

# Estudio de los parámetros espaciales de la marcha en la población anciana española y su asociación con resultados adversos de salud.

Alexandra Herrero Larrea

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

**Universidad Internacional de Cataluña**

**Estudio de los parámetros espaciales de la  
marcha en la población anciana española y  
su asociación con resultados adversos de  
salud**

Alexandra Herrero Larrea

Tesis doctoral dirigida por

Dr. Alejandro Rodríguez Molinero y Dr. Joan Bosch Sabater

Sant Cugat del Vallés, junio 2017



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco sinceramente la ayuda y confianza que me han brindado tanto personas como instituciones, sin las cuales este proyecto no hubiera sido posible. Agradezco a mis directores el Dr. Alejandro Rodríguez y el Dr. Joan Bosch la constancia, dedicación y tiempo empleado en dirigir este trabajo. A los miembros de la unidad de investigación del Consorci Sanitari del Garraf, especialmente a Natalia Gonzalo y Esther Gonzalez su ayuda en el trabajo de campo y al Dr. Antonio Yuste, su trabajo en la gestión del proyecto. Quiero hacer constar también mi gratitud al Dr. Antonio Miñarro, de la Universitat de Barcelona, por su excelente, desinteresado e intenso trabajo en el análisis estadístico de los datos de este estudio. Por último quiero agradecer a mi familia su paciencia y el esfuerzo que para ellos ha supuesto el tiempo que he dedicado a esta tesis.

# Índice

Índice.....	4
Introducción.....	7
La marcha humana.....	7
La marcha patológica.....	23
Métodos de medida de la marcha.....	27
Variabilidad en los parámetros de la marcha.....	33
El envejecimiento.....	35
La marcha en el anciano.....	37
Caídas.....	42
Deterioro funcional.....	53
Fragilidad.....	56
Hipótesis.....	59
Objetivos.....	60
Material y Métodos.....	61
Diseño, población de estudio y muestreo.....	61
Aspectos logísticos y capacitación de encuestadores.....	62
Variables e instrumentos de medida.....	64
Procedimientos de medida de los parámetros.....	69
espaciales de la marcha.....	69
Consideraciones éticas.....	73
Tamaño muestral.....	74
Análisis estadístico.....	75

Resultados .....	81
Detalles del reclutamiento y pérdidas de seguimiento .....	81
Análisis descriptivo de los parámetros espaciales .....	85
de la marcha de los ancianos .....	85
Análisis bivariado de asociación entre los parámetros de la marcha y otras variables basales de la muestra .....	91
Análisis multivariado de asociación entre los parámetros de la marcha y otras variables basales de la muestra.....	93
Análisis bivariado de la asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y caídas incidentes .....	99
Análisis de validez de los parámetros de la marcha para predecir la aparición de caídas múltiples .....	101
Análisis multivariado para estudiar la asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y caídas incidentes .....	103
Análisis bivariado de la asociación entre los parámetros de la marcha y variables relacionadas con la capacidad funcional .....	104
Análisis bivariado de asociación de otros parámetros basales con variables relacionadas con la capacidad funcional .....	107
Análisis multivariado de asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y la capacidad funcional.....	110
Análisis bivariado de la asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y mortalidad a los 5 años.....	113
Análisis multivariado de asociación entre los parámetros espaciales de la marcha con mortalidad a los 5 años .....	114
Discusión.....	116
Parámetros normales de la marcha de los ancianos .....	116
Asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y otras variables relacionadas con la función de los ancianos.....	120
Asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y las caídas .....	121
Asociación de la capacidad funcional y la mortalidad de los ancianos, con los parámetros espaciales de la marcha.....	124

Limitaciones .....	127
Conclusiones.....	129
Líneas de futuro .....	133
Bibliografía.....	135
Índice de tablas .....	157
Índice de figuras .....	160
Anexos.....	161

# Introducción

## La marcha humana

### Concepto

En el ser humano la forma específica de locomoción es lo que conocemos como marcha humana. Según algunos autores, la marcha humana es un proceso de locomoción en el cual el cuerpo humano, en posición erguida, se mueve hacia adelante, siendo su peso soportado, alternativamente, por ambas piernas.<sup>1</sup> Mientras el cuerpo se desplaza sobre la pierna de soporte, la otra pierna se balancea hacia delante como preparación para el siguiente apoyo. Uno de los pies se encuentra siempre sobre el suelo y en el período de transferencia del peso del cuerpo de la pierna retrasada a la pierna adelantada, existe un breve intervalo de tiempo durante el cual ambos pies descansan sobre el suelo.<sup>2,3</sup> La marcha humana es un fenómeno complejo para cuya descripción se requiere no sólo del conocimiento de los movimientos cíclicos que ejecuta el organismo, sino también de cuestiones tales como las fuerzas de reacción entre los pies y el suelo, las fuerzas y momentos articulares, los requerimientos energéticos y los mecanismos de optimización.<sup>1,4-6</sup>

Antes de empezar a caminar, la persona necesita estabilizar su postura en bipedestación. La estabilidad mecánica de la bipedestación se basa en el soporte musculoesquelético, el cual se mantiene gracias a los reflejos posturales y a la integración de los estímulos visuales, vestibulares y propioceptivos. Las reacciones posturales son contracciones sinérgicas y coordinadas de los músculos de las extremidades y del tronco que controlan y corrigen el balanceo del cuerpo y permiten



mantener la postura vertical del cuerpo. Conseguido este equilibrio puede iniciarse la capacidad para mantener un paso rítmico o estable, es decir, la marcha humana.<sup>7</sup>

Durante la marcha, el desplazamiento de un punto a otro del cuerpo es similar a una masa sometida a traslaciones que imprimen los miembros inferiores y que está sometida a la fuerza de la gravedad, a la inercia y a la aceleración. Por tanto, durante el desplazamiento han de vencerse resistencias y esto origina un gasto de energía.<sup>8</sup>

El mecanismo de producción de la marcha humana resulta de una interrelación entre las leyes físicas del movimiento y los mecanismos de optimización del consumo energético que todo sistema biológico desarrolla en la generación del movimiento. La aplicación de la biomecánica permite determinar los mecanismos de producción de la marcha.

Inman describe la trayectoria seguida por el centro de gravedad durante la marcha en los tres planos del espacio, que adopta una morfología sinusoidal proyectada en el plano de progresión.<sup>1</sup>

## **Adquisición y desarrollo de la marcha**

Durante los primeros años de la infancia, el hombre aprende a caminar de forma natural, experimentando con su cuerpo hasta alcanzar un estilo propio.<sup>1,9</sup> La marcha es un proceso aprendido y no el desarrollo de un reflejo innato.<sup>10</sup> Debido a este proceso de aprendizaje, existen peculiaridades individuales del esquema de marcha que tienden a desaparecer cuando se examinan amplias muestras, por lo que puede hablarse de un patrón de marcha humana en sentido general. Las variaciones individuales se deben a diferencias de índole psicológico y de índole antropométrico,

inherentes a la constitución propia de cada uno, y por tanto no sujetas a un orden lógico, tales como dimensión y configuración de los huesos, movimiento articular individual, o diferente distribución de peso entre los miembros.<sup>11</sup>

La adquisición de la marcha tiene una gran importancia en el desarrollo del niño pues le permite desplazarse en el espacio y esto le da autonomía, le permite así interactuar con el medio y facilitar su desarrollo.<sup>12-15</sup> Según el niño va desarrollándose y madurando, va mejorando el equilibrio, la coordinación y la posición bípeda, por lo que éste va ganando seguridad durante la marcha.<sup>13</sup>

Hacia los 7 años el ser humano alcanza una marcha estable y un patrón semejante al adulto<sup>10,16</sup>, aunque algunos parámetros se modificarán en los años posteriores debido al aumento de talla e incremento de peso.<sup>17</sup>

En la edad adulta la marcha se mantiene estable y, pese al carácter individual de este proceso, las semejanzas entre sujetos distintos son tales, que puede hablarse de un patrón característico de marcha humana normal, así como de las modificaciones con respecto a dicho patrón, debidas a la influencia de diversos factores, intrínsecos o extrínsecos al sujeto. Pero en la tercera edad, la marcha cambia por el propio envejecimiento y por patologías subyacentes, que son más frecuentes en personas de edad avanzada.<sup>17,18</sup> Por tanto, en la tercera edad hablamos de un patrón de marcha característico, el cual definiremos con más exactitud en el apartado *marcha en el anciano*.

## **El ciclo de la marcha**

El ciclo de la marcha también conocido con el nombre de zancada es la secuencia de acontecimientos que tienen lugar desde el contacto de un talón con el suelo, hasta el siguiente contacto del mismo talón con el suelo.<sup>17</sup> Tiene lugar entre dos repeticiones consecutivas de cualquier suceso de la marcha. Por conveniencia se considera el inicio del ciclo, el momento en que uno de los pies toma contacto con el suelo.<sup>5</sup>

## **Las fases del ciclo de la marcha**

Lettre y Contini describieron tres estadios en la locomoción humana.<sup>19</sup> El primero llamado fase inicial de desarrollo desde el reposo. El segundo llamado estadio rítmico a velocidad constante. Y el tercero llamado fase de descenso hasta el reposo. La mayoría de las observaciones se han centrado en la fase media de Lettre.<sup>20</sup>

Durante el ciclo completo de la marcha cada pierna pasa por dos fases: la fase de apoyo y la fase de oscilación.<sup>17</sup>

### **La fase de apoyo**

Es aquella en la que el pie se encuentra en contacto con el suelo. Comienza con el contacto inicial y finaliza con el despegue del antepié. La duración de esta fase en condiciones normales supone un 60% del ciclo (dependiendo siempre de la velocidad que adopte la persona).<sup>2,3,17</sup>

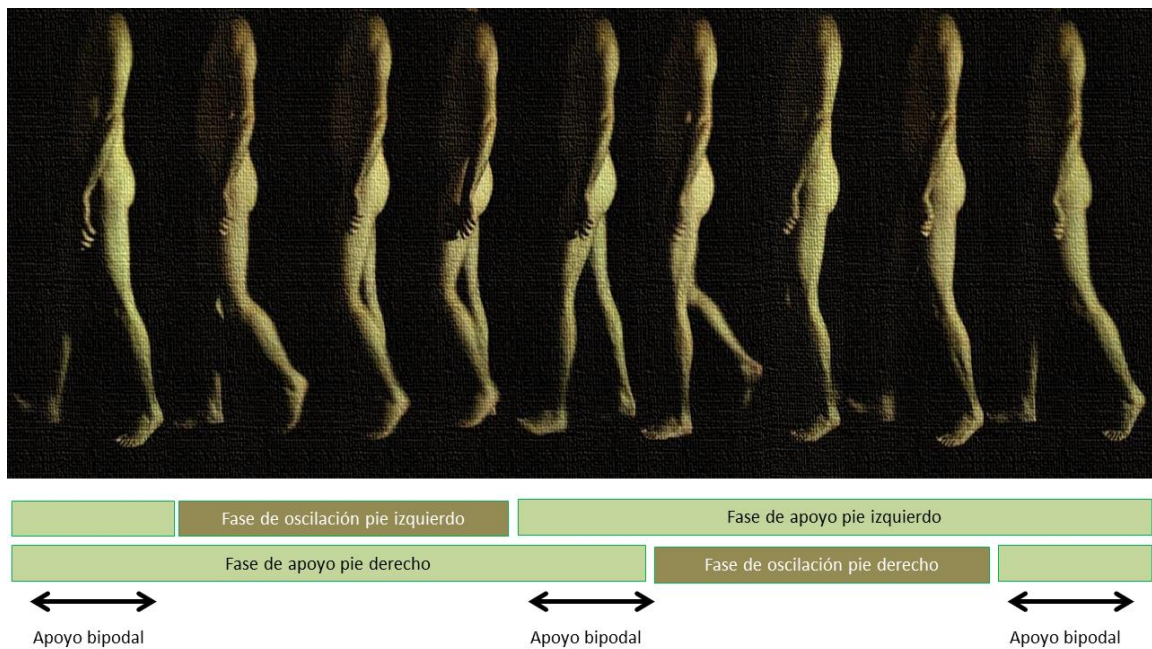
### **La fase de oscilación**

Es aquella en la que el pie se encuentra en el aire, al tiempo que avanza, como preparación para el siguiente apoyo. Esta fase tiene lugar desde el instante de

despegue del antepié hasta el siguiente contacto con el suelo. La duración de esta fase es de un 40% del ciclo.<sup>3,10,17</sup>

Estas dos fases se dan también en el miembro contralateral, con una diferencia del 50% en el tiempo. Cosa que revela la existencia de dos fases de apoyo bipodal o también llamadas fases de doble apoyo, las cuales tienen lugar cuando los dos pies contactan en el suelo. Un pie está iniciando el contacto de talón mientras el otro está próximo a la fase de despegue, de forma que se apoya en la cabeza del primer metatarsiano y el pulpejo del dedo gordo. Estas fases de apoyo bipodal tienen un porcentaje de duración alrededor de un 10% del ciclo, cada una, aunque esta duración depende de la velocidad con la que el sujeto camina.<sup>1,2,8</sup>

La duración de estas fases es relativa pues, como hemos dicho, depende fuertemente de la velocidad, de forma que cuando aumenta la velocidad aumenta la proporción de la fase de oscilación frente a la fase de apoyo, de manera que desaparece la fase de doble apoyo iniciando así la carrera<sup>21</sup> (figura 1)



**Figura 1. Fases del ciclo de la marcha**

## Subdivisión del ciclo de la marcha

Las fases que constituyen el ciclo de la marcha pueden subdividirse en varios momentos, para así comprender de una manera más detallada lo que sucede durante la marcha. Esto nos permite evaluar aquellas situaciones patológicas en las que desaparecen esas subfases, o bien, se modifican. Hay diversos autores que denominan a cada subfase de manera diferente, pero expresan momentos similares en la secuencia de los movimientos de las extremidades.<sup>17</sup>



Fase de apoyo pie derecho					Fase de oscilación pie derecho		
CI	AI	AM	AF	OP	OI	OM	OP
2%	2-10%	10-30%	30-50%	50-60%	60-73%	73-87%	87-100%

**Figura 2. Subfases del ciclo de la marcha.**

## **Fase de apoyo**

Se compone de 5 subfases llamadas, fase de contacto inicial, fase inicial de apoyo o de respuesta a la carga, fase media de apoyo, fase final de apoyo, fase previa de oscilación.<sup>22</sup> Los porcentajes que se citan a continuación, hacen referencia al momento de inicio o fin de un evento dentro del tiempo total del ciclo, y no a la duración del evento dentro del ciclo. Así, un evento que acontece entre 25% al 75% del ciclo de la marcha, empieza en el momento que corresponde al 25% del tiempo total del ciclo y termina en el momento que corresponde al 75% del tiempo del ciclo, por lo que dura un 50% del tiempo total del ciclo (Figura 2).

- 1- Fase de contacto inicial (CI) Forma parte de la fase inicial de apoyo. Va del 0 al 2% del ciclo de la marcha. Consiste en posicionar el pie correctamente al entrar en contacto con el suelo, por tanto tiene lugar el posicionamiento del miembro para iniciar el apoyo, en condiciones normales, se produce el apoyo del talón.<sup>23</sup> La cadera está en flexión, la rodilla en extensión y el tobillo en posición neutra. La línea de fuerzas de reacción es posterior al tobillo, pasa por la rodilla (levemente anterior) y es anterior a la cadera.<sup>23,24</sup> Por tanto los músculos de la extremidad inferior que se encuentran activados son: tibial anterior, isquiotibiales, cuádriceps y glúteo mayor.
- 2- Fase inicial de apoyo (AI). Coincide con el primer periodo de doble apoyo. Se prolonga hasta un 10% del ciclo de la marcha. El objetivo principal de esta fase es el mantenimiento de una progresión suave, gracias al rodillo del talón, al tiempo que el descenso del cuerpo se amortigua. La línea de fuerza de reacción es vertical.<sup>17</sup> En esta fase la extremidad inferior absorbe el impacto inicial manteniendo la estabilidad y la progresión del apoyo. Esto se produce

mediante la flexión de la rodilla y la flexión plantar del tobillo.<sup>1</sup> Se activan el músculo cuádriceps y tibial anterior.

3- Fase media de apoyo (AM). Coincide con la primera parte del apoyo monopodal. Empieza por el despegue de dedos del miembro contralateral y acaba con el despegue del talón del miembro ipsilateral. Transcurre entre el 10% y el 30% del ciclo de la marcha. En esta fase el cuerpo se mueve sobre el pie estacionario, teniendo lugar el rodillo del tobillo. Conforme el tobillo realiza la dorsiflexión, la rodilla acaba de flexionarse para después iniciar la extensión, la cadera se extiende simultáneamente.<sup>22,25</sup> Los músculos que actúan son el cuádriceps, el tríceps sural al inicio, pero al final de la fase, la línea de fuerza de reacción es ligeramente anterior a la rodilla y tobillo, por lo que únicamente se encuentra activo el sóleo.<sup>26</sup>

4- Fase final de apoyo (AF). Coincide con la segunda mitad del apoyo monopodal. Transcurre entre el 30% y el 50% del ciclo de la marcha. La finalidad de esta fase es proporcionar aceleración y asegurar una longitud de zancada correcta. Cuando el cuerpo comienza a caer hacia adelante<sup>27</sup> y hacia el lado carente de soporte, se despegan el talón y comienza esta fase.<sup>28</sup> El tríceps sural se contrae y la extremidad avanza sobre el antepié, iniciándose el tercer rodillo, de manera que el cuerpo sobrepasa el pie de soporte.<sup>29</sup> La rodilla termina su extensión y empieza a flexionarse. La cadera continúa en extensión. La fase acaba cuando la extremidad contralateral contacta con el suelo.

5- Fase previa de oscilación (OP). Transcurre entre el 50-60% del ciclo de la marcha. Coincide con el inicio del segundo periodo de doble apoyo. Esta fase consiste en preparar el miembro para la oscilación.<sup>30</sup> La fuerza de reacción se

sitúa detrás de la rodilla. El tobillo produce una flexión plantar, las articulaciones metatarsofalángicas se dorsiflexionan, esto contribuye a que la rodilla siga flexionada y la cadera reduce su extensión hasta llegar a la posición neutra.<sup>31</sup> Acaba la acción del tríceps sural y empieza la actividad del psoas ilíaco. Esta fase es la fase de transferencia del peso y acaba coincidiendo con la fase inicial del apoyo contralateral.

### **Fase de oscilación**

Se compone de 3 subfases. Fase inicial de oscilación, fase media de oscilación, fase final de oscilación (Figura 2).

- 1- Fase inicial de oscilación (OI). Coincide con el primer tercio del periodo de oscilación y transcurre entre el 60-73% del ciclo de la marcha. Esta fase consiste en despegar suficientemente el pie del suelo, así como alcanzar la cadencia deseada. Se produce por la flexión combinada de la cadera y la rodilla.<sup>32</sup> Al final de la fase la extremidad que oscila alcanza la extremidad contralateral, la cual está en la fase media de apoyo.
- 2- Fase media de oscilación (OM). Transcurre entre el 73 y el 87% del ciclo de la marcha. Se inicia cuando las dos extremidades se cruzan. La función de esta fase es mantener la separación entre el pie y el suelo, que en condiciones normales es mínima. La progresión se mantiene gracias a la flexión continuada de la cadera y a la dorsiflexión de tobillo hasta la posición neutra, en cambio, la rodilla se comporta como un péndulo frente a la acción de la gravedad.<sup>33</sup> Finaliza cuando la tibia del miembro oscilante alcanza la posición vertical una vez sobrepasado el miembro de apoyo.<sup>34</sup> El otro miembro está en su fase media de apoyo.



- 3- Fase final de oscilación (OF). Transcurre entre el 87 y el 100% del ciclo de la marcha. El objetivo de esta fase es decelerar la pierna y anteponer correctamente el pie para establecer contacto con el suelo. En esta fase se produce el avance del miembro que se prepara para el inminente contacto mediante el frenado de la flexión de rodilla, de manera que ésta queda en extensión para completar el avance del miembro. La cadera y el tobillo mantienen sus posturas neutras. Se registra actividad en: cuádriceps, isquiotibiales y musculatura pretibial.

## **Parámetros espaciotemporales de la marcha humana**

### **El Paso**

Es la secuencia de acontecimientos que tiene lugar entre sucesivos puntos de contacto de pies alternos con el suelo.<sup>35</sup> Un paso incluye un intervalo de apoyo monopodal y otro de apoyo bipodal. El paso derecho es el intervalo de acontecimientos desde el apoyo del pie izquierdo en el suelo hasta el apoyo del pie derecho. El paso izquierdo es el intervalo de acontecimientos desde el apoyo del pie derecho en el suelo hasta el apoyo del pie izquierdo.<sup>35,36</sup>

### **La Zancada.**

Está constituida por dos pasos consecutivos. También llamada el ciclo básico de la marcha.<sup>23,28,35</sup> El inicio de la zancada se considera el instante en el que un pie toca el suelo y el final el momento en el que el mismo pie vuelve a tocar el suelo

Una zancada está formada por dos intervalos de apoyo bipodal y dos de apoyo monopodal, uno por cada pie.<sup>33,37,38</sup> La zancada derecha empieza con el contacto

inicial del pie derecho con el suelo y termina con el contacto inicial consecutivo del pie derecho con el suelo. La zancada izquierda comienza con el contacto inicial del pie izquierdo con el suelo y termina con el contacto inicial consecutivo del pie izquierdo con el suelo.

Para las explicaciones de los siguientes conceptos establecemos que la zancada empieza con el apoyo del pie más cercano al observador, y lo denominaremos pie ipsilateral. Al pie más lejano al observador le denominaremos pie contra-lateral.

Periodo de apoyo del pie ipsilateral. Es el periodo en el que el pie está en contacto con el suelo.<sup>33,39</sup> Se considera por lo tanto que la zancada comienza cuando el talón de un pie (en este caso el pie ipsilateral) toca el suelo y termina cuando los dedos del mismo pie dejan de tocarlo.

Durante este periodo el pie contra-lateral pasa de estar en contacto con el suelo a un periodo de balanceo, para terminar de nuevo apoyado en el suelo.<sup>33,40</sup>

Este periodo está compuesto por dos intervalos de apoyo bipodal y uno de apoyo monopodal:<sup>33</sup>

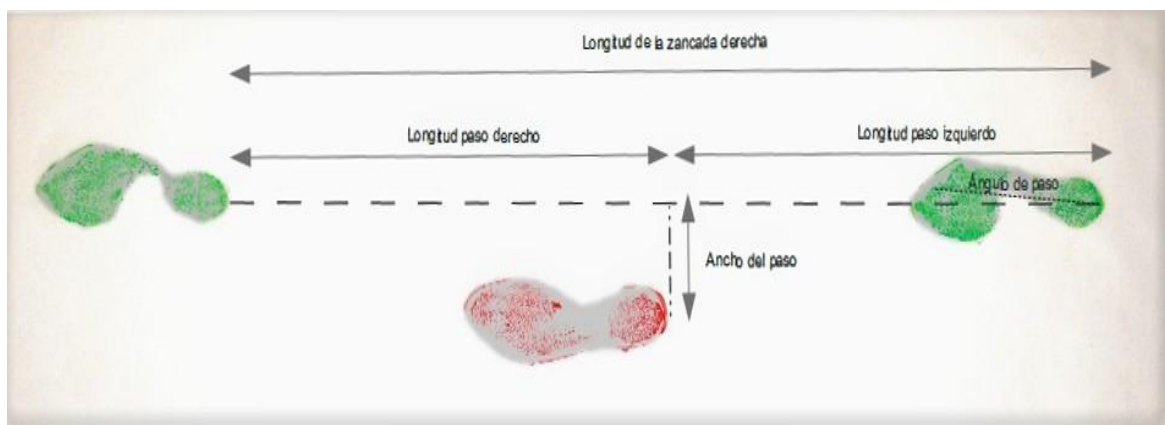
- Primer intervalo de apoyo bipodal: también llamado intervalo de carga o de transferencia del peso.<sup>35</sup> Algunos autores afirman que los pies están en contacto con el suelo.<sup>28,41</sup> El pie ipsilateral acaba de tocar el suelo y el contralateral todavía no ha empezado su fase de balanceo. El inicio de este intervalo marca el principio de la zancada.<sup>40,42,43</sup>

- Segundo intervalo de apoyo bipodal: también llamado fase de prebalanceo del pie ipsilateral.<sup>23</sup> Comienza cuando el pie contra-lateral toca el suelo y termina cuando el pie ipsilateral empieza su periodo de balanceo.<sup>40</sup>
- Intervalo de apoyo monopodal del pie ipsilateral. El pie ipsilateral está en contacto con el suelo mientras que el pie contra-lateral está en periodo de balanceo.<sup>23,40,44</sup>

Periodo de Balanceo de pie ipsilateral. Es el periodo en el que el pie ipsilateral no está en contacto con el suelo. Comienza con el despegue completo del pie y termina cuando el mismo pie vuelve a tocar el suelo.<sup>42,43</sup>

### La longitud del paso.

Es la distancia entre sucesivos puntos de contacto de pies alternos con el suelo.<sup>33,35,38</sup> Como durante la marcha a velocidad espontánea el apoyo inicial de ambos pies se realiza con el talón, la longitud de paso se define como la distancia en la línea de progresión entre el apoyo del talón de un pie y el apoyo del talón del pie contrario.<sup>45</sup> La distancia del pie izquierdo al derecho y la del pie derecho al izquierdo son iguales<sup>28</sup>, lo podemos apreciar en la figura 3.



**Figura 3. Parámetros espaciales de la marcha.**

La longitud del paso se puede calcular mediante el coeficiente entre la velocidad ( $m \cdot \text{min}^{-1}$ ) y la cadencia de pasos por minuto ( $\text{pasos} \cdot \text{min}^{-1}$ ).<sup>35</sup>

Algunos autores normalizan la longitud del paso para anular la influencia de la altura de los individuos. Unos la normalizan por la longitud del miembro inferior.<sup>42,44</sup> Otros por la altura de los sujetos.<sup>35,46-48</sup> De esta forma se eliminan las diferencias en la longitud del paso debidas a las distintas alturas de los sujetos.

A velocidad espontánea las longitudes de paso que han obtenido diversos autores las podemos ver en la tabla 1

<b>Edad</b> Años	<b>Longitud de paso</b> Media (DE)	<b>Autor</b>
25,9	0,76(0,12)	Sekiya <sup>49</sup>
22,4	0,66(0,04)	Sekiya <sup>50</sup>
21-26	0,75(0,02)	Cutlip <sup>51</sup>
22-39	0,73(0,07)	Menz <sup>52</sup>
22-40	0,77(0,05)	Menz <sup>53</sup>
19-59	0,77(0,08)	Van Uden <sup>54</sup>
20-65	0,78(0,05)	Murray <sup>28</sup>

**Tabla 1. Longitud de paso**

### **Anchura del paso**

Es la separación lateral entre los apoyos de ambos pies, normalmente medida entre los puntos medios de los talones. También llamada anchura del apoyo o base de sustentación. Se suele medir en centímetros.<sup>3,10,55</sup> (Tabla 2)

El ángulo entre la línea media del pie y la dirección de progresión se le conoce como ángulo del paso.

<b>Edad</b> Años	<b>Anchura de paso</b> Media (DE)	<b>Autor</b>
68,8	10,1(4,0)	Verlinden <sup>56</sup>
75,4	8,75	Thaler-Kall <sup>57</sup>

**Tabla 2. Anchura de paso**

### **Cadencia de pasos**

La cadencia natural se define como el número de pasos en un tiempo determinado que da una persona cuando anda a velocidad espontánea.<sup>24,58</sup>

La cadencia de pasos es el número de pasos o zancadas que da un sujeto en un tiempo determinado.<sup>22</sup> Unos autores midieron el número de pasos en un minuto<sup>28,59</sup>. Otros midieron el número de zancadas en un minuto<sup>44</sup> o en un segundo.<sup>60</sup>

### **Longitud de la zancada**

Se define como la distancia en la dirección de progresión entre sucesivos puntos de apoyo del mismo pie en el suelo.<sup>28,33,35,36,39,42,43,61</sup>

Una zancada está compuesta por dos pasos, por lo que dos longitudes de paso constituyen una longitud de zancada.<sup>59</sup>

Las personas mayores con una edad comprendida entre 60 y 65 años presentan una longitud de zancada significativamente inferior respecto a aquellas con una edad entre 20 y 25 años.<sup>22,28,56,57</sup>

La longitud de la zancada está directamente relacionada con la altura de las personas<sup>28</sup> por lo que algunos autores la normalizan por la altura de los individuos o por la longitud del miembro inferior.<sup>44,62-64</sup>

A velocidad espontánea las longitudes de zancada que han obtenido diversos autores las podemos ver en la tabla 3.

<b>Edad</b> Años	<b>Longitud zancada</b> Media (DE)	<b>Autor</b>
24,9	1,7	Mills <sup>65</sup>
27,2	1,46(0,9)	Pollo <sup>66</sup>
19-59	1,46(0,08)	Van Uden <sup>54</sup>
20-65	1,55-1,58	Murray <sup>28</sup>
20-65	1,56(0,13)	Murray <sup>38</sup>

**Tabla 3. Longitud de zancada**

### **Tiempo del paso**

El tiempo de paso es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial de un pie con el suelo y el contacto inicial del pie contrario.<sup>28,35,42</sup> El tiempo de paso de la extremidad inferior derecha es el tiempo transcurrido desde el contacto inicial del pie izquierdo hasta el contacto inicial del pie derecho. Lo contrario sería para la extremidad izquierda.

### **Tiempo de zancada**

Es el intervalo de tiempo entre dos apoyos sucesivos del mismo pie en el suelo.<sup>33,35,42,61</sup> Está compuesto por un tiempo de apoyo y un tiempo de balanceo del mismo pie.

### **Tiempo de apoyo**

Es el tiempo que un pie está en contacto con el suelo.<sup>67,68</sup> El tiempo de apoyo empieza con el contacto inicial del talón de un pie en el suelo y termina con el contacto final del antepié del mismo pie en el suelo.

Tiempo de apoyo bipodal: es el tiempo en el que ambos pies están apoyados en el suelo.<sup>28,41</sup> Los dos tiempos de apoyo bipodal de una zancada muestran la misma magnitud.<sup>28,37</sup>

Tiempo de apoyo monopodal: es el tiempo que comprende el intervalo en el que sólo un pie está en contacto con el suelo.<sup>23,44</sup> Esta variable se utiliza como indicador de la habilidad de un sujeto para mantener el peso de su cuerpo sobre un solo miembro inferior.

### **Tiempo de balanceo**

Es el tiempo en el que el pie no está en contacto con el suelo.<sup>36</sup> Coincide en magnitud con el tiempo de apoyo monopodal del pie contrario.

### **Velocidad de la marcha**

Es la distancia recorrida por el cuerpo en la unidad de tiempo, en la dirección considerada, es decir, tanto en sentido anteroposterior como lateral.<sup>22,44</sup> La velocidad media puede calcularse como el producto de la cadencia por la longitud de la zancada, con la adecuada conversión de unidades (m/s). La unidad comúnmente utilizada es m/s según the International Standard of Measurement.<sup>62</sup> Muchos clínicos prefieren utilizar metros/minuto, ya que la velocidad de la marcha representa la longitud de zancada y la frecuencia del paso.<sup>69</sup> Así pueden expresar la cadencia y el gasto energético en función de los metros recorridos.

## **La marcha patológica**

Una vez la marcha deja de tener un patrón normal es cuando hablamos de marcha patológica. Su etiología es multifactorial y existen también múltiples clasificaciones.<sup>17</sup> A continuación se describen brevemente cada tipo en función de su etiología.<sup>70</sup>

### **Tipos de marcha asociadas a problemas neurológicos**

#### **Marcha hemipléjica o del segador**

Está causada por paresia de la extremidad inferior, la cual está en flexión de cadera, extensión de rodilla y flexión plantar de tobillo. La persona afecta tiene que balancear la pierna en un arco hacia fuera para asegurar el despegue (circunducción). A la vez hay flexión lateral del tronco hacia el lado sano. Tienen una base de sustentación pequeña.

#### **Marcha espástica o en tijeras**

Es la marcha característica de pacientes afectados de espasticidad cuando esta afecta a ambas extremidades inferiores. La persona camina de forma rígida, con pies en arrastre, resultante de una contracción muscular bilateral prolongada.

#### **Marcha festinante**

Es la que aparece de forma típica en los síndromes parkinsonianos avanzados. Al comienzo de la marcha el tronco está flexionado hacia delante, avanzando el centro de gravedad por delante de su posición habitual, con ambas piernas discretamente flexionadas por la rodilla y los brazos en semiflexión de codo. Los pasos son muy cortos y rápidos, no llegan a equilibrar la verticalidad del centro de gravedad.



