

**CAPACIDAD FUNCIONAL, MARCHA Y
DESCRIPCIÓN DEL MÚSCULO EN
INDIVIDUOS ANCIANOS**

TESIS DOCTORAL U.A.B. / AÑO 2015

C. Beatriz Samitier Pastor

DIRECTORES DE LA TESIS

Dr. Enric Cáceres Palou. Catedrático de Cirugía Ortopédica y Traumatología
de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Dr. Eulogio Pleguezuelos Cobo. Departament de Ciències Experimentals i
de la Salut. Universitat Pompeu Fabra. Barcelona.

A Olga y a Luis, os lo debo todo, gracias por enseñarme el camino.

A Alex, por estar siempre ahí, a Vanessa y a Pablo, gracias.

AGRADECIMIENTOS

A Jordi, gracias por tu apoyo incondicional, soporte y paciencia infinita.

Al Dr. Eulogio Pleguezuelos, por tu valiosa ayuda en este camino, gracias por hacerlo más fácil.

Al Dr. Lluis Guirao, por tu inquietud, tu tesón y entusiasmo, gracias.

A la Dra. María Costea y a la Dra. Carmen Liberal por ayudarme a llevar la carga del día a día.

Al personal del Servicio de Medicina Física y Rehabilitación del Hospital de Mataró por vuestra paciencia.

Al Dr. Mateu Serra y a Elisabet Palomera por su ayuda en el estudio estadístico.

TABLA DE CONTENIDO

1 RESUMEN.....	13
2 INTRODUCCIÓN.....	15
2.1 Envejecimiento.....	15
2.2 Sarcopenia.....	17
2.2.1 Fisiopatología	17
2.2.2 Definición y estadios.....	19
2.2.3 Prevalencia.....	21
2.2.4 Repercusión.....	21
2.3 Fragilidad	23
2.3.1 Fisiopatología	24
2.3.2 Presentación clínica.....	26
2.3.3 Modelos de fragilidad.....	27
2.3.4 Prevalencia.....	30
2.3.5 Impacto.....	31
3 JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS E HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	33
3.1 Justificación.....	33
3.2 Hipótesis de trabajo.....	34
4 OBJETIVOS	35
5 APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS	37
6 PRIMER MANUSCRITO:	39
ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS TEMPOROESPAZIALES DE LA MARCHA Y EQUILIBRIO EN ANCIANOS	39
6.1 Introducción.....	41
6.1.1 La marcha.....	41
6.1.2 El equilibrio	58

6.2	Material y método.....	67
6.2.1	Diseño del estudio, reclutamiento y muestra	67
6.2.2	Principales medidas de resultado y métodos de medición	68
6.2.3	Análisis estadístico	85
6.3	Resultados	87
6.3.1	Características de la muestra	87
6.3.2	Características de la bioimpedanciometría	87
6.3.3	Resultados de la valoración del equilibrio.....	88
6.3.4	Resultados de los parámetros temporoespaciales de la marcha.....	89
6.3.5	Resultados de la valoración de la calidad de vida	90
6.4	DISCUSION	111
7	SEGUNDO MANUSCRITO:	123
ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS ECOGRÁFICOS Y SONOELASTOGRAFICOS DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO EN ANCIANOS		123
7.1	Introducción.....	125
7.1.1	El músculo	125
7.1.2	Fragilidad y sarcopenia: la pérdida de función física	132
7.1.3	Métodos de estudio y valoración del músculo esquelético	133
7.2	Material y método.....	155
7.2.1	Diseño del estudio, reclutamiento y muestra	155
7.2.2	Evaluación de concordancia inter e intraobservador del estudio ecográfico y sonoelastográfico.....	156
7.2.3	Principales medidas de resultado y métodos de medición	158
7.2.4	Análisis estadístico	174
7.3	Resultados	177
7.3.1	Características de la muestra	177

7.3.2 Análisis de la fiabilidad de la técnica ecográfica utilizada en el estudio	178
7.3.3 Valoración de la fuerza muscular y test funcionales	179
7.3.4 Resultados del estudio muscular por ecografía: grosor muscular, área seccional y compresibilidad.....	179
7.3.5 Resultados del estudio de la ecogenicidad muscular y la sonoelastografía muscular de recto anterior	180
7.3.6 Estudio de la correlación entre los parámetros ecográficos y sonoelastográficos musculares y los test de función	181
7.4 Discusión.....	211
8 CONCLUSIONES.....	223
8.1 Conclusión sobre la hipótesis de trabajo.....	223
8.2 Conclusiones de los objetivos	219
9 BIBLIOGRAFÍA.....	225
10 Ilustraciones.....	249
12 Tablas	255
13 ANEXOS.....	259

1 RESUMEN

CAPACIDAD FUNCIONAL, MARCHA Y DESCRIPCIÓN DEL MÚSCULO EN INDIVIDUOS ANCIANOS.

Introducción: El envejecimiento es uno de los mayores retos de salud a los que nos enfrentamos. Fragilidad y sarcopenia son dos conceptos íntimamente relacionados con el envejecimiento y ampliar el conocimiento sobre ellos permitirá desarrollar estrategias específicas preventivas y terapéuticas para minimizar sus consecuencias a nivel sanitario, económico y social. Los objetivos principales de este estudio fueron determinar las características propias de marcha y equilibrio relacionadas con el estado de fragilidad y determinar las características musculares ecográficas y sonoelastográficas del músculo en individuos frágiles.

Material y Método: Se diseñaron dos estudios complementarios observacionales transversales en ancianos robustos, prefrágiles y frágiles aplicando los criterios de fragilidad de Fried. Para el estudio de la marcha y equilibrio se incluyeron 62 individuos. Se analizaron los parámetros temporoespaciales de la marcha utilizando una plataforma de presiones incluida en una cinta sin fin. El equilibrio se valoró mediante posturografía, baropodometría y test clínicos. Para el estudio del músculo por ecografía y sonoelastografía se incluyeron 48 ancianos. Para la validación de la técnica ecográfica, se realizó un estudio de concordancia intra- e inter-observador en una población de 15 jóvenes.

Resultados: Los ancianos frágiles presentan un aumento de la fase de apoyo ($p<0,05$) y de doble soporte ($p=0,004$), disminuyen la fase de oscilación ($p<0,05$), la longitud del paso ($p=0,004$) y de zancada ($p=0,005$), y la velocidad de marcha ($p=0,001$). Presentan también un aumento de la velocidad de balanceo del centro de presiones ($p<0,001$) y peores resultados de los test clínicos ($p<0,001$). Los ancianos frágiles presentan menor grosor ($p=0,019$), área seccional ($p=0,049$) y compresibilidad muscular ($p=0,034$) que el resto ancianos. Se observa la tendencia

a aumentar la ecogenicidad muscular ($p=0,087$) con la fragilidad y a la aparición con ella de zona de alta dureza en el elastograma ($p=0,095$).

Conclusiones: Los ancianos frágiles presentan cambios en los parámetros temporoespaciales de la marcha, cambios en la capacidad de equilibrio y en las características ecográficas y sonoelastográficas musculares. Estos hallazgos sugieren la posibilidad de diseñar intervenciones específicas para mejorar los déficits de la población anciana frágil.

Palabras clave: Marcha, equilibrio, ecografía, sonoelastografía, fragilidad, ancianos, envejecimiento.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Envejecimiento

El envejecimiento de la población es actualmente la principal causa de enfermedad crónica y muerte en el mundo¹ y representa uno de los mayores retos de salud a los que nos enfrentamos².

La población envejece de forma muy rápida en todo el mundo. De acuerdo con los datos de la Organización Mundial de la Salud, la población de 60 años o más en el año 2000 era de 600 millones, frente a los 2 billones estimados para el año 2050 (*Ageing and life course. www.who.int/ageing/age_friendly_cities/en/index.html*). Este envejecimiento conlleva importantes implicaciones en el planteamiento y desarrollo del cuidado social y sanitario³.

El envejecimiento se ha definido como el declinar de la capacidad funcional y la resistencia al estrés dependiente del tiempo, y se asocia a un aumento del riesgo de morbilidad y mortalidad. Es un proceso que afecta a la mayor parte (si no a todos) de los órganos y tejidos del organismo, pero el proceso de envejecimiento difiere de forma significativa entre individuos⁴.

España es uno de los países con una esperanza de vida más elevada. En 2011 era de 82,1 años (85 años en las mujeres y 79,2 en los hombres), con una media de esperanza de vida a los 65 años, de 20,5 años (22,4 en mujeres y 18,5 en hombres). Las proyecciones poblacionales para los próximos años indican un continuo aumento de estas cifras y un estrechamiento de la diferencia entre ambos sexos. Se estima que en 2025, el 37% de la población será mayor de 64 años. Según las previsiones, el segmento de población que más aumentará en los próximos años es el de mayores de 80 años que, en España pasará de los 2,4 millones en 2012 a los 6,2 millones en 2050⁵.

El aumento de esperanza de vida de la población no siempre se asocia a una buena calidad de la misma. La esperanza de vida con buena salud en España se sitúa en 61,6 años para hombres y 59,4 años para mujeres, cifras que a los 65 años se estiman en 9,2 y 8,63 años respectivamente⁵.

Se han postulado diferentes mecanismos y teorías sobre el proceso de envejecimiento, entre ellas: la disfunción mitocondrial, la acumulación de metabolitos intermedios no degradables, la disfunción de mecanismos regulatorios (como el estado de inflamación crónica de bajo grado, alteración del eje hipotálamo-hipofisario), la alteración de los mecanismos de renovación tisular, etc. Casi todas las teorías vigentes contemplan el acúmulo de daño molecular provocado por diversos mecanismos y difieren principalmente en la importancia genética⁶.

En los últimos siglos ha habido un proceso gradual de ilustración en diversas áreas del conocimiento humano. Este proceso de racionalización ha afectado profundamente a campos como la medicina y también a la forma de enfocar temas relacionados con la salud. Sin embargo, cuando se trata del envejecimiento, este proceso todavía se encuentra en sus primeras etapas¹ y en continuo desarrollo. El envejecimiento saludable y activo es uno de los temas de alta prioridad en la agenda política nacional e internacional⁵ y la ciencia continúa su camino profundizando en el conocimiento del proceso de envejecimiento, las características del envejecimiento saludable y el papel de la comorbilidad², y el reconocimiento de posibles biomarcadores⁴ entre otros.

Dos conceptos íntimamente relacionados con el envejecimiento son la sarcopenia y la fragilidad. Existe un interés creciente por aumentar el conocimiento de estos conceptos con el objetivo de desarrollar estrategias específicas preventivas y terapéuticas que permitan minimizar las consecuencias a nivel sanitario, económico y social.

2.2 Sarcopenia

El término sarcopenia deriva del griego “sarx” (carne) y “penia” (pérdida), y hace referencia a la pérdida de masa muscular relacionada con la edad⁷. Ya en 1931, Critchley hizo referencia a los cambios involutivos de la musculatura relacionada con la edad⁸. En 1989, fue Irwin Rosenberg quien propuso el término sarcopenia para hacer referencia al descenso de masa muscular relacionado con la edad⁹. Pero no fue hasta 2010 cuando el grupo europeo de trabajo sobre la sarcopenia (EWGOSP) consensuó una definición práctica de sarcopenia¹⁰.

La sarcopenia hace referencia a la pérdida de masa y fuerza muscular y a los cambios cualitativos del tejido muscular relacionados con la edad. Y se trata de un síndrome geriátrico frecuente y relevante para la práctica clínica diaria¹¹. Algunos autores defienden el uso del término *Dinapenia* para hacer referencia a la pérdida de fuerza y función muscular asociada a la edad, pero a diferencia del término sarcopenia, dinapenia no incluye el concepto de pérdida de masa muscular¹⁰.

Los cambios biológicos que conducen a la pérdida de fuerza y masa muscular se relacionan intrínsecamente con los mecanismos del envejecimiento^{10,12,11} y en los últimos años se están revelando como una causa frecuente y relevante de discapacidad en ancianos¹¹.

2.2.1 Fisiopatología

El envejecimiento va ligado a importante cambios en la composición corporal, de los cuales, el más remarcable es la sarcopenia, considerada la causa más importante de descenso de la función física, discapacidad y mortalidad¹³. Se producen cambios importantes en la masa y composición muscular, de la contractilidad, cambios en las propiedades materiales del músculo y en la función de los tendones¹⁴.

Hay varios mecanismos que podrían estar implicados en el desarrollo y la progresión de la sarcopenia: endocrinos (cambios en la secreción de corticoesteroides, alteración de la función tiroidea, resistencia a la insulina,...), neurodegenerativos (pérdida de motoneuronas), nutricionales (nutrición inadecuada, malabsorción), desuso (inmovilidad, ingavidez, inactividad física) y relacionados con la edad (apoptosis, disfunción mitocondrial, cambios hormonales, etc.). También pueden contribuir a su desarrollo factores como la presencia de enfermedades crónicas o determinados tratamientos farmacológicos¹⁰. Estos mecanismos tienen que ver entre otros, con la síntesis y degradación proteica, la integridad neuromuscular, los mecanismos de inflamación, la disfunción mitocondrial y el desuso^{10,11}.

Con la sarcopenia se producen cambios de las características musculares a nivel micro y macroscópico, y que afectan la masa, composición, contractilidad y propiedades materiales del músculo^{10,11,12}:

- Cambios en la masa muscular: la masa magra dependiente del músculo esquelético es entre un 45-55% de la masa corporal. A partir de los 25 años se produce un descenso progresivo del tamaño y número de fibras musculares, produciendo una pérdida aproximada del 30% de la masa muscular a la edad de 80 años¹⁵.
- Cambio de fibras musculares rápidas tipo I por fibras musculares lentas tipo II que conlleva la disminución de la potencia muscular¹².
- Cambios de la función muscular por la denervación de unidades motoras. Se estima que la fuerza muscular disminuye aproximadamente un 1.5% al año entre los 50-60 años y un 3% a partir de los 60 años¹².
- Cambios secundarios al depósito de lípidos en la fibra muscular¹².

2.2.2 Definición y estadios

La sarcopenia se ha descrito como la pérdida lenta y progresiva de masa muscular asociada al envejecimiento en ausencia de condición o enfermedad subyacente^{16,17}, pero el esfuerzo por conseguir una definición satisfactoria continúa hoy en día. De hecho, existen una serie de términos derivados de las descripciones de los cambios musculares acontecidos en el marco del envejecimiento y que en ocasiones han podido crear confusión. Se denomina *sarcopenia* a la pérdida de masa muscular, *kratopenia* a la pérdida de fuerza, *dinapenia* a la pérdida de potencia (fuerza en relación a la velocidad con la que se ejerce dicha fuerza), *fragilidad* al aumento de riesgo de discapacidad ante factores estresantes y *discapacidad* a la pérdida de función¹⁸.

El Grupo Europeo de Trabajo sobre la Sarcopenia en Personas de Edad Avanzada (EWGOSP), desarrolló en 2010 una definición práctica de sarcopenia: “síndrome caracterizado por la pérdida gradual y generalizada de la masa muscular esquelética y de la fuerza, con riesgo de presentar resultados adversos como discapacidad física, calidad de vida deficiente y mortalidad”¹⁰.

También describieron las variables cuantificables requeridas para la valoración de sarcopenia. Estas variables son: masa muscular, fuerza muscular y rendimiento físico. En la tabla 1 se detallan las técnicas de medición de estas variables propuestas por el EWGOSP¹⁰.

Una vez definidos los criterios clínicos de sarcopenia, el EWGOSP determinó que el diagnóstico requiere de la confirmación del criterio 1 (masa muscular baja), y del criterio 2 (menor fuerza muscular) o del criterio 3 (menor rendimiento físico).

De entre las conclusiones de este grupo, se extraen también los criterios para una estadificación conceptual de sarcopenia. Esta clasificación podría ayudar a seleccionar tratamientos y objetivos específicos para cada grupo¹⁰. Se describieron los siguientes estadios:

- ‘presarcopenia’ se caracteriza por masa muscular baja sin efectos sobre la fuerza muscular ni el rendimiento físico,
- ‘sarcopenia’ caracterizada por una disminución de la masa muscular además de una disminución de la fuerza muscular o del rendimiento físico,
- ‘sarcopenia grave’ cuando se cumplen los tres criterios de la definición de sarcopenia. La identificación de los estadios podría ayudar a seleccionar tratamientos y objetivos específicos y adecuados¹⁰.

Tabla 1: Técnicas de medición de la masa muscular, fuerza muscular y rendimiento físico propuestas por el EWOSP.

Variable	Investigación	Práctica clínica
Masa muscular	Tomografía computarizada Resonancia magnética Absorciometría radiológica de doble energía (DEXA) Análisis de bioimpedancia (ABI) Cantidad total o parcial de potasio por tejido blando sin grasa	DEXA ABI Antropometría
Fuerza muscular	Fuerza de garra Flexoextensión de rodilla Flujo espiratorio máximo	Fuerza de garra
Rendimiento físico	Serie corta de rendimiento físico (SPPB) Velocidad de la marcha Prueba cronometrada de levantarse y andar Test de capacidad de subir escaleras	SPPB Velocidad marcha Prueba levantarse y andar

2.2.3 Prevalencia

Establecer la prevalencia de la sarcopenia supone un reto, ya que varía en función de la población estudiada, de la raza, de la forma de valoración, de la definición aplicada y de los puntos de corte escogidos^{11,15}. El EWGOSP describió en 2010, una prevalencia de entre el 5% y el 13% en personas entre 60-70 años de edad, que aumenta hasta un 11-50% en los mayores de 80 años¹⁰. Otros grupos han reportado prevalencias entre el 30 – 50 %¹⁹ en muestras de población de edad media superior a 70 años, así como tasas de prevalencia mayores en relación a la edad^{16,17}.

Las diferencias en la prevalencia reportada por diferentes grupos pueden deberse principalmente a la diferencia de los datos normativos utilizados, diferencias en la definición aplicada de sarcopenia, diferencias de la población a estudio y de la población de referencia.

La sarcopenia puede conllevar fragilidad pero no todos los individuos con sarcopenia son frágiles. La sarcopenia es aproximadamente dos veces más frecuente que la fragilidad¹².

2.2.4 Repercusión

La disminución progresiva de la masa muscular es un cambio grave asociado al envejecimiento, y en ocasiones inicia una cascada de eventos adversos. La sarcopenia se asocia a: pobre capacidad física y declive funcional, a un aumento del riesgo de caídas con el consiguiente riesgo de fracturas y discapacidad, y a un incremento de la comorbilidad que predisponen a la discapacidad física (osteoporosis con aumento de riesgo de fracturas, endocrinológicas, enfermedad renal, etc.), se asocia a mayor riesgo de hospitalización, es pronóstica de resultados ante una cirugía o enfermedad y aumenta el riesgo de mortalidad a corto y largo

plazo en pacientes hospitalizados o institucionalizados, se considera una determinante de calidad de vida y mortalidad^{15,20,21}.

La pérdida de masa muscular se asocia a la disminución de la fuerza, que disminuye el rendimiento físico, lo que dificulta la realización de actividades habituales de la vida diaria, facilita el desarrollo de discapacidad y dependencia¹¹. Las personas con sarcopenia tienen una probabilidad entre 2 y 5 veces mayor de tener discapacidad que aquellas sin sarcopenia²².

Globalmente la sarcopenia impacta directamente en diversos componentes de la Salud Pública y también a nivel social. Además, implica una serie de costes indirectos difíciles de cuantificar como la reducción de la calidad de vida, la pérdida de autonomía y las consecuencias psicológicas¹⁵. En el año 2000 se estimó que los costes directos de la sarcopenia en Estados Unidos ascendían a 18,5 billones de dólares, lo que representaba un 1,5% del total del gasto sanitario de Estados Unidos¹⁵.

A pesar del conocimiento creciente sobre la sarcopenia y sus consecuencias, poco sabemos sobre la transición hacia ella, sobre la progresión de la misma o la posible reversibilidad. Es conocido que estados con baja masa magra, en combinación con baja capacidad ejecutiva y/o fuerza, tienen mayor probabilidad de producir la muerte que la masa magra sola. Algunos estudios también han reportado una relación insuficiente entre masa magra y discapacidad en ancianos²³. Estas apreciaciones sugieren que es necesario identificar los individuos sarcopénicos de forma precoz dada la baja probabilidad de la transición fuera de ella. La existencia de estados intermedios y su identificación permitiría intervenir sobre factores potencialmente modificables que podrían ser determinantes de la transición a sarcopenia²³. La revisión sistemática de los ensayos clínicos randomizados publicados que fue realizada por un grupo internacional mostró que la sarcopenia puede ser revertida con ejercicio físico, intervención dietética o intervenciones combinadas²⁴.

La sarcopenia desempeña un papel determinante en la fisiopatología de la fragilidad, que predispone a caídas, deterioro funcional, discapacidad, mayor uso de recursos hospitalarios y sociales, una peor calidad de vida y finalmente la muerte¹¹.

Durante un tiempo fragilidad y sarcopenia se han estudiado de forma paralela pero ambas condiciones tienden a converger ya que existe un solapamiento entre ambas²⁵ y algunos autores consideran que la sarcopenia debería considerarse el sustrato biológico para el desarrollo de la fragilidad física y la vía por la que se desarrollan los resultados negativos de salud relacionados con la fragilidad²⁰, otros autores incluso proponen considerar la sarcopenia como equivalente de fragilidad física²⁴.

2.3 Fragilidad

La fragilidad es la expresión más problemática del envejecimiento de la población. Es un síndrome prevalente e importante asociado a una disminución de la supervivencia²⁶. La fragilidad se considera consecuencia del acúmulo de defectos de diversos sistemas fisiológicos relacionados con la edad^{3,27} provocando un estado de vulnerabilidad debido a la pobre resolución de homeostasis tras un evento estresante, aumentando el riesgo de caídas, delirium y discapacidad^{3,28}.

El aumento de la literatura relacionada con la fragilidad refleja su interés²⁹. Con el aumento de la edad de la población, aumenta el interés por la fragilidad^{27,30}. Las tasas de prevalencia varían entre el 4% y el 59,1% en función de los criterios aplicados y la población observada³. Se estima que entre un 25% y un 50% de las personas mayores de 85 años son frágiles²⁷. En las últimas décadas se han dedicado muchos esfuerzos para entender la fragilidad, y ha habido un gran progreso para definir la fragilidad como entidad clínica^{31,32}, conocer sus implicaciones³³ y reconocer algunas de sus alteraciones³⁴.

La fragilidad constituye una situación de gran riesgo de eventos adversos y tiene un importante impacto en los individuos afectos, las familias, el sistema de salud y la sociedad, pero en ocasiones, el concepto de fragilidad sigue siendo controvertido²⁷.

2.3.1 Fisiopatología

La fragilidad es una alteración de diversos sistemas fisiológicos que están interrelacionados, provocando el descenso acelerado de la reserva fisiológica que se produce de forma gradual con el envejecimiento³.

En 2009, Fried et al³⁵ describieron una relación no lineal entre el número de sistemas alterados y la fragilidad independientemente de la edad y la comorbilidad: la alteración de tres o más sistemas, era un fuerte predictor de fragilidad. Esto apoya la idea de que la fragilidad se hace evidente cuando el declinar fisiológico llega a un nivel determinado³⁵.

Los cambios a nivel del cerebro, el sistