean	68.71	39.71	29.74	103.26	133.04	130.65	127.42	116.83	70.39	157.93
	SD	28.47	13.69	15.45	33.71	34.78	19.31	36.44	35.84	13.27	18.49
Females 60–69	Mean	81.38	53.55	42.27	101.88	160.71	156.10	122.08	99.23	66.03	147.71
	SD	23.44	24.66	20.75	34.81	43.88	30.32	34.30	46.74	26.03	22.87
Females 70–79	Mean	71.01	41.39	33.37	125.62	136.96	137.90	106.79	90.95	54.03	130.37
	SD	36.44	19.25	15.40	50.52	39.22	35.93	28.90	47.09	22.81	17.64

Figura 18 - Presión plantar media (DE) de Gimunova M. et al. 2018. n = 61 ancianos sanos (21 hombres, 40 mujeres).

## VI. PLANTAR PRESSURE DURING NORMAL GAIT

### Presión plantar

- Equipo de medida: plataforma instrumentada.
- Caminar a una velocidad cómoda.
- Grupos sanos: niños, adolescentes, adultos y adultos mayores.

	Aged 3-9		Aged 10-19		Aged 20-59		Aged 60+	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Maximum mean pressure (kPa)								
Rearfoot	67.0 (34.3)	76.1 (31.0)	99.2 (25.5)	102.1 (28.2)	105.6 (24.2)	99.5 (26.8)*	106.3 (37.4)	99.1 (32.1)
Midfoot	11.4 (8.8)	13.1 (12.0)	20.7 (14.6)	16.2 (12.6)*	26.2 (17.3)	22.0 (15.6)*	23.3 (22.0)	24.8 (17.9)
Forefoot	79.1 (35.3)	84.0 (30.0)	147.7 (51.0)	147.9 (40.5)	181.7 (55.8)	180.3 (45.7)	207.4 (73.9)	201.5 (74.0)
Whole foot	94.5 (4.9)	99.3 (31.9)	154.8 (49.1)	154.1 (38.1)	182.8 (55.2)	181.5 (44.7)	210.1 (73.0)	203.8 (72.5)
Peak pressure (kPa)								
Rearfoot	249.3 (129.3)	269.6 (120.1)	365.4 (129.2)	341.0 (92.3)	375.0 (122.6)	345.7 (113.5)*	356.7 (148.3)	319.9 (113.7)*
Midfoot	49.3 (26.9)	49.1 (34.0)	71.3 (41.1)	57.1 (35.5)*	80.6 (44.3)	74.4 (46.7)	75.9 (63.3)	84.7 (52.7)
Forefoot	230.0 (80.0)	245.1 (87.0)	433.4 (161.4)	431.0 (116.2)	523.9 (164.8)	527.7 (148.3)	576.1 (200.0)	570.3 (190.1)
Whole foot	290.9 (124.0)	310.8(120.3)	475.8 (163.9)	456.1 (111.9)	540.7 (168.0)	541.7 (147.0)	591.8 (203.5)	580.2 (186.4)

Figura 19 - Presión media máxima y presión plantar máxima (DE) de McKay M. et al. 2017. n = 1000 individuos sanos de 3 a 101 años. (21 hombres, 40 mujeres).

## D.2 ¿Cómo es una evaluación biomecánica normal de la marcha?

### VII. Evaluación electromiográfica de la marcha normal

A decorative blue brushstroke underline consisting of two parallel, slightly wavy lines.



## VII. EVALUACIÓN ELECTROMYOGRÁFICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Instrumento para medir la actividad muscular*



Figura 20 - Sistema de electromiografía de superficie e instrumentación del miembro inferior. Para determinar el protocolo de instrumentación se debe utilizar la guía SENIAM, que estandariza la ubicación de los electrodos en los diferentes segmentos corporales. ([www.seniam.org](http://www.seniam.org)).

## VII. EVALUACIÓN ELECTROMYOGRÁFICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Resultados electromiográficos*

#### AMPLITUD

- Valor cuadrático medio
- Rectificación
- Envelope

#### TIEMPO DE ACTIVACIÓN



## VII. EVALUACIÓN ELECTROMYOGRÁFICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Amplitud: Valor Cuadrático Medio (RMS)*

- 1) Cada punto de datos en la señal está al cuadrado.
- 2) Se determina el valor promedio sobre una longitud ventana especificada.
- 3) Luego se calcula la raíz cuadrada de este valor.

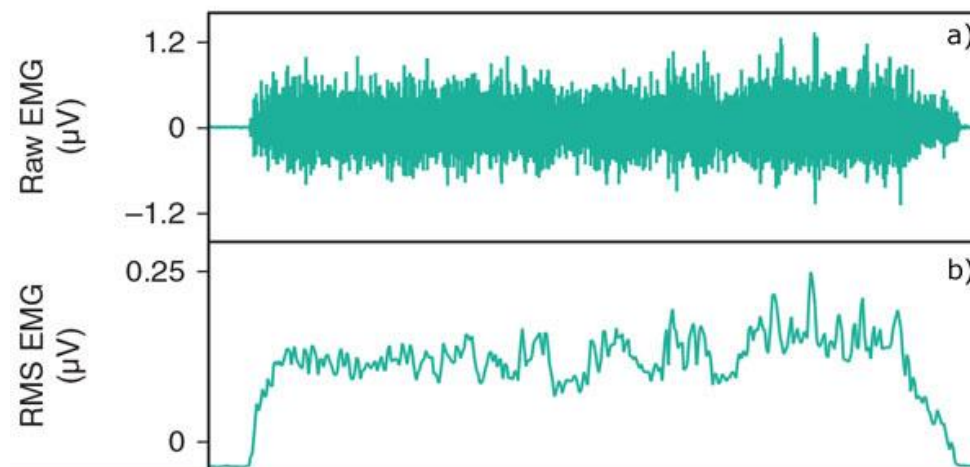


Figura 21 - a) Señal EMG sin procesar. b) Raíz cuadrada media (RMS) calculada con una ventana móvil de longitud de 0,25 ms. Imagen de Richards J. 2018.

## VII. EVALUACIÓN ELECTROMYOGRÁFICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Amplitud y Normalización*

- Método 1: contracción voluntaria máxima.
- Método 2: señal EMG máxima observada durante la actividad.

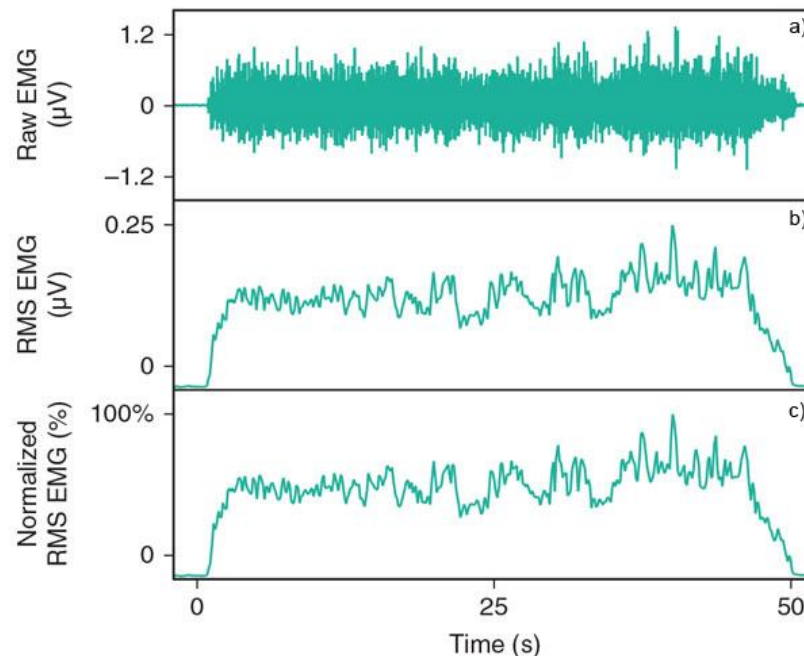


Figura 22 - a) Señal EMG sin procesar. b) Raíz cuadrada media (RMS) calculada con una ventana móvil de longitud de 0,25 ms. c) RMS normalizado de la señal EMG. Imagen de Richards J. 2018.

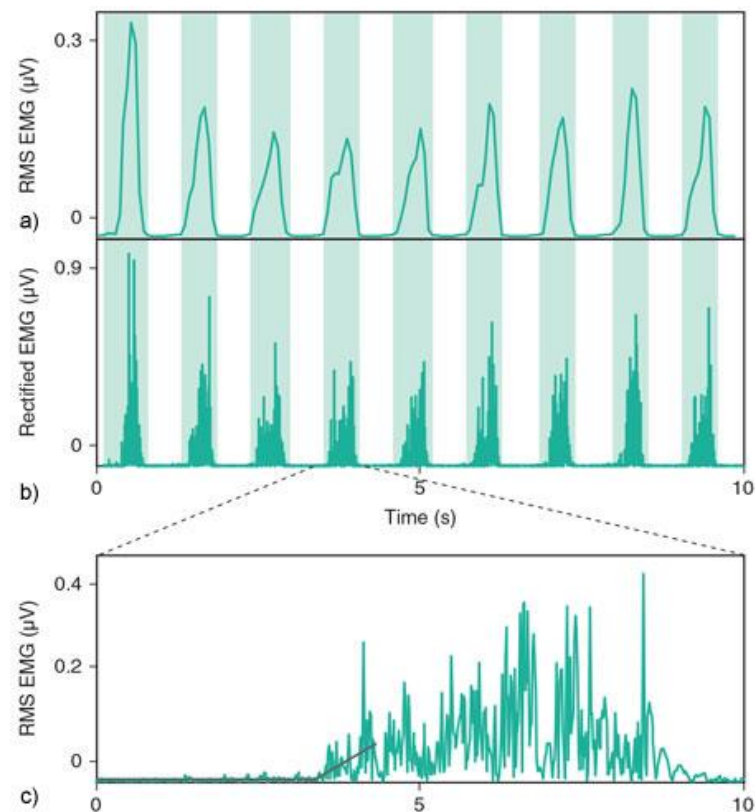
## VII. EVALUACIÓN ELECTROMYOGRÁFICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Tiempo de activación de EMG*

El tiempo de activación se realiza identificando el instante de tiempo en el que la amplitud de EMG aumenta por encima (inicio) o disminuye por debajo (final) de un nivel de línea de base predeterminado.

El EMG rectificado o RMS EMG se utilizan para el cálculo del tiempo de activación..

Figura 23 - a), b) Tiempos de activación de EMG RMS y señal EMG rectificada del músculo gastrocnemio durante la marcha. c) EMG RMS y líneas de regresión superpuestas. Imagen de Richards J. 2018.



## VII. EVALUACIÓN ELECTROMYOGRÁFICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Patrón electromiográfico durante la marcha*

Los músculos de la extremidad de apoyo actúan para sostener el cuerpo (control postural) e impulsarlo hacia adelante (progresión)

Actividad muscular al principio y al final de la fase de oscilación.

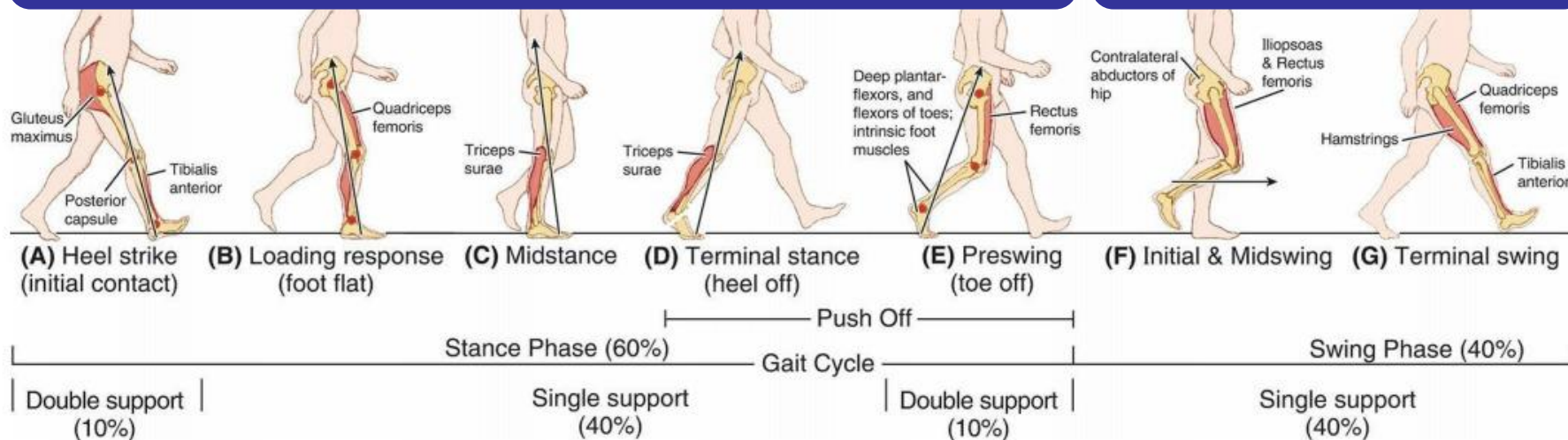


Figura 24 - Patrón EMG asociado al ciclo de la marcha del adulto. Imagen de Shumway-Cook A. y Woollacott M. 2017

## VII. EVALUACIÓN ELECTROMYOGRÁFICA DE LA MARCHA NORMAL

### Patrón electromiográfico - Fase de apoyo

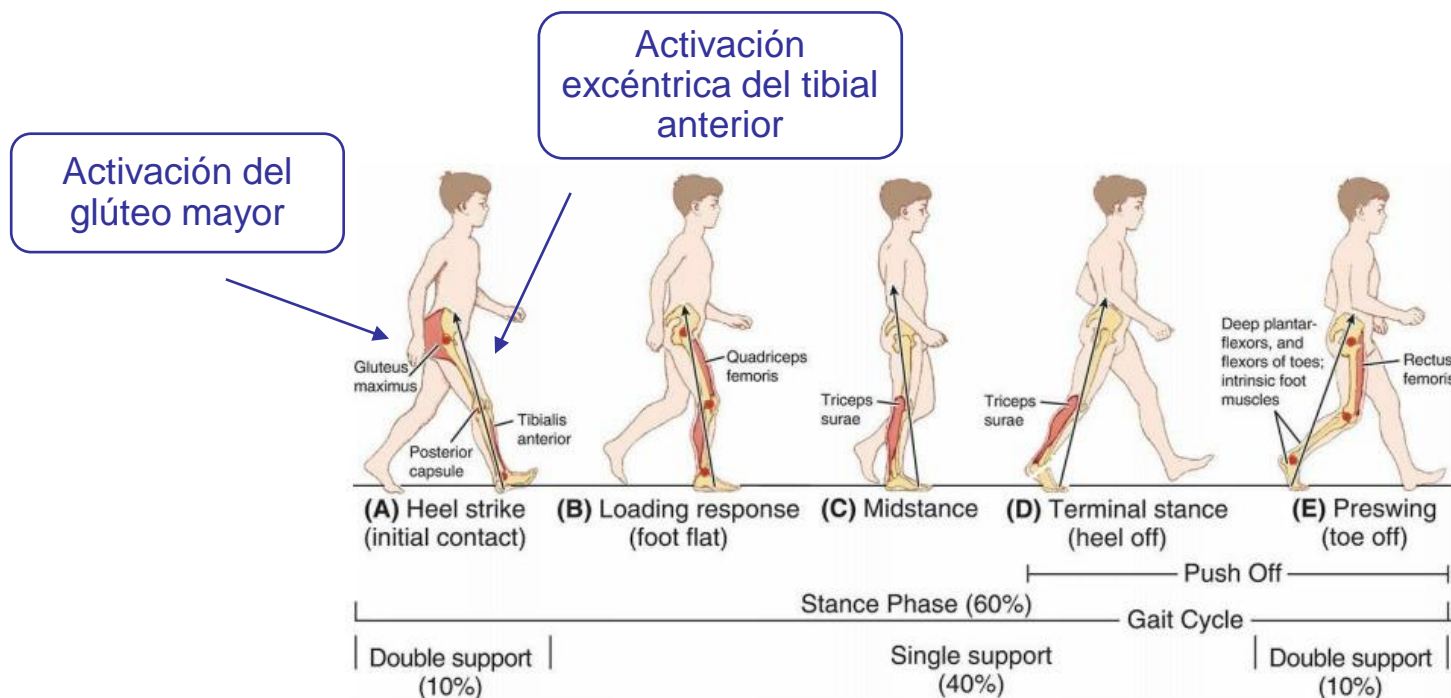


Figura 25 - Patrón EMG asociado al ciclo de la marcha del adulto en la fase de apoyo. Imagen de Shumway-Cook A. y Woollacott M. 2017



## VII. EVALUACIÓN ELECTROMYOGRÁFICA DE LA MARCHA NORMAL

### Patrón electromiográfico - Fase de apoyo

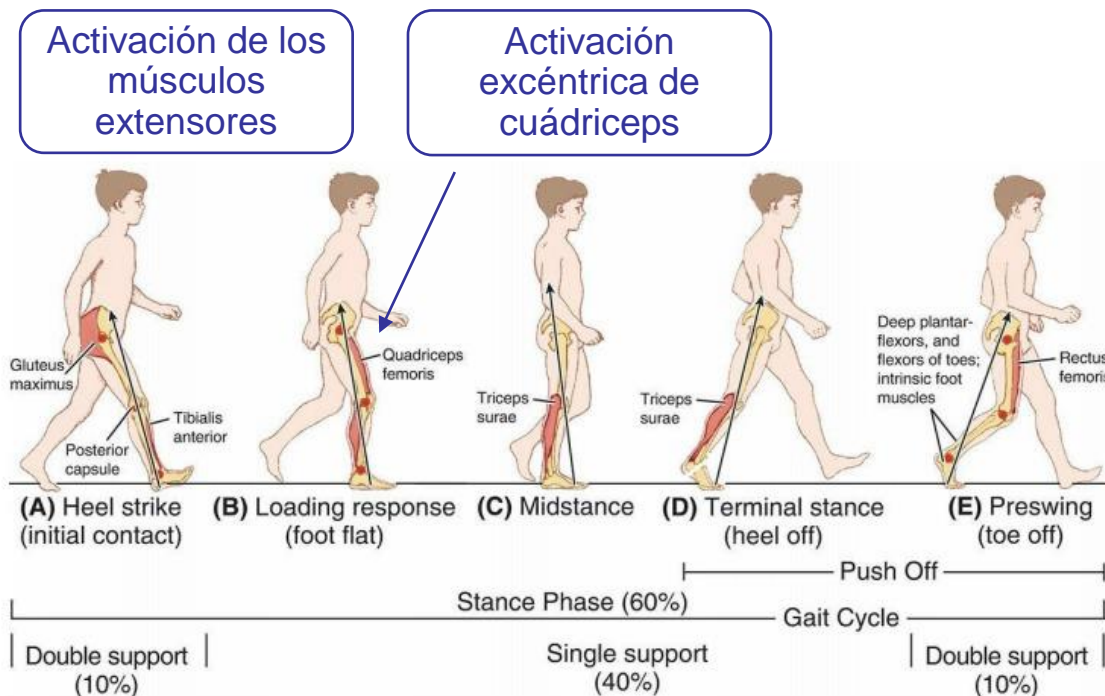


Figura 25 - Patrón EMG asociado al ciclo de la marcha del adulto en la fase de apoyo. Imagen de Shumway-Cook A. y Woollacott M. 2017

## VII. EVALUACIÓN ELECTROMYOGRÁFICA DE LA MARCHA NORMAL

### Patrón electromiográfico - Fase de apoyo

Activación del tríceps sural solamente

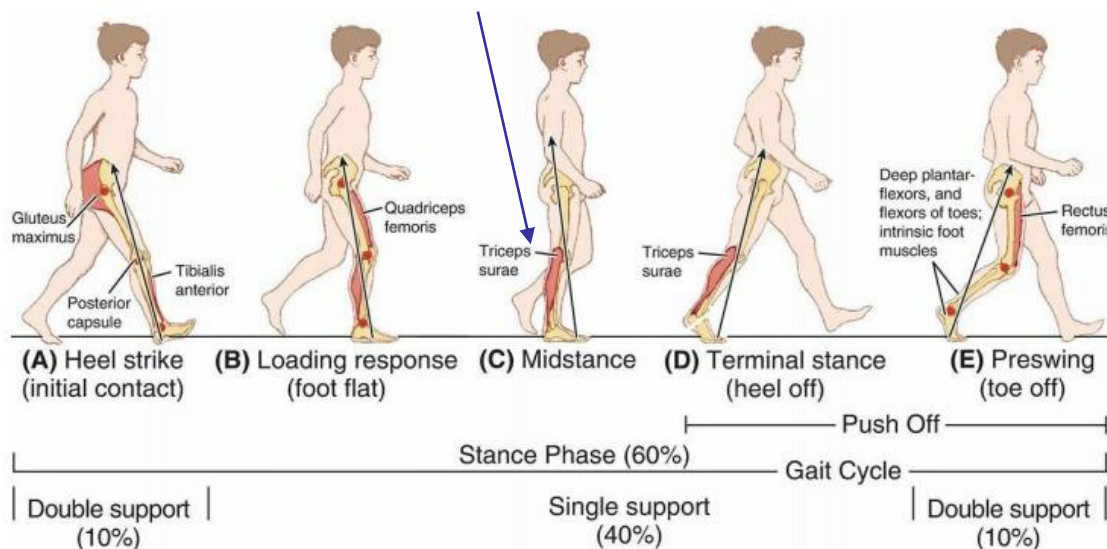


Figura 25 - Patrón EMG asociado al ciclo de la marcha del adulto en la fase de apoyo. Imagen de Shumway-Cook A. y Woollacott M. 2017

## VII. EVALUACIÓN ELECTROMYOGRÁFICA DE LA MARCHA NORMAL

### Patrón electromiográfico - Fase de apoyo

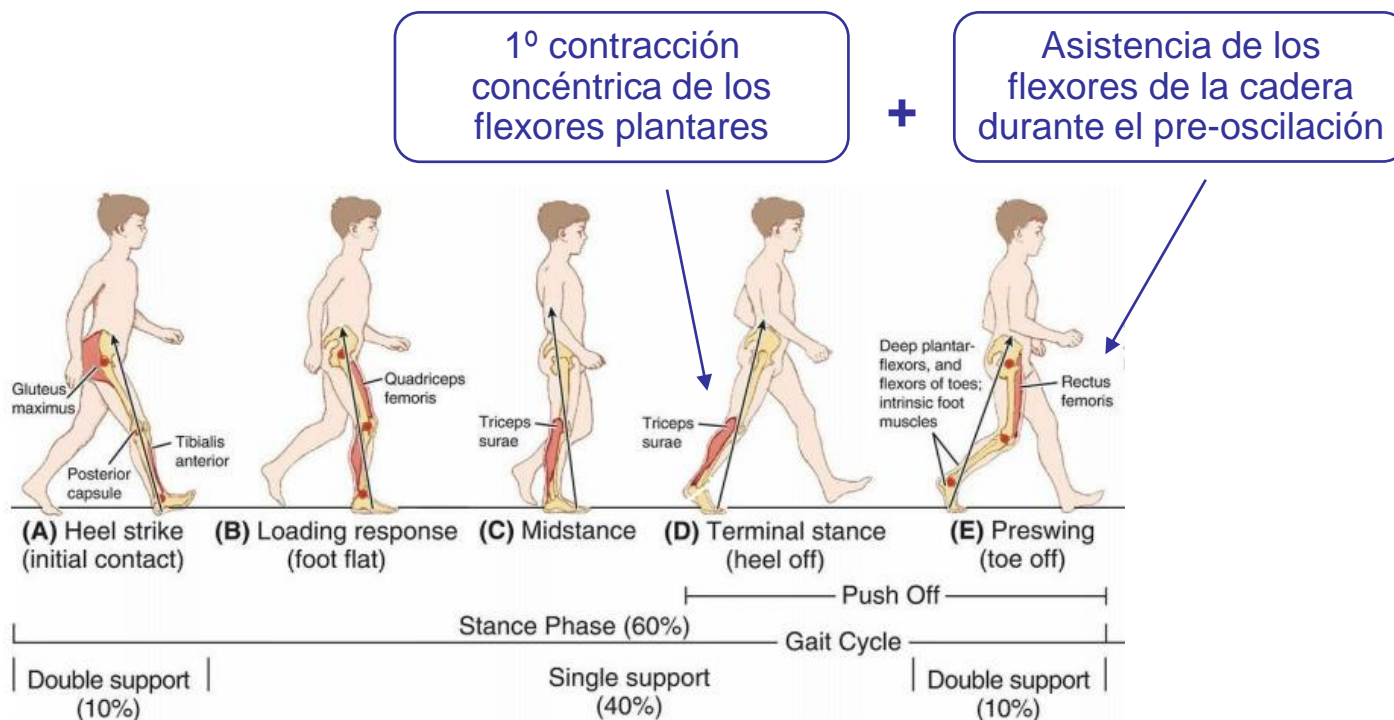


Figura 25 - Patrón EMG asociado al ciclo de la marcha del adulto en la fase de apoyo. Imagen de Shumway-Cook A. y Woollacott M. 2017



## VII. EVALUACIÓN ELECTROMYOGRÁFICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Patrón electromiográfico - Fase de oscilación*

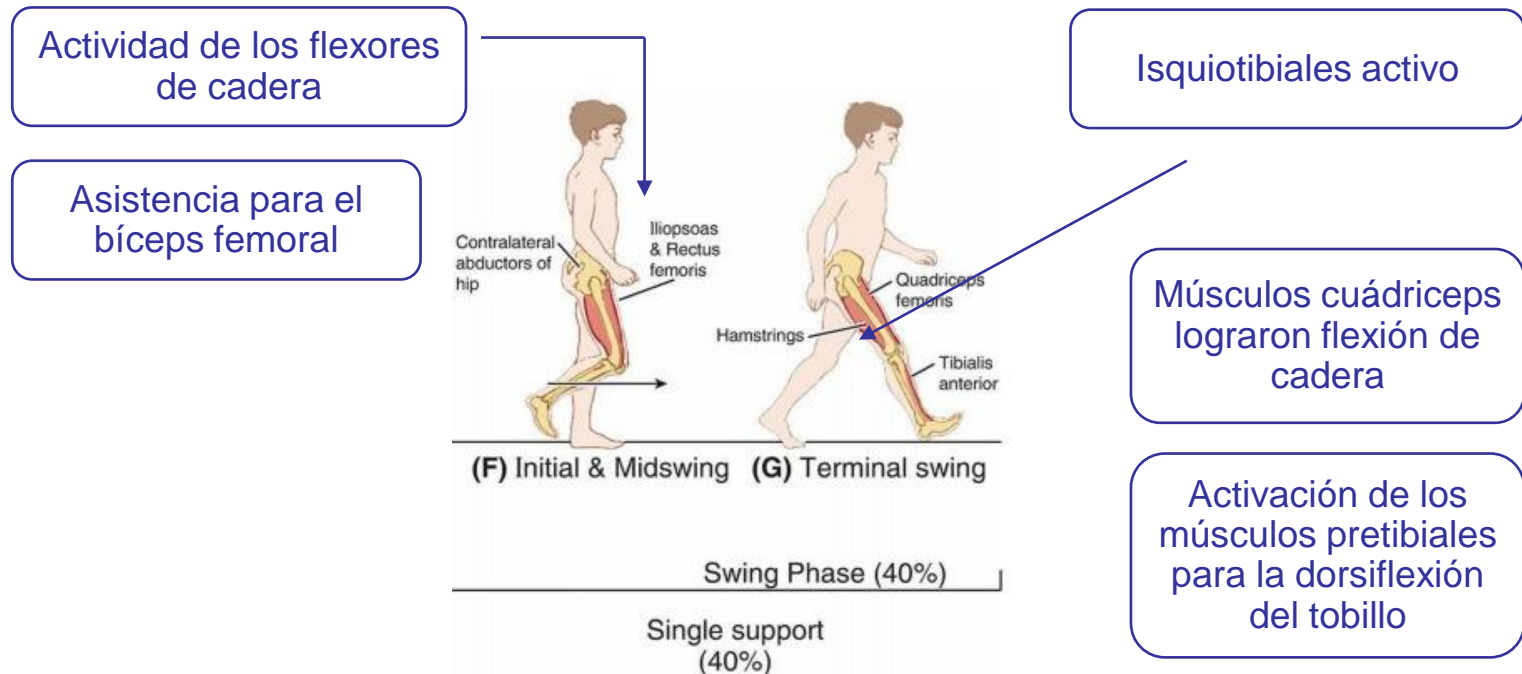


Figura 26 - Patrón EMG asociado al ciclo de la marcha del adulto en la fase de balanceo. Imagen de Shumway-Cook A. y Woollacott M. 2017

## VII. EVALUACIÓN ELECTROMYOGRÁFICA DE LA MARCHA NORMAL

### *Diferencias de edad y sexo*

<b>Autores</b>	<b>Diferencias de edad</b>	<b>Diferencias de sexo</b>	<b>Músculos</b>
Bailey C. et al. 2019	Si	Si	Variabilidad de ciclo a ciclo EMG, recto femoral, gastrocnemio lateral
Bailey C. et al. 2018	Si	Si	Coefficiente de variación dentro del ciclo de EMG, recto femoral, gastrocnemio lateral
Kwee-Meier S. et al. 2018	Si	-	Gastrocnemio medial, m. sóleo
Ribeiro N. et al. 2016	Si	-	Oblicuo interno, recto femoral
Di Nardo F. et al. 2015	-	Si	tibial anterior, gastrocnemio lateral, vasto lateral
Chung M. et al. 2010	si	Si	tibial anterior, recto femoral

Figura 27 - Resultados de varios estudios sobre la actividad electromiográfica durante la marcha entre grupos de edad y sexo.

## D.2 ¿Cómo es una evaluación biomecánica normal de la marcha?

### VIII. Ideas clave

A thick, blue, hand-drawn brushstroke underline that spans across the width of the text "VIII. Ideas clave".

## VIII. IDEAS CLAVE

1. En la marcha de sujetos sanos, los parámetros extraídos de la evaluación biomecánica pueden verse influidos por las características antropométricas de la persona evaluada. La velocidad al caminar y la longitud de la zancada estarán influenciadas por el tamaño del sujeto y la longitud de las extremidades inferiores. En los valores de las fuerzas de reacción del suelo, el peso del sujeto influirá en los hallazgos. Por eso, es una mejor opción presentar los valores de normalidad normalizados por la característica antropométrica del sujeto.
2. Así como los datos antropométricos influyen en los resultados de la marcha de sujetos sanos, la edad y el sexo también influyen en estos resultados. En resumen, las diferencias de género comienzan a destacar después de la adolescencia y la edad hace que caminemos más despacio, con menos cinemática de miembros inferiores y ejerciendo mayor presión bajo el pie.

## VIII. IDEAS CLAVE

3. En la evaluación de la marcha de sujetos sanos con instrumentos biomecánicos, no está representado por un solo valor de normalidad, sino por un rango de datos, donde el desempeño de los sujetos es normal. En cualquier caso, las condiciones de la evaluación que pretende caracterizar el patrón de marcha normal pueden ser diversas, debido a que no siempre caminamos en condiciones fijas. Por ello, los estudios sobre esta materia no solo analizan caminar a una velocidad cómoda, sino también a velocidades lentas y rápidas.

## D.2 ¿Cómo es una evaluación biomecánica normal de la marcha?

### IX. Referencias

A thick, blue, hand-drawn brushstroke underline that spans across the width of the "IX. Referencias" section header.

## IX. REFERENCIAS PRINCIPALES

- [1] Kobayashi, Y., Hobara, H., Heldoorn, TA., Kouchi, M. and Mochimaru, M. (2016). Age-independent and age-dependent sex differences in gait pattern determined by principal component analysis. *Gait & Posture*, 46:11-17.
- [2] Hollman, JH., McDade, EM., and Petersen, RC. (2011). Normative spatiotemporal gait parameters in older adults. *Gait & Posture*, 34:111-118.
- [3] Pietraszewski, B., Winiarski, S., and Jaroszczuk, S. (2012). Three-dimensional human gait pattern-reference data for normal men. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 14(3).
- [4] Richards J., Editor. *The Comprehensive Textbook of Clinical Biomechanics*. 2nd ed. Preston (UK): Elsevier, 2018.
- [5] Sánchez J., Prat J., Hoyos J., Viosca E., Soler C., Comín M., Lafuente R., Cortés A., Vera P. *Biomecánica de la marcha normal y patológica*. Valencia, España: Instituto de Biomecánica de Valencia, 1993.
- [6] Pinzone, O., Schwartz, M., Thomason, P., and Baker, R. (2014). The comparison of normative reference data from different gait analysis services. *Gait & Posture*, 40:286-290.
- [7] Shumway-Cook A.; Woollacott M. *Motor Control. Translating research into clinical practice*. Wolters Kluwer, Fifth Edition. 2017.

## IX. REFERENCIAS PRINCIPALES

- [8] Perry J, Burnfield J. Gait Analysis. Normal and Pathological Function. SLACK Incorporated, Second Edition. 2010.
- [9] De Groote, F., De Laet, T., Jonkers, I., and De Schutter, J. (2008). Kalman smoothing improves the estimation of joint kinematics and kinetics in marker-based human analysis. *Journal of Biomechanics*, 41(16)3390-8.
- [10] Lewis C, Laudicina N, Khuu A, Loverrol K. the human pelvis: variation in structure and function during gait. *the anatomical record* 300:633–642 (2017).
- [11] Bruening, DA., Baird, AR. Weaver, KJ., and Rasmussen, AT. (2020). Whole body kinematic sex differences persist across non-dimensional gait speeds. *Plos One*, 15(8):e0237449.
- [12] Paróczai, R., Bejek, Z., Illyés, A., Kocsis, L., and Kiss, RM. (2006) Gait parameters of healthy, elderly people. *Physical Education and Sports*, 4(1):49-58.
- [13] Li, B., Xiang, Q., and Zhang, X. (2020). The center of pressure progression characterizes the dynamic function of higharched feet during walking. *Journal of Leather Science and Engineering*, 2(1):1.
- [14] Buldt, AK., Forghany, S., Landorf, KB., Murley, GS., Levinger, P., and Menz, HB. (2018). Centre of pressure characteristics in normal, planus and cavus feet. *Journal of Foot and Ankle Research*, 11:3.



## IX. REFERENCIAS PRINCIPALES

- [15] Fuchioka, S., Iwata, A., Higuchi, Y., Miyake, M., Kanda, S., Nishiyama, T. (2015). The Forward Velocity of the Center of Pressure in the Midfoot is a Major Predictor of Gait Speed in Older Adults. *International Journal of Gerontology* 9(2): 119-122.
- [16] Tsujinaka, S., Shima, H., Yasuda, T., Mori, K., Kizawa, M., Toge, K., and Neo, M. (2019). Comparison of Plantar Pressure Distribution Between Postoperative Hallux Valgus Feet and Healthy Feet. *Foot Ankle International*, 40(5):578-585.
- [17] Hessert, MJ., Vyas, M., Leach, J., Hu, K., Lipsitz, LA., and Novak, V. (2005). Foot pressure distribution during walking in young and old adults. *BMC Geriatrics*, 5:8.
- [18] Demirbüken, I., Özgül, B., Timurtas, E., Yurdalan, SU., Çekin, MD., and Polat, MG. (2019). Gender and age impact on plantar pressure distribution in early adolescence. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 53:215-220.
- [19] Gimunova, M., Zvonar, M., and Mikeska, O. (2018). The effect of aging and gender on plantar pressure distribution during the gait in elderly. *Acta off Bioengineering and Biomechanics*, 20(3).
- [20] Mckay, MJ., Baldwin, JN., Ferreira, P., Simic, M., Vanicek, N., Wojciechowski, E., Mudge, A., and Burns, J. (2017). Spatiotemporal and plantar pressure patterns of 1000 healthy individuals aged 3-101 years. *Gait & Posture*, 58:78-87.

## IX. REFERENCIAS PRINCIPALES

- [21] Bailey C, Portab M, Pillonib G, Arrippab F, Paub M, Côtéa J. Sex-independent and dependent effects of older age on cycle-to-cycle variability of muscle activation during gait. *Experimental Gerontology* 124 (2019) 110656.
- [22] Bailey C, Portab M, Pillonib G, Arrippab F, Paub M, Côtéa J. Sex-dependent and sex-independent muscle activation patterns in adult gait as a function of age. *Experimental Gerontology* 110 (2018) 1-8.
- [23] Kwee-Meiera S, Mertensa A, Jeschkeb S. Age-induced changes in the lower limb muscle activities during uphill walking at steep grades. *Gait & Posture* 62 (2018) 490–496.
- [25] Ribeiro Marquesa N, Zamfolini Hallalb C, Hebling Spinosoa D, Fernandez Crozarac L, Hellen Morcellic A, Harumi Karukad A, Tavella Navegaa M, Gonçalvesc M. Age-related alterations in the activation of trunk and lower limb muscles during walking. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation* 29 (2016) 295–300.
- [26] Di Nardoa F, Mengarellia A, Maranesia E, Burattinia L, Fiorettiaa S. Department Gender differences in the myoelectric activity of lower limb muscles in young healthy subjects during walking. *Biomedical Signal Processing and Control* 19 (2015) 14–22.
- [27] Meng-Jung Chung, Mao-Jiun J. Wang. The change of gait parameters during walking at different percentage of preferred walking speed for healthy adults aged 20–60 years. *Gait & Posture* 31 (2010) 131–135.



El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.