### **Marcha apráxica**

Se caracteriza por una pérdida por parte del paciente del conocimiento de saber utilizar las piernas para caminar. El enfermo parece no saber qué hacer con sus piernas. En fases iniciales la marcha apráxica se caracteriza por presentar pasos cortos, piernas separadas y dificultad para mantener el equilibrio, con lateropulsiones y retropulsiones pero sin que aparezcan signos cerebelosos. En casos avanzados el paciente queda imposibilitado para andar.

### **Marcha atáxica**

Existen tres tipos en función del tipo de ataxia que padece el individuo. Si la ataxia es cerebelosa, la marcha se denomina marcha cerebelosa o de ebrio. Se caracteriza por caminar separando los pies, evitando oscilaciones corporales, los pasos son desiguales y se producen desviaciones laterales, y anteroposteriores “parecida a la marcha de la persona en estado de embriaguez”. Si la ataxia es sensitiva, la marcha se denomina marcha tabética. Se caracteriza por una falta de equilibrio al caminar, descoordinación y movimientos de las piernas poco precisos, la marcha se hace levantando las piernas al dar el paso y dejándolas caer golpeando el suelo con el talón a poca distancia un pie del otro. Si la ataxia es vestibular, la forma de caminar se caracteriza por la desviación de la trayectoria de la marcha hacia un lado (lateropulsión), y si se hace andar al paciente hacia delante y hacia atrás con los ojos cerrados, describe ángulos sucesivos “en estrella” que le apartan del lugar inicial. Esta marcha recibe el nombre de marcha vestibular, en estrella o brújula.

### **Marcha en estepaje o equina**

Se produce por afectación del grupo muscular innervado por el nervio ciático poplíteo externo. Esta marcha se caracteriza por levantar exageradamente la rodilla para no arrastrar el pie durante la marcha, ya que existe una dificultad para realizar la

flexión dorsal del pie. Al apoyar el pie no se apoya primero el talón sino que la punta del pie es lo primero que toca el suelo.

### **Marcha senil**

Se produce por una de degeneración combinada de los lóbulos frontales y ganglios basales. Las características de esta marcha son muy variadas. Existen principalmente dos tipos. En el primero la marcha se caracteriza por ser una marcha con pasos largos y rápidos con aumento de oscilación de los brazos y postura rígida en extensión. En el segundo la marcha se caracteriza por una marcha con postura rígida y en flexión, pasos cortos y lentos, giros en bloque y menos oscilación en los brazos.

### **Marcha prudente o cautelosa**

Es la típica de la persona anciana con miedo a caer. Adoptan una postura de flexión hacia delante y piernas algo flexionadas para mantener el centro de gravedad bajo; marcha a pasos cortos con los pies separados y vuelta en bloque.

## **Tipos de marcha asociadas a problemas circulatorios**

### **Marcha claudicante**

Tras un número mayor o menor de pasos, el paciente presenta adormecimiento, hormigueos, calambres o dolor que le obligan a detenerse durante un tiempo antes de emprender la marcha.

## **Tipos de marcha asociadas a problemas musculoesqueléticos**

Hay multitud de patologías que producen debilidad muscular, alteraciones de la estructura articular y dolor. Las consecuencias de estas patologías dan lugar a los siguientes tipos de marchas patológicas.

### **Marcha de pingüino o tambaleante**

Es típica de afectaciones de la cadera en adultos y distrofias musculares en los niños. Esta marcha se caracteriza por movimientos laterales y exagerados de tronco (inclinación del tronco por fuera del pie), elevación de la cadera y del pie por debilidad del glúteo medio e incapacidad para estabilizar el peso de la cadera. Tendrán problemas para levantarse de sitios bajos y al subir escaleras.

### **Marcha antiálgica**

La causa de este tipo de marcha son los problemas artríticos con entumecimiento y dolor. Esta marcha se caracteriza por la colocación del pie plano sobre el suelo para reducir el choque del impacto. Se evita la fase de despegue para disminuir la transmisión de fuerzas a través de la cadera alterada. Suele haber disminución de la fase estática de la pierna afecta y disminución de la fase de oscilación de la otra, por lo que la longitud del paso es más corta en el lado bueno y hay disminución en la velocidad de la marcha. Cualquier problema en los pies, como callosidades, deformidades, juanetes y uñas deformes, comprometen la marcha y el equilibrio.

### **Marcha por disimetrías**

Son marchas producidas como consecuencia de artrosis de cadera o intervención quirúrgica de fractura en la misma localización, alteran la postura del cuerpo, ya que al girar la persona cambia la mecánica articular de la extremidad

inferior y de la columna Se aumenta la probabilidad de pérdida del equilibrio. Cuando una extremidad queda más corta, cambia el ciclo de la marcha pues el pie de esta pierna está más lejos del suelo y la pelvis se inclina hacia ese lado para poder contactar con más facilidad. Por tanto, aparece la cojera y la flexión exagerada del lado contralateral por compensación.

### **Marcha de Trendelenburg**

Se produce por una mala función de la musculatura de los abductores. Es una marcha que se caracteriza por la tendencia a caer hacia el lado opuesto durante la fase de apoyo al lado afecto, la cadera opuesta cae hacia abajo Para evitar caerse, el paciente traslada su centro de gravedad hacia el lado afecto desplazando el tronco y la cabeza en esa dirección.

## **Métodos de medida de la marcha**

El análisis o estudio de la marcha de un individuo consiste en la obtención de características de ésta y en su comparación con las consideradas como marcha humana normal. Para llevar a cabo el estudio de la marcha se pueden utilizar diversos métodos de análisis que pueden variar desde los más simples, con ausencia total de ayudas tecnológicas, hasta los más complejos y sofisticados que se ponen en práctica en ambientes controlados.

La aplicación del método científico experimental en la práctica clínica ha conducido a la elaboración de instrumentos de medición, de forma reproducible y fiel<sup>9</sup>, para el diagnóstico y control evolutivo de la marcha Técnicas distintas a la observación de movimientos humanos han permanecido reservadas al mundo de la investigación. La evaluación clínica tradicionalmente ha abordado este tipo de análisis mediante una

cuidadosa anamnesis e inspección visual. Pero este método conlleva importantes limitaciones, tales como la subjetividad y ausencia de precisión<sup>71,72</sup>, dado que los movimientos de las extremidades inferiores, tronco y extremidades superiores tienen lugar en fracciones de segundo, lo que impide la obtención de conclusiones con la sola inspección visual por más que ésta sea muy sistemática.

Mediante la instrumentalización técnica es posible detectar pequeños cambios que diferencien los patrones de normalidad de los patológicos. Los laboratorios de Análisis del Movimiento están integrados por equipos multidisciplinarios (médicos, ingenieros, biólogos) que, utilizando una amplia variedad de recursos tecnológicos, abordan el estudio de la marcha humana desde diversas perspectivas.

Los parámetros generales de la marcha humana son analizados de diversas formas que citamos a continuación.<sup>17,22</sup>

## **Análisis visual**

Es el análisis de la marcha más elemental, que requiere de un procedimiento de trabajo riguroso y sistemático, para obtener mejores resultados. El proceso de análisis visual de la marcha consiste en la observación de las alteraciones más groseras de la marcha del individuo y suele focalizarse en las alteraciones más llamativas, pudiendo pasar desapercibidas aquellas más sutiles, que podrían ser muy importantes. Esta forma de análisis de la marcha se efectúa de en dos etapas. La primera consiste en una observación global de la acción a analizar y posteriormente una secuencia anatómica, con la intención de ordenar los múltiples acontecimientos que ocurren en las diferentes articulaciones. Cuando no es factible una conclusión clínica evidente, se hace necesario un análisis mediante instrumentación. Saleh y

Murdoch realizaron una interesante aportación respecto al análisis visual de la marcha. Los autores sostienen que un análisis visual de la marcha aislado puede conllevar dificultades, pero esto no implica que las observaciones realizadas necesiten ser ampliadas mediante sofisticados sistemas de valoración biomecánica<sup>73,74</sup>; en muchos casos, y dependiendo de la anomalía a analizar, sencillos sistemas de medición de longitud y tiempo de paso pueden proporcionar una información valiosísima y con una inversión en equipamiento mínima. Para este tipo de análisis se suelen utilizar unos criterios de inspección recogidos en un protocolo de inspección de la marcha (según la sistemática de Rancho de los amigos), también se suelen utilizar cámaras de vídeo, pasillos de espejos, podoscopios para ampliar y dar soporte al análisis visual.

## **Análisis Descriptivo**

El análisis descriptivo del ciclo de la marcha consiste en el examen de los parámetros generales de la marcha humana, que incluye las características espaciotemporales: velocidad, longitud del paso, cadencia y anchura del paso. Según Robinson y Smidt, estos parámetros proporcionan la más simple forma de evaluación objetiva de la marcha.<sup>75</sup> Los parámetros espaciotemporales están relacionados entre sí, por esa razón estos parámetros proporcionan una guía de la capacidad de la marcha del individuo, pero poca información específica. Por tanto, los resultados del análisis descriptivo deben ser interpretados por comparación con los valores esperados para los individuos de la misma edad y sexo.<sup>22</sup> Algunos investigadores normalizan los parámetros de la marcha por los parámetros antropométricos tales como el peso y la altura.<sup>35,46,47</sup> Otros autores lo desaconsejan porque las unidades resultantes de las normalizaciones de los parámetros de la marcha son difíciles de interpretar y difíciles de comparar con otros resultados ya publicados.<sup>17</sup>

Para la obtención de estos datos se emplean técnicas sencillas, de medida directa, tales como: cronómetro y cinta métrica, impresión de pisadas, videografía, interruptores plantares, pasillos instrumentados, GAITRite.

### **El cronómetro y la cinta métrica**

Con estos elementos tan sencillos y si además disponemos de un pasillo de unos 10 metros de longitud, podemos obtener los parámetros del ciclo de la marcha. Para determinar la cadencia (expresada en pasos por minuto), se cuenta el número de pasos realizados en un tiempo determinado. A los sujetos se les debe pedir que caminen con naturalidad y se debe medir cuando su velocidad es estable, desestimando siempre los pasos iniciales. En la tabla 4 se muestran ecuaciones para calcular la cadencia, la velocidad y la longitud de la zancada.

Cadencia(pasos/min)	Cadencia= número de pasos x 60 / tiempo(s)
Velocidad(m/s)	Velocidad= distancia (m) / tiempo (s)
Longitud de la zancada(m)	Longitud de la zancada= distancia(m) x 2 / número apoyos Longitud de la zancada= velocidad(m/s) x 120 / cadencia

**Tabla 4. Cadencia, velocidad y longitud de la zancada**

### **Impresión de pisadas**

Es un método muy utilizado que consiste en hacer pisar al individuo sobre polvos de talco para después pedirle que camine por un pasillo de marcha con el suelo pulido. En el pasillo quedan claramente visibles las huellas de las pisadas. Sobre estas huellas se pueden medir fácilmente las longitudes de paso derecho e izquierdo, la longitud de zancada, la anchura del paso, el ángulo del paso y la huella plantar. Los métodos de impresión de pisadas en sus distintas variantes (talco, tiza, adhesivos y tinta...) son uno de los métodos más clásicos de análisis de la marcha y sus datos de validez son conocidos.<sup>72,76</sup> Este método ha sido con frecuencia el gold estándar con el que se ha estudiado la validez de los actuales métodos tecnológicos para el análisis

de los parámetros espaciales de la marcha.<sup>77</sup> En nuestro estudio se utilizará como método de medida la impresión de pisadas con tinta. Esta variante ha sido ampliamente usada y aceptada en la literatura en todos los grupos de edad<sup>49,78-82</sup> y su fiabilidad y validez ha sido reportada.<sup>83,84</sup> En el apartado de métodos se explicará con más detalle el método de impresión de pisadas con tinta que hemos utilizado.

### **Videografía**

El registro con cámara de video es una de las técnicas más utilizadas, aunque no se trata propiamente de una técnica de análisis, sino de una herramienta complementaria que ayuda a superar las limitaciones del análisis visual. Aunque es un instrumento de valoración cualitativa, es posible obtener datos cuantitativos de los parámetros generales del ciclo de marcha.<sup>17</sup> Para poder obtener estos datos es necesario colocar dos marcas visibles a una distancia conocida, que permita determinar el instante en el que el individuo pasa por ellas cuando se realiza la medición de la marcha. Gracias a las facilidades del reproductor de vídeo se puede determinar el número de apoyos entre las marcas y el tiempo transcurrido.<sup>22</sup> Por todo ello, se pueden calcular los siguientes parámetros: cadencia, longitud de zancada y velocidad, mediante las mismas ecuaciones de la tabla 4.

### **Interruptores plantares**

Los interruptores plantares son dispositivos que se colocan en la planta del pie o en la suela del calzado y se conectan al ordenador, equipo de telemetría o equipo registrador. Estos interruptores detectan cuándo hace contacto con el suelo la zona en la que están instalados. Si se fija un interruptor en el talón y otro bajo el apoyo del antepié, es posible medir los instantes de contacto de talón, apoyo completo, de despegue del talón y de despegue de dedos, así como la duración de la fase de apoyo. A partir de los datos de dos o más apoyos es posible calcular la cadencia y la duración de la fase de oscilación. Los interruptores plantares están expuestos a



fuerzas muy grandes, lo que puede causar problemas de funcionamiento. Se pueden utilizar interruptores para cada pie, de forma que se obtiene más información detallada sobre el patrón de apoyo y descarga de cada zona del pie.<sup>17</sup>

### **Pasillo instrumentado**

El pasillo instrumentado es un pasillo construido con material conductor y contactos eléctricos ubicados en los zapatos, con lo que al apoyar el individuo el pie en el pasillo se cierra un circuito eléctrico, obteniéndose información similar a la de los interruptores plantares. Este equipo permite medir los tiempos de contacto y la posición de los pies. La velocidad se mide mediante barreras fotoeléctricas instaladas en los dos extremos del pasillo. La información temporal de los contactos se utiliza para calcular la cadencia, la velocidad y a partir de estas la longitud de zancada.<sup>17</sup>

### **GAITRite**

El GAITRite es una manta con sensores de presión para análisis de los parámetros espaciotemporales de la marcha. En la publicación de Mc Donough et al. fue validado por comparación con un método de impresión de pisadas con tiza que los autores definen como “paper-and-pencil analysis”.<sup>77</sup>

## **Análisis Cinemático**

Este análisis consiste en el estudio del funcionamiento de las articulaciones de las extremidades inferiores (tobillo, rodilla y cadera), la evolución temporal del ángulo adoptado por las articulaciones, el momento articular y la actividad de los grupos musculares más importantes durante la marcha del individuo.<sup>17</sup> Existen diferentes técnicas: goniometría, equipo de ultrasonidos, acelerometría, fotogrametría

## **Análisis Cinético**

Consiste en estudiar las fuerzas de reacción que un individuo ejerce sobre el suelo en la ejecución de la marcha.<sup>85</sup> Existen diferentes técnicas: Plataformas dinamométricas, posturografía, podómetros, plantillas instrumentalizadas y otras técnicas presurométricas.

## **Análisis Fisiológico**

Consiste en estudiar la actividad muscular y el gasto energético del individuo durante la realización de la marcha. Entre las técnicas de análisis fisiológico tenemos la electromiografía y la espirometría. La primera consiste en registrar y analizar las señales eléctricas producidas por la actividad muscular, para determinar así la secuencia de activación muscular y la intensidad relativa del esfuerzo muscular al caminar. La segunda consiste en analizar el consumo metabólico del movimiento realizado durante la marcha, proporcionando una información global sobre la efectividad de la marcha del individuo.<sup>17</sup>

## **Variabilidad en los parámetros de la marcha**

La variabilidad intra-individual de la marcha, se refiere a la fluctuación en el valor de las medidas de la marcha de un paso al siguiente. Se considera probable que refleje cambios en el control motor o postural durante la marcha, relacionados con el declinar del sistema nervioso central y periférico asociado a la edad o la enfermedad.<sup>86,87</sup>

La edad se asocia a mayor variabilidad intra-individual en todos los parámetros de la marcha, independientemente de la altura, el peso.

Las medidas de variabilidad de la marcha se han descrito como mejor predictoras de caídas y deterioro funcional que los parámetros absolutos de la marcha.<sup>88-91</sup> La variabilidad del tiempo del paso y la longitud del paso, es mayor en los ancianos de la población general y no sólo en los que tienen enfermedad. Esto puede representar un empeoramiento en el automatismo de la marcha o empeoramiento en el control motor central<sup>86,92</sup>, que puede contribuir al incremento del riesgo de caída, debido al mal posicionamiento del pie, o el deficiente control de la estabilidad postural.<sup>90</sup> La variabilidad de la anchura del paso y del tiempo de apoyo bipodal, también puede indicar un empeoramiento del control del equilibrio dinámico durante la marcha.<sup>92</sup>

No se conocen bien los mecanismos implicados en la variabilidad de los parámetros de la marcha y puede que sean diferentes en el caso de cada parámetro. La presencia de enfermedades crónicas puede contribuir a las asociaciones entre la variabilidad de los parámetros de la marcha y la edad, pero no parece ser explicación suficiente.<sup>93</sup> También hay cambios con la edad en los mecanismos de control de la marcha del sistema nervioso central y en zonas que implican automatismos importantes como los ganglios basales, que se pueden reflejar en la variabilidad de la marcha.<sup>94</sup> Por último hay que mencionar, que también se han relacionado con la variabilidad, los cambios en la fuerza y el equilibrio, así como factores psicológicos.<sup>80,87,91,95</sup>

## El envejecimiento

El envejecimiento es un proceso progresivo e irremediable que consiste en la disminución de la reserva funcional y la pérdida de función de todos los órganos, con el transcurso del tiempo. No es una enfermedad, es una situación en la que sí aumenta la posibilidad de que surjan diversas patologías, conforme pasa el tiempo y envejece la persona.<sup>96</sup>

Con la edad se produce una disminución de la masa magra corporal que se produce principalmente como resultado de las pérdidas en la masa muscular esquelética.<sup>97</sup> Esta pérdida de masa muscular debida al paso del tiempo es la sarcopenia.<sup>98</sup>

En las personas mayores, la disminución de la masa muscular es responsable de la disminución del nivel de metabolismo basal, de la fuerza muscular y de los niveles de actividad asociados con la edad, a su vez, es causa de la disminución de los requerimientos energéticos en las personas mayores.<sup>99</sup> La disminución de estos componentes facilita la pérdida de la capacidad para caminar de los ancianos.<sup>99</sup>

Es sabido que con la edad también se produce el envejecimiento de los huesos y las articulaciones. El sistema musculo-esquelético tiene tres funciones principales: permite un medio eficaz para la movilidad de los miembros, actúa como un endoesqueleto, proporcionando así un mecanismo general de soporte y protección de las partes blandas, y sirve como un reservorio de mineral para la homeostasis del calcio. En la población anciana las dos primeras funciones se hallan comprometidas con frecuencia, como ilustra el hecho de que los problemas musculo-esqueléticos

constituyen la mayor causa de dolor y discapacidad física en las personas mayores de 65 años. Además, la incidencia de fracturas aumenta con la edad.<sup>100</sup>

En el envejecimiento del sistema musculoesquelético se encuentran implicados varios mecanismos:<sup>101</sup>

- Disminución de la capacidad sintética de los osteoblastos y condrocitos, con una consecuente pérdida de capacidad para mantener la integridad de la matriz ósea.
- Declive en las poblaciones mesenquimales de células madre.
- Modificaciones en las proteínas estructurales, como el colágeno.
- Acúmulo de moléculas degradadas (fragmentos de proteoglicanos), en las matrices del tejido musculoesquelético.
- Disminución de los niveles de hormonas tróficas, factores de crecimiento y de citocinas, implicados en el mantenimiento de la integridad tisular.
- Disminución de la capacidad de reparación tisular.

El cartílago articular, el esqueleto y las partes blandas son los tejidos más importantes que mantienen la integridad del sistema musculoesquelético y por los mecanismos anteriormente mencionados se deterioran. La muerte celular en el cartílago articular debida a la edad se ha asociado con la fibrilación y el adelgazamiento del cartílago, y también con un aumento en la incidencia de osteoartritis en las personas mayores.<sup>102,103</sup> Existen estudios que han investigado los mecanismos de muerte celular en el cartílago articular y sugieren que se trata de una muerte celular programada (apoptosis).<sup>104</sup> En el cartílago articular no hay células fagocíticas, y por ello los cuerpos apoptóticos se acumulan en la matriz cartilaginosa y promueven el daño de la matriz, esto contribuye a la patogénesis de la osteoartritis debida a la edad.<sup>105</sup> Los huesos experimentan una desmineralización progresiva y en

consecuencia una modificación estructural, lo que reduce la fuerza ósea y esto eleva el riesgo de parecer fracturas. La masa corporal magra, compuesta en mayor parte por músculo y vísceras disminuye de forma constante después del tercer decenio de edad. En el músculo, esta atrofia es mayor en las fibras de contracción rápida que en las de contracción lenta. La masa adiposa suele aumentar en la madurez y luego disminuye a edad avanzada, reflejo de la trayectoria del cambio ponderal. También se produce un aumento del tejido fibroconjuntivo en muchos sistemas orgánicos. En el músculo, la acumulación de este tejido afecta su calidad y función muscular. El conjunto de pérdida de masa y calidad del músculo producen una reducción de la fuerza muscular, que influye en la capacidad funcional y movilidad, siendo un factor pronóstico importante independiente de mortalidad.<sup>96</sup>

La manera de caminar es la representación sinóptica del estado de salud y en particular del estado del Sistema Nervioso Central, del Sistema Nervioso Periférico y de sus efectores tales como los músculos, huesos y articulaciones. Por ello, a parte de los cambios del envejecimiento arriba comentado, también se pueden percibir en la marcha alteraciones debidas a diversas patologías.<sup>106</sup>

## **La marcha en el anciano**

El envejecimiento comporta una serie de cambios en el cuerpo y un aumento de la prevalencia de patología, tal y como hablamos en el apartado anterior, por lo que la marcha en el anciano está condicionada y pasa a ser una marcha con unas ciertas particularidades.

En este apartado se resumen las características específicas de dicha marcha, sin profundizar en los aspectos relacionados con situaciones patológicas. Hay algunos estudios publicados que describen la marcha normal del anciano.<sup>28,39</sup>

El patrón de la marcha en los ancianos sanos no debe entenderse como un patrón patológico, ni corresponde a tal. Se define la marcha senil como “cauta, procurando el máximo de estabilidad y seguridad, como si uno caminara sobre suelo resbaladizo o en la oscuridad”.<sup>28</sup> También se define como una simple versión ralentizada de la marcha de adultos jóvenes.<sup>24</sup> No obstante, existe mayor variabilidad interindividual de la marcha en los ancianos (los ancianos caminan de manera diferente, unos con respecto a los otros), debido a los múltiples cambios que se producen, en individuos sanos, a edades avanzadas.<sup>24</sup>

Los cambios en algunos parámetros de la marcha, tales como la longitud del paso, la anchura del paso y la velocidad de la marcha, son indicadores de adaptaciones en la marcha elegidas por los ancianos, más que el resultado de alteraciones específicas de la edad.<sup>107</sup> El propósito de los cambios es mejorar la seguridad de la marcha: la disminución de la longitud del paso y el aumento de la anchura del apoyo simplifican el mantenimiento del equilibrio durante la marcha. La reducción de la cadencia lleva asociada un aumento relativo de la fase de apoyo, con lo que se incrementan los períodos de apoyo bipodales y disminuye el porcentaje de apoyo monopodal.<sup>24</sup> Según Winter et al, el apoyo aumenta de un 62,3% el ciclo de la marcha en sujetos jóvenes a un 65,5% en ancianos, y la duración de los apoyos bipodales se incrementa el ciclo de la marcha de un 24,6% a un 31%.<sup>108</sup>

En la marcha del anciano se observa una reducción total del rango de flexo-extensión de la cadera, una reducción en la flexión de rodilla durante la fase de oscilación y una reducción de la flexión plantar del tobillo en la fase de despegue. No

obstante, puesto que los patrones cinemáticos dependen de la cadencia y de la longitud del paso, ambas menores en la población anciana, los cambios observados podrían deberse al efecto de dichos parámetros, más que al de la edad.<sup>22</sup> El movimiento vertical de la cabeza se reduce y aumenta su movimiento lateral, probablemente como consecuencia de los cambios en la longitud del paso, anchura del paso y velocidad. La trayectoria de los dedos durante la oscilación varía aumentando la separación con el suelo, para así ganar en seguridad. La elevación del talón durante el despegue es menor, y el pie está más cercano a la horizontal en el contacto de talón, estando estos cambios relacionados con la disminución de la longitud de la zancada. También aumenta el ángulo del paso y se modifica la cinemática de los miembros superiores, de forma que los codos está más flexionados y los hombros más extendidos.

Las adaptaciones en la marcha observadas en la población anciana sana, están estrechamente interrelacionadas. Por lo tanto, un despegue de puntera menos vigoroso conduciría a una reducción de la velocidad y de la longitud del paso, con lo que aumentaría el período de apoyo bipodal y el ángulo de abordaje del contacto del talón disminuiría.<sup>108</sup> Winter et al, concluyen en sus estudios sobre la marcha, que no se puede saber la causa primaria de estas adaptaciones, pero sí conocer posibles mecanismos implicados: la debilidad relativa de la musculatura del anciano conduciría a un despegue menos vigoroso; la necesidad de mayor estabilidad, debido a un sistema de control disminuido, llevaría a menores longitudes del paso y menor velocidad, a un mayor período de apoyo bipodal y un menor ángulo de abordaje.<sup>108</sup>

A continuación se recogen diversos estudios que describen los parámetros espaciotemporales normales de la marcha en el anciano.



**Longitud de la zancada.** Diversos estudios<sup>107,109-111</sup> midieron esta variable siendo significativamente menor en comparación con los adultos en todos los casos. La Tabla 5 muestra la longitud del paso a velocidad confortable.

<b>Autor</b>	<b>Ancianos</b>	<b>Adultos</b>	<b>Edad</b>
Watelain <sup>107</sup>	1,334±0,131m	1,458±0,099m	61,73±3,81 años
Kerrigan <sup>109</sup>	1,20±0,12m	1,38±0,11m	72,7±5,5 años
Judge <sup>111</sup>	1,3±0,14m	1,48±0,08m	79±6 años
Kerrigan <sup>110</sup>	1,22±0,12m	1,37±0,15m	73,2±5,6 años
Thaler-Kall <sup>57</sup>	1,17±0,18m	1,31±0,17m	75,4±6,3 años
Verlinden <sup>56</sup>	129,8±0,17m		68,8±10,1 años

**Tabla 5. Longitud de la zancada en ancianos**

**Anchura del paso.** El ancho del paso es significativamente mayor en ancianos comparados con los adultos<sup>112</sup>: 11,7±1,6 cm y 10,8±2,7cm, respectivamente (p=0.007).

**Velocidad de la marcha.** En la etapa adulta de la persona, la edad no influye notoriamente en la velocidad de la marcha hasta los 65 años.<sup>27</sup> La velocidad de la marcha declina con el avance de la edad<sup>109</sup>. Entre los 60 y 65 años hay una disminución de la velocidad media entre 2%-3%. Si el margen de edad se establece entre los 60 y 80 años, la disminución de la velocidad media de marcha es todavía mayor, situándose en una diferencia del 9%. En un estudio efectuado en Rancho los Amigos Medical Center sobre 247 sujetos, observaron que la habilidad para la marcha declinaba significativamente a partir de los 70 años<sup>27</sup> coincidiendo con las conclusiones de estudios realizados previamente por otros autores.<sup>113</sup> Por tanto, la velocidad es mantenida en la edad adulta hasta la séptima década de vida, declinando

un 12-16% la velocidad usual y la velocidad máxima alrededor del 20% por década.<sup>111</sup> Algunos estudios<sup>107,109-111,114</sup> han medido la velocidad de la marcha del anciano en sus diferentes formas, normal, confortable, lenta y rápida, en comparación con la velocidad del adulto. La tabla 6 muestra los valores de velocidad (m/s) confortable en ancianos comparados con el adulto.

<b>Autores</b>	<b>Anciano</b>	<b>Adulto</b>	<b>Edad (Media ± SD)</b>
Kerrigan <sup>109</sup>	1.21 (0.12)	1.35 (0.20)	73.2 (5.6)
Watelain <sup>107</sup>	1.22 (0.19)	1.34 (0.09)	61.73 (3.81)
Kerrigan <sup>110</sup>	1.19 (0.13)	1.37 (0.17)	72.7 (5.5)
Judge <sup>111</sup>	1.03 (0.13)	1.16 (0.13)	79 (6)

**Tabla 6. Velocidad de la marcha en ancianos**

La marcha en el anciano es una marcha particular cómo ya hemos mencionado, que además nos proporciona gran información sobre el estado de salud del anciano.<sup>93,115</sup> A pesar de ello, no son muchos los estudios con suficiente tamaño maestral, que hayan descrito los parámetros espaciales de la marcha que se han de considerar normales en la población mayor, y ninguno de estos estudios ha sido conducido sobre población española. El anciano español tiene una altura, un IMC, una cultura, unos hábitos y unas características ambientales que influyen en su manera de caminar, y que hacen dudar de la aplicabilidad de los datos normativos de la marcha extraídos de la población de otros países.

Posiblemente debido a que la medida de algunos parámetros espaciales de la marcha, como la anchura del paso, precisa de medios laboriosos o tecnológicos para

ser determinada con precisión, todos los estudios que hemos podido encontrar sobre la marcha de los ancianos, miden la misma fuera del domicilio, en clínicas o centros de investigación. Ello puede causar un sesgo de selección, pues es probable que los ancianos de mayor edad, y los que tengan una marcha de peor calidad, no participen en dichos estudios que implican un desplazamiento importante fuera del domicilio. Por tanto los parámetros “normales” reportados en dichos trabajos de laboratorio, pueden corresponder en realidad a los parámetros de los ancianos más robustos y saludables.

Es claro pues, que hacen falta datos normativos de la marcha de los ancianos de nuestro país, obtenidos de manera probabilística, sin que la propia movilidad del anciano pueda influir en la probabilidad de que participe en el registro de datos.

## **Caídas**

### **Epidemiología de las caídas y sus consecuencias**

Debido al progreso en las ciencias de la salud, nuestra sociedad está experimentando una mayor longevidad y se está produciendo un envejecimiento de la población progresivo. En los países de la Unión Europea, se prevé que en el año 2060 la proporción de población con una edad igual o mayor a 65 años aumente un 12,87%, y casi la tercera parte de la población, el 29.9%, pertenecerá a este grupo etario.<sup>116</sup> Uno de los grandes problemas en la Geriátrica son las caídas, que según la OMS, se definen como “la consecuencia de cualquier acontecimiento que precipita a una persona al suelo, en contra de su voluntad” y son causa determinante de discapacidad, mortalidad e institucionalización precoz de la población mayor que las padece.<sup>117-119</sup>

La incidencia de caídas en personas mayores es más elevada que en el resto de la población. El 28-35% de las personas con 65 años o más padecen una caída y su prevalencia aumenta con la edad, siendo de 32-42% en personas con 75 años o más.<sup>120,121</sup> Además de ser frecuentes las caídas en los ancianos, son un factor de riesgo para que se produzcan nuevas caídas, de manera que las dos terceras partes de los anciano que caen, sufrirán una nueva caída en los siguientes seis meses.<sup>122</sup> En total el 10% de los ancianos tiene más de una caída al año.<sup>123</sup>

Los accidentes son la quinta causa de muerte en el mundo y de ellos las dos terceras partes son caídas. El 75% de las caídas se producen en personas de más de 65 años, por lo que las caídas representan una importante causa de muerte por lesiones no intencionales (unos 9.500 fallecimientos anuales en Estados Unidos).<sup>122</sup> El 5% de las caídas causan hospitalización o fractura<sup>124</sup> y el 1% se asocia a fractura de cadera.<sup>120,125</sup> Epidemiológicamente, las caídas son la causa principal de fracturas de cadera en el anciano, comprobándose que el 88% de las fracturas de cadera se debían a caídas y únicamente un 8% eran consecuencia de accidentes y un 3% de fracturas patológicas.<sup>126</sup> La fractura de cadera a su vez, conlleva una mortalidad del 33% y produce algún tipo de discapacidad en el 60% de los que sobreviven.<sup>127</sup>

A parte de las lesiones directas producidas como consecuencia del impacto de la caída (entre las que se encuentran contusiones, hematoma subdural y otras fracturas, a parte de la de cadera), las caídas pueden provocar consecuencias graves, derivadas de la incapacidad de los ancianos que se caen para levantarse del suelo. El 47% de las personas mayores que caen, no se pueden levantar por sí mismos<sup>128</sup>, lo que conduce al riesgo de permanecer varias horas en el suelo (síndrome *long-lie*) y sufrir las consecuencias de este prolongado decúbito: deshidratación e insuficiencia renal, úlceras, debilidad muscular y riesgo de neumonía, entre otros. Como dato

significativo, que ilustra la importancia del síndrome *long-lie*, cabe destacar que la mitad de las personas que lo experimentan mueren en los siguientes 6 meses.<sup>129</sup>

El problema de las caídas asocia también consecuencias psicológicas para los ancianos que las padecen. El 48% de los ancianos con caídas, tienen miedo a caer y por ello, el 25% de los ancianos con caídas restringen su actividad. Curiosamente, según Tinetti et al.<sup>130</sup> esta restricción afecta también al 15% de los ancianos que no se han caído.

Cabe destacar que los datos de incidencia de las caídas y de sus consecuencias aquí reportados, no ha cambiado sustancialmente en las últimas 3 décadas, de manera que el último estudio español sobre el tema<sup>131</sup>, encuentra cifras similares a las de los primeros estudios del tema, en las décadas de los 70 y 80 del siglo pasado.<sup>132,133</sup> Ello invita a pensar, que las investigaciones en el campo conducidas hasta ahora, no han tenido repercusión clínica o poblacional suficiente, por lo que el tema sigue siendo de plena actualidad. Por tanto, siguen siendo de vital importancia, los estudios sobre nuevos marcadores de riesgo, fáciles de medir en la práctica clínica, que permitan identificar con validez, a las personas mayores que tienen mucha probabilidad de sufrir caídas y por tanto, de padecer las consecuencias de salud que éstas comportan.

## **El envejecimiento predispone a las caídas**

Los cambios funcionales propios del envejecimiento contribuyen al peligro de que ocurra el problema; estos cambios incluyen disminución de la propiocepción, mayor balanceo postural y deterioro de la sensibilidad de los barorreflejos, que culminan en hipotensión ortostática. El envejecimiento conlleva además un trastorno

general o parcial de la marcha en el anciano; la imagen del anciano encorvado, que camina con pasos cortos, con disminución del braceo, con el cuello y el tronco flexionados hacia delante y con una deambulaci3n inestable se conoce como “marcha senil”. Esta marcha se produce por una serie de factores neurol3gicos, reumatol3gicos, podol3gicos y psicol3gicos, que solos o asociados, producen una adaptaci3n del anciano a su entorno, que unida a una causa desencadenante, ya sea externa o interna, da lugar a la ca3da.

<b>Cambios del envejecimiento que predisponen a las ca3das</b>
Disminuci3n de agudeza visual y alteraciones de la acomodaci3n
Angioesclerosis del o3do interno.C
Alteraci3n de la conductividad nerviosa vestibular
Disminuci3n de la sensibilidad propioceptiva
Enlentecimiento de los reflejos.
Atrofia muscular.
Atrofia de partes blandas
Degeneraci3n de estructuras articulares.

**Tabla 7**

## **La afectaci3n de la marcha y el equilibrio**

Las alteraciones de la marcha y equilibrio pueden contribuir a favorecer las ca3das. El envejecimiento afecta a dos mecanismos reflejos imprescindibles para la bipedestaci3n y la marcha estable: el mantenimiento del equilibrio (postura) y la capacidad r3pida de respuesta ante la p3rdida de 3ste, las reacciones de equilibrio. Estos dos factores han sido identificados c3mo el origen de la ca3da.<sup>134</sup> Por tanto, antes de que suceda una ca3da, hay dos mecanismos implicados independientemente

de los factores extrínsecos e intrínsecos: por una lado, la disminución de la velocidad de reacción del músculo, ya bien, por afectación de la conducción nerviosa o por atrofia muscular, y por otro lado, la deficiente biomecánica articular que dificulta la ejecución de una respuesta rápida ante el desequilibrio.<sup>135</sup> Los dos mecanismos son “habitualmente concomitantes” y su existencia nos lleva al concepto de caída en dos tiempos<sup>136,137</sup> en la que hay un factor desencadenante de la caída y una deficiencia del mecanismo compensador.

### **Mantenimiento del equilibrio estático**

Para que una persona se precipite al suelo por una causa intrínseca o extrínseca, antes de perder el equilibrio y caer, ha de perder el control de la postura.<sup>135</sup> Para que un individuo mantenga el equilibrio estático o también llamada la postura bípeda es necesario el control activo del alineamiento del cuerpo con respecto a la gravedad, superficie de soporte, visión del alrededor y referencias internas. Este control depende de la interpretación de la información sensorial que proviene del sistema visual, vestibular y somato-sensorial. El mantenimiento de la postura o equilibrio estático implica la coordinación de las estrategias moto-sensoriales para estabilizar el centro de gravedad (centro de masas) del cuerpo, durante las alteraciones de esta estabilidad provocadas por movimientos auto-iniciados (actividad voluntaria) o provocados externamente.<sup>138</sup> La gente mayor puede padecer múltiples discapacidades, tal como la pérdida multi-sensorial, debilidad muscular, limitaciones articulares, limitaciones ortopédicas y déficits cognitivos.<sup>125</sup> El incremento de riesgo de caídas y alteraciones del equilibrio están asociados a la edad pero no es debido a la edad del “sistema de equilibrio” sino al incremento de patologías de los subsistemas fisiológicos subyacentes a la compleja habilidad del equilibrio.<sup>139</sup>

Una vez el individuo pierde el equilibrio estático tiene que perder el equilibrio dinámico para así no caer.

### **Mantenimiento del equilibrio dinámico**

Existen tres tipos de estrategias de movimiento utilizadas para no perder el equilibrio. Las dos primeras consisten en mantener el equilibrio sin modificar la base de sustentación, mediante movimientos del cuerpo respecto a los tobillos, o bien, mediante movimientos del cuerpo respecto a las caderas.<sup>135,140</sup> La tercera estrategia de movimiento consiste en cambiar la base de sustentación para mantener el equilibrio mediante rápidos movimientos de las extremidades, haciendo distinción entre movimientos de las extremidades superiores que reciben el nombre de reacciones de agarre (grasping) y los movimientos de las extremidades inferiores que reciben el nombre de reacciones de paso (stepping).<sup>134,141</sup> Esta última estrategia (las reacciones de equilibrio) es la utilizada cuando se camina, cuando se recibe una perturbación externa (tropiezo) o cuando las otras estrategias son deficitarias.

Una persona mayor con riesgo de caída tiende a realizar más reacciones de equilibrio (con una peor calidad de movimiento) que una persona con un riesgo bajo de caer.<sup>140</sup>

El mantenimiento del equilibrio depende de un arco reflejo, formado por vías aferentes (sistema vestíbulo-laberíntico, sistema neuro-sensorial y sistema visual, la corteza) vías eferentes (corteza cerebral, núcleos vestibulares del tronco cerebral y núcleos cerebelosos) y efectores periféricos (el sistema musculoesquelético).<sup>137</sup>

El deterioro de todos estos sistemas conlleva una modificación del equilibrio y de la forma de caminar del anciano, ya que los mecanismos neurológicos que la regulan se deterioran y esto predispone al anciano a caerse con mayor frecuencia.



También existen otras modificaciones en el organismo humano por el paso del tiempo que pueden predisponer a las caídas. Estas son:

- Alteraciones visuales. Estudios han demostrado las asociaciones entre caídas y cataratas, empeoramiento de la percepción visual, agudeza, tolerancia a la luz y adaptación a la oscuridad.<sup>142</sup>
- Alteraciones vestibulares. El oído interno también envejece pues se produce angioesclerosis, atrofia de células, alteraciones bioeléctricas, etc.
- Alteraciones del sistema propioceptivo. La vejez conlleva al deterioro progresivo de los mecanorreceptores articulares dando lugar a alteraciones posturales.
- Modificaciones del aparato locomotor. Existen alteraciones en el aparato musculoesquelético producidas por la edad. Estas alteraciones por sí mismas facilitan la génesis de las caídas, pues implican una dificultad para mantener el equilibrio ante un desequilibrio externo, lo que predispone a las caídas:
  - Desplazamiento del centro de gravedad hacia delante consecuencia de la pérdida de tono de la musculatura y por las microfracturas osteoporóticas propias de la edad, de manera que se produce un aumento progresivo de la cifosis dorsal y dorsolumbar con la consecuente acentuación de la lordosis lumbar.
  - Cadera: por degeneración debida a la edad se producen una serie de alteraciones que predisponen a las caídas:
    - La rigidez articular dificulta el movimiento para reequilibrarse.

- La disminución del balance articular de la cadera dificulta el salvar obstáculos y el vencer las escaleras correctamente.
- La musculatura abductora de cadera pierde fuerza y esto dificulta el apoyo monopodal correcto.
  
- Rodilla: por gonartrosis se produce deformación de la articulación (genu valgo) y como consecuencia una disminución del balance articular y un déficit de fuerza de la musculatura extensora de rodilla, que facilita el correcto mantenimiento del equilibrio y dificulta el mecanismo de reequilibrarse.
  
- Pie: las alteraciones del pie por el envejecimiento son:
  - Pérdida de células fibroadiposas del talón, condiciona a que haya más apoyo del peso en la tuberosidad mayor del calcáneo y de la inserción proximal de la fascia plantar.
  - Pérdida del balance articular a nivel del tobillo y de las articulaciones interóseas del metatarso y tarso.
  - Por último, la pérdida de fuerza en la musculatura flexora y extensora de tobillo, producida por la constante calcificación de las arterias y secundaria a la pérdida de balance articular, lo cual interfiere en los mecanismo de reequilibración del anciano.

## **Otros factores de riesgo de caída y abordaje clínico**

Existen otros factores de riesgo de caída, a parte de las alteraciones de la marcha y el equilibrio. La tabla 8 es una tabla clásica que resume los principales

factores de riesgo de caída, y los muestra junto a su riesgo relativo u odds ratio, para que se puede apreciar la importancia relativa de los mismos.<sup>143</sup>

Debilidad muscular	4.4
Historia de caídas	3.0
Alteración de la marcha	2.9
Alteración del equilibrio	2.9
Ayuda técnica	2.6
Déficit visual	2.5
Artrosis	2.4
Discapacidad AVD	2.3
Depresión	2.2
Deterioro Cognitivo	1.8
Edad > 80	1.7

**Tabla 8. Factores de riesgo de caída en ancianos**

A esta lista de factores de riesgo, cabría añadir algunos otros, como la incontinencia urinaria<sup>144</sup>, o el defecto de vitamina D<sup>145</sup>, que han cobrado importancia en los últimos años.

El consumo de más de 3 o 4 fármacos y el consumo de algunos grupos concretos de fármacos también ha sido consistentemente asociado con un aumento del riesgo de caída. Algunos de los grupos farmacológicos más directamente relacionados con el tema se muestran en la tabla 9.

Psicotropos	1.7
Antidepresivos	1.7
Antiarrítmicos 1A	1.6
Antidepr. Tricíclicos	1.5
Neurolépticos	1.5
Sedantes	1.5
Benzodiazepinas	1.5
Digoxina	1.2
Diuréticos	1.1

**Tabla 9. Fármacos asociados a caídas**

En la actualidad existen diferentes estrategias de abordaje ante una caída. Unas consisten en identificar los factores de riesgo y predictores de riesgo de caída<sup>120,143,146</sup>, otras en realizar protocolos de prevención<sup>134</sup>, y otras en tratamientos específicos orientados a la actividad física, entrenamiento de la fuerza muscular de las EEII y ejercicios de entrenamiento del equilibrio.<sup>147,148</sup>

En la práctica clínica muchas caídas tienen origen multifactorial, pero a veces constituyen la manifestación de otra enfermedad, como una infección o un cuadro neurológico, o el efecto adverso de un fármaco. Los ancianos con frecuencia tienen una presentación atípica de las enfermedades, lo que significa que en lugar de presentar los síntomas guía tradicionales de una patología, como fiebre y tos en el caso de la neumonía, pueden presentar síntomas no típicos o no relacionados con el órgano diana, como confusión mental en el caso de una neumonía. Las caídas son con frecuencia síntoma de presentación atípica de otras enfermedades en ancianos, por lo que la evaluación de las mismas en la práctica clínica deba ser detallada y rigurosa.

La evaluación de una caída debe comenzar con un relato que incluya las circunstancias en el momento en que sucedió, o cualquier síntoma concomitante, con una revisión minuciosa de los fármacos de prescripción y los que se adquieren sin receta que use el individuo, y búsqueda de datos sobre cualquier otra enfermedad intercurrente que pueda aparecer. La exploración física general y neurológica ha de ser detallada y conviene además incluir signos vitales posturales, evaluación de la visión, de la marcha y el equilibrio, así como del sistema locomotor en cuanto a estabilidad articular y arcos de movimiento.

Para terminar esta sección es importante destacar que, como consecuencia de esta compleja relación entre los cambios asociados a la edad, la pluripatología y los múltiples factores de riesgo de caída conocidos, los estudios investigación en el campo, son por naturaleza complejos, y en ellos es preciso tener en cuenta el efecto de numerosos factores de confusión. Así pues, suelen requerir de estratificación de la muestra o análisis multivariados que permitan distinguir el efecto de unos factores de riesgo con respecto al de otros.

## **Los parámetros de la marcha y el riesgo de caída**

Dado que la manera de caminar cambia en la población anciana, y que la incidencia de caídas aumenta en esta misma población, los parámetros de la marcha podrían ser marcadores de riesgo de caída. De hecho, las guías médicas recomiendan la evaluación de la marcha para detectar riesgo de caída.

Así, se ha demostrado el valor predictivo de la velocidad de la marcha, para anticipar diversos efectos adversos de salud en personas mayores, entre los que se

encuentran las caídas.<sup>149-151</sup> Además, algunos estudios ha examinado la posible asociación entre longitud máxima del paso (el paso más largo que puede dar una persona sin perder el equilibrio) y el riesgo de caer<sup>152</sup>; si bien, parece que este parámetro no es suficiente para predecir por si solo la aparición de caídas en ancianos.<sup>153</sup>

En cambio, la asociación entre las caídas y otros parámetros espaciales de la marcha, como la longitud de la zancada o la anchura del paso, ha sido analizada en muy pocas ocasiones, por lo que son necesarios nuevos estudios, que aporten datos sobre el papel de estos parámetros en la evaluación del resigo de caída de los ancianos.

## **Deterioro funcional**

La capacidad funcional del anciano es la habilidad para realizar con éxito las actividades de la vida diaria de forma autónoma e independiente.<sup>154</sup> Según la Organización Mundial de la Salud, la incapacidad o deterioro funcional es la pérdida progresiva o cualquier restricción de la capacidad para realizar actividades de la vida diaria, en la manera o en el rango consideradas normales para el ser humano. Algunos autores definen la discapacidad como la incapacidad para realizar al menos una de las actividades de la vida diaria.<sup>155-157</sup>

La edad por sí sola no se correlaciona con disfunción, si bien la prevalencia de dependencia en las actividades de la vida diaria y la disminución de la función aumentan con la edad.<sup>70</sup> El 8,5% de la población española declara alguna discapacidad o limitación para las actividades de la vida diaria, de ellos, el 55,8% son dependientes, necesitando la ayuda de otra persona. El número de ancianos que

necesitan ayuda para las AVD se duplica con cada década hasta la edad de los 84 años, y se triplica entre los 85 y los 94 años. En personas mayores de 75 años, la restricción de su actividad es dos veces más común que entre personas de 45 a 64 años.

La proporción de ancianos que viven en su domicilio dependientes para las actividades básicas de la vida diaria (ABVD) es entre 65 y 74 años de un 5%, entre 75 y 79 años de un 10%, entre 80 y 84 años de un 20% y más de un tercio en mayores de 84 años. Este grupo tiene un 18% de ancianos dependientes en al menos tres de las seis ABVD. Los ancianos que viven en su domicilio presentan más frecuentemente dependencias en actividades instrumentales de la vida diaria (AIVD) que en ABVD. La proporción de ancianos dependiente en AIVD aumenta también con la edad, siendo de un 10% entre los 65 y 69 años, de un 20% entre los 75 y 79 años; y de un 30% entre los 80 y 89 años.

La pérdida de capacidad funcional, es un fuerte predictor de mortalidad en ancianos a largo plazo.<sup>158</sup> Dentro de las complicaciones médicas consecuencia del deterioro funcional, hay que destacar, por un lado, la alteración del sistema musculoesquelético con la aparición de atrofia muscular y de los ligamentos, con fibrosis y deformidades de las articulaciones, aparición de dolor osteomuscular, agravamiento de las artropatías preexistentes, se acelera la osteoporosis, trastornos de equilibrio, y se pierde el automatismo y los reflejos posturales del anciano; a nivel cardiopulmonar, aumenta la morbimortalidad por cardiopatía isquémica y se favorece la hipoventilación pulmonar. Otras complicaciones relevantes en el anciano son el estreñimiento, la aparición de infecciones, y la depresión secundaria a la inmovilidad, entre otras.

El origen de la discapacidad en el anciano se encuentra en los procesos degenerativos asociados a la edad.<sup>159</sup> Las enfermedades declaradas en España como

causa de discapacidad en el anciano son, en este orden: las enfermedades musculoesqueléticas (artrosis, artritis y osteoporosis principalmente), seguido de las enfermedades y dolencias del corazón y del aparato circulatorio (especialmente ictus), en tercer lugar fracturas y traumatismos, por último los problemas psíquicos (sobre todo demencia).<sup>70</sup> En concreto, el deterioro de las actividades instrumentales de la vida diaria (evaluadas con el índice de Lawton) se ha asociado con la presencia de enfermedades crónicas, deterioro cognitivo, caídas y con una menor actividad social.<sup>160</sup>

Ciertos sistemas responsables de funciones que permiten ser independientes al anciano pueden verse afectados por enfermedades de varios órganos. Una enfermedad subyacente no conocida puede ser la causa del deterioro o del empeoramiento de una función y muchas de estas enfermedades a menudo son tratables, pero para ello es esencial detectarlas.

Es importante por tanto encontrar marcadores de riesgo de deterioro funcional. La presencia de comorbilidad puede actuar como factor predictor de deterioro funcional, con un incremento del riesgo asociado al número de enfermedades crónicas.<sup>70</sup> Las actividades instrumentales de la vida diaria son más complejas y requieren un mayor nivel de habilidad para ser ejecutadas. Por lo tanto, es evidente que el deterioro de estas tareas suele preceder en el tiempo al deterioro de las actividades básicas. Muchos autores han sugerido que las actividades instrumentales podrían ser utilizadas también como indicadores de riesgo de discapacidad.<sup>160,161</sup> Por último, la capacidad de movilización es un indicador del nivel de salud del anciano y de su calidad de vida, y determina el grado de independencia funcional. Así, la inactividad física es otro factor de riesgo conocido de dependencia funcional, así como de complicaciones médicas e institucionalización.<sup>160</sup> Por el contrario, la ganancia



funcional, después de un ingreso por un evento agudo de salud, se asocia a una reducción de mortalidad a largo plazo.<sup>162</sup>

El caminar en el anciano es una de las capacidades más importantes para considerarse autónomos y está muy relacionado con la movilidad y la capacidad funcional. Existen estudios que han analizado la asociación entre velocidad y pérdida de función.<sup>151</sup> Pero la marcha lenta es una variable inespecífica, ya que está relacionada también con otros trastornos de salud, por lo que se ha reconocido la necesidad de estudiar otros parámetros de la marcha, que puedan servir de marcadores precoces de discapacidad.<sup>163</sup> Por ello, el análisis de los parámetros espaciales de la marcha y su posible relación con la capacidad incidente, es del máximo interés en este campo.

## **Fragilidad**

La fragilidad es un síndrome clínico-biológico caracterizado por una disminución de la resistencia y de las reservas fisiológicas del adulto mayor ante situaciones estresantes, a consecuencia del acumulativo desgaste de los sistemas fisiológicos, causando mayor riesgo de sufrir efectos adversos para la salud como: caídas, discapacidad, hospitalización, institucionalización y muerte.<sup>164,165</sup> Hay dos situaciones que definen o caracterizan este síndrome:

La primera es que existe una disminución de las reservas fisiológicas en múltiples áreas o dominios, como la resistencia, la flexibilidad y la fuerza muscular, el balance o equilibrio, el tiempo de reacción, la coordinación, funcionamiento cardiovascular, audición, visión, nutrición y funcionamiento cognitivo.

La segunda es que existe una predisposición para sufrir efectos adversos para la salud ante situaciones estresantes de la vida cotidiana, donde la magnitud de la situación no siempre está en correspondencia con el menoscabo que origina en la salud, produciéndose gran deterioro funcional.<sup>166,167</sup>

Fried et al<sup>155</sup> definieron la fragilidad como un síndrome clínico en el que se cumplían tres o más de los criterios que se muestran en la tabla 10.

<p><b>Pérdida de peso no intencionada</b></p> <p>≥ 5 Kg último año; o bien ≥ 5% peso corporal en el último año.</p>
<p><b>Debilidad muscular</b></p> <p>Fuerza prensora &lt;20% del límite de la normalidad ajustado por sexo y por índice de masa corporal.</p>
<p><b>Baja resistencia – cansancio</b></p> <p>Autoreferido por la misma persona e identificado por dos preguntas de la escala CES-D (Center Epidemiological Studies-Depression).</p>
<p><b>Lentitud de la marcha</b></p> <p>Velocidad de la marcha, para recorrer una distancia de 4,5 m &lt;20% del límite de la normalidad ajustado por sexo y altura.</p>
<p><b>Nivel bajo de actividad física</b></p> <p>Cálculo del consume de calorías semanales por debajo del quintil inferior ajustado por sexo.</p>

**Tabla 10. Criterios de fragilidad de Fried (≥ 3 criterios)**

En la práctica clínica diaria, la evaluación de las actividades instrumentales sigue siendo un método más sencillo e igualmente válido para la detección de la fragilidad, pues en el trabajo de Fried et al., se halló una buena correlación entre

fragilidad definida con dichos criterios y la existencia de deterioro en al menos una actividad instrumental.

Recientes publicaciones delimitan con claridad el estado de fragilidad con el de discapacidad<sup>166,168,169</sup>, categorías que frecuentemente son utilizadas como sinónimos.<sup>170</sup>

La fragilidad también se describe como una discapacidad subclínica o preclínica.<sup>171</sup> La fragilidad puede causar discapacidad, independientemente de la existencia o no de enfermedades, quizás sea un precursor fisiológico y factor etiológico de discapacidad.<sup>155</sup>

El estado de fragilidad tiene un valor predictivo para la aparición de efectos adversos para la salud, pues los sujetos frágiles poseen mayor porcentaje de hospitalización, caídas y muerte. Este valor se mantiene después de ajustar los factores socioeconómicos, los síntomas depresivos y la discapacidad, por tanto, el síndrome de fragilidad constituye un factor de riesgo que tiene carácter independiente.<sup>155</sup>

Para establecer estrategias de prevención es indispensable diagnosticar el síndrome antes que la discapacidad y la institucionalización hayan aparecido.

# Hipótesis

La marcha normal de los ancianos en el espacio real del domicilio es diferente de la reportada en estudios conducidos en laboratorios de marcha.

Los parámetros espaciales de la marcha de los ancianos son diferentes entre distintos grupos de sexo y edad.

Múltiples variables relacionadas con la salud y la capacidad funcional de los ancianos, influyen en la marcha y afectan a los parámetros espaciales de la misma.

Las alteraciones de los parámetros de la marcha pueden ser predictoras de efectos adversos de salud en los ancianos:

- Las alteraciones de los parámetros espaciales de la marcha de los ancianos pueden estar asociados a la aparición de caídas reiteradas.
- Las alteraciones de los parámetros espaciales de la marcha de los ancianos pueden ser predictoras de discapacidad para las actividades básicas de la vida diaria.
- Las alteraciones de los parámetros espaciales de la marcha de los ancianos pueden ser predictoras de mortalidad.

# Objetivos

Establecer los valores normales de los parámetros espaciales de la marcha de la población general anciana, cuando camina en su domicilio.

Establecer los límites normales de los parámetros espaciales de la marcha de los ancianos, por grupos de edad y sexo.

Establecer la relación entre los parámetros espaciales de la marcha y otras características funcionales y de salud de los ancianos.

Estudiar si existe asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y la frecuencia de caídas en ancianos.

Estudiar la validez de los parámetros de la marcha para predecir caídas incidentes.

Estudiar si existe asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y la capacidad funcional para las actividades básicas de la vida diaria de los ancianos.

Estudiar la validez de los parámetros de la marcha para predecir discapacidad incidente.

Estudiar si existe relación entre los parámetros espaciales de la marcha de los ancianos y su mortalidad.

# Material y Métodos

## Diseño, población de estudio y muestreo

Estudio longitudinal prospectivo sobre una cohorte de 779 ancianos españoles, no institucionalizados, que fueron seleccionados mediante un muestreo polietápico, estratificado por sexo, tamaño del hábitat (población rural < 10,000 habitantes, población urbana 10,000 - 1,000,000 habitantes, gran ciudad >1,000,000 habitantes) y área geográfica (cuadrantes noreste, noroeste, sureste y suroeste del territorio español).

En la primera etapa del muestreo se aleatorizaron poblaciones españolas, en la segunda etapa se aleatorizaron distritos dentro de cada población y por último se seleccionaron hogares dentro del distrito, por un muestreo mixto puerta a puerta y telefónico. La muestra tuvo afijación aporportional, con sobrerrepresentación de los sujetos mayores de 79 años, ya que éste tipo de población representa mejor las características asociadas al envejecimiento, en comparación con muestras de ancianos más jóvenes. Para el proceso de muestreo se usó el censo de habitantes del año 2007

Se realizó una primera visita basal y un seguimiento telefónico a los 4, 6, 9, 12 y 60 meses. De forma complementaria, se solicitó acceso a los datos del Instituto Nacional de Estadística, que permitió completar la información sobre el estado vital, de aquellos participantes perdidos durante el seguimiento. Todo el trabajo de campo se completó entre los años 2007 y 2016.

## **Aspectos logísticos y capacitación de encuestadores**

Los datos basales fueron recogidos por encuestadores. Para reducir los errores ajenos al muestreo se diseñó cuidadosamente la entrevista, se capacitó a los encuestadores, se supervisó cuidadosamente el trabajo de campo, las encuestas, el proceso de codificación y procesamiento de los datos.

Se realizaron pruebas pre-test con 20 personas, para probar el cuaderno de recogida de datos, la entrevista basal y el procedimiento de medida de la marcha. Durante estas 20 entrevistas surgieron mejoras que se implementaron en los documentos y procedimientos definitivos.

Todos los encuestadores que llevaron adelante el trabajo de campo siguieron el mismo proceso de entrenamiento, consistente en sesiones teóricas y prácticas en las que se repasaban todas las preguntas del cuestionario, las instrucciones de administración de todos los instrumentos de medida y los procedimientos de medida de los parámetros de la marcha (prueba de impresión de pisadas). Se entregó a los encuestadores un manual de instrucciones detallado, así como un teléfono de dudas atendido por un investigador del estudio.

Para minimizar la falta de respuesta se cuidaron los aspectos relacionados con el cuestionario y el encuestador y sólo se sustituyó un individuo candidato por otro, en caso de 10 intentos fallidos de contacto, 2 citas concertadas fallidas, negativa a participar, incapacidad, institucionalización o muerte.

Para asegurar la calidad del trabajo de campo un responsable acompañó a los encuestadores en las primeras visitas, y se estableció un control telefónico sobre el

15% de los participantes, en el que se preguntaron aspectos relacionados con el muestreo (modo de contacto del participante) y aspectos relacionados con la compleción del protocolo y la veracidad de la respuestas. Al menos el 10% de las encuestas de cada encuestador fue supervisada (aumentándole la supervisión sobre determinados encuestadores si se detectaban errores).

Todos los cuestionarios cumplimentados y una vez revisados por los entrevistadores, fueron revisadas por un equipo formado y constituido para tal fin. Este equipo comprobó, en primer lugar, que el cuestionario contenía todos los datos requeridos o, en su caso, justificadas las ausencias. Al mismo tiempo se verificó la coherencia de los datos de cada cuestionario. En el caso de encontrar ausencia de datos o errores de coherencia en los mismos se procedió a su corrección mediante visita personal de los propios entrevistadores o por consulta telefónica cuando fue posible.

Paralelamente se procedió a la depuración de la información contenida en el cuestionario necesaria para poder realizar una completa y correcta codificación de los datos. Una vez depurados y revisados, y finalizada la fase de supervisión, los cuestionarios pasaron al equipo de codificación. La codificación afectó al conjunto de preguntas abiertas del cuestionario, con el correspondiente listado de respuestas para la elaboración de la propuesta de plan de codificación.

Todas las tareas de depuración y comprobación de completitud, así como el proceso de codificación, fueron inspeccionadas con posterioridad por un equipo de personas que no participó en estas tareas en su primera fase. Este control se realizó periódicamente sin esperar a finalizar cada proceso, sobre 20% de los cuestionarios.



El personal encargado de los controles telefónicos periódicos usó un modelo de entrevista estructurada para extraer la información y administró por vía telefónica los instrumentos de seguimiento definidos abajo. El personal encargado de estas entrevistas, diferente del personal que realizó la visita basal, también recibió entrenamiento teórico y práctico para la administración de la entrevista y sus instrumentos y era ciego a las medidas de los parámetros de la marcha recogidos en la entrevista basal.

El control de calidad realizado puso de manifiesto que 100 participantes no habían sido seleccionados de acuerdo al procedimiento de muestreo probabilístico establecido. Principalmente habían sido seleccionados entre los viandantes del barrio o distrito seleccionado, en lugar de mediante el muestreo de domicilios. Este tipo de procedimiento podía introducir un sesgo de selección en la medida de los parámetros de la marcha y la función (los viandantes pueden tener mejor marcha y mayor capacidad funcional, comparados con las personas ancianas que se encuentran en el interior de sus domicilios), por lo que los datos de estos 100 participantes fueron descartados, y reemplazados por participantes nuevos, seleccionados correctamente.

El método de registro de la marcha que se utilizó en este estudio, siguió controles de calidad adicionales, que se describen más adelante en este capítulo, en el apartado “procedimientos de medida de los parámetros espaciales de la marcha”

## **Variables e instrumentos de medida**

### **Visita basal**

En la visita basal, se recogieron las siguientes variables, usando los instrumentos de medida citados a continuación:

#### 1.- Datos de identificación personal:

Nombre, dirección, teléfono, fecha de nacimiento, lugar de nacimiento, lugar de residencia y sexo.

#### 2.- Datos socio-demográficos:

Nivel de estudios, profesiones previas y medidas de apoyo social (estado civil, convivencia, recursos sociales).

#### 3.- Datos relativos al estado de salud del participante y hábitos de vida:

Registro de los fármacos que consume: principio activo, dosis, pauta.

Lista auto-reportada de antecedentes personales patológicos: siguiendo los cuestionarios de la encuesta nacional de salud (año 2006)

Órganos de los sentidos: preguntas estándar sobre agudeza visual y auditiva y registro del uso de prótesis.

Sedentarismo: Usando el apartado relativo a la frecuencia de salir de casa de la PASE.<sup>172</sup>

#### 4.- Situación funcional basal y riesgo de caídas:

Capacidad funcional para las actividades básicas de la vida diaria: utilizando el índice de Katz, que mide el grado de independencia para el baño, aseo, uso del retrete, transferencias, continencia y alimentación. Se usó en forma simplificada asignando 1 punto a cada actividad para la que la persona era dependiente, según las instrucciones de uso, y 0 puntos cuando la persona era independiente. En total la puntuación fue de 0 a 6 puntos, indicando 0 independencia total para las 6 actividades.<sup>173,174</sup>

Registro de ayudas técnicas utilizadas para la marcha.

Registro del número de caídas reportado por el paciente en los últimos 6 meses.

Registro del número de fracturas en los últimos 6 meses

#### 5.- Situación cognitiva y afectiva:

Cribado de deterioro cognitivo usando el test de Pfeiffer.<sup>175,176</sup>

Cribado de depresión usando la Escala de Depresión Geriátrica (GDS) de 5 apartados de Yesavage.<sup>177,178</sup>

Cribado de estado de ansiedad: preguntas relacionadas con ansiedad de la versión española del cuestionario SF-36.<sup>179,180</sup>

#### 6.- Índice de masa corporal (peso y altura requeridos).

Peso: Se determinó el peso del paciente mediante el uso de una báscula comercial. Se pesó al paciente con la ropa y con zapatos.

Talla: La altura se determinó marcando en una pared la altura del vértex craneal con ayuda de una escuadra, y posteriormente midiendo la distancia del suelo a dicha marca. Para determinar la altura no se quitaron los zapatos.

#### 7.- Equilibrio.

Se utilizaron los 4 primeros apartados de la escala de Tinetti de equilibrio:<sup>181,182</sup> equilibrio sentado, capacidad de levantarse sin ayuda, equilibrio en bipedestación inmediata y equilibrio en bipedestación.

## 8.- Fuerza muscular.

Para determinar la fuerza en miembros inferiores y superiores se utilizó un test manual, la escala del *Medical Research Council* para la fuerza muscular, que gradúa la potencia muscular en una escala de 0 a 5 , en relación con la máxima esperada para un músculo.<sup>183</sup>

0.- No contracción.

1.- Trazas de contracción.

2.- Movimiento activo cuando se elimina el efecto de la gravedad.

3.- Movimiento activo contra gravedad.

4.- Movimiento activo contra gravedad y resistencia.

5.- Potencia muscular normal.

## 9.- Parámetros espaciales de la marcha.

Se midieron los parámetros espaciales de la marcha mediante el método de impresión de pisadas con tinta <sup>74,184</sup>, en una distancia máxima de 5 metros. El procedimiento de medida utilizando este método se detalla más adelante en este capítulo.

### **Control telefónico de seguimiento**

En las llamadas de control durante el periodo de seguimiento se recogió la siguiente información:

#### 1.- Actualización de los datos de tratamiento farmacológico:

Identificación de cambios con respecto a la lista de fármacos previa: fármacos agregados o retirados, cambios en la pauta o dosis, fecha aproximada de cada cambio.

## 2.- Cambios en tratamientos de rehabilitación:

Fecha de inicio o fin de tratamientos de rehabilitación

## 3.- Cambios en el entorno social:

Cambios de domicilio o institucionalización, cambio de convivientes, cambios en los sistemas de atención domiciliaria (teleasistencia, comidas a domicilio, cuidadores públicos)

## 4.- Evaluación de caídas

Número de caídas desde el último contacto con el participante.

Dirección de la caída: delante, atrás, lateral, vertical hacia abajo

Presencia de causa accidental

Presencia de mareo o palidez cutánea

Consecuencias de las caídas: contusiones, fracturas, traumatismo craneoencefálico, otras.

## 5.- Capacidad funcional para las actividades básicas de la vida diaria:

Utilizando el índice de Katz, que mide el grado de independencia para el baño, aseo, uso del retrete, transferencias, continencia y alimentación. Se usó en forma simplificada asignando 1 punto a cada actividad para la que la persona era dependiente; en total la puntuación fue de 0 a 6 puntos, indicando 0 independencia total para las 6 actividades.<sup>173</sup>

## 6.- Registro de exitus:

Fecha, causa conocida de la enfermedad.

En el caso de los participantes perdidos, el registro de exitus se completó con la información suministrada por el Instituto Nacional de Estadística Español, respecto a los fallecimientos de las personas de la muestra, durante el periodo del estudio.

## **Procedimientos de medida de los parámetros espaciales de la marcha**

### **Método de registro de los parámetros de la marcha**

El registro de la marcha se realizó en el domicilio mediante el método de impresión de pisadas en su variante con tinta, en lugar de talco, con el objetivo de poder transportar las impresiones al laboratorio, para su posterior análisis<sup>83,84</sup>. Este método de medida de los parámetros espaciales de la marcha, es un método clásico muy similar a los utilizados como estándar de referencia para la validación de los modernos sistemas tecnológicos de análisis de la marcha.<sup>77</sup>

El procedimiento de medida usando este método implicó en primer lugar la búsqueda de un espacio en el domicilio (preferentemente el pasillo), adecuado para extender papel de estraza en el suelo. El papel de estraza sobre el que se realizó la impresión de pisadas, tenía color marrón, para que resultase familiar y similar al suelo por donde es habitual caminar. El papel usado tenía anchura de 1 metro y una longitud máxima 5 metros, si bien el largo se adaptó a las condiciones del espacio disponible en el domicilio. La preparación del escenario de pruebas incluía la colocación de una silla en el extremo inicial del papel (con un máximo de dos patas apoyadas sobre el papel), en la que se sentaría el participante antes de iniciar la marcha, y una videocámara bajo la silla, que por tanto quedaba a la espalda del anciano según cambiaba, para registrar la prueba.

La prueba se realizó con zapatos con los que habitualmente caminara el anciano participante. Para registrar las pisadas durante la marcha, la suela de los zapatos se impregnó con tinta escolar lavable, aplicada con un rodillo de pintor para que fuera uniforme y no excesiva en ningún punto, lo cual podría facilitar deslizamientos. La suela de los zapatos se protegió previamente con una capa de ancho esparadrapo de papel de marca Leukopor, seleccionado por investigadores por ser un buen soporte para la tinta y no generar adherencias al papel según avanza la marcha.

El test de la marcha del anciano consistía en que este, que estaba sentado en la silla, se levantara y caminara sobre el papel de estraza, al ritmo normal seleccionado por él, hasta el otro extremo del papel, donde se detiene y espera a que el investigador acerque una silla, para volver a sentarse. Los ancianos tuvieron una vuelta de entrenamiento para familiarizarse con el recorrido, adquirir seguridad y así no se alterase la marcha.

El papel de estraza se transportaba a los domicilios enrollado, de manera que al desenrollarlo quedaba totalmente liso y sin arrugas que pudieran obstruir visualmente el recorrido de la marcha. Los encuestadores acompañaron durante la marcha a los ancianos por seguridad, pero se colocaron cerca de ellos sin tocarlos, detrás de su vista.



**Figura 4. Registro de parámetros de la marcha mediante impresión de pisadas (captura de fotograma)**

### **Seguridad de la prueba de la marcha**

La pintura, esparadrapo, papel etc. utilizados en esta determinación son productos aprobados para uso comercial, y no entrañan riesgos desde el punto de vista tóxico (pintura) o de deslizamiento (se realizaron diversas pruebas preliminares en laboratorio). Aún con todo, para minimizar el riesgo de caídas durante esta prueba se estableció un protocolo de seguridad que se aplicó en todos los casos: 1.- Se explicaron las características de la prueba a los ancianos y acompañantes que estuvieron presentes. 2.- Sólo los individuos que manifestaron sentirse seguros de ejecutar la prueba descrita fueron sometidos a ella. 3.- En caso de que el test de Pfeiffer muestre un número de errores superior a cuatro, el consentimiento expreso de un acompañante fue un requisito necesario. 4.- La prueba se realizó con el calzado que el anciano usaba habitualmente 5.- Durante la prueba, siempre que el anciano estuvo de pie o caminando, el encuestador permaneció detrás de la persona, a distancia adecuada para intervenir en caso de desequilibrio.

### **Control de calidad sobre el método de impresión de pisadas**

Las grabaciones en vídeo del procedimiento de registro de los parámetros de la marcha, mediante el método de impresión de pisadas, fueron revisadas por personal administrativo que revisó su correcta adscripción a cada caso, así como características relacionadas con la visibilidad del video, principalmente iluminación y enfoque suficiente de las imágenes, para poder apreciar la marcha.

De manera adicional, todas las grabaciones fueron revisadas por dos fisioterapeutas distintos (en total cuatro fisioterapeutas participaron en este control de calidad), con experiencia en el tratamiento de alteraciones de la marcha en los ancianos. El papel de estos fisioterapeutas fue evaluar si la marcha registrada en el video tenía una apariencia natural, o parecía estar artefactada por el método de

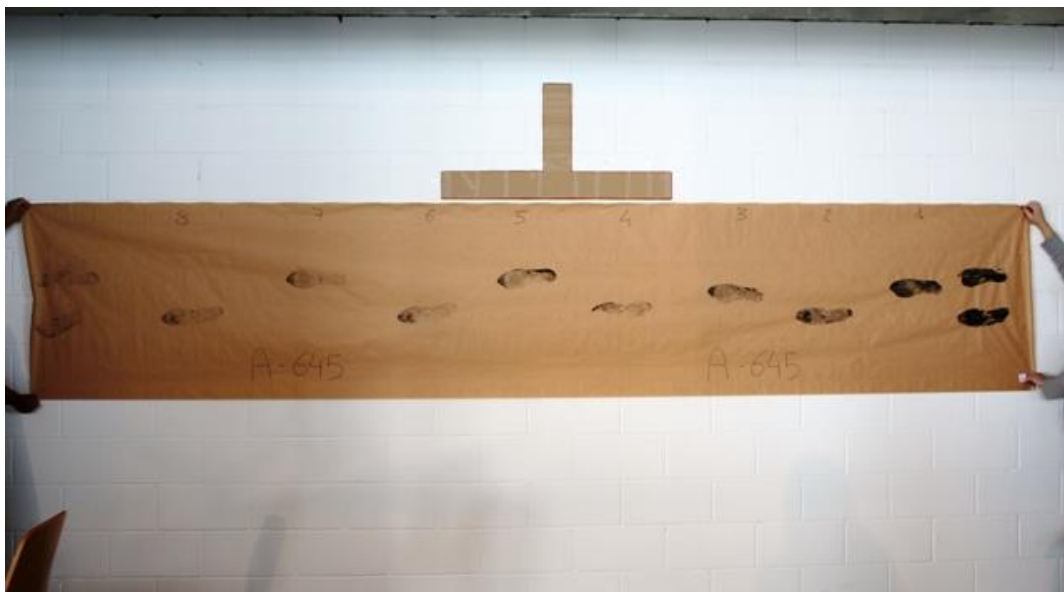


medida. Finalmente se excluyeron del estudio todos los registros en los que cualquiera de los dos evaluadores consideró que la marcha estaba artefactada por la observación de la misma. Es decir, que sólo se incluyeron en el estudio las marchas consideradas “naturales” por ambos expertos.

### **Procedimiento de digitalización y medición de los parámetros de la marcha**

El papel de estraza con las pisadas impresas por este método, fue recogido y transportado al laboratorio para su posterior análisis.

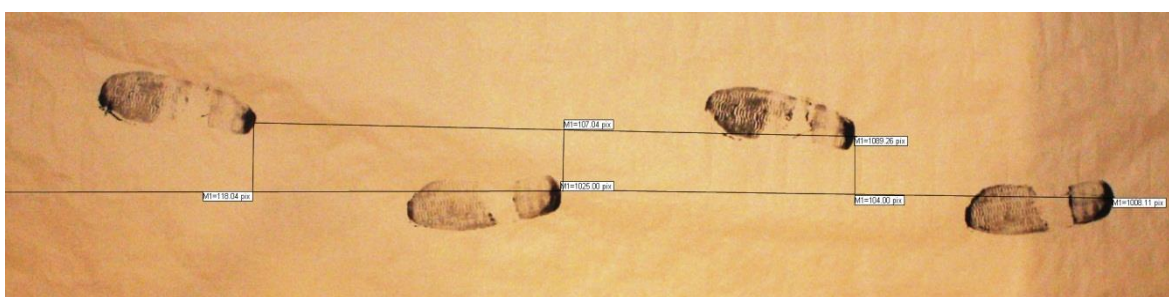
En el laboratorio, todos los papeles impresos fueron desplegados, alisados y fotografiados junto con una medida patrón de 1 metro. Para digitalizar las impresiones, las fotografías las realizó una cámara Canon EOS 1100D, con una resolución de 12.2 megapíxeles. Las medidas de los parámetros espaciales de la marcha se registraron sobre las fotografías, mediante el programa TPS Dig2 (versión 2.16).<sup>185</sup> Las medidas fueron tomadas en píxeles, y transformadas en centímetros, gracias a la comparación con la medida en píxeles del metro patrón fotografiado simultáneamente.



**Figura 5. Proceso de digitalización de las pisadas impresas**

La longitud de la zancada se determinó midiendo la distancia de un mismo punto claramente identificable de la huella impresa, que apareciera en dos pisadas consecutivas del mismo pie.

La anchura del paso se determinó midiendo la distancia en perpendicular, entre el punto medio de la parte posterior del talón, y la línea de trayectoria que unía este punto, entre dos pisadas del pie contralateral.



**Figura 6. Medición de los parámetros espaciales de la marcha sobre impresiones digitalizadas**

## Consideraciones éticas

El estudio cumple con los principios éticos fundamentales observados en la Carta de Derechos Fundamentales de la Unión Europea recogidos en el Official Journal of the European Communities (2000/C 364/01), las normas internacionales de la investigación médica en humanos recogidas en la Declaración de Helsinki (World Medical Association) y en el Código Ético Internacional sobre la Buena Práctica Clínica (Directiva 2001/20/EC). Todas las mediciones fueron de carácter observacional y por medios no invasivos, y se realizaron sobre sujetos previamente informados sobre los procedimientos del estudio, que dieron su consentimiento por escrito. En el caso de los pacientes con deterioro cognitivo según las pruebas de cribado, se recabó de forma adicional el consentimiento escrito de un familiar o guarda de hecho. Todos los

procedimientos y protocolos del estudio fueron aprobados previamente por el Comité Ético del Consroci Sanitari del Maresme, en su reunión del día 26 de septiembre de 2007.

Así mismo el estudio cumplió con la normativa nacional e internacional sobre protección de datos de carácter personal (Directiva 95/46/EC y Ley orgánica 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal modificada por la ley 62/2003) Los sujetos conocían el tipo de datos recogidos sobre su persona y su finalidad, incluyendo las imágenes de video tomadas durante la prueba de la marcha. Los sujetos fueron informados del nombre de la entidad responsable del fichero, registrado en la Agencia Española de Protección de Datos, y del procedimiento para ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición.

## Tamaño muestral

### Parámetros espaciales de la marcha

El tamaño muestral para estudiar la normalidad de los parámetros espaciales de la marcha se estimó en función del error máximo admisible para la estimación del intervalo de confianza de los parámetros espaciales de la marcha, teniendo en cuenta el efecto del diseño (cociente de la varianza real y la calculada con la suposición de muestreo aleatorio), que se estimó en 1.2

Variable	Varianza piloto	Máximo error	design efect (deff)	Tamaño muestral
Longitud zancada	676	3	1.2	347
Longitud/altura	0.02	0.015	1.2	411
Anchura	19	0.5	1.2	351

**Tabla 11. Cálculo del tamaño muestral**

### **Asociación entre los parámetros de la marcha y la incidencia de caídas**

El tamaño muestral también se estimó para encontrar diferencias en los parámetros de la marcha entre caedores y no caedores. Se calculó que un tamaño de 60 participantes por grupo sería suficiente para encontrar diferencias de 0.08 en longitud normalizada de zancada (varianza piloto 0.02) y 2.5 cm en anchura de paso (varianza piloto 19cm), considerando un efecto del diseño de 1.2, un error alfa de 0.05 y un poder del 80%

### **Asociación entre los parámetros de la marcha y deterioro funcional**

Considerando el deterioro funcional como una variable de respuesta continua, una muestra de 201 sujetos sería suficiente para estimar la pérdida de función al año, con un error alfa de 0.05 y un 90% de poder. Para este cálculo se utilizó el test de significación de la regresión ( $f = R^2/1 - R^2$ ) asumiendo un tamaño del efecto de ( $f$ ) 0.053 y  $R^2 \sim 0:05$ .<sup>186,187</sup>

## **Análisis estadístico**

Para evitar la sobrerrepresentación de grupos de edad y sexo, se ponderó la muestra de acuerdo a estas dos variables, en función de los datos de estimación poblacional del informe del Instituto Nacional de Estadística del año 2012.

Todas las variables de la base de datos fueron analizadas en busca de valores extremos (*outliers*), que fueron revisados uno a uno y eliminados si el valor carecía de significado clínico o era claramente erróneo (con frecuencia duplicación de alguna cifra, que aumentaba en un orden de magnitud el dato).

### **Tratamiento de los parámetros espaciales de la marcha**

En todos los cálculos sobre parámetros espaciales de la marcha, se despreciaron los datos correspondientes a la primera y última zancada dadas por el individuo, y se promediaron los parámetros medidos en el resto de las zancadas registradas.

La longitud de la zancada y la anchura del paso (también conocida como base de sustentación), se registraron y analizaron en centímetros, como variables cuantitativas continuas.

La longitud de la zancada se normalizó en función de la altura del individuo, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Longitud de la zancada normalizada} = \text{longitud de la zancada (cm)} / \text{altura (cm)}$$

El valor resultante expresa la proporción entre la longitud de la zancada y la estatura de la persona. Ej. una longitud de zancada normalizada de 0.5, representa que la longitud de la zancada es la mitad que la altura del individuo, la longitud de zancada normalizada de 1, representa equivalencia entre la estatura y la longitud de la zancada. En algunos análisis en los que la variable respuesta depende de incrementos por unidad de la longitud normalizada (como por ejemplo el riesgo relativo o la odds ratio), se presenta el resultado en función de incrementos de 0.1 unidades de longitud de la zancada normalizada, ya que los incrementos de una unidad en este parámetro no son biológicamente posibles (supondría incrementar la zancada el equivalente a la altura del individuo).

Además se construyó una variable compuesta que representa la proporción entre el ancho del paso y la longitud de la zancada normalizada:

$$\textit{Proporción anchura-longitud} = \textit{anchura del paso} / \textit{longitud normalizada de la zancada}$$

El valor resultante es mayor cuanto más cortos y anchos son los pasos del individuo y menor, cuanto más largos y estrechos son sus pasos.

### **Análisis descriptivo de las variables del estudio**

Se estudió el ajuste a la curva normal de las diversas variables del estudio, mediante el estudio de su asimetría y curtosis, así como el uso de la prueba de Shapiro-Wilks.

Se realizó un análisis descriptivo de las variables basales de la muestra incluyendo las medidas centrales y de dispersión pertinentes según la naturaleza y ajuste a la normalidad de las variables cuantitativas, y calculando porcentajes, en el caso de las variables cuantitativas.

### **Límites normales de los parámetros de la marcha estudiados**

Los límites normales para 95% y 99% de la muestra, se calcularon en función de la media y la desviación estándar, en el caso de las variables normales: longitud de la zancada, longitud normalizada de la zancada y anchura del paso. Para describir los límites normales el índice que combina la anchura del paso y la longitud de la zancada normalizada, se usaron los percentiles 95 y 99, ya que no es una variable de distribución normal.

### **Análisis de asociación entre los parámetros de la marcha y otras variables basales**

La influencia del sexo y la edad en los parámetros de la marcha se estudió mediante el análisis de la varianza (ANOVA). La asociación entre los parámetros de la marcha y el resto de variables funcionales y de salud fue analizada mediante Chi-cuadrado, en el caso de variables categóricas, o regresión lineal, en el caso de variables cuantitativas.

Además se construyeron modelos multivariantes para estudiar el efecto conjunto de las variables más relevantes sobre los parámetros de la marcha.

### **Análisis de asociación entre los parámetros de la marcha y caídas incidentes**

Se analizó la diferencia de medias en los parámetros de la marcha entre individuos que presentaron caídas repetidas durante el seguimiento (a los 6 y a los 12 meses) y los que no presentaron caídas, o presentaron una sola caída en el periodo de tiempo estudiado. El efecto conjunto del sexo y el riesgo de caída sobre los parámetros de la marcha se estudió mediante el análisis de la varianza (ANOVA).

Para estudiar la relación entre los parámetros de la marcha y las caídas incidentes se utilizó la regresión de Poisson. En el caso de los parámetros de la marcha con fuerte asociación con caídas, se estudió su validez (sensibilidad, especificidad y AUC), para predecir caídas recurrentes durante los seis meses siguientes y el año siguiente.

En el caso los análisis de asociación entre parámetros de la marcha y caídas incidentes, se excluyó del análisis el tiempo de seguimiento posterior a eventos que pudieran cambiar marcadamente el riesgo de caída y/o los parámetros de la marcha: hospitalización, institucionalización, inicio de tratamientos de rehabilitación, cambios en fármacos asociados al riesgo de caída: benzodiazepinas, antidepresivos, neurolépticos, digoxina y antiarrítmicos A1c.

### **Análisis de asociación entre los parámetros de la marcha y los cambios en la capacidad funcional**

La pérdida de función en cualquier punto del seguimiento fue definida como la diferencia entre el índice de Katz en ese punto de control y el índice de Katz basal. Se tomó como dependencia incidente, cuando el índice de Katz pasó de 0 a cualquier otro valor, durante el periodo de seguimiento estudiado. Para los parámetros relacionados con la capacidad funcional, se excluyeron los datos de seguimiento posteriores a la aparición de algún evento que pudiera cambiar sustancialmente la capacidad funcional del individuo (fin de seguimiento): hospitalización, institucionalización o programas de rehabilitación.

Se estudió la diferencia de medias de los parámetros de la marcha entre el grupo de individuos sin pérdida funcional y con pérdida funcional al año, así como entre el grupo de personas con discapacidad incidente al año y los que permanecieron independientes. La asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y la capacidad funcional se estudiaron mediante la regresión de Poisson, y su asociación con la pérdida de función durante el seguimiento se analizó usando modelos de regresión lineal.



Finalmente se realizaron modelos multivariantes mediante regresión de Poisson o lineal, según el caso, para estudiar la acción conjunta de los parámetros de la marcha y otras variables relevantes sobre la discapacidad incidente y la pérdida de función.

### **Análisis de asociación entre los parámetros de la marcha y mortalidad**

La mortalidad se trató como una variable dicotómica y su asociación con los parámetros espaciales de la marcha se estudió mediante modelos de regresión logística, así como analizando la diferencia de medias en estos parámetros, entre el grupo de fallecidos y supervivientes. Se analizó la mortalidad a los 5 años, pues este es el periodo con mayor número de eventos y que permite extraer resultados con mayor significación.

También en el caso de la mortalidad, se realizaron modelos multivariantes, para estudiar la independencia de los parámetros del resto de factores de riesgo de muerte estudiados en la muestra.

### **Paquete estadístico**

Todos los datos fueron analizados usando el programa R v.3.3.1.<sup>188,189</sup>

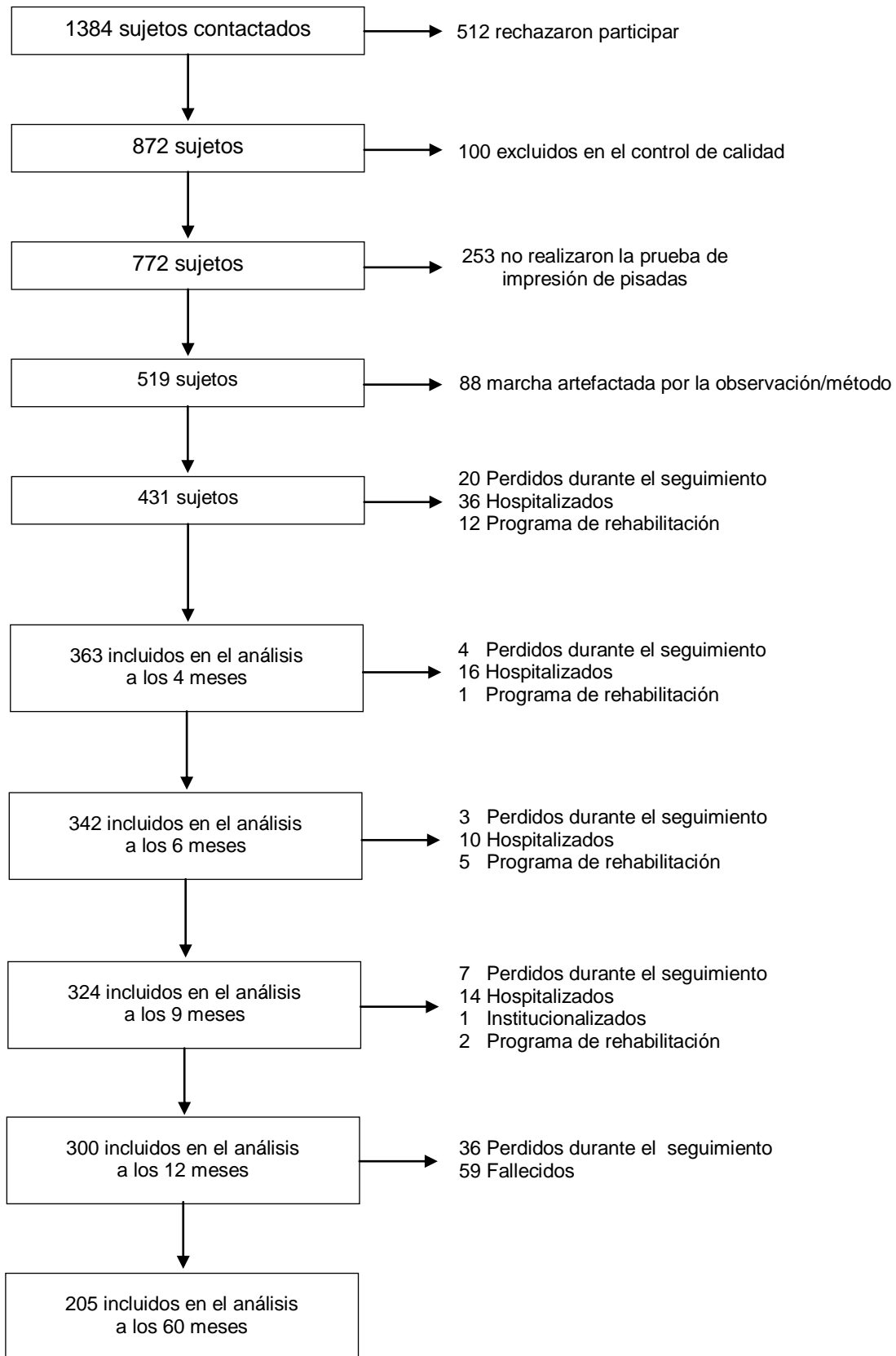
# Resultados

## Detalles del reclutamiento y pérdidas de seguimiento

De los potenciales participantes inicialmente contactados, 772 aceptaron participar en este estudio y 519 que eran capaces de deambular sin asistencia, completaron el registro de parámetros de la marcha, mediante la prueba de impresión de pisadas. De los participantes que completaron la prueba de la marcha, 88 fueron excluidos, pues a juicio de alguno de los dos expertos que examinaron las grabaciones, su marcha estaba artefactada por el método, o no era natural.

Finalmente se incluyeron por tanto, 431 participantes ancianos con datos completos. La figura 7 muestra un diagrama de flujo, con los detalles del reclutamiento y la inclusión de participantes, así como las pérdidas de seguimiento a lo largo del estudio.

La tabla 12, muestra las características basales de la muestra. Las características de los participantes que tenían al menos un control telefónico completo, se muestran en la tabla 13.



**Figura 7. Datos de inclusión y pérdidas de seguimiento**

	<b>Media</b>	<b>SD</b>
<b>Edad</b>	76	7.1
<b>Altura</b>	159.2	8.8
<b>Índice de masa corporal</b>	28.9	4.5
<b>Longitud de la zancada</b>	89.3	25.8
<b>Anchura de la zancada</b>	10.2	4.1
	<b>Mediana</b>	<b>IQR</b>
<b>Comorbilidad</b>	3	3
<b>Polifarmacia</b>	4	4
	<b>n</b>	<b>%</b>
<b>Sexo</b>		
Masculino	184	42.7
Femenino	247	57.3
<b>Nivel de estudios</b>		
Sin estudios	100	23.4
Estudios básicos	251	58.7
Estudios intermedios	45	10.4
Estudios universitarios	32	7.5
<b>Convivencia</b>		
Vive solo	109	25.7
Vive con alguien	317	74.3
<b>Katz</b>		
0	343	79.7
1-2	81	19
3-4	2	0.5
5-6	4	0.9
<b>Pfeiffer</b>		
0-3	404	94.9
4-7	19	4.6
8-10	3	0.5

**Tabla 12. Características basales de la muestra**

	<b>Media</b>	<b>SD</b>
<b>Edad</b>	75.8	7.0
<b>Altura</b>	159.5	8.9
<b>Índice de masa corporal</b>	28.9	4.6
	<b>Mediana</b>	<b>IQR</b>
<b>Comorbilidad</b>	3	3
<b>Polifarmacia</b>	4	4
	<b>n</b>	<b>%</b>
<b>Sexo</b>		
Masculino	158	42.7
Femenino	211	57.3
<b>Nivel de estudios</b>		
Sin estudios	92	25
Estudios básicos	207	56.4
Estudios intermedios	39	10.6
Estudios universitarios	29	7.9
<b>Convivencia</b>		
Vive solo	96	26.3
Vive con alguien	269	73.7
<b>Katz</b>		
0	293	79.3
1-2	71	19.1
3-4	2	0.6
5-6	4	1.0
<b>Pfeiffer</b>		
0-3	349	94.8
4-7	17	4.6
8-10	3	0.6

**Tabla 13. Características de los participantes con un control telefónico complete**

## **Análisis descriptivo de los parámetros espaciales de la marcha de los ancianos**

### **Correlación entre parámetros de la marcha y variables antropométricas**

La longitud de la zancada correlacionó positivamente con la estatura de la persona (Pearson  $r=0.45$ ;  $p<0.001$ ). La anchura del paso no correlacionó con la altura de la persona ni con el índice de masa corporal (IMC), pero correlacionó inversamente con la longitud de la zancada (Pearson  $r= -0.34$ ;  $p<0.001$ ).

### **Ajuste a la normalidad de los parámetros de la marcha**

La longitud de la zancada, la longitud de la zancada normalizada por altura y la anchura del paso se ajustaron a la normalidad según la prueba de Shapiro-Wilks, cuando se analizaron por grupos de edad y sexo.

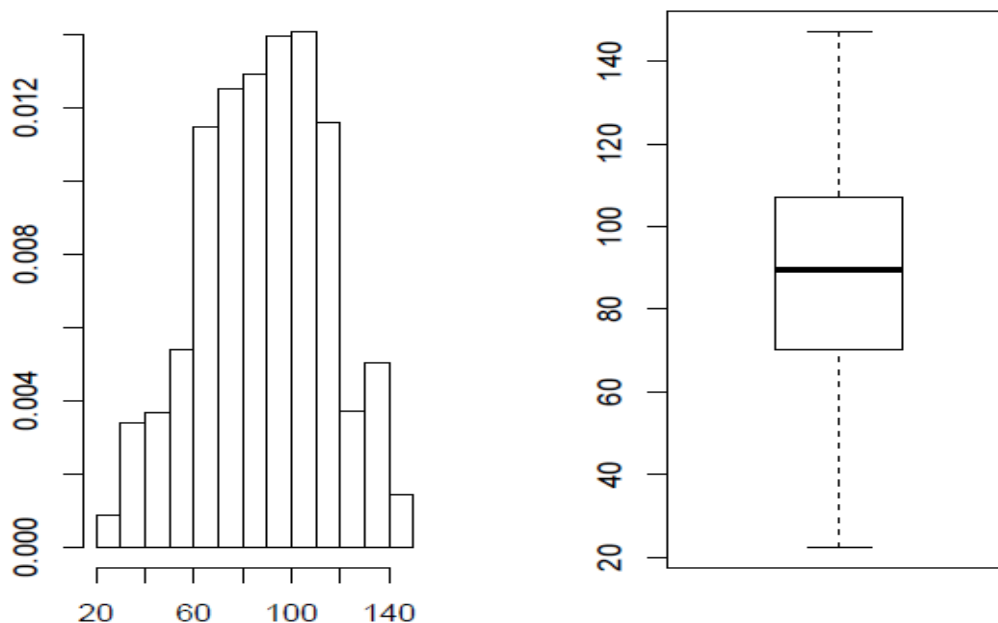
La proporción anchura-longitud no sigue una distribución normal, teniendo la mayoría de los individuos valores bajos (pasos largos en relación a su anchura). El estadístico de Shapiro para esta variable fue 0.87 ( $p<0.001$ ), la asimetría fue 2.15 y la curtosis 6.03.

### **Límites normales de la longitud de la zancada**

La media de la longitud de la zancada en nuestra muestra fue de 88,5 cm (IC 95%: 85,5-91,4 cm), con una desviación estándar de 26,1 cm (IC 95%: 24,2-27,8 cm). La mediana correspondió a 89,7 cm (RIQ: 36,9 cm).

Los valores extremos de longitud de la zancada para el 95% de los ancianos estudiados (media $\pm$  2,0 DE) fueron 36,4 cm (límite inferior) y 145,6 cm (límite superior). El 99% de la muestra (media $\pm$  2,6 DE) presentó una longitud de zancada

entre 20,8 cm y 156,2 cm. Los percentiles 2,5 y 97,5, que comprenden el 95% de las observaciones correspondieron a 34,9cm y 136,6 cm respectivamente. Los percentiles 0,5 y 99,5, que corresponden con los datos del 99% de la muestra fueron 26,4 y 145,3 respectivamente.



**Figura 8. Gráficos descriptivos de la longitud de la zancada**

Los estimadores centrales y de dispersión, así como los percentiles, por grupos de edad y sexo se muestran en la tabla 14

Longitud de la zancada		Media	DE	Límites normales (95%)		Límites normales (99%)		n
65-79	Hombres 65-79	110,7	18,8	73,2	148,2	61,9	160,0	71
	Mujeres 65-79	87,7	18,5	51,0	124,7	39,7	135,8	98
> 79	Hombres >79	73,1	25,1	25,9	126,0	10,8	141,5	98
	Mujeres >79	63,1	20,5	22,2	104,6	9,9	116,4	164
TOTAL (ponderado)		<b>88,5</b>	<b>26,1</b>	<b>36,4</b>	<b>140,6</b>	<b>20,8</b>	<b>56,2</b>	431

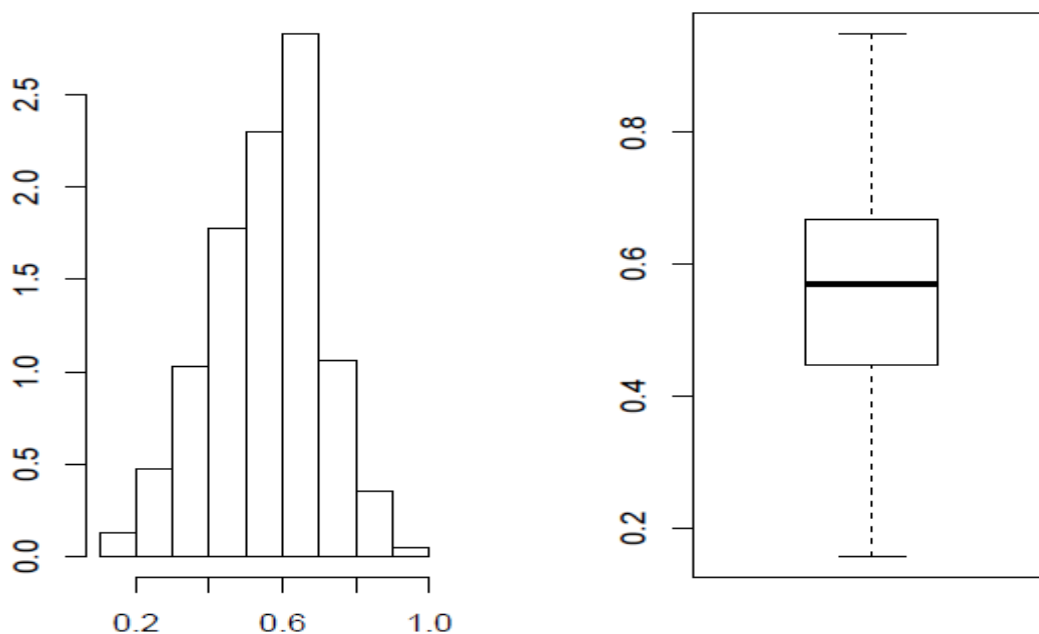
**Tabla 14. Límites normales de la longitud de la zancada de los ancianos**

La longitud de la zancada fue más pequeña en las mujeres y en el grupo de mayor edad ( $p < 0.001$ ). El análisis de la varianza mostró una interacción entre el sexo y la edad, respecto a la influencia que estos ejercen en la longitud de la zancada (ANOVA:  $p < 0.0271$ ).

### **Límites normales de la longitud de la zancada normalizada por altura.**

La media de la longitud de la zancada normalizada por altura fue de 0,55 (IC 95%: 0,54-0,57), con una desviación estándar de 0,15 (IC 95%: 0,14-0,16). La mediana correspondió a 0,57 (RIQ: 0,22).

El 95% de la muestra (media $\pm$  2,0 DE) presentó una longitud de zancada corregida entre 0,25 y 0,86. Los valores extremos de la longitud de zancada corregida por la altura para el 99% de los ancianos estudiados (media $\pm$  2,6 DE) fueron 0,16 (límite inferior) y 0,95 (límite superior). Los percentiles 2,5 y 97,5, que comprenden el 95% de los datos correspondieron a 0,23 y 0,81 respectivamente. Los percentiles 0,5 y 99,5, que comprenden el 99% de las observaciones correspondieron a 0,17 y 0,87 respectivamente.



**Figura 9. Gráficos descriptivos de la longitud normalizada de la zancada**



La media y la mediana, así como percentiles, agrupados por edad y sexo se muestran en la siguiente tabla 15.

Longitud normalizada		Media	DE	Límites normales (95%)		Límites normales (99%)		n
65-79	Hombres 65-79	0,66	0,11	0,44	0,89	0,37	0,95	71
	Mujeres 65-79	0,57	0,12	0,33	0,80	0,26	0,87	98
> 79	Hombres >79	0,47	0,15	0,16	0,77	0,07	0,86	98
	Mujeres >79	0,41	0,13	0,15	0,68	0,07	0,75	164
TOTAL (ponderado)		<b>0,55</b>	<b>0,15</b>	<b>0,25</b>	<b>0,86</b>	<b>0,16</b>	<b>0,95</b>	431

**Tabla 15. Límites normales de la longitud de la zancada normalizada por altura**

La longitud de la zancada normalizada también fue más pequeña en las mujeres y en el grupo de mayor edad ( $p < 0.001$ ), sin embargo, en este caso el análisis de la varianza no mostró interacción entre ambos factores.

#### **Límites normales de la anchura del paso.**

La anchura del paso de la muestra de nuestro estudio presentó una media de 10,3cm (IC 95%: 9,8-10,8cm), con una desviación estándar de 4,4 cm (IC95%:3,9-4,8cm). La mediana correspondió a 9,8 cm (RIQ: 5,8 cm).

Los valores extremos de la anchura del paso para el 95% de los ancianos estudiados (media $\pm$  2,0 DE) fueron 1,6 cm (límite inferior) y 19,1 cm (límite superior). El 99% de la muestra (media $\pm$  2,6 DE) presentó una anchura de paso entre -1 cm y 21,7 cm. La anchura del 95% de los ancianos de nuestra muestra (percentil 95) fue  $\leq$  17,9 cm.

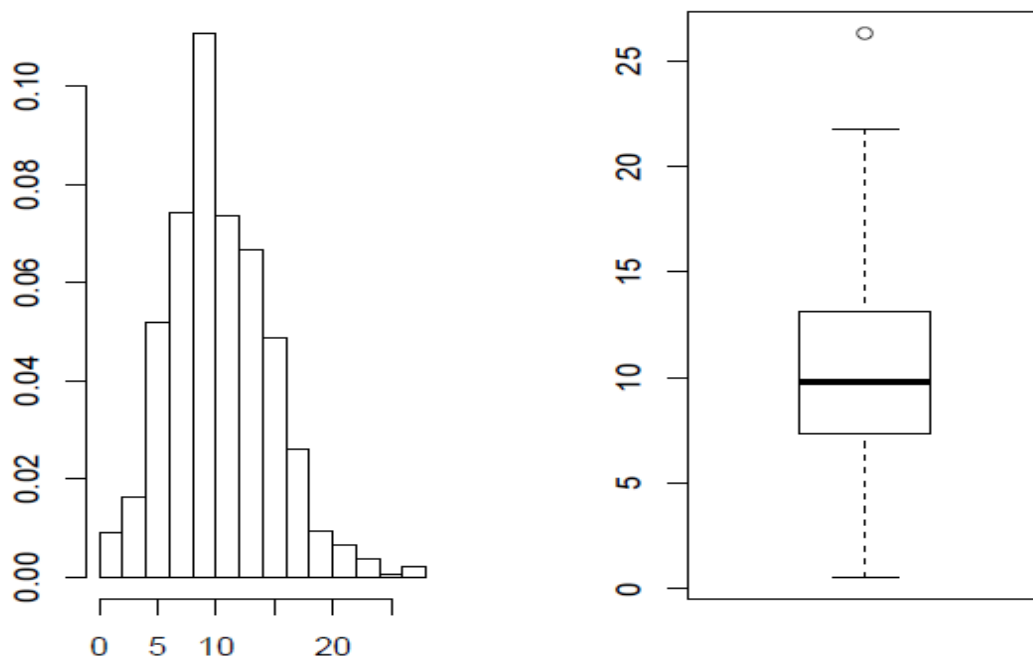


Figura 10. Gráficos descriptivos de la anchura del paso

Los estimadores centrales y los de dispersión, así como los percentiles agrupados por edad y sexo se muestran en la tabla 16.

Anchura del paso		Media	DE	Límites normales (95%)		Límites normales (99%)		n
65-79	Hombres 65-79	10,0	4,5	1,1	19,0	-1,6	21,6	71
	Mujeres 65-79	9,4	3,8	1,9	17,0	-0,4	19,2	98
> 79	Hombres >79	12,5	4,9	2,6	22,3	-0,3	25,2	98
	Mujeres >79	11,4	4,5	2,4	20,5	-0,3	23,2	164
TOTAL (ponderado)		<b>10,3</b>	<b>4,4</b>	<b>1,6</b>	<b>19,8</b>	<b>-1,0</b>	<b>21,7</b>	431

Tabla 16. Límites normales del ancho del paso en ancianos

La anchura del paso fue mayor en los más ancianos ( $p < 0.001$ ), si bien no se apreciaron diferencias significativas entre sexos.

## Límites normales de la proporción anchura-longitud de la zancada normalizada

La mediana de la proporción entre la anchura del paso y la longitud de la zancada normalizada fue de 17,4 (RIQ: 15,0). El 95% de los ancianos estudiados presentaron una proporción fue  $\leq 54,7$ .

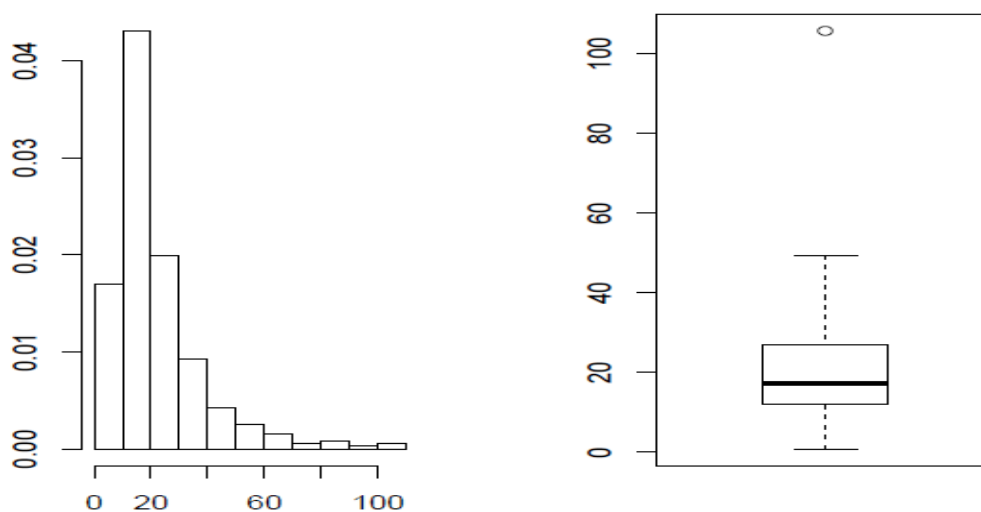


Figura 11. Gráficos descriptivos de la proporción anchura-longitud normalizada de la zancada

Los datos por edad y sexo de la proporción entre la anchura del paso y la longitud de la zancada normalizada, se muestran en la tabla 17.

Proporción anchura-longitud		Media	DE	Límites normales (95%)		Límites normales (99%)		n
65-79	Hombres 65-79	16.2	9.3	1.9	34	1.6	44	71
	Mujeres 65-79	16.1	8.9	4	36.5	0.8	78.7	98
> 79	Hombres >79	28.2	24.7	5.4	87.7	4.1	95.5	98
	Mujeres >79	26.8	26.7	4	82.6	1.1	93.9	164
TOTAL (ponderado)		<b>17.4</b>	<b>15</b>	<b>4.1</b>	<b>68.8</b>	<b>0.9</b>	<b>100</b>	431

Tabla 17. Límites normales de la proporción anchura-longitud normalizada de la zancada

El efecto de la edad en la longitud y anchura de la zancada, se aprecia marcadamente en la proporción anchura-longitud, que es significativamente mayor en el grupo de los más ancianos ( $p < 0.001$ ). Ello significa que el grupo de personas de mayor edad camina con un paso relativamente ancho en proporción a la longitud normalizada de su zancada. Este parámetro sin embargo, no tiene relación significativa con el sexo del individuo.

### **Análisis bivariado de asociación entre los parámetros de la marcha y otras variables basales de la muestra**

Tanto la longitud de la zancada normalizada, como la proporción entre ésta y el ancho del paso, mostraron estar relacionadas con la edad, la fuerza, el equilibrio, la frecuencia de actividad física, la capacidad funcional (Índice de Katz) y algunas afecciones del aparato locomotor (padecer osteoartritis y ser portador de prótesis de cadera). Además estos parámetros de la marcha mostraron asociación con la capacidad cognitiva (test de Pfeiffer) y la situación emocional del sujeto (cuestionario GDS-5 para depresión y síntomas ansiosos). La longitud de la zancada normalizada por su parte, estuvo también relacionada con el sexo y el número y tipo de fármacos consumidos por el anciano.

La anchura del paso resultó asociada a la edad, la fuerza muscular, el equilibrio y la capacidad funcional (Katz). También mostró relación significativa con la presencia de síntomas ansiosos.

Los resultados detallados del análisis bivariado se muestran en la tabla 18, donde se puede apreciar también la magnitud de estas asociaciones y su significación estadística.

	Longitud de zancada normalizada		Anchura del paso		Proporción anchura-longitud	
	Chi cuadrado	p	Chi cuadrado	p	Chi cuadrado	p
Sexo	31,36	<0,001	1,14	0,286	2,91	0,088
Utiliza gafas	0,84	0,36	0,61	0,436	1,19	0,275
Ve bien	0	0,953	0,27	0,601	0,99	0,32
Enfermedad cardiovascular	1,27	0,26	0,63	0,429	0,33	0,563
Osteoartritis	14,57	<0,001	0,15	0,703	3,54	<b>0,06</b>
Fractura de cadera ( 6 meses)	1,79	0,181	2,64	0,104	20,98	<0,001
Diabetes	5,55	<b>0,019</b>	0,69	0,407	1,91	0,167
EPOC o asma	0,01	0,942	0,79	0,375	0,91	0,34
Nervioso últimas semanas	15,32	<b>0,009</b>	6,03	0,304	18,21	<b>0,003</b>
Tranquilo últimas semanas	129,25	<0,001	212,75	<0,001	18,16	<b>0,006</b>
Caídas en los 6 meses previos	0,75	0,385	0,02	0,88	0,8	0,372
Uso de ayudas técnicas	7,65	<b>0,006</b>	0,09	0,766	3	0,083
Actividad física	17,74	<0,001	6,1	0,107	13,62	<b>0,0035</b>
	<b>Estimador puntual</b>	<b>p</b>	<b>Estimador puntual</b>	<b>p</b>	<b>Estimador puntual</b>	<b>p</b>
Edad	-0,01	<0,001	0,114	<0,001	0,889	<0,001
Fuerza muscular total	0,017	<0,001	-0,202	<0,001	-1,842	<0,001
Fuerza muscular en EEII	0,019	<0,001	-0,2178	<0,001	-1,987	<0,001
Asimetría de la fuerza muscular	-0,028	<0,001	0,0749	0,74	1,642	0,08
Alteración del equilibrio	0,056	<0,001	-0,79	<0,001	-5,806	<0,001
Capacidad funcional basal	-0,052	<0,001	1,136	<b>0,002</b>	5,958	<0,001
Capacidad cognitiva basal	-0,024	<0,001	0,117	<b>0,388</b>	1,7168	<b>0,002</b>
Depresión	-0,039	<0,001	0,249	0,231	2,941	<0,001
Comorbilidad	0,005	0,331	-0,2	0,198	-0,727	0,079
Fármacos que producen caídas	-0,03	<b>0,027</b>	0,016	0,962	1,696	0,219
Polifarmacia	-0,006	<b>0,06</b>	0,051	0,593	0,26	0,398

**Tabla 18. Análisis de la asociación entre los parámetros de la marcha y otras características basales de la muestra**

## **Análisis multivariado de asociación entre los parámetros de la marcha y otras variables basales de la muestra**

Se realizaron diversos modelos multivariantes para estudiar la relación entre las diferentes variables socio-demográficas, de salud, funcionales, cognitivas y afectivas, con los parámetros espaciales de la marcha.

El análisis se realizó por etapas, con modelos independientes para los diferentes grupos de variables estudiadas y finalmente un modelo incluyendo todas las variables relevantes. Todos los modelos multivariantes fueron corregidos por edad y sexo.

### **Modelos multivariados para el estudio de la influencia de la fuerza y el equilibrio en los parámetros espaciales de la marcha**

La anchura del paso en proporción a la longitud de la zancada, resultó fuertemente asociada al equilibrio del individuo, de manera que los individuos con peor equilibrio, según los apartados utilizados de la escala de Tinetti, tenían un paso más corto y ancho. Si se consideran por separado longitud de la zancada y anchura, sólo esta última tuvo importante asociación con el equilibrio. La fuerza y la edad del individuo, también presentaron relación importante con el ancho del paso en proporción a la longitud, pero la asociación fue débil con cada uno de estos parámetros por separado (ancho y longitud). La tabla 19 muestra los resultados de este modelo multivariado.

		<b>Estimador</b>	<b>p</b>	<b>IC 95%</b>	
<b>Longitud de la zancada normalizada</b> (Pseudo R <sup>2</sup> 40.4%)	Fuerza	0,01	<b>&lt;0,001</b>	0,01	0,01
	Equilibrio	0,02	<b>0,001</b>	0,01	0,03
	Edad	-0,01	<b>&lt;0,001</b>	-0,01	-0,01
	Sexo	0,07	<b>&lt;0,001</b>	0,04	0,10
<b>Ancho del paso</b> (Pseudo R <sup>2</sup> 6.1%)	Fuerza	-0,08	0,255	-0,21	0,06
	Equilibrio	-0,56	<b>0,038</b>	-1,08	-0,03
	Edad	0,08	<b>0,043</b>	0,00	0,15
<b>Proporción anchura-longitud</b> (Pseudo R <sup>2</sup> 29.1%)	Fuerza	-1,02	<b>&lt;0,001</b>	-1,57	-0,46
	Equilibrio	-2,99	<b>0,004</b>	-5,00	-0,99
	Edad	0,60	<b>&lt;0,001</b>	0,35	0,84
	Sexo	0,00	0,999	-2,79	2,79

**Tabla 19. Asociación de los parámetros de la marcha con la fuerza y el equilibrio. (Modelo multivariante)**

### **Modelos multivariados para el estudio de la influencia de la capacidad funcional y el grado de actividad física en los parámetros de la marcha**

Los resultados del análisis multivariado en los que se analizaron los parámetros de la marcha junto con la capacidad funcional del individuo (I. Katz) y la frecuencia de su actividad física (apartado relativo a la frecuencia de salir de casa de la escala PASE), mostraron que la anchura del paso y la proporción anchura-longitud, estuvieron fuertemente asociadas con ambas variables. La longitud de la zancada normalizada, sin embargo sólo presentó asociaciones débiles con estas variables. Los resultados detallados de estos modelos multivariantes se muestran en la tabla 20

	Variable	Estimador	p	IC95%	
<b>Long. de la zancada normalizada</b>	Capacidad funcional	-0,02	<b>&lt;0,001</b>	-0,04	-0,01
	Activ. Física: frecuente	0,08	<b>&lt;0,001</b>	0,03	0,12
	Activ. Física: nunca	-0,05	0,241	-0,12	0,03
	Activ. Física: raramente	0,04	0,241	-0,03	0,10
	Edad	-0,01	<b>&lt;0,001</b>	-0,01	-0,01
	Sexo	0,08	<b>&lt;0,001</b>	0,05	0,11
	<b>(Pseudo R<sup>2</sup> 35.1 %)</b>				
<b>Ancho del paso</b>	Capacidad funcional	0,92	<b>0,016</b>	0,18	1,66
	Activ. Física: frecuente	-1,58	0,055	-3,20	0,03
	Activ. Física: nunca	-2,41	<b>0,04</b>	-4,69	-0,12
	Activ. Física: raramente	-0,98	0,321	-2,90	0,95
	Edad	0,09	<b>0,006</b>	0,03	0,16
	<b>(Pseudo R<sup>2</sup> 7.0 %)</b>				
<b>Proporción anchura-longitud</b>	Capacidad funcional	3,83	<b>0,012</b>	0,85	6,82
	Activ. Física: frecuente	-9,63	<b>0,011</b>	-16,99	-2,26
	Activ. Física: nunca	-3,07	0,576	-13,82	7,67
	Activ. Física: raramente	-2,46	0,605	-11,76	6,84
	Edad	0,78	<b>&lt;0,001</b>	0,56	1,01
	Sexo	-1,15	0,447	-4,10	1,81
	<b>(Pseudo R<sup>2</sup> 22.17 %)</b>				

**Tabla 20. Asociación de los parámetros de la marcha con la capacidad funcional y la actividad física (modelo multivariante).**

**Modelos multivariados para el estudio de la influencia en los parámetros de la marcha de: fuerza, equilibrio, capacidad funcional y actividad física**

Cuando se introdujeron las variables de los dos modelos anteriores (fuerza, equilibrio, capacidad funcional y la actividad física) en un único modelo, resultó que la fuerza y el equilibrio explicaron en mayor proporción los resultados de la anchura



en proporción a longitud. Ninguno de los parámetros estudiados tuvo relación importante con la anchura. Una vez considerados todos en conjunto, la longitud normalizada de la zancada sólo tuvo asociaciones débiles con la fuerza, el equilibrio y la actividad física.

Los resultados de este modelo multivariante se muestran a continuación en la tabla 21

	Variable	Estimador	p	IC95%	
<b>Longitud de la zancada normalizada</b>	Fuerza muscular total	0,01	<b>&lt;0,001</b>	0,00	0,01
	Alteración del equilibrio	0,02	<b>0,005</b>	0,01	0,03
	Capacidad funcional	-0,01	0,341	-0,02	0,01
	Activ. Física: frecuente	0,04	<b>0,046</b>	0,00	0,08
	Activ. Física: nunca	-0,05	0,164	-0,12	0,02
	Activ. Física: raramente	0,05	0,105	-0,01	0,10
	Uso de ayudas técnicas	-0,01	0,392	-0,04	0,02
	Edad	-0,01	<b>&lt;0,001</b>	-0,01	-0,01
	Sexo	0,07	<b>&lt;0,001</b>	0,04	0,10
	<b>(Pseudo R<sup>2</sup> 42.7 %)</b>				
<b>Ancho del paso</b>	Fuerza muscular total	-0,06	0,327	-0,19	0,06
	Alteración del equilibrio	-0,48	0,103	-1,05	0,09
	Capacidad funcional	0,37	0,368	-0,43	1,17
	Activ. Física: frecuente	-1,10	0,187	-2,72	0,53
	Activ. Física: nunca	-2,01	0,106	-4,43	0,42
	Activ. Física: raramente	-0,62	0,55	-2,65	1,41
	Edad	0,07	0,053	-0,00	0,15
	<b>(Pseudo R<sup>2</sup> 7.1 %)</b>				
<b>Proporción anchura-longitud</b>	Fuerza muscular total	-0,87	<b>0,001</b>	-1,39	-0,35
	Alteración del equilibrio	-2,70	<b>0,011</b>	-4,77	-0,62
	Capacidad funcional	1,16	0,458	-1,89	4,2
	Activ. Física: frecuente	-4,79	0,133	-11,02	1,44
	Activ. Física: nunca	-0,95	0,865	-11,81	9,92
	Activ. Física: raramente	-1,08	0,813	-10,08	7,92
	Uso de ayudas técnicas	-0,22	0,896	-3,45	3,02
	Edad	0,61	<b>&lt;0,001</b>	0,36	0,86
	Sexo	0,07	0,964	-2,72	2,85
	<b>(Pseudo R<sup>2</sup> 30.7 %)</b>				

**Tabla 21. Asociación de los parámetros de la marcha con variables relacionadas con la función y la movilidad (modelo multivariante)**

**Modelos multivariados para el estudio de la influencia de variables cognitivas y afectivas en los parámetros espaciales de la marcha**

El ancho del paso en proporción a la longitud de la zancada, no presentó relación significativa con ninguna variable cognitiva o afectiva cuando se analizaron estas conjuntamente. Sin embargo, la longitud de la zancada, presentó asociación débil, pero significativa, con la capacidad cognitiva y el estado de ánimo (tabla 22).

	<b>Variable</b>	<b>Estimador</b>	<b>p</b>	<b>IC95%</b>	
<b>Longitud de la zancada normalizada</b>	Capacidad cognitiva	-0,01	<b>0,013</b>	-0,02	-0,00
	Depresión	-0,02	<b>0,002</b>	-0,03	-0,01
	Tranquilo: nunca	-0,05	0,322	-0,03	0,05
	Tranquilo: alguna vez	-0,03	0,257	-0,09	0,04
	Tranquilo muchas veces	-0,02	0,483	-0,13	0,04
	Tranquilo: casi siempre	0,01	0,572	-0,04	0,05
	Tranquilo: siempre	0,01	0,802	-0,07	0,02
	Edad	-0,01	<b>&lt;0,001</b>	-0,01	-0,01
	Sexo	0,06	<b>&lt;0,001</b>	0,03	0,10
		<b>(Pseudo R<sup>2</sup> 34.8 %)</b>			
<b>Proporción anchura-longitud</b>	Capacidad cognitiva	0,67	0,168	-0,28	1,63
	Depresión	1,47	0,076	-0,15	3,09
	Tranquilo: nunca	6,77	0,403	-5,44	3,16
	Tranquilo: alguna vez	-2,25	0,331	-2,11	11,77
	Tranquilo muchas veces	4,83	0,174	-9,09	22,62
	Tranquilo: casi siempre	-1,14	0,603	-7,58	1,22
	Tranquilo: siempre	-3,18	0,157	-6,80	2,29
	Edad	0,82	<b>&lt;0,001</b>	0,62	1,03
	Sexo	-0,09	0,960	-3,45	3,28
		<b>(Pseudo R<sup>2</sup> 20.1 %)</b>			

**Tabla 22. Asociación de los parámetros de la marcha con variables cognitivas y afectivas. (Modelo multivariante)**

**Modelo final para examinar la acción conjunta de todas las variables de salud, función y cognición, en los parámetros espaciales de la marcha**

En este modelo final se incluyeron todos los factores relevantes y además, se hizo una transformación logarítmica de la variable proporción anchura-longitud, para asemejarla a la normalidad (tabla 23).

	Variable	Estimador	IC95%	p	
	Fuerza muscular total	0,01	0,00	0,01	<b>&lt;0,001</b>
	Alteración del equilibrio	0,02	0,01	0,03	<b>0,003</b>
	Edad	-0,01	-0,01	-0,01	<b>&lt;0,001</b>
Longitud normalizada por la altura	Sexo	0,07	0,04	0,10	<b>&lt;0,001</b>
	Activ. Física: frecuente	0,04	0,00	0,08	<b>0,047</b>
	Activ. Física: nunca	-0,04	-0,12	0,03	0,291
	Activ. Física: raramente	0,05	0,05	0,00	0,065
	Depresión	-0,01	-0,01	-0,02	<b>0,04</b>
<b>(Pseudo R<sup>2</sup> 43.5 %)</b>					
	Variable	Estimador	IC95%	p	
Ancho del paso	Equilibrio	-0,79	-1234,00	-0,35	<b>&lt;0,001</b>
	<b>(Pseudo R<sup>2</sup> 4.1 %)</b>				
	Variable	Estimador	IC95%	p	
Anchura-longitud	Fuerza muscular total	-0,06	-0,07	-0,04	<b>&lt;0,001</b>
	Edad	0,027	0,02	0,04	<b>0,003</b>
<b>(Pseudo R<sup>2</sup> 19.0 %)</b>					

**Tabla 23. Asociación de los parámetros de la marcha con otras variables basales de salud. (Modelo multivariante)**

En el modelo final, la fuerza muscular presentó asociación significativa con el parámetro de la marcha que combina longitud normalizada y anchura, después de corregir por el resto de factores estudiados. Sin embargo, cuando se estudiaron la longitud de la zancada y la anchura del paso por separado, esta asociación fue débil en el caso la primera y no significativa en el caso de la anchura del paso. El

equilibrio por su parte, parece afectar fundamentalmente a la anchura del paso, después de la corrección por el resto de factores.

## **Análisis bivariado de la asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y caídas incidentes**

El grupo de participantes con caídas múltiples tras un año, tenía en promedio una longitud de zancada más corta básalmente: 74.0 cm vs 91.4 cm (diferencia de medias: -17.462; CI95% -32.500 -2.424;  $p < 0.05$ ). La anchura del paso basal no fue diferente entre los participantes ancianos que cayeron repetidamente y aquellos que no cayeron o lo hicieron una sola vez (no caedores). Las medias de los parámetros de la marcha, en total y por sexos, del grupo de caedores y no caedores se muestran en la tabla 24.

		<b>Mes 6</b>			<b>Mes 12</b>		
		Caedores	No Caedores	p	Caedores	No Caedores	p
<b>Longitud de la zancada</b>	Total	66,2	90,9	<b>&lt;0,001</b>	74,0	91,4	<b>0,023</b>
	Hombres	67,6	103,4	<b>0,001</b>	68,2	104,1	<b>&lt;0,001</b>
	Mujeres	65,9	81,3	<b>0,006</b>	73,4	81,3	0,519
<b>Longitud normalizada por altura</b>	Total	0,43	0,57	<b>&lt;0,001</b>	0,48	0,57	0,058
	Hombres	0,39	0,62	<b>&lt;0,001</b>	0,40	0,63	<b>&lt;0,001</b>
	Mujeres	0,44	0,53	<b>0,009</b>	0,5	0,53	0,602
<b>Ancho del paso</b>	Total	11,1	10,2	0,444	10,6	10,2	0,675
	Hombres	12,8	10,3	0,276	12,7	10,3	0,230
	Mujeres	10,7	10,0	0,650	10,1	10,0	0,951
<b>Proporción anchura-longitud</b>	Total	27,7	20,8	<b>0,042</b>	25,4	20,3	0,200
	Hombres	29,1	19,0	<b>&lt;0,001</b>	29,0	18,5	<b>&lt;0,001</b>
	Mujeres	27,5	22,2	0,275	24,5	21,7	0,700

**Tabla 24. Diferencia de medias en los diferentes parámetros de la marcha entre el grupo de participantes con múltiples caídas y el resto de la muestra**

El análisis de la varianza mostró que el sexo y el riesgo de caída (estatus caedor vs no-caedor) influían en la longitud de la zancada y en la longitud normalizada de la zancada ( $p < 0.001$ ). El riesgo de caída y el sexo presentaban una interacción positiva en cuanto a su efecto en estos parámetros de la marcha ( $p$  de la interacción = 0.013 para la longitud de la zancada;  $p = 0.006$  para la longitud de la zancada normalizada). La proporción anchura-longitud fue diferente entre los caedores y los no caedores ( $p < 0.001$ ), pero no resultó afectada por el sexo.

La longitud de la zancada normalizada, está fuertemente asociada al número de caídas durante los 6 y 12 primeros meses tras la medida. La odds ratio para caídas recurrentes a los 6 meses fue 0.54 por cada incremento de 0.1 unidades de longitud de zancada normalizada (CI95%: 0.41 - 0.71;  $p < 0.001$ ). La odds ratio para caídas acumuladas en 6 meses fue 0.65 (CI95%: 0.53-0.79;  $p < 0.001$ ), por cada incremento de 0.1 unidades de longitud normalizada. La odds ratio para caídas recurrentes a los 12 meses fue de 0.64 por cada incremento de 0.1 unidades de longitud normalizada (CI95%: 0.39 - 1.05;  $p = 0.07$ ) y 0.63 (CI95%: 0.51-0.79;  $p < 0.001$ ) si se consideran caídas acumuladas en 12 meses.

La tabla 25 muestra la asociación de los parámetros espaciales de la marcha con el número de caídas durante el seguimiento, y con la probabilidad de caer dos ó más veces en el periodo estudiado. El estimador y la OR de la tabla expresa el riesgo o protección asociado a cada incremento de 0.1 unidades de longitud

normalizada, y asociado a cada incremento de 1 unidad en el caso del resto de los parámetros de la marcha.

	Variable	Estimador	p	OR	IC95%	
<b>Caídas acumuladas a los 6 meses</b>	Long. zancada normalizada	-0,43	<0,001	0,65	0,53	0,79
	Ancho del paso	0,10	0,311	1,10	0,92	1,32
	Proporción anchura-longitud	0,03	<0,001	1,03	1,00	1,06
<b>Caídas acumuladas a los 12 meses</b>	Long. zancada normalizada	-4,57	<0,001	0,63	0,51	0,79
	Ancho del paso	0,09	0,31	1,10	0,92	1,31
	Proporción anchura-longitud	0,03	<0,001	1,03	1,00	1,06
<b>Caídas múltiples a los 6 meses</b>	Long. zancada normalizada	-0,61	<0,001	0,54	0,41	0,71
	Ancho del paso	0,05	0,419	1,05	0,93	1,19
	Proporción anchura-longitud	0,03	0,029	1,03	1,00	1,05
<b>Caídas múltiples a los 12 meses</b>	Long. zancada normalizada	-0,45	0,076	0,64	0,39	1,05
	Ancho del paso	0,03	0,666	1,03	0,91	1,16
	Proporción anchura-longitud	0,02	0,092	1,02	1,00	1,05

**Tabla 25. Análisis bivariado de asociación entre los parámetros de la marcha y caídas**

## **Análisis de validez de los parámetros de la marcha para predecir la aparición de caídas múltiples**

La longitud de la zancada normalizada menor de 0.52 predijo caídas recurrentes en los 6 meses siguientes con una sensibilidad del 93% y una especificidad del 53% (AUC: 0.717; CI95%: 0.614-0.823) y caídas recurrentes en el siguiente año con una sensibilidad del 81% y especificidad del 57% (AUC: 0.673; CI95%: 0.559-0.787). Los datos de sensibilidad y especificidad de los parámetros

espaciales de la marcha para predecir caídas reiteradas a los 6 y 12 meses se muestran en la tabla 26.

	Variables	Sensibilidad	Especificidad	P
<b>Caídas múltiples a los 6 meses</b>	Longitud normalizada	0,93	0,53	<0,001
	Ancho del paso	0,75	0,40	0,419
	Prop. anchura-longitud	0,67	0,51	0,028
<b>Caídas múltiples a los 12 meses</b>	Longitud normalizada	0,81	0,57	0,076
	Ancho del paso	0,75	0,39	0,666
	Prop. anchura-longitud	0,33	0,86	0,093

**Tabla 26. Validez de los parámetros de la marcha para la detección de caedores reiterados**

La tabla 27 muestra la probabilidad de caídas recurrentes a los 6 meses y al año, en función de diferentes valores de longitud de zancada normalizada

<b>Longitud de zancada normalizada</b>	<b>Caedores recurrentes (%)</b>	
	Mes 6	Mes 12
0,16	29,5	26,9
0,25	19,6	19,9
0,33	12,5	14,4
0,42	7,7	10,2
0,51	4,6	7,1
0,60	2,7	4,9
0,69	1,6	3,4
0,77	1,0	2,3
0,86	0,6	1,6
0,95	0,3	1,1

**Tabla 27. Probabilidad de caída para diferentes longitudes de zancada normalizada por altura**

## Análisis multivariado para estudiar la asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y caídas incidentes

Se hicieron modelos multivariados incluyendo los otros factores de riesgo importantes de caída. En el caso de la proporción anchura-longitud, se realizó una transformación logarítmica de este parámetro, para asemejarlo a la distribución normal.

La longitud de la zancada normalizada por altura y la proporción anchura-longitud permanecieron en el modelo final como factores importantes e independientemente asociados al riesgo de caer. Los modelos finales multivariados para caídas a los 6 y 12 meses se muestran en las tablas 28 a 31.

	Estimador	p	exp(coefic)	IC95%		
Long. zancada normalizada	-2,07	<b>0,050</b>	<b>0,13</b>	0,02	0,98	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 24,4 %
Depresión	0,56	<b>&lt;0,001</b>	<b>1,75</b>	1,26	2,42	

**Tabla 28. Caídas acumuladas en 6 meses y longitud de la zancada normalizada. Modelo final ajustado.**

	Estimador	p	exp(coefic)	IC95%		
Long. zancada normalizada	-8,65	<b>0,001</b>	0,00	0,00	0,03	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 61,7 %
Fuerza muscular total	0,23	<b>0,014</b>	1,26	1,05	1,50	
Capacidad cognitiva basal	0,99	<b>&lt;0,001</b>	2,68	1,78	4,04	
Depresión	-1,17	<b>0,007</b>	0,31	0,14	0,72	
Comorbilidad	-0,73	<b>0,022</b>	0,48	0,26	0,89	
Polifarmacia	0,50	<b>0,002</b>	1,65	1,21	2,24	

**Tabla 29. Caídas acumuladas en 12 meses y longitud de la zancada normalizada. Modelo final ajustado.**



	<b>Estimador</b>	<b>p</b>	<b>exp(coefic)</b>	<b>IC95%</b>		Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden)
Depresión	0,63	<b>&lt;0,001</b>	1,87	1,37	2,55	21,5 %

**Tabla 30. Caídas acumuladas en 6 meses y proporción anchura-longitud. Modelo final ajustado.**

	<b>Estimador</b>	<b>p</b>	<b>exp(coefic)</b>	<b>IC95%</b>		Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden)
Proporción anchura-longitud	0.93	<b>0,011</b>	2,52	1,26	5,05	
Capacidad cognitiva basal	1,04	<b>&lt;0,001</b>	2,82	1,75	4,53	
Depresión	-0.72	<b>0,046</b>	0,49	0,24	0,98	
Comorbilidad	-0,71	<b>0,023</b>	0,50	0,27	0,90	47.7 %
Polifarmacia	0,42	<b>0,003</b>	1,52	1,16	1,98	

**Tabla 31. Caídas acumuladas en 12 meses y proporción anchura-longitud. Modelo final ajustado.**

## **Análisis bivariado de la asociación entre los parámetros de la marcha y variables relacionadas con la capacidad funcional**

Los participantes que basalmente presentaron discapacidad para cualquiera de las ABVD, tenía una menor longitud de zancada: 80.1 cm vs 90.7 cm (diferencia de medias: -10.6 cm; IC95%:-3.2 a -18.1; p<0.01); y una menor longitud de zancada en proporción a su altura: 0.51 vs 0.57 (diferencia de medias: -0.06; CI95%: -0.02 a -0.10; p<0.01). (Tabla 32)

	Discapacidad SI	Discapacidad No	Dif. de medias	IC95%		p
<b>Longitud zancada</b>	80,1	90,7	-10,6	-3,2	-18,1	0,005
<b>Long. normalizada</b>	0,51	0,57	-0,06	-0,02	-0,10	0,009
<b>Ancho del paso</b>	11,2	10,1	1,1	2,4	-0,2	0,092
<b>Proporción anchura-longitud</b>	26,3	21,0	5,3	10,4	0,3	0,037

**Tabla 32. Diferencia de medias en los diferentes parámetros de la marcha entre el grupo de participantes con discapacidad basal y el resto de la muestra**

Los participantes con discapacidad incidente durante el primer año de seguimiento (cualquier incremento con respecto a Katz = 0), también tenían una longitud de zancada menor 82.3 cm vs 96.7 cm (diferencia de medias: -14.4 cm; CI95%: -6.6 a -22.1;  $p < 0.001$ ); y una longitud de zancada normalizada más corta: 0.52 vs 0.60 (diferencia de medias: -0.08; CI95%: -0.04 a -0.13;  $p = 0.001$ ). El ancho del paso no mostró asociación con la aparición de discapacidad, pero la proporción entre éste y la longitud normalizada de la zancada si fue notoriamente diferente entre el grupo de personas con discapacidad al año y los independientes, y también entre aquellos que desarrollaron discapacidad durante el primer año, con respecto a los que se mantuvieron independientes. (Tabla 33)

<b>Longitud de la zancada</b>						
	Discapacidad SI	Discapacidad NO	Dif de medias	IC		p
Discapacidad (mes 12)	80,5	96,7	-16,1	-9,5	-22,7	<0,001
Discapacidad incidente (mes12)	82,3	96,7	-14,4	-6,6	-22,1	<0,001

<b>Longitud de la zancada normalizada</b>						
	Discapacidad SI	Discapacidad NO	Dif de medias	IC		p
Discapacidad (mes 12)	0,51	0,60	-0,09	-0,05	-0,13	<0,001
Discapacidad incidente (mes12)	0,52	0,60	-0,08	-0,04	-0,13	0,001

<b>Ancho del paso</b>						
	Discapacidad SI	Discapacidad NO	Dif de medias	IC		p
Discapacidad (mes 12)	10,8	9,8	0,9	2,0	-0,2	0,095
Discapacidad incidente (mes12)	10,3	9,8	0,4	1,7	-0,8	0,513

<b>Proporción anchura-longitud</b>						
	Discapacidad SI	Discapacidad NO	Dif de medias	IC		p
Discapacidad (mes 12)	24,5	18,1	6,4	9,7	3,1	<0,001
Discapacidad incidente (mes12)	23,7	18,1	5,6	9,7	1,4	<0,001

**Tabla 33. Diferencia de medias en los diferentes parámetros de la marcha entre el grupo de participantes con discapacidad incidente o prevalente al año y el resto de la muestra.**

El análisis de regresión mostró que el ancho del paso se asocia a la pérdida de función a los 6 meses, y la proporción anchura-longitud, a la pérdida de función al año. La longitud de la zancada normalizada tiene una relación débil con la pérdida de función tanto a los 6 meses como al año. Los datos detallados de los cálculos de asociación bivariada se muestran en la Tabla 34. Para el cálculo del estimador de la regresión y la OR, se consideraron incrementos de 0.1 unidades de longitud de zancada y de 1 unidad, en el caso del resto de parámetros de la marcha.

	Variables	Estimador	p	OR	IC	
<b>Pérdida de función a los 6 meses</b>	Longitud normalizada	-0,01	<b>0,001</b>	0,99	0,98	1,00
	Ancho del paso	0,29	<b>0,006</b>	1,34	1,09	1,64
	Prop. anchura-longitud	0,72	0,227	1,07	0,96	1,21
<b>Pérdida de función a los 12 meses</b>	Longitud normalizada	-0,03	<b>&lt;0,001</b>	0,97	0,96	0,99
	Ancho del paso	0,08	0,176	1,09	0,96	1,23
	Prop. anchura-longitud	0,31	<b>0,001</b>	1,37	1,14	1,64

**Tabla 34. Resultados del análisis bivariado de asociación entre la pérdida de capacidad funcional y los parámetros de la marcha.**

Una zancada normalizada de menos de 0.5 (una longitud de de zancada menor que la mitad de la altura del sujeto) predijo deterioro funcional durante los siguientes 12 meses con una sensibilidad de 79.4%, especificidad de 65.6% y un ABC-ROC de 0.75. La tabla 35 el riesgo anual de deterioro funcional y de dependencia, asociado a diferentes valores de longitud normalizada de la zancada.

Longitud de zancada normalizada	Deterioro funcional (% anual)	Discapacidad incidente (% anual)
0,16	44,9	67,8
0,25	32,5	59,2
0,33	22,2	50
0,42	14,5	40,9
0,51	9,1	32,3
0,60	5,6	24,7
0,69	3,4	18,5
0,77	2	13,5
0,86	1,2	9,7
0,95	0,7	6,9

**Tabla 35. Probabilidad de pérdida de función para diferentes longitudes de zancada normalizada por altura**

## **Análisis bivariado de asociación de otros parámetros basales con variables relacionadas con la capacidad funcional**

De las variables basales estudiadas, las siguientes tuvieron asociación con la pérdida funcional en los 12 primeros meses: edad, sexo, alteración del equilibrio, capacidad funcional basal, depresión y polifarmacia.

La tabla 36 muestra el resultado de los análisis bivariados entre todas las variables basales estudiadas y la situación funcional a los 6 meses y al año. La tabla 37 muestra la relación de estas variables con la pérdida de capacidad funcional a los 6 meses y al año.

	Situación funcional a los 6 meses		Situación funcional a los 12 meses	
	Chi cuadrado	p	Chi cuadrado	p
Sexo	14,97	<0,001	11,93	<0,001
Utiliza gafas	2,95	0,086	1,55	0,21
Ve bien	8,14	0,004	3,76	0,05
Enfermedad cardiovascular	2,71	0,100	0,91	0,34
Osteoartritis	9,17	0,003	2,15	0,14
Fractura de cadera	153,44	<0,001	306,66	<0,001
Diabetes	2,01	0,157	0,01	0,92
EPOC o asma	1,97	0,161	0,62	0,43
Nervioso últimas semanas	17,7	0,003	15,34	0,01
Caídas en 6 meses previos	10,01	0,002	6,87	0,01
Lleva audífono	9,45	0,002	9,92	0,00
Puede oír un programa	1,41	0,235	0,49	0,49
Puede oír al subir volumen	1,72	0,190	0,52	0,47
Actividad física	18,32	<0,001	18,26	<0,001
	Estimador puntual	p	Estimador puntual	p
Edad	0,085	<0,001	0,09	<0,001
Peso	-0,016	0,027	0,013	0,057
ICM	0,0368	0,038	0,01	0,583
Fuerza muscular total	-0,071	<0,001	-0,064	<0,001
Fuerza muscular en EEII	-0,075	<0,001	-0,067	0,002
Asimetría de la fuerza muscular	0,2116	0,002	0,123	0,042
Alteración del equilibrio	-0,372	<0,001	-0,346	<0,001
Capacidad funcional basal	0,566	<0,001	0,47	<0,001
Capacidad cognitiva basal	0,275	<0,001	0,232	<0,001
Depresión	0,325	<0,001	0,265	<0,001
Comorbilidad	0,1302	0,043	0,042	0,002
Fármacos que producen caídas	0,301	0,012	0,271	0,008
Polifarmacia	0,193	<0,001	0,151	<0,001
Uso de ayudas técnicas	0,5284	0,009	0,313	0,129

**Tabla 36. Análisis de las características basales de la muestra y la situación funcional**

	Pérdida de función a los 6 meses		Pérdida de función a los 12 meses	
	Chi cuadrado	p	Chi cuadrado	p
Sexo	-0,16	0,010	4,79	0,03
Utiliza gafas	0,00	0,958	0,35	0,557
Ve bien	0,11	0,736	0,01	0,931
Enfermedad cardiovascular	2,64	0,104	1,24	0,265
Osteoartritis	10,12	0,002	1,82	0,177
Prótesis de cadera	2,26	0,133	4,63	0,031
Diabetes	3,63	0,0568	0,87	0,351
EPOC o asma	1,39	0,238	0,35	0,551
Nervioso últimas semanas	10,28	0,068	10,45	0,064
Caídas en 6 meses previos	3,88	0,049	2,18	0,140
Lleva audífono	1,70	0,193	3,03	0,082
Puede oír un programa	1,08	0,299	0,46	0,500
Puede oír al subir volumen	0,21	0,647	0,23	0,634
Actividad física	3,68	0,298	7,22	0,065
	Estimador puntual	p	Estimador puntual	p
Edad	0,01	0,006	0,04	<0,001
Peso	0,00	0,965	0,00	0,428
ICM	0,02	0,022	0,01	0,588
Fuerza muscular total	-0,01	0,236	-0,03	0,110
Fuerza muscular en EEII	-0,01	0,266	-0,03	0,129
Asimetría de la fuerza muscular	0,04	0,266	0,02	0,710
Alteración del equilibrio	-0,07	0,122	-0,13	0,033
Capacidad funcional basal	-0,14	0,01	-0,18	0,008
Capacidad cognitiva basal	0,04	0,194	0,08	0,091
Depresión	0,09	0,010	0,13	0,006
Comorbilidad	0,01	0,507	0,02	0,620
Fármacos que producen caídas	0,07	0,128	0,15	0,074
Polifarmacia	0,05	<0,001	0,08	<0,001
Uso de ayudas técnicas	0,06	0,127	0,09	0,268

**Tabla 37. Análisis de las características basales de la muestra y la pérdida de función**

## Análisis multivariado de asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y la capacidad funcional

La longitud normalizada de la zancada, resultó ser un marcador de riesgo independiente para la pérdida de capacidad funcional en los 6 y 12 primeros meses. Las tablas 38 a 42 muestran los modelos multivariados finales ajustados para estudiar la capacidad predictiva de los diferentes parámetros de la marcha, con respecto a la capacidad funcional a los 6, 12 y 60 meses de seguimiento y a la pérdida de función a los 6, 12 y 60 meses.

	Variable	Estimador	p	Exp coeficiente	IC95%		
<b>Situación funcional a los 6 meses</b>	Sexo	2,36	0,003	10,62	2,29	49,37	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 61,2%
	Edad	0,06	0,02	1,06	1,01	1,11	
	IMC	0,15	0,008	1,16	1,04	1,30	
	Fuerza muscular total	0,21	<0,001	1,47	1,24	1,74	
	Capacidad funcional basal	2,00	<0,001	7,37	3,91	13,90	
	Comorbilidad	0,21	0,008	1,24	1,06	1,45	
	Caídas en los 6 meses previos	0,80	0,007	2,22	1,26	3,92	
	Variable	Estimador	p	Exp coeficiente	IC95%		
<b>Situación funcional a los 12 meses</b>	Longitud normalizada	-2,06	0,001	0,13	0,04	0,43	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 30,4%
	Edad	0,05	<0,001	1,05	1,03	1,08	
	Capacidad funcional basal	0,29	<0,001	1,33	1,23	1,44	
	Polifarmacia	0,08	0,008	1,08	1,02	1,14	
	Variable	Estimador	p	Exp coeficiente	IC95%		
<b>Situación funcional a los 60 meses</b>	Sexo	-0,52	0,027	0,60	0,38	0,94	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 28,0%
	Edad	0,09	<0,001	1,09	1,06	1,12	
	Alteración del equilibrio	-0,26	<0,001	0,77	0,69	0,86	

**Tabla 38. Resultados de los modelos multivariantes para analizar la relación de la longitud normalizada de la zancada y la situación funcional a lo largo del tiempo.**

	Variable	Estimador	p	
Pérdida de función a los 6 meses	Longitud normalizada	-0,91	<0,001	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 12,8%
	Capacidad funcional basal	-0,24	<0,001	
	Polifarmacia	0,05	0,003	
	Caídas en los seis meses previos	0,19	0,046	
	Variable	Estimador	p	
Pérdida de función a los 12 meses	Longitud normalizada	-1,28	0,001	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 16,7%
	Edad	0,03	<0,001	
	Capacidad funcional basal	-0,35	<0,001	
	Polifarmacia	0,04	0,046	
	Variable	Estimador	p	
Pérdida de función a los 60 meses	Sexo	-0,50	0,039	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 27,0%
	Edad	0,11	<0,001	
	Alteración del equilibrio	-0,54	<0,001	
	Capacidad funcional basal	-0,72	0,022	

**Tabla 39. Resultados de los modelos multivariantes para analizar la relación de la longitud normalizada de la zancada con la pérdida de función a lo largo del tiempo.**

	Variable	Estimador	p	Exp coeficiente	IC95%	
<b>Situación funcional a los 6 meses</b>	Sexo	2,36	0,003	10,62	2,29	49,37
	Edad	0,06	0,02	1,06	1,01	1,11
	IMC	0,15	0,008	1,16	1,04	1,30
	Fuerza muscular total	0,38	<0,001	1,50	1,24	1,74
	Capacidad funcional basal	2,00	<0,001	7,37	3,91	13,90
	Comorbilidad	0,21	0,008	1,24	1,06	1,45
	Caídas en los 6 meses previos	0,80	0,007	2,22	1,26	3,92
	Variable	Estimador	p	Exp coeficiente	IC95%	
<b>Situación funcional a los 12 meses</b>	Edad	0,07	<0,001	1,07	1,05	1,10
	Capacidad funcional basal	0,32	<0,001	1,38	1,26	1,51
	Depresión	0,10	0,048	1,11	1,00	1,23
	Polifarmacia	0,10	<0,001	1,11	1,05	1,17
	Variable	Estimador	p	Exp coeficiente	IC95%	
<b>Situación funcional a los 60 meses</b>	Sexo	-0,52	0,027	0,60	0,38	0,94
	Edad	0,09	<0,001	1,09	1,06	1,12
	Alteración del equilibrio	-0,26	<0,001	0,77	0,69	0,86

**Tabla 40. Resultados de los modelos multivariantes para analizar la relación del ancho del paso con la situación funcional a lo largo del tiempo.**



	Variable	Estimador	p	Exp coeficiente	IC95%		
<b>Situación funcional a los 6 meses</b>	Sexo	2,36	0,003	10,62	2,29	49,37	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 61,2
	Edad	0,06	0,02	1,06	1,01	1,11	
	IMC	0,15	0,008	1,16	1,04	1,30	
	Fuerza muscular total	0,38	<0,001	1,50	1,24	1,74	
	Capacidad funcional basal	2,00	<0,001	7,37	3,91	13,90	
	Comorbilidad	0,21	0,008	1,24	1,06	1,45	
	Caídas en los 6 meses previos	0,80	0,007	2,22	1,26	3,92	
<b>Situación funcional a los 12 meses</b>	Edad	0,07	<0,001	1,07	1,05	1,10	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 30,8
	Capacidad funcional basal	0,25	<0,001	1,29	1,18	1,40	
	Capacidad cognitiva basal	0,09	0,032	1,10	1,01	1,19	
	Polifarmacia	0,12	<0,001	1,12	1,07	1,18	
<b>Situación funcional a los 60 meses</b>	Sexo	-0,52	0,027	0,60	0,38	0,94	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 28,0
	Edad	0,09	<0,001	1,09	1,06	1,12	
	Alteración del equilibrio	-0,26	<0,001	0,77	0,69	0,86	

**Tabla 41. Resultados de los modelos multivariantes para analizar la relación de la proporción anchura-longitud con la situación funcional a lo largo del tiempo.**

	Variable	Estimador	p	
<b>Pérdida de función a los 6 meses</b>	Edad	0,01	0,003	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 15,6
	ICM	0,02	0,014	
	Capacidad funcional basal	-0,26	<0,001	
	Capacidad cognitiva basal	0,07	0,019	
	Polifarmacia	0,05	<0,001	
	Caídas en los 6 meses previos	0,19	0,033	
<b>Pérdida de función a los 12 meses</b>	Edad	0,04	<0,001	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 15,8
	Capacidad funcional basal	-0,31	<0,001	
	Polifarmacia	0,07	<0,001	
<b>Pérdida de función a los 60 meses</b>	Sexo	-0,50	0,039	Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden) 27,0
	Edad	0,11	<0,001	
	Alteración del equilibrio	-0,54	<0,001	
	Capacidad funcional basal	-0,72	0,022	

**Tabla 42. Resultados de los modelos multivariantes para analizar la relación de la proporción anchura-longitud con la pérdida de función a lo largo del tiempo.**

## Análisis bivariado de la asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y mortalidad a los 5 años

La mortalidad global a los 60 meses fue del 22.3% (IC95%:18%-27.8%). Los cambios en todos los parámetros de la marcha estudiados se asociaron a incremento de riesgo de muerte a los 60 meses (tabla 43). En la tabla se muestran el estimador de la regresión y la OR para incrementos de 0.1 unidades de longitud normalizada de zancada y para incrementos de 1 unidad, en el caso del resto de parámetros de la marcha.

Variables	Estimador	p	OR	IC95%	
Longitud normalizada	-0,28	<b>0,018</b>	0,76	0,60	0,95
Ancho	0,08	<b>0,039</b>	1,08	1,00	1,16
Proporción anchura-longitud	0,03	<b>&lt;0,001</b>	1,03	1,01	1,05

**Tabla 43. Asociación entre los parámetros de la marcha y la mortalidad a los 60 meses**

### Diferencia de medias de mortalidad

Como se muestra en la tabla 44, la media de la proporción anchura-longitud fue significativamente diferente entre fallecidos y supervivientes: 30.0 vs 20.2 (diferencia de medias: 9.9; CI95% 17.0 to 2.7;  $p < 0.01$ ), no siendo significativa la diferencia de medias de los dos parámetros por separado (anchura y longitud de la zancada).

Variables	Defunción SI	Defunción NO	Dif de medias	IC	p	
Longitud zancada	82,0	91,8	-9,8	3,4	-23,0	0,147
Longitud normalizada	0,51	0,57	-0,07	0,01	-0,14	0,087
Ancho del paso	11,4	10,1	1,3	2,8	-0,2	0,093
Ancho en proporción a la longitud	30,0	20,2	9,9	17,0	2,7	<b>0,007</b>

**Tabla 44. Diferencia de medias en los diferentes parámetros de la marcha entre el grupo de participantes que fallecieron a los 5 años y el resto de la muestra**

## **Análisis multivariado de asociación entre los parámetros espaciales de la marcha con mortalidad a los 5 años**

De las características basales estudiadas, las siguientes resultaron asociadas a la muerte durante los 5 primeros años: edad ( $p < 0.001$ ), fuerza muscular ( $p < 0.01$ ), alteración del equilibrio ( $p < 0.01$ ), capacidad funcional basal ( $p < 0.01$ ), capacidad cognitiva basal ( $p < 0.01$ ) y depresión ( $p < 0.05$ ).

Dada la influencia del sexo sobre la mortalidad, se construyeron modelos multivariantes separados para cada sexo, en los que, además de las variables arriba citadas, se introdujo el IMC, algunas enfermedades crónicas (diabetes, EPOC, enfermedad cardíaca), comorbilidad, polifarmacia y la presencia de caídas. Se observó que ninguno de los parámetros de la marcha estudiados, predijo la presencia de mortalidad a los 5 años, de forma independiente con respecto a los otros factores de riesgo estudiados.

La tabla 45, muestra el modelo final de predicción de mortalidad en hombres y la tabla 46, muestra el modelo final de predicción de mortalidad en mujeres

<b>Variables</b>	<b>Estimador</b>	<b>p</b>	<b>OR</b>	<b>IC95%</b>	
ICM	-0,16	0,029	0,85	0,74	0,98
Patología cardiaca	-1,26	0,039	0,29	0,09	0,93

(Pseudo R<sup>2</sup> 8.44 %)

**Tabla 45. Resultados del análisis multivariado para mortalidad en hombres**

<b>Variables</b>	<b>Estimador</b>	<b>p</b>	<b>OR</b>	<b>IC95%</b>	
Edad	0,20	<0,001	1,22	1,13	1,33
Alteración del equilibrio	-0,59	<0,001	0,55	0,43	0,71
Cognición (Pfeiffer)	0,29	0,014	1,34	1,06	1,69

(Pseudo R<sup>2</sup> 33.1 %)

**Tabla 46. Resultados del análisis multivariado para mortalidad en mujeres**

# Discusión

## Parámetros normales de la marcha de los ancianos

En este trabajo hemos reportado los límites normales de los parámetros espaciales de la marcha de los ancianos españoles, cuando ésta se mide en su domicilio, y hemos estudiado su asociación con otras variables relacionadas con la salud de los ancianos.

La longitud de la zancada está relacionada con la altura de la persona y la anchura del paso está inversamente relacionada con la longitud de la zancada. Teniendo en cuenta estos datos, hemos estudiado los límites de la longitud de la zancada normalizada por altura, y construido un nuevo índice que representa la proporción entre la anchura del paso y la longitud de la zancada normalizada (proporción anchura-longitud), siendo lo normal que este índice sea bajo (pasos estrechos en proporción a su longitud).

La longitud de la zancada es menor en el grupo de individuos más ancianos y en las mujeres, mientras que la anchura del paso se vuelve mayor con la edad, no siendo afectada por el sexo. Se han detectado interacciones positivas en la influencia del sexo y la edad sobre la longitud de la zancada, pero no en su influencia sobre la longitud de la zancada normalizada. Ello puede suponer que la interacción sexo-edad está mediada por la altura de los individuos, y subraya la importancia de normalizar la longitud de la zancada por la altura o por la longitud de la pierna. Como se mencionó en la introducción, algunos autores no defienden la normalización de la longitud de la zancada, pues creen difícil interpretar sus resultados.<sup>17</sup> Nosotros sin embargo pensamos, que la comparación de la longitud de

la zancada con la altura del individuo es una medida bastante intuitiva, considerando que la mayoría de los ancianos tienen una longitud de zancada que es algo mayor que la mitad de su altura. Para los resultados que suponen incremento de riesgo por unidad de la variable (como el riesgo relativo o la odds ratio), si recomendamos usar 0.1 unidades de longitud normalizada de zancada, ya que esta varía aproximadamente entre 0.1 y 1 (en órdenes de magnitud), por lo que los incrementos en una unidad no tienen correlato biológico (de forma similar a los cálculos que se hacen con la velocidad de la marcha, cuando ésta se mide en metros/segundo).<sup>151</sup>

Los parámetros espaciales de la marcha han sido medidos por otros autores, en diversos estudios, aunque no hemos encontrado ninguno en el que se mida la marcha en condiciones reales, en el domicilio o espacios no amplios. Hollman et al. midieron la marcha de 249 ancianos (mayores de 70 años) en un centro de investigación y encontraron una longitud de zancada de  $131\pm 17$  cm para los hombres mayores de 80 años (n 37) y  $111\pm 14$  cm para las mujeres mayores de 80 años (n 43). La longitud de zancada fue menor para los mayores de 85 años:  $119\pm 21$  en los hombres; (n 14) y  $109\pm 18$  en las mujeres (n 33). En este estudio, la media de la anchura del paso osciló entre los 7.9cm y 11.2cm para estos grupos de edad y sexo.<sup>190</sup> Verlinden et al. encontraron una longitud de zancada promedio de 129.8 cm (DE17cm) y una anchura de 10.1 cm (DE4.0), en una muestra de 1500 personas mayores de 60 años, en Holanda (la altura media de los sujetos era de 168.5cm).<sup>56</sup> Por su parte Oh-Park et al, que no midieron la anchura del paso, encontraron una longitud de zancada algo menor (109.9 cm; DE 20.2), en su muestra de 834 ancianos estadounidenses mayores de 70 años. Al igual que nosotros, estos autores reportan además, una clara disminución de la longitud de zancada en función de la edad y sexo, siendo en mujeres mayores de 85 años de 98.8cm.<sup>191</sup> Por último, en Alemania, Thaler-Kall et al. reportaron una longitud de

zancada de 117.2 cm (DE 17.8 cm) anchura 9.15 cm (3.26 cm).<sup>115</sup> Todos estos trabajos se realizaron usando el *electronic walkway* GAITRite®<sup>51</sup>, y fueron realizados en laboratorios de la marcha o en amplias dependencias de centros médicos o de investigación.

La anchura del paso resultante de nuestro estudio está en el rango de la reportada por los otros autores, sin embargo, nuestra longitud de zancada promedio es la menor de todos los trabajos que hemos encontrado. Cabe pensar que la disminución de la longitud de la zancada pueda estar relacionada con el método de impresión de pisadas con tinta, sin embargo, esto no parece probable, pues los métodos electrónicos usados en los anteriores trabajos, fueron validados usando métodos de impresión de pisadas como comparación<sup>51</sup>, por lo tanto no han de ser más válidos aquellos que éstos. Además, en este trabajo se ha sido especialmente cuidadoso en el control de calidad del método de medida, eliminando de la muestra toda aquella marcha sospechosa de no ser natural o estar artefactada por el método. Por tanto, parece más probable, que la razón de la corta longitud de la zancada encontrada en este estudio, obedezca a que la medición fue hecha en espacios reales del domicilio, a la mayor edad media de nuestra muestra (más de la mitad de la muestra tenía 80 ó más años) y a la menor altura de la población española, con respecto a la de los otros países donde se han realizado los estudios.

La marcha cambia, según la amplitud del espacio donde se camina. En espacios estrechos o cortos, varios parámetros de la marcha pueden ser diferentes que en espacios amplios.<sup>192-194</sup> Por esta razón, los estudios de marcha hechos en laboratorio, generalmente no reproducen bien la marcha normal para espacios angostos. El domicilio de las personas ancianas con frecuencia es un espacio estrecho en comparación con un laboratorio de marcha y es precisamente en su domicilio, donde los ancianos caminan la mayoría del tiempo. Así, los estudios de

marcha sobre ancianos, deberían realizarse en el propio domicilio, o en condiciones similares a las del domicilio, para poder capturar bien la marcha que realmente realizan los ancianos en su vida diaria. Además, una proporción no despreciable de la población más anciana puede tener dificultades para abandonar su domicilio, por razones de salud, movilidad o confort. Ello implica, que los estudios sobre población anciana realizados fuera del domicilio (y que conllevan un desplazamiento), pueden tener un sesgo de selección, dejando fuera de la muestra, precisamente a las personas más ancianas, o a las que peor caminan. Por estas razones, es importante que los estudios de marcha se realicen incluyendo a las personas de mayor edad, si es posible en su propio domicilio, para alcanzar a representar mejor la marcha real de esta población, en su espacio habitual. La medición de la marcha en el domicilio, es también de especial interés de cara a la potencial aplicación de los resultados en la práctica clínica, donde con frecuencia no se dispone amplios espacios de los laboratorios de marcha.

Hasta donde nosotros sabemos, no hay estudios que hayan medido la marcha de una muestra de población anciana y muy anciana, en su propio hábitat, por lo que los parámetros espaciales de la marcha anteriormente reportados, corresponden quizás a los de la población anciana más vigorosa, que ha podido abandonar su casa para participar en dichos estudios, y posiblemente son similares a los parámetros de la marcha que estas personas ejecutan en la calle, donde el espacio es tan amplio, como el de los laboratorios de marcha.

Respecto a los problemas de comparación de poblaciones de diferente altura, se podrían solventar mediante la comparación de la longitud normalizada de la zancada. Sin embargo, a pesar de la gran dependencia de la longitud de zancada de la altura del individuo, la longitud normalizada de zancada se ha reportado en muy pocos estudios. Entre los estudios arriba citados sólo Thaler-Kall et al reportan



una longitud de zancada normalizada, que aunque no lo especifican los autores en el texto, posiblemente esté normalizada con respecto a la longitud de la pierna, no con respecto a la altura del individuo, por lo que no es directamente comparable con los datos de esta tesis.

## **Asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y otras variables relacionadas con la función de los ancianos**

En este trabajo se observa, que la longitud de la zancada, además de ser influida por la edad y el sexo, está relacionada con la actividad física, el equilibrio y la fuerza, mientras que la anchura del paso parece estar únicamente asociada con el equilibrio. Es interesante señalar, que la depresión permaneció en el modelo final de la longitud normalizada de zancada, débilmente asociada a ésta. Esto no es un resultado sorprendente, ya que las características de la marcha de los pacientes deprimidos, se han reportado previamente como claramente diferentes de las de controles normales, y mejoran con el tratamiento de la depresión.<sup>195</sup>

No hemos encontrado otros trabajos que estudien la relación entre la anchura del paso o la longitud de la zancada y variables de movilidad o función tales como la fuerza muscular, el equilibrio, la capacidad funcional o la actividad física en ancianos. Así, este parece un aspecto original de esta tesis, que puede ayudar a entender mejor, la relación existente entre la forma de caminar, y ciertas alteraciones que repercuten en la movilidad de los ancianos.

Tampoco hemos podido encontrar una descripción anterior de la proporción anchura-longitud en población anciana, lo que puede suponer otra aportación

original. Merece la pena mencionar que este parámetro compuesto (proporción anchura-longitud), es muy diferente entre grupos de edad, representando bien los cambios globales de la edad en los parámetros espaciales de la marcha (marcha senil). Este parámetro está asociado a la fuerza muscular también, por lo que podría ser un potencial marcador de fragilidad, de hecho, en nuestros análisis prospectivos resulta ser un marcador de riesgo independiente de caídas, si bien no de deterioro funcional o mortalidad, por lo que su papel en la fragilidad, está por aclarar.

## **Asociación entre los parámetros espaciales de la marcha y las caídas**

Este estudio prospectivo, sobre una muestra de ancianos, en los que se examinaron los parámetros espaciales de la marcha, ha puesto de manifiesto que existe una asociación entre la longitud de la zancada y el riesgo de caer, de manera que las personas con paso más corto, tienen más riesgo de caídas durante el siguiente año. La longitud de la zancada, conserva dicha capacidad predictiva, a pesar de corregir por un gran número de factores asociados al riesgo de caer. Además, la longitud de la zancada, es un parámetro sensible para la detección de personas con riesgo de caída repetida, que como tal, podría ser de utilidad, para la confección de instrumentos de detección de riesgo. Por otra parte, no los resultados no han puesto de manifiesto que exista relación entre la anchura del paso y el riesgo de caída de los ancianos.

Aunque existen varios estudios de casos y controles que han examinado la asociación de las caídas con la longitud del paso o de la zancada (la longitud de la zancada es el doble de la longitud del paso), hemos encontrado muy pocos estudios

prospectivos que hayan analizado la asociación entre la longitud del paso y el riesgo de caída en población anciana.<sup>196</sup> Callisaya et al. encontraron en su cohorte de 176 ancianos, que la aparición de caídas múltiples se asoció a una menor *walk-ratio* (pasos más cortos, cadencia más rápida), cuando los participantes caminaban rápido o cambiaban de marcha normal a rápida.<sup>197</sup> Por su parte, Koski et al. estudiaron factores de riesgo independientes para caídas con lesión, en una cohorte de 979 ancianos de Finlandia; estos autores encontraron que la longitud de paso disminuida era un factor predictor de caída con lesiones, aunque sólo en las mujeres<sup>198</sup>. Scott et al. no encontraron asociación entre los parámetros de la marcha y las caídas en su cohorte de 175 mujeres con alto riesgo de fractura de cadera, pero encontraron que el incremento de la longitud del paso y de la velocidad de la marcha a lo largo del tiempo, protegían respecto a la aparición de caídas recurrentes (siendo la magnitud de la protección mayor para la longitud del paso que para la velocidad de la marcha).<sup>199</sup>

Únicamente hemos podido encontrar un estudio prospectivo como el nuestro, en el que los autores midieran la marcha a ritmo normal y en población general.<sup>200</sup> En este estudio, Verghese et al. midieron la marcha de 597 adultos mayores de 70 años, usando el GaitRite<sup>51</sup>, y encontraron que la longitud de la zancada era un predictor débil de caídas, después de ajustar por variables sociodemográficas (sexo, edad y nivel de estudios). No obstante, la longitud de la zancada perdió su capacidad predictiva cuando se introdujeron en el modelo otras variables de salud.

En cambio, nosotros hemos encontrado una fuerte e independiente asociación entre el riesgo de caída y la longitud de la zancada, después de corregir por un gran número de factores de salud. La diferencia más importante entre los dos estudios, es que nosotros hemos realizado el estudio en la casa de los ancianos participantes, minimizando el sesgo de selección que supone tener que salir de casa

para realizar el registro de la marcha en una clínica o laboratorio de la marcha. De hecho, hasta donde nosotros sabemos, éste es el primer trabajo en el que se registran los parámetros espaciales de la marcha en casa.

Por si sola, la longitud de la zancada tiene además cierta validez predictiva, siendo un parámetro altamente sensible para detectar a las personas con riesgo de caída en los 6 primeros meses (son muy pocos los caedores que dan negativo en el test), si bien su especificidad es mejorable (la mitad de los que no van a tener caídas, también tienen corta la longitud de la zancada). Por ello, la longitud del paso o de la zancada puede tener utilidad en la clínica como primer test de cribado, o en combinación con otros marcadores de riesgo de caída. Conviene tener en cuenta además, que la longitud del paso es un parámetro muy fácil de medir en la práctica clínica, pues para calcularla basta con contar el número de pasos dados para recorrer una distancia conocida.

No hemos encontrado tampoco estudios prospectivos sobre población general, que estudien la relación entre la anchura del paso y el riesgo de caer. Por tanto, nuestros resultados negativos tienen su importancia, pues contribuyen a descartar la medida del ancho del paso como instrumento útil en la práctica clínica, pues además es laboriosa de obtener. Scott et al. sí estudiaron la anchura del paso en su cohorte de mujeres con riesgo de fractura, pero al igual que nosotros tampoco ellos encontraron asociación relevante con la aparición de caídas, en este grupo de población.<sup>199</sup>

No hemos encontrado otros trabajos que estudien la relación entre la anchura del paso y la longitud de la zancada. Este interesante parámetro parece independiente del sexo, y se asocia a caídas incidentes, también de forma independiente de otros factores de riesgo de caída conocidos.

Nosotros no hemos medido la velocidad de la marcha, aunque el riesgo de caída asociado a ella ha sido muy estudiado por otros autores, con resultados conflictivos.<sup>149,153</sup> Aunque es difícil comparar, no parece que la capacidad predictiva de la longitud de la zancada, sea inferior a la de la velocidad de la marcha. De hecho, la capacidad predictiva para caídas, de la velocidad de la marcha, ha sido recientemente reportada como inferior a lo esperado, e inferior a la que nosotros hemos encontrado para la longitud de la zancada (AUC 0.50 para caídas y AUC 0.59 para caídas recurrentes al año; de acuerdo con el texto del artículo, los resultados no fueron mejores para las estimaciones a los 6 meses).

## **Asociación de la capacidad funcional y la mortalidad de los ancianos, con los parámetros espaciales de la marcha**

En este estudio prospectivo sobre personas ancianas, en las que se mide la marcha normal en su propio domicilio, se aprecia que tanto la longitud de la zancada, como la anchura del paso, son variables predictoras de discapacidad en un año, para las actividades básicas de la vida diaria (ABVD). Además, la longitud de la zancada, mantiene esta capacidad predictiva, incluso después de corregir por un gran número de factores relacionados con la capacidad funcional, siendo incluso independiente de la propia capacidad funcional basal del individuo (I. Katz basal). Según los resultados del estudio, los parámetros de la marcha también son indicadores de riesgo de muerte a los 5 años, si bien esta asociación no es independiente de otros factores de riesgo conocidos de mortalidad en los ancianos.

Se ha demostrado repetidamente la asociación de la velocidad de la marcha en personas mayores, con la aparición de discapacidad y mortalidad. En un reciente estudio, un análisis balanceado de 7 estudios y 27220 ancianos de la comunidad, demostró que la velocidad de la marcha predice dificultades de movilidad, dependencia para baño, vestido, discapacidad en general y mortalidad a los 3 años.<sup>151</sup>

La longitud de la zancada está relacionada con la velocidad de la marcha [23] y con la fuerza muscular, y es muy fácil de medir, pues como se ha mencionado antes, puede ser calculada, contando los pasos para recorrer una distancia conocida. Por tanto, es posible que tenga gran utilidad en clínica e investigación, como marcador de eventos adversos de salud. Sin embargo, apenas hay investigaciones que hayan indagado la capacidad predictiva de la longitud del paso, para la aparición de eventos adversos de salud.

En un estudio prospectivo, la longitud del paso demostró predecir discapacidad para deambular (caminar media milla), en una muestra de personas ancianas, si bien esta predicción no pareció añadir nada a la medida de la velocidad de la marcha, con la que era co-lineal.<sup>201</sup>

Hasta donde nosotros sabemos, sólo dos estudios prospectivos han estudiado la relación entre la longitud del paso, la discapacidad para ABVD y la mortalidad. Wao et al midieron la longitud del paso en una muestra de población china, contando los pasos dados para caminar una distancia de 18 pies (5.5 metros aproximadamente).<sup>202</sup> En este estudio, la longitud del paso no sólo resultó ser predictora de discapacidad para ABVD a los 36 meses (medida mediante el índice de Barthel<sup>203</sup>), sino que además lo fue de manera independiente de la velocidad de la marcha. Hirsch et al. por su parte, encontraron que los cambios en el tiempo en el

número de pasos necesarios para andar una distancia de 4.6 metros, eran predictivos de dependencia y mortalidad, de forma independiente de la velocidad de la marcha. Sin embargo, ninguno de estos estudios midió la anchura del paso, y el método usado para medir la longitud de la marcha pudo tener un error considerable, al basarse en la cuenta de pasos durante una distancia relativamente corta para tal método (la cuenta de pasos siempre tiene al menos el último paso como error, error que es proporcionalmente grande, si la distancia del recorrido es pequeña). Además, ambos estudios incluyeron un número limitado de co-variables en sus modelos, como reconocen Hirsch et al en la discusión de su artículo, lo que hace difícil descartar la presencia de factores confusores que puedan haber afectado a los resultados. En cualquier caso, la ahora confirmada asociación entre la longitud de la zancada y la discapacidad incidente, induce a pensar que la longitud de la zancada es un marcador de fragilidad independiente; hecho que debería confirmarse en futuros estudios que incluyan otros indicadores de fragilidad y más eventos de salud relacionados con este síndrome.

La anchura del paso es más difícil de registrar y requiere de técnicas laboriosas como la impresión de pisadas, aquí usada, o sistemas tecnológicos costosos, que además no son prácticos para medir la marcha en domicilio. Si bien este parámetro es un indicador de discapacidad futura, es verdad que no lo es de manera independiente de parámetros como la edad o la situación funcional basal, que están más fuertemente asociados a la ocurrencia de efectos adversos de salud. Quizás por eso, tampoco la proporción anchura-longitud, sirve para predecir pérdida funcional, mejor que la longitud del paso.

No hemos podido encontrar ningún estudio en la bibliografía, que haya examinado nunca el efecto del ancho del paso en la capacidad funcional futura, por

ello, aunque nuestros resultados son negativos, son novedosos y no dejan de ser relevantes, por descartar razonablemente esta asociación no testada.

## **Limitaciones**

La tasa de respuesta inicial no es especialmente baja, considerando las características del estudio, y está en línea con la de estudios similares (Woo et al<sup>202</sup>). Sin embargo, a la falta de respuesta inicial hay que sumar la exclusión posterior de los pacientes que no podían caminar, y la debida al riguroso control de calidad de la prueba de la marcha, en el que se excluyó toda prueba sospechosa de estar artefactada. La suma de todas estas pérdidas es sustancial, y por tanto podría comprometer la generalidad de las observaciones del estudio, lo cual supone una limitación. Hay que decir sin embargo, que el tamaño muestral final ha sido suficiente para estimar con razonable precisión los parámetros de la marcha y encontrar asociaciones significativas con otros factores. Hay que tener en cuenta también que realizar estudios que incluyan la anchura del paso, es laborioso y/o precisa de medios tecnológicos, por lo que, aun con todas las pérdidas de muestra, este estudio sigue siendo uno de los de mayor tamaño llevados a cabo en este campo.

Otra limitación del estudio es que el hecho de que la velocidad de la marcha no fue medida. Así pues, aunque habría sido interesante, no es posible realizar comparaciones directas entre la capacidad predictiva de la velocidad de la marcha y la longitud del paso. De todas formas, y aunque es difícil establecer equivalencias, el riesgo relativo para deterioro funcional, por cada incremento de 0.1 m/s de velocidad de la marcha, no parece superior al riesgo encontrado aquí para



incrementos de 0.1 unidades de zancada normalizada<sup>151</sup>, y como se ha mencionado antes, lo mismo sucede con la capacidad predictiva para caídas.<sup>153</sup> De hecho, Woo et al. sí hicieron comparaciones directas entre la capacidad predictiva de la velocidad de la marcha y la longitud del paso para discapacidad y mortalidad, siendo superior la capacidad predictiva de la longitud del paso en sus resultados.<sup>202</sup>

El seguimiento de la incidencia de caídas, mediante control telefónico trimestral, es suficientemente espaciado como para que haya podido aparecer un sesgo de memoria.<sup>204</sup> Este sesgo consiste en que los ancianos olvidan algunas de sus caídas, especialmente las que no tienen consecuencias. Sin embargo, creemos que este sesgo no ha jugado un papel muy relevante en este caso, pues la incidencia global de caídas medida en esta cohorte y publicada anteriormente<sup>131</sup>, es muy similar a la publicada en otros muchos estudios de caída, algunos de ellos con métodos más exhaustivos de registro.<sup>125,205-207</sup>

# Conclusiones

- La longitud de la zancada del 95% de los ancianos, cuando caminan en su domicilio, se encuentra entre 36 y 141 cm. El 99% de los ancianos tiene una longitud de zancada entre 21 y 56 cm.
  - Las mujeres ancianas tienen una longitud de zancada más corta que los varones.
  - Los ancianos de mayor edad tienen un paso más corto que los ancianos más jóvenes.
- La longitud de la zancada normalizada por altura del 95% de los ancianos se encuentra entre 0,25 y 0,86. El 99% de los ancianos tiene una longitud normalizada de zancada entre 0,16 y 0,95.
  - Las mujeres ancianas tienen una longitud normalizada de zancada más corta que los varones.
  - Los ancianos de mayor edad tienen menor longitud normalizada de zancada que los ancianos más jóvenes.

- La anchura del paso del 95% de los ancianos, cuando caminan en su domicilio se encuentra entre 2 y 19 cm. El 99% de los ancianos tiene una anchura de paso entre -1 y 22 cm.
  - Los ancianos de mayor edad tienen un paso más ancho que los ancianos más jóvenes.
  
- La proporción entre la anchura del paso y la longitud normalizada de zancada es inferior a 55, en el 95% de los ancianos.
  - En comparación con los ancianos más jóvenes, los ancianos de 80 y más años tienen un paso marcadamente más ancho, en relación a la longitud de su zancada.
  
- El equilibrio afecta fundamentalmente a la anchura del paso de los ancianos, de manera que los ancianos con peor equilibrio, dan pasos más anchos.
  
- La anchura del paso sin embargo, no parece estar relacionada con el riesgo de caída de los ancianos, ni tampoco con su situación funcional o el riesgo de desarrollar dependencia.

- La fuerza muscular afecta fundamentalmente a la relación entre la anchura y la longitud del paso de los ancianos, de manera que los ancianos con más fuerza caminan con pasos más estrechos y largos.
- Las personas con pasos anchos, en relación a la longitud normalizada de su zancada, tienen más riesgo de caída, y este riesgo no parece dependiente de ninguno de los otros factores estudiados.
- Las personas con paso más ancho en proporción a la longitud de su zancada también tienen peor capacidad funcional. Esta última variable, la capacidad funcional en el momento de la medida, parece explicar la relación aparente de la proporción anchura-longitud normalizada, con la pérdida de función posterior.
- La longitud de la zancada está débilmente asociada a múltiples factores relacionados con la movilidad del anciano, tales como la fuerza, el equilibrio, la capacidad funcional o el grado de actividad física (frecuencia de salir fuera de casa).
- La longitud de la zancada está independiente asociada a la aparición de caídas y deterioro funcional y tiene por sí misma cierta validez predictiva para anticipar estos dos eventos, por lo que puede ser de interés clínico para la detección de ancianos en riesgo de padecer estos eventos adversos.

- Tanto una longitud normalizada de zancada corta, como un paso ancho, o ancho en relación a la longitud de la zancada, tienen asociación estadística con la mortalidad en los siguientes 5 años; si bien esta asociación es débil y parece estar mediada por otros factores de salud estudiados.

# Líneas de futuro

La marcha es en realidad un fenómeno complejo, afectado por múltiples factores relacionados con la salud. La valoración de la marcha ha sido siempre un componente fundamental de la exploración física, dada la importante información que aporta a los profesionales de la salud respecto a sus pacientes. Algunos de los parámetros de la marcha son de fácil registro, sin necesidad de usar medios complejos, y posiblemente sirven para ayudar a detectar personas con riesgo de padecer eventos negativos, que por tanto son subsidiarias de una intervención correctora.

La longitud normalizada de la zancada ha resultado ser un buen predictor de caídas y deterioro funcional en este trabajo de tesis, si bien queda por desentrañar mejor su relación con la velocidad de la marcha, previamente conocida por su capacidad predictiva para eventos relacionados con el síndrome de fragilidad. Aunque esta tesis se ha centrado en el estudio de los parámetros espaciales de la marcha, la base de datos de esta cohorte de ancianos incluye filmaciones de la marcha de todos los participantes, por lo que es posible en un futuro, extraer datos de la velocidad de la marcha, que permitan realizar un estudio detallado de su relación con la longitud de la zancada.

Hasta donde nosotros sabemos, en este trabajo se han descrito por primera vez las características, asociaciones y propiedades predictivas de un nuevo parámetro compuesto, que pone en relación la anchura del paso y la longitud de la

zancada. Es interesante la relación de esta variable con las caídas futuras y su asociación con la fuerza muscular. Ambas observaciones relacionan al parámetro con el síndrome de fragilidad, por lo que sería importante profundizar en el estudio de este parámetro en futuros estudios que incluyan otros eventos adversos de salud entre sus resultados.

La hospitalización y la institucionalización son también eventos de salud asociados con la fragilidad, que sería interesante poner en relación con la forma de caminar de los ancianos. De nuevo, aunque ha quedado fuera del ámbito de la tesis, hay datos sobre hospitalización y el uso de recursos asistenciales en la base de datos de esta cohorte de ancianos, que podrán analizarse en un futuro. Respecto a la institucionalización, es interesante señalar, que no ha habido eventos suficientes en 5 años de seguimiento, como para poder estudiar este resultado. Éste es sin embargo uno de los grandes eventos a analizar e intentar prevenir en la población anciana y previsiblemente está muy relacionado con la forma de caminar. Tendrá que averiguarse pues en futuros estudios, si la sola observación de la marcha, puede alertar a los sanitarios, sobre cuáles de sus ancianos pueden terminar institucionalizados con mayor probabilidad.

La detección de las personas en riesgo no tiene sentido, si no es para implementar medidas que disminuyan la frecuencia de los eventos negativos indeseables. En general, en geriatría son necesarios más estudios que indiquen a los profesionales, qué medidas corrigen el riesgo de padecer dichos eventos negativos. Será interesante comprobar, si estas medidas, también modifican los marcadores de riesgo que hemos detectado en la marcha, en este trabajo de tesis.

# Bibliografía

1. Pheasant, S. T. A Review of: ' Human Walking '. By V. T. Inman, H.J. Ralston and F. Todd. (Baltimore, London: Williams & Wilkins, 1981.) [Pp.154.]. *Ergonomics* **24**, 969–976 (1981).
2. Viladot Pericé, A. 1922-2001. *Quince lecciones sobre patología del pie*. (Masson, 2002).
3. Núñez-Samper, M. & Llanos Alcázar, L. F. *Biomecánica, medicina y cirugía del pie*. (Masson, 2007).
4. Winter, D. A. The locomotion laboratory as a clinical assessment system. *Med. Prog. Technol.* **4**, 95–106 (1976).
5. Smitd, G. in *Gait in Rehabilitation. Clinics in Physical Therapy* 1–19 (Churchill Livingstone, 1990).
6. SMITH, K. U., McDERMID, C. D. & SHIDEMAN, F. E. Analysis of the temporal components of motion in human gait. *Am. J. Phys. Med.* **39**, 142–51 (1960).
7. Lasserson, D., Sharrack, B., Gabriel, C. & Horton-Szar, D. *Sistema nervioso y sentidos especiales*. (Harcourt Brace, 1998).
8. Plas, F., Viel, E., Blanc, Y. & Plaja Masip, J. *La Marcha humana : cinesiología dinámica, biomecánica y patomecánica*. (Masson, 1984).
9. Leavitt, L. A., Zuniga, E. N., Calvert, J. C., Canzoneri, J. & Peterson, C. R. Gait analysis of normal subjects. *South. Med. J.* **64**, 1131–8 (1971).
10. Viladot Pericé, R., Cohí Rimbau, O. & Clavell Paloma, S. *Ortesis y prótesis*



- del aparato locomotor.* (Masson, 2005).
11. Elftman, H. Forces and energy changes in the leg during walking. *Am J Physiol* **125**, 339–356 (1939).
  12. Shaffer, D. R. (David R. *Psicología del desarrollo: infancia y adolescencia.* (Thomson, 2000).
  13. Gesell, A. *El niño de 1 a 4 años.* (Paidós, 1967).
  14. Comellas, M. J. & Perpinyà i Torregrosa, A. *La psicomotricidad en preescolar.* (Ceac, 1984).
  15. Natanson, J. *Aprender jugando: una guía para padres durante los primeros cinco años.* (Paidós, 2000).
  16. Baumgartner, R., Stinus, H. & Bähler, A. *Tratamiento ortésico-protésico del pie.* (Masson, 1997).
  17. Prat, J. P. P. & Sánchez-Lacuesta, J. *Biomecánica de la marcha humana normal y patológica.* (Instituto de Biomecánica de Valencia, 2005).
  18. Ducroquet, Robert Ducroquet, J. & Pierre, D. *Marcha normal y patológica.* (Toray-Masson, S.A., 1972).
  19. Lettre, C. & Contini, R. *Accelerographic analysis of pathological gait.* (University School of Engineering and Science Technical Report, 1967).
  20. Alves, P., Cruz, F., Silva, L. F. & Flores, P. in 121–128 (2015).  
doi:10.1007/978-3-319-09411-3\_13
  21. Kottke, F. J., Boxaca, M. C. & Klajn, D. S. *Krusen: Medicina física y rehabilitación.* (Médica Panamericana, 1995).

22. Whittle, M. *Gait analysis : an introduction*. (Butterworth-Heinemann, 2007).
23. Gage, J. R. An overview of normal walking. *Instr. Course Lect.* **39**, 291–303 (1990).
24. Whittle, M. W. Three-dimensional motion of the center of gravity of the body during walking. *Hum. Mov. Sci.* **16**, 347–355 (1997).
25. Inman VT, Ralston HJ, T. F. *Human Walking*. (Williams & Wilkins, 1982).
26. Sutherland, D. H. An electromyographic study of the plantar flexors of the ankle in normal walking on the level. *J. Bone Joint Surg. Am.* **48**, 66–71 (1966).
27. Perry, J., Burnfield, J. M. & Cabico, L. M. *Gait analysis: normal and pathological function*. (SLACK, 2010).
28. Murray, M. P., Drought, a B. & Kory, R. C. Walking Patterns of Normal Men. *J Bone Jt. Surg Am* **46**, 335–60 (1964).
29. Simon, S. R., Mann, R. A., Hagy, J. L. & Larsen, L. J. Role of the posterior calf muscles in normal gait. *J. Bone Joint Surg. Am.* **60**, 465–72 (1978).
30. Perry, J. M. . Kinesiology of Lower Extremity Bracing. *Clin. Orthop. Relat. Res.* **102**, 18–31 (1974).
31. Winter, D. A. Energy generation and absorption at the ankle and knee during fast, natural, and slow cadences. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 147–54 (1983).
32. Nene, A., Mayagoitia, R. & Veltink, P. Assessment of rectus femoris function during initial swing phase. *Gait Posture* **9**, 1–9 (1999).
33. Murray, M. P. Gait as a total pattern of movement. *Am. J. Phys. Med.* **46**, 290–

- 333 (1967).
34. Gage, J. R. *The identification and treatment of gait problems in cerebral palsy*. (Mac Keith Press, 2009).
  35. Lamoreux, L. W. Kinematic measurements in the study of human walking. *Bull. Prosthet. Res.* **10**, 3–84 (1971).
  36. Dommasch, H. S., Brandell, B. R. & Murray, E. B. Investigation into techniques of gait analysis. *J. Biol. Photogr. Assoc.* **40**, 106–16 (1972).
  37. Jacobs, N. A., Skorecki, J. & Charnley, J. Analysis of the vertical component of force in normal and pathological gait. *J. Biomech.* **5**, 11–34 (1972).
  38. Murray, M. P., Kory, R. C., Clarkson, B. H. & Sepic, S. B. Comparison of free and fast speed walking patterns of normal men. *Am. J. Phys. Med.* **45**, 8–23 (1966).
  39. Murray, M. P., Kory, R. C. & Sepic, S. B. Walking patterns of normal women. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **51**, 637–50 (1970).
  40. Sutherland, D. H. *The Development of mature walking*. (MacKeith Press, 1988).
  41. Yamashita, T. & Katoh, R. Moving patterns of point of application of vertical resultant force during level walking. *J. Biomech.* **9**, 93–9 (1976).
  42. Titianova, E. B., Pitkänen, K., Pääkkönen, A., Sivenius, J. & Tarkka, I. M. Gait Characteristics and Functional Ambulation Profile in Patients with Chronic Unilateral Stroke. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* **82**, 778–786 (2003).
  43. Macellari, V., Giacomozzi, C. & Saggini, R. Spatial-temporal parameters of gait: reference data and a statistical method for normality assessment. *Gait*

- Posture* **10**, 171–81 (1999).
44. Chao, E. Y., Laughman, R. K., Schneider, E. & Stauffer, R. N. Normative data of knee joint motion and ground reaction forces in adult level walking. *J. Biomech.* **16**, 219–33 (1983).
  45. Begg, Sparrow & Lythgo. Time-domain analysis of foot-ground reaction forces in negotiating obstacles. *Gait Posture* **7**, 99–109 (1998).
  46. Hof, A. L., Nauta, J., Knaap, E. van der, Schallig, M. & Struwe, D. Scaling gait data to body size. *Gait Posture* **4**, 222–223 (1996).
  47. Owings, T. M. & Grabiner, M. D. Variability of step kinematics in young and older adults. *Gait Posture* **20**, 26–29 (2004).
  48. van der Linden, M. L., Kerr, A. M., Hazlewood, M. E., Hillman, S. J. & Robb, J. E. Kinematic and kinetic gait characteristics of normal children walking at a range of clinically relevant speeds. *J. Pediatr. Orthop.* **22**, 800–6
  49. Sekiya, N., Nagasaki, H., Ito, H. & Furuna, T. Optimal Walking in Terms of Variability in Step Length. *J. Orthop. Sport. Phys. Ther.* **26**, 266–272 (1997).
  50. Sekiya & Nagasaki. Reproducibility of the walking patterns of normal young adults: test-retest reliability of the walk ratio(step-length/step-rate). *Gait Posture* **7**, 225–227 (1998).
  51. Cutlip, R. G., Mancinelli, C., Huber, F. & DiPasquale, J. Evaluation of an instrumented walkway for measurement of the kinematic parameters of gait. *Gait Posture* **12**, 134–8 (2000).
  52. Menz, H. B., Lord, S. R. & Fitzpatrick, R. C. Age-related differences in walking stability. *Age Ageing* **32**, 137–42 (2003).

53. Menz, H. B., Latt, M. D., Tiedemann, A., Mun San Kwan, M. & Lord, S. R. Reliability of the GAITRite® walkway system for the quantification of tempo-spatial parameters of gait in young and older people. *Gait Posture* **20**, 20–25 (2004).
54. van Uden, C. J. T. & Besser, M. P. Test-retest reliability of temporal and spatial gait characteristics measured with an instrumented walkway system (GAITRite). *BMC Musculoskelet. Disord.* **5**, 13 (2004).
55. Whittle, M. W. & Whittle, M. W. in *Gait Analysis* 47–100 (2007). doi:10.1016/B978-075068883-3.50007-6
56. Verlinden, V. J. A. *et al.* Gait patterns in a community-dwelling population aged 50 years and older. *Gait Posture* **37**, 500–5 (2013).
57. Thaler-Kall, K. *et al.* Description of spatio-temporal gait parameters in elderly people and their association with history of falls: results of the population-based cross-sectional KORA-Age study. *BMC Geriatr.* **15**, 32 (2015).
58. Radin, E. L., Yang, K. H., Riegger, C., Kish, V. L. & O'Connor, J. J. Relationship between lower limb dynamics and knee joint pain. *J. Orthop. Res.* **9**, 398–405 (1991).
59. Gill, H. S. & O'Connor, J. J. Heelstrike and the pathomechanics of osteoarthritis: a pilot gait study. *J. Biomech.* **36**, 1625–31 (2003).
60. Hay, J. G. Cycle Rate, Length, and Speed of Progression in Human Locomotion. *J. Appl. Biomech.* **18**, 257–270 (2002).
61. Cavanagh, P. R. The biomechanics of lower extremity action in distance running. *Foot Ankle* **7**, 197–217 (1987).

62. GRIEVE, D. W. & GEAR, R. J. The Relationships Between Length of Stride, Step Frequency, Time of Swing and Speed of Walking for Children and Adults. *Ergonomics* **9**, 379–399 (1966).
63. Collins, S. H. & Kuo, A. D. Two Independent Contributions to Step Variability during Over-Ground Human Walking. *PLoS One* **8**, e73597 (2013).
64. Kimura, T. *et al.* Development of energy and time parameters in the walking of healthy human infants. *Gait Posture* **22**, 225–232 (2005).
65. Mills, P. M. & Barrett, R. S. Swing phase mechanics of healthy young and elderly men. *Hum. Mov. Sci.* **20**, 427–46 (2001).
66. Pollo, F. E., Gowling, T. L. & Jackson, R. W. Walking boot design: a gait analysis study. *Orthopedics* **22**, 503–7 (1999).
67. Aminian, K., Najafi, B., Büla, C., Leyvraz, P.-F. & Robert, P. Spatio-temporal parameters of gait measured by an ambulatory system using miniature gyroscopes. *J. Biomech.* **35**, 689–99 (2002).
68. Diopa, M. *et al.* Influence of speed variation and age on the asymmetry of ground reaction forces and stride parameters of normal gait in children. *J. Pediatr. Orthop. B* **13**, 308–14 (2004).
69. Jones, C. J., Rikli, R. E. & Beam, W. C. A 30-s Chair-Stand Test as a Measure of Lower Body Strength in Community-Residing Older Adults. *Res. Q. Exerc. Sport* **70**, 113–119 (1999).
70. Antón Jiménez, M., Abellán Van Kan, G. & Sociedad Española de Geriátría y Gerontología. *Tratado de geriatría para residentes*. (Sociedad Española de Geriátría y Gerontología, 2007).

71. Turnbull, G. I., Charteris, J. & Wall, J. C. A comparison of the range of walking speeds between normal and hemiplegic subjects. *Scand. J. Rehabil. Med.* **27**, 175–82 (1995).
72. Curran, S. A., Upton, D. & Learmonth, I. D. Quantifying the quasi-static angle and base of gait: a preliminary investigation comparing footprints and a clinical method. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **96**, 125–31
73. Saleh, M. & Murdoch, G. In defence of gait analysis. Observation and measurement in gait assessment. *J. Bone Joint Surg. Br.* **67**, 237–41 (1985).
74. Urry, S. R. & Wearing, S. C. A comparison of footprint indexes calculated from ink and electronic footprints. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **91**, 203–9 (2001).
75. Robinson, J. L. & Smidt, G. L. Quantitative gait evaluation in the clinic. *Phys. Ther.* **61**, 351–3 (1981).
76. Wilkinson, M. J., Menz, H. B., Sopic, S., Parker, K. & Shelby, K. Measurement of gait parameters from footprints: a reliability study. *Foot* **7**, 19–23 (1997).
77. McDonough, A. L., Batavia, M., Chen, F. C., Kwon, S. & Ziai, J. The validity and reliability of the GAITRite system's measurements: A preliminary evaluation. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **82**, 419–425 (2001).
78. Abe, H., Michimata, A., Sugawara, K., Sugaya, N. & Izumi, S.-I. Improving gait stability in stroke hemiplegic patients with a plastic ankle-foot orthosis. *Tohoku J. Exp. Med.* **218**, 193–9 (2009).
79. de Saca, L. R., Catlin, P. A. & Segal, R. L. Immediate effects of the toe spreader on the tonic toe flexion reflex. *Phys. Ther.* **74**, 561–70 (1994).
80. Heitmann, D. K., Gossman, M. R., Shaddeau, S. A. & Jackson, J. R. Balance

- performance and step width in noninstitutionalized, elderly, female fallers and nonfallers. *Phys. Ther.* **69**, 923–31 (1989).
81. Adolph, K. E., Vereijken, B. & Shrout, P. E. What changes in infant walking and why. *Child Dev.* **74**, 475–97
  82. Opara, C. U., Levangie, P. K. & Nelson, D. L. Effects of selected assistive devices on normal distance gait characteristics. *Phys. Ther.* **65**, 1188–91 (1985).
  83. Boenig, D. D. Evaluation of a clinical method of gait analysis. *Phys. Ther.* **57**, 795–8 (1977).
  84. Holden, M. K., Gill, K. M., Magliozzi, M. R., Nathan, J. & Piehl-Baker, L. Clinical gait assessment in the neurologically impaired. Reliability and meaningfulness. *Phys. Ther.* **64**, 35–40 (1984).
  85. Grunt, S. *et al.* Reproducibility and validity of video screen measurements of gait in children with spastic cerebral palsy. *Gait Posture* **31**, 489–494 (2010).
  86. Hausdorff, J. M. Gait dynamics, fractals and falls: finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. *Hum. Mov. Sci.* **26**, 555–89 (2007).
  87. Brach, J. S., Studenski, S., Perera, S., VanSwearingen, J. M. & Newman, A. B. Stance time and step width variability have unique contributing impairments in older persons. *Gait Posture* **27**, 431–9 (2008).
  88. Brach, J. S., Berlin, J. E., VanSwearingen, J. M., Newman, A. B. & Studenski, S. A. Too much or too little step width variability is associated with a fall history in older persons who walk at or near normal gait speed. *J. Neuroeng. Rehabil.* **2**, 21 (2005).



89. Guimaraes, R. M. & Isaacs, B. Characteristics of the gait in old people who fall. *Int. Rehabil. Med.* **2**, 177–80 (1980).
90. Maki, B. E. Gait Changes in Older Adults: Predictors of Falls or Indicators of Fear? *J. Am. Geriatr. Soc.* **45**, 313–320 (1997).
91. Hausdorff, J. M., Rios, D. A. & Edelberg, H. K. Gait variability and fall risk in community-living older adults: A 1-year prospective study. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **82**, 1050–1056 (2001).
92. Gabell, A. & Nayak, U. S. The effect of age on variability in gait. *J. Gerontol.* **39**, 662–6 (1984).
93. Callisaya, M. L., Blizzard, L., Schmidt, M. D., McGinley, J. L. & Srikanth, V. K. Ageing and gait variability--a population-based study of older people. *Age Ageing* **39**, 191–197 (2010).
94. Hausdorff, J. M., Cudkowicz, M. E., Firtion, R., Wei, J. Y. & Goldberger, A. L. Gait variability and basal ganglia disorders: stride-to-stride variations of gait cycle timing in Parkinson's disease and Huntington's disease. *Mov. Disord.* **13**, 428–37 (1998).
95. Hausdorff, J. M. *et al.* Etiology and modification of gait instability in older adults: a randomized controlled trial of exercise. *J. Appl. Physiol.* **90**, (2001).
96. Longo, D. L. *Harrison: principios de medicina interna*. (McGraw-Hill Interamericana, 2012).
97. Frontera, W. R., Hughes, V. A., Lutz, K. J. & Evans, W. J. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J. Appl. Physiol.* **71**, 644–50 (1991).

98. Evans, W. J. What is sarcopenia? *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **50 Spec No**, 5–8 (1995).
99. Bassey, E. J. *et al.* Leg extensor power and functional performance in very old men and women. *Clin. Sci. (Lond)*. **82**, 321–7 (1992).
100. Cooper, C. & Melton, L. J. Epidemiology of osteoporosis. *Trends Endocrinol. Metab.* **3**, 224–229 (1992).
101. Buckwalter, J. A. *et al.* Soft-tissue aging and musculoskeletal function. *J. Bone Joint Surg. Am.* **75**, 1533–48 (1993).
102. Mankin, H. J., Dorfman, H., Lippiello, L. & Zarins, A. Biochemical and metabolic abnormalities in articular cartilage from osteo-arthritic human hips. II. Correlation of morphology with biochemical and metabolic data. *J. Bone Joint Surg. Am.* **53**, 523–37 (1971).
103. Hashimoto, S., Ochs, R. L., Komiya, S. & Lotz, M. Linkage of chondrocyte apoptosis and cartilage degradation in human osteoarthritis. *Arthritis Rheum.* **41**, 1632–1638 (1998).
104. Clements, K. M., Bee, Z. C., Crossingham, G. V., Adams, M. A. & Sharif, M. How severe must repetitive loading be to kill chondrocytes in articular cartilage? *Osteoarthr. Cartil.* **9**, 499–507 (2001).
105. Gibson, G. J., Kohler, W. J. & Schaffler, M. B. Chondrocyte apoptosis in endochondral ossification of chick sterna. *Dev. Dyn.* **203**, 468–476 (1995).
106. Cartier, L. [Falls and gait alterations in elderly]. *Rev. Med. Chil.* **130**, 332–7 (2002).
107. Watelain, E., Barbier, F., Allard, P., Thevenon, A. & Angué, J. C. Gait pattern

- classification of healthy elderly men based on biomechanical data. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **81**, 579–86 (2000).
108. Winter, D. A. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. (John Wiley & Sons, Inc., 2009). doi:10.1002/9780470549148
109. Kerrigan, D. C., Todd, M. K., Della Croce, U., Lipsitz, L. A. & Collins, J. J. Biomechanical gait alterations independent of speed in the healthy elderly: evidence for specific limiting impairments. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **79**, 317–22 (1998).
110. Kerrigan, D. C., Lee, L. W., Collins, J. J., Riley, P. O. & Lipsitz, L. A. Reduced hip extension during walking: Healthy elderly and fallers versus young adults. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **82**, 26–30 (2001).
111. Judge, J. O., Davis, R. B. & Ounpuu, S. Step length reductions in advanced age: the role of ankle and hip kinetics. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **51**, M303-12 (1996).
112. Grabiner, P. C., Biswas, S. T. & Grabiner, M. D. Age-related changes in spatial and temporal gait variables. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **82**, 31–35 (2001).
113. Wade, D. T., Wood, V. A., Heller, A., Maggs, J. & Langton Hower, R. Walking after stroke. Measurement and recovery over the first 3 months. *Scand. J. Rehabil. Med.* **19**, 25–30 (1987).
114. McGibbon, C. A. & Krebs, D. E. Effects of age and functional limitation on leg joint power and work during stance phase of gait. **36**, (1999).
115. Thaler-Kall, K. *et al.* Description of spatio-temporal gait parameters in elderly people and their association with history of falls: results of the population-based cross-sectional KORA-Age study. *BMC Geriatr.* **15**, 32 (2015).

116. Hirte, L., Nolte, E., Mossialos, E. & McKee, M. The changing regional pattern of ischaemic heart disease mortality in southern Europe: still healthy but uneven progress. *J. Epidemiol. Community Health* **62**, e4 (2008).
117. Tinetti, M. E. & Williams, C. S. The Effect of Falls and Fall Injuries on Functioning in Community-Dwelling Older Persons. *Journals Gerontol. Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.* **53A**, M112–M119 (1998).
118. Tinetti, M. E. & Williams, C. S. Falls, Injuries Due to Falls, and the Risk of Admission to a Nursing Home. *N. Engl. J. Med.* **337**, 1279–1284 (1997).
119. Gill, T. M., Desai, M. M., Gahbauer, E. A., Holford, T. R. & Williams, C. S. Restricted Activity among Community-Living Older Persons: Incidence, Precipitants, and Health Care Utilization. *Ann. Intern. Med.* **135**, 313 (2001).
120. Masud, T. & Morris, R. O. Epidemiology of falls. *Age Ageing* **30 Suppl 4**, 3–7 (2001).
121. Blake, A. J. *et al.* Falls by elderly people at home: prevalence and associated factors. *Age Ageing* **17**, 365–72 (1988).
122. Desforges, J. F., Tinetti, M. E. & Speechley, M. Prevention of Falls among the Elderly. *N. Engl. J. Med.* **320**, 1055–1059 (1989).
123. Shumway-Cook, A. *et al.* Falls in the Medicare Population: Incidence, Associated Factors, and Impact on Health Care. *Phys. Ther.* **89**, 324–332 (2009).
124. Bezon, J., Echevarria, K. H. & Smith, G. B. Nursing outcome indicator: preventing falls for elderly people. *Outcomes Manag. Nurs. Pract.* **3**, 112-6-7
125. Tinetti, M. E., Speechley, M. & Ginter, S. F. Risk Factors for Falls among

- Elderly Persons Living in the Community. *N. Engl. J. Med.* **319**, 1701–1707 (1988).
126. Prat, J., Díaz, J. & Monfort, M. Epidemiología y tratamiento de las fracturas de cadera en el anciano. *Rev. Esp. Geriatr. Gerontol.* **22**, 85–90 (1987).
127. Magaziner, J. *et al.* Recovery from hip fracture in eight areas of function. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **55**, M498-507 (2000).
128. Tinetti, M. E., Liu, W.-L. & Claus, E. B. Predictors and Prognosis of Inability to Get Up After Falls Among Elderly Persons. *JAMA J. Am. Med. Assoc.* **269**, 65 (1993).
129. Wild, D., Nayak, U. S. & Isaacs, B. How dangerous are falls in old people at home? *Br. Med. J. (Clin. Res. Ed).* **282**, 266–8 (1981).
130. Tinetti, M. E., Mendes de Leon, C. F., Doucette, J. T. & Baker, D. I. Fear of falling and fall-related efficacy in relationship to functioning among community-living elders. *J. Gerontol.* **49**, M140-7 (1994).
131. Rodríguez-Molinero, A. *et al.* Falls in the Spanish elderly population: Incidence, consequences and riskfactors. *Rev. Esp. Geriatr. Gerontol.* **50**, (2015).
132. Prudham, D. & Evans, J. G. Factors Associated with Falls in the Elderly: A Community Study. *Age Ageing* **10**, 141–146 (1981).
133. Campbell, A. J., Reinken, J., Allan, B. C. & Martinez, G. S. Falls in old age: a study of frequency and related clinical factors. *Age Ageing* **10**, 264–70 (1981).
134. Maki, B. E. *et al.* Preventing falls in older adults: New interventions to promote more effective change-in-support balance reactions. *J. Electromyogr. Kinesiol.*

- 18**, 243–254 (2008).
135. Horak, F. B. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing* **35**, ii7-ii11 (2006).
  136. Surburg, P. R. The effect of proprioceptive facilitation patterning upon reaction, response, and movement times. *Phys. Ther.* **57**, 513–7 (1977).
  137. Winter, D. A., Patla, A. E. & Frank, J. S. Assessment of balance control in humans. *Med. Prog. Technol.* **16**, 31–51 (1990).
  138. Matsumura, B. A. & Ambrose, A. F. Balance in the Elderly. *Clin. Geriatr. Med.* **22**, 395–412 (2006).
  139. Horak, F. B., Shupert, C. L. & Mirka, A. Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. *Neurobiol. Aging* **10**, 727–38
  140. Schrage, M. A., Kelly, V. E., Price, R., Ferrucci, L. & Shumway-Cook, A. The effects of age on medio-lateral stability during normal and narrow base walking. *Gait Posture* **28**, 466–71 (2008).
  141. Mansfield, A., Peters, A. L., Liu, B. A. & Maki, B. E. A perturbation-based balance training program for older adults: study protocol for a randomised controlled trial. *BMC Geriatr.* **7**, 12 (2007).
  142. Harwood, R. H. Visual problems and falls. *Age Ageing* **30 Suppl 4**, 13–8 (2001).
  143. Guideline for the prevention of falls in older persons. American Geriatrics Society, British Geriatrics Society, and American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Falls Prevention. *J. Am. Geriatr. Soc.* **49**, 664–72 (2001).
  144. Foley, A. L. *et al.* Association between the Geriatric Giants of urinary

- incontinence and falls in older people using data from the Leicestershire MRC Incontinence Study. *Age Ageing* **41**, 35–40 (2012).
145. Bischoff-Ferrari, H. A. *et al.* Effect of Vitamin D on Falls. *JAMA* **291**, 1999 (2004).
146. Rubenstein, L. Z. Falls in older people: epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age Ageing* **35**, ii37-ii41 (2006).
147. Herdman, S. J., Schubert, M. C. & Tusa, R. J. Strategies for balance rehabilitation: fall risk and treatment. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **942**, 394–412 (2001).
148. Howe, T. E., Rochester, L., Neil, F., Skelton, D. A. & Ballinger, C. in *Cochrane Database of Systematic Reviews* (ed. Howe, T. E.) CD004963 (John Wiley & Sons, Ltd, 2011). doi:10.1002/14651858.CD004963.pub3
149. Abellan van Kan, G. *et al.* Gait speed at usual pace as a predictor of adverse outcomes in community-dwelling older people an International Academy on Nutrition and Aging (IANA) Task Force. *J. Nutr. Health Aging* **13**, 881–9 (2009).
150. Studenski, S. *et al.* Gait speed and survival in older adults. *JAMA* **305**, 50–8 (2011).
151. Perera, S. *et al.* Gait Speed Predicts Incident Disability: A Pooled Analysis. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **71**, 63–71 (2016).
152. Lindemann, U. *et al.* Maximum step length as a potential screening tool for falls in non-disabled older adults living in the community. *Aging Clin. Exp. Res.* **20**, 394–9 (2008).

153. Bongers, K. T. J. *et al.* The predictive value of gait speed and maximum step length for falling in community-dwelling older persons. *Age Ageing* **44**, 294–299 (2015).
154. Nikolova, R., Demers, L., Béland, F. & Giroux, F. Transitions in the functional status of disabled community-living older adults over a 3-year follow-up period. *Arch. Gerontol. Geriatr.* **52**, 12–17 (2011).
155. Fried, L. P. *et al.* Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **56**, M146-56 (2001).
156. Ebrahim, S. *et al.* Disability in older people: a mass problem requiring mass solutions. *Lancet (London, England)* **353**, 1990–2 (1999).
157. Hoeymans, N., Feskens, E. J., van den Bos, G. A. & Kromhout, D. Measuring functional status: cross-sectional and longitudinal associations between performance and self-report (Zutphen Elderly Study 1990-1993). *J. Clin. Epidemiol.* **49**, 1103–10 (1996).
158. Formiga, F. *et al.* Evidence of functional declining and global comorbidity measured at baseline proved to be the strongest predictors for long-term death in elderly community residents aged 85 years: a 5-year follow-up evaluation, the OCTABAIX study. *Clin. Interv. Aging* **11**, 437–44 (2016).
159. Sancho Castiello, T., Abellán García, A. & Instituto de Mayores y Servicios Sociales (España). *Las personas mayores en España : informe 2004 : datos estadísticos estatales y por Comunidades Autónomas.* (IMSERSO, 2005).
160. Nourhashémi, F. *et al.* Instrumental activities of daily living as a potential marker of frailty: a study of 7364 community-dwelling elderly women (the EPIDOS study). *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **56**, M448-53 (2001).



161. Sager, M. A. *et al.* Hospital admission risk profile (HARP): identifying older patients at risk for functional decline following acute medical illness and hospitalization. *J. Am. Geriatr. Soc.* **44**, 251–7 (1996).
162. Baztan, J. J., Gilvez, C. P. & Socorro, A. Recovery of Functional Impairment after Acute Illness and Mortality: One-Year Follow-Up Study. *Gerontology* **55**, 269–274 (2009).
163. Schwenk, M. *et al.* Frailty and technology: a systematic review of gait analysis in those with frailty. *Gerontology* **60**, 79–89 (2014).
164. Hamerman, D. Toward an understanding of frailty. *Ann. Intern. Med.* **130**, 945–50 (1999).
165. Bortz, W. M. The physics of frailty. *J. Am. Geriatr. Soc.* **41**, 1004–8 (1993).
166. Campbell, A. J. & Buchner, D. M. Unstable disability and the fluctuations of frailty. *Age Ageing* **26**, 315–8 (1997).
167. Brown, M. *et al.* Low-Intensity exercise as a modifier of physical frailty in older adults. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **81**, 960–965 (2000).
168. Buchner, D. M. & Wagner, E. H. Preventing frail health. *Clin. Geriatr. Med.* **8**, 1–17 (1992).
169. Chin A Paw, M. J., Dekker, J. M., Feskens, E. J., Schouten, E. G. & Kromhout, D. How to select a frail elderly population? A comparison of three working definitions. *J. Clin. Epidemiol.* **52**, 1015–21 (1999).
170. Strawbridge, W. J., Shema, S. J., Balfour, J. L., Higby, H. R. & Kaplan, G. A. Antecedents of frailty over three decades in an older cohort. *J. Gerontol. B. Psychol. Sci. Soc. Sci.* **53**, S9-16 (1998).

171. Fried, L. P. & Guralnik, J. M. Disability in older adults: evidence regarding significance, etiology, and risk. *J. Am. Geriatr. Soc.* **45**, 92–100 (1997).
172. Washburn, R. A., Smith, K. W., Jette, A. M. & Janney, C. A. The Physical Activity Scale for the Elderly (PASE): development and evaluation. *J. Clin. Epidemiol.* **46**, 153–62 (1993).
173. Katz S, Ford AB, Moskowitz RW, Jackson BA, Jaffe MW. Studies of illness in the aged. The index of ADL: A standardized measure of biological and psychosocial function. *JAMA* 185, 914-9 (1963).
174. Álvarez, M. *et al.* Capacidad funcional de pacientes mayores de 65 años, según el índice de Katz. Fiabilidad del método. *Aten Primaria* **10**, 812–816 (1992).
175. Pfeiffer, E. A short portable mental status questionnaire for the assessment of organic brain deficit in elderly patients. *J. Am. Geriatr. Soc.* **23**, 433–41 (1975).
176. González-Montalvo, J., Alarcón-Alarcón, M. & Salgado-Alba, A. in *Valoración del paciente anciano* 73–103 (Masson, 1993).
177. Martínez de la Iglesia, J. *et al.* [Abbreviating the brief. Approach to ultra-short versions of the Yesavage questionnaire for the diagnosis of depression]. *Aten. primaria* **35**, 14–21 (2005).
178. Martínez de la Iglesia, J. *et al.* Abreviar lo breve. Aproximación a versiones ultracortas del cuestionario de Yesavage para el cribado de la depresión. *Atención Primaria* **35**, 14–21 (2005).
179. Alonso, J., Prieto, L. & Antó, J. M. [The Spanish version of the SF-36 Health Survey (the SF-36 health questionnaire): an instrument for measuring clinical results]. *Med. Clin. (Barc)*. **104**, 771–6 (1995).

180. Alonso, J., Prieto, L. & Antó, J. M. La versión española del SF-36 Health Survey (Cuestionario de Salud SF-36): un instrumento para la medida de los resultados clínicos. *Med Clin* **104**, 771–776 (1995).
181. Tinetti, M. E. Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *J. Am. Geriatr. Soc.* **34**, 119–26 (1986).
182. Navarro, C., Lázaro, M., Cuesta, F., Vilorria, A. & Roiz, H. in *Grupo de Trabajo de Caídas de la SEGG* 101–122 (Fundación Mapfre Medicina, 2001).
183. Aids to the examination of the peripheral nervous system.
184. Fascione, J. M., Crews, R. T. & Wrobel, J. S. Dynamic footprint measurement collection technique and intrarater reliability: ink mat, paper pedography, and electronic pedography. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **102**, 130–8
185. Download tpsDig2 by F. James Rohlf. Available at: <http://tpsdig2.software.informer.com/download/>. (Accessed: 25th May 2017)
186. Cohen, J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. (Academic Press, 1977).
187. Hajian-Tilaki, K. Sample size estimation in diagnostic test studies of biomedical informatics. *J. Biomed. Inform.* **48**, 193–204 (2014).
188. Lumley, T. Analysis of Complex Survey Samples. *J. Stat. Softw.* **9**, 1–19 (2004).
189. R: The R Project for Statistical Computing. Available at: <https://www.r-project.org/>. (Accessed: 25th May 2017)
190. Hollman, J. H., McDade, E. M. & Petersen, R. C. Normative spatiotemporal gait parameters in older adults. *Gait Posture* **34**, 111–8 (2011).

191. Oh-Park, M., Holtzer, R., Xue, X. & Verghese, J. Conventional and Robust Quantitative Gait Norms in Community-Dwelling Older Adults. *J. Am. Geriatr. Soc.* **58**, 1512–1518 (2010).
192. Najafi, B., Helbostad, J. L., Moe-Nilssen, R., Zijlstra, W. & Aminian, K. Does walking strategy in older people change as a function of walking distance? *Gait Posture* **29**, 261–266 (2009).
193. Rosenblatt, N. J., Latash, M. L., Hurt, C. P. & Grabiner, M. D. Challenging gait leads to stronger lower-limb kinematic synergies: The effects of walking within a more narrow pathway. *Neurosci. Lett.* **600**, 110–4 (2015).
194. Shkuratova, N. & Taylor, N. The influence of age on gait parameters during the transition from a wide to a narrow pathway. *Physiother. Res. Int.* **13**, 75–83 (2008).
195. Bader, J. P., Bühler, J., Endrass, J., Klipstein, A. & Hell, D. [Muscle strength and gait patterns of depressed people]. *Nervenarzt* **70**, 613–9 (1999).
196. Mortaza, N., Abu Osman, N. A. & Mehdikhani, N. Are the spatio-temporal parameters of gait capable of distinguishing a faller from a non-faller elderly? *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* **50**, 677–91 (2014).
197. Callisaya, M. L., Blizzard, L., McGinley, J. L. & Srikanth, V. K. Risk of falls in older people during fast-walking--the TASCOG study. *Gait Posture* **36**, 510–5 (2012).
198. Koski, K., Luukinen, H., Laippala, P. & Kivela, S. L. Physiological factors and medications as predictors of injurious falls by elderly people: a prospective population-based study. *Age Ageing* **25**, 29–38 (1996).
199. Scott, D. *et al.* Changes in gait performance over several years are associated

- with recurrent falls status in community-dwelling older women at high risk of fracture. *Age Ageing* **44**, 287–93 (2015).
200. Verghese, J., Holtzer, R., Lipton, R. B. & Wang, C. Quantitative Gait Markers and Incident Fall Risk in Older Adults. *Journals Gerontol. Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.* **64A**, 896–901 (2009).
  201. Brach, J. S., Studenski, S. A., Perera, S., VanSwearingen, J. M. & Newman, A. B. Gait variability and the risk of incident mobility disability in community-dwelling older adults. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **62**, 983–8 (2007).
  202. Woo, J., Ho, S. C. & Yu, A. L. Walking speed and stride length predicts 36 months dependency, mortality, and institutionalization in Chinese aged 70 and older. *J. Am. Geriatr. Soc.* **47**, 1257–60 (1999).
  203. Mahoney, F. I. & Barthel, D. W. Functional evaluation: the Barthel Index. *Md. State Med. J.* **14**, 61–5 (1965).
  204. Ganz, D. A., Higashi, T. & Rubenstein, L. Z. Monitoring Falls in Cohort Studies of Community-Dwelling Older People: Effect of the Recall Interval. *J. Am. Geriatr. Soc.* **53**, 2190–2194 (2005).
  205. Nevitt, M. C., Cummings, S. R. & Hudes, E. S. Risk Factors for Injurious Falls: a Prospective Study. *J. Gerontol.* **46**, M164–M170 (1991).
  206. Nevitt, M. C., Cummings, S. R., Kidd, S. & Black, D. Risk Factors for Recurrent Nonsyncopal Falls. *JAMA* **261**, 2663 (1989).
  207. Sattin, R. W. Falls Among Older Persons: A Public Health Perspective. *Annu. Rev. Public Health* **13**, 489–508 (1992).

# Índice de tablas

Tabla 1. Longitud de paso.....	19
Tabla 2. Achura de paso .....	20
Tabla 3. Longitud de zancada .....	21
Tabla 4. Cadencia, velocidad y longitud de la zancada.....	30
Tabla 5. Longitud y anchura del paso en ancianos .....	40
Tabla 6. Velocidad de la marcha.....	41
Tabla 7 Cambios del envejecimiento que predisponen a las caídas.....	45
Tabla 8. Factores de riesgo de caída en ancianos.....	50
Tabla 9. Fármacos asociados a caídas .....	51
Tabla 10. Criterios de fragilidad de Fried ( $\geq 3$ criterios).....	57
Tabla 11. Cálculo del tamaño muestral .....	74
Tabla 12. Características basales de la muestra .....	83
Tabla 13. Características de los participantes con un control telefónico complete.....	84
Tabla 14. Límites normales de la longitud de la zancada de los ancianos .....	86
Tabla 15. Límites normales de la longitud de la zancada normalizada por altura .....	88
Tabla 16. Límites normales del ancho del paso en ancianos .....	89
Tabla 17. Límites normales de la proporción anchura-longitud normalizada de la zancada.....	90
Tabla 18. Análisis de la asociación entre los parámetros de la marcha y otras características basales de la muestra .....	92
Tabla 19. Asociación de los parámetros de la marcha con la fuerza y el equilibrio.....	94
Tabla 20. Asociación de los parámetros de la marcha con la capacidad funcional .....	95

Tabla 21. Asociación de los parámetros de la marcha con variables relacionadas con la .....	96
Tabla 22. Asociación de los parámetros de la marcha con variables cognitivas y afectivas. ....	97
Tabla 23. Asociación de los parámetros de la marcha con otras variables basales de salud. ....	98
Tabla 24. Diferencia de medias en los diferentes parámetros de la marcha entre ....	99
Tabla 25. Análisis bivariado de asociación entre los parámetros de la marcha y caídas .....	101
Tabla 26. Validez de los parámetros de la marcha para la .....	102
Tabla 27. Probabilidad de caída para diferentes .....	102
Tabla 28. Caídas acumuladas en 6 meses y longitud de la zancada normalizada....	103
Tabla 29. Caídas acumuladas en 12 meses y longitud de la zancada normalizada.....	103
Tabla 30. Caídas acumuladas en 6 meses y proporción anchura-longitud. Modelo final ajustado. ....	104
Tabla 31. Caídas acumuladas en 12 meses y proporción anchura-longitud. ....	104
Tabla 32. Diferencia de medias en los diferentes parámetros de la marcha entre el grupo de participantes con discapacidad basal y el resto de la muestra .....	104
Tabla 33. Diferencia de medias en los diferentes parámetros de la marcha entre el grupo de participantes con discapacidad incidente o prevalente al año y el resto de la muestra.....	105
Tabla 34. Resultados del análisis bivariado de asociación entre la pérdida de capacidad funcional y los parámetros de la marcha. ....	106
Tabla 35. Probabilidad de pérdida de función para diferentes.....	107
Tabla 36. Análisis de las características basales de la muestra y la situación funcional .....	108
Tabla 37. Análisis de las características basales de la muestra y la pérdida de función .....	109
Tabla 38. Resultados de los modelos multivariantes para analizar la relación de la longitud normalizada de la zancada y la situación funcional a lo largo del tiempo. ....	110

Tabla 39. Resultados de los modelos multivariantes para analizar la relación de la longitud normalizada de la zancada con la pérdida de función a lo largo del tiempo. ....	111
Tabla 40. Resultados de los modelos multivariantes para analizar la relación del ancho del paso con la situación funcional a lo largo del tiempo. ....	111
Tabla 41. Resultados de los modelos multivariantes para analizar la relación de la proporción anchura-longitud con la situación funcional a lo largo del tiempo. ....	112
Tabla 42. Resultados de los modelos multivariantes para analizar la relación de la proporción anchura-longitud con la pérdida de función a lo largo del tiempo. ....	112
Tabla 43. Asociación entre los parámetros de la marcha y la mortalidad a los 60 meses. ....	113
Tabla 44. Diferencia de medias en los diferentes parámetros de la marcha entre ..	114
Tabla 45. Resultados del análisis multivariado para mortalidad en hombres. ....	115
Tabla 46. Resultados del análisis multivariado para mortalidad en mujeres. ....	115



# Índice de figuras

Figura 1. Fases del ciclo de la marcha.....	11
Figura 2. Subfases del ciclo de la marcha.....	12
Figura 3. Parámetros espaciales de la marcha.....	18
Figura 4. Registro de parámetros de la marcha mediante impresión de pisadas .....	70
Figura 5. Proceso de digitalización de las pisadas impresas.....	72
Figura 6. Medición de los parámetros espaciales de la marcha .....	73
Figura 7. Datos de inclusión y pérdidas de seguimiento .....	82
Figura 8. Gráficos descriptivos de la longitud de la zancada .....	86
Figura 9. Gráficos descriptivos de la longitud normalizada de la zancada .....	87
Figura 10. Gráficos descriptivos de la anchura del paso .....	89
Figura 11. Gráficos descriptivos de la proporción anchura-longitud normalizada.....	90

# Anexos

## **PUBLICACIONES**

### **Home measured spatial gait parameters and their association with health variables: a cross-sectional study.**

Alexandra Herrero-Larrea PT<sup>1</sup>, Antonio Miñarro PhD<sup>2</sup>, Leire Narvaiza MD<sup>1,3</sup>, César Gálvez-Barrón MD<sup>1</sup>, Natalia Gonzalo León<sup>4</sup>, Esther Valldosera<sup>1</sup>, Felipe PT<sup>1</sup>, Rosana Valverde PT<sup>1</sup>, Liane Kruse PT<sup>1</sup>, Elisabet Joan Bosch MD,PhD<sup>4</sup>,Alejandro Rodríguez-Molinero MD,PhD<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Consorci Sanitari del Garraf, Vilanova i la Geltrú, Barcelona, Spain.

<sup>2</sup> Department of Genetics, Microbiology and Statistics, Faculty of Biology, University of Barcelona, Barcelona, Spain.

<sup>3</sup> Parc Sanitari Sant Joan de Déu, Centre de Salut Mental del Garraf. Vilanova i la Geltrú, Barcelona, Spain.

<sup>4</sup> Fundació Privada Sant Antoni Abat. Vilanova i la Geltrú, Barcelona, Spain.

<sup>5</sup> Universitat Internacional de Catalunya. Sant Cugat del Vallès, Barcelona, Spain.

### **Prospective study of the association between spatial parameters of gait and appearance of falls in older adults**

Alexandra Herrero-Larrea PT<sup>1</sup>, Antonio Miñarro PhD<sup>2</sup>, Leire Narvaiza MD<sup>1,3</sup>, César Gálvez-Barrón MD<sup>1</sup>, Natalia Gonzalo León<sup>4</sup>, Esther Valldosera<sup>1</sup>, Rosana Valverde PT<sup>1</sup>, Liane Kruse PT<sup>1</sup>, Elisabet Felipe PT<sup>1</sup>, Joan Bosch MD,PhD<sup>4</sup>, Alejandro Rodríguez-Molinero MD,PhD<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Consorci Sanitari del Garraf, Vilanova i la Geltrú, Barcelona, Spain.

<sup>2</sup> Department of Genetics, Microbiology and Statistics, Faculty of Biology, University of Barcelona, Barcelona, Spain.

<sup>3</sup> Parc Sanitari Sant Joan de Déu, Centre de Salut Mental del Garraf. Vilanova i la Geltrú, Barcelona, Spain.

<sup>4</sup> Fundació Privada Sant Antoni Abat. Vilanova i la Geltrú, Barcelona, Spain.

<sup>5</sup> Universitat Internacional de Catalunya. Sant Cugat del Vallès, Barcelona, Spain.

**Association between spatial gait parameters, functional impairment and mortality: a prospective cohort study.**

Alejandro Rodríguez-Molinero MD,PhD<sup>1</sup>, Alexandra Herrero-Larrea PT<sup>1</sup>, Antonio Miñarro PhD<sup>2</sup>, Leire Narvaiza MD<sup>1,3</sup>, César Gálvez-Barrón MD<sup>1</sup>, Natalia Gonzalo León<sup>4</sup>, Esther Valldosera<sup>1</sup>, Eva de Mingo<sup>1</sup>, Oscar Macho MD<sup>1</sup>, David Aivar MD<sup>1</sup>, Efren Pinzón MD<sup>1</sup>, Adilis Alba MD<sup>1</sup>, Jorge Passarelli MD<sup>1</sup>, Nadia Stasi MD<sup>1</sup>, Liane Kruse PT<sup>1</sup>, Rosana Valverde PT<sup>1</sup>, Elisabet Felipe PT<sup>1</sup>, Isabel Collado MD<sup>1</sup>, Joan Bosch MD,PhD<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Consorci Sanitari del Garraf, Vilanova i la Geltrú, Barcelona, Spain.

<sup>2</sup> Department of Genetics, Microbiology and Statistics, Faculty of Biology, University of Barcelona, Barcelona, Spain.

<sup>3</sup> Parc Sanitari Sant Joan de Déu, Centre de Salut Mental del Garraf. Vilanova i la Geltrú, Barcelona, Spain.

<sup>4</sup> Fundació Privada Sant Antoni Abat. Vilanova i la Geltrú, Barcelona, Spain.

<sup>5</sup> Universitat Internacional de Catalunya. Sant Cugat del Vallès, Barcelona, Spain.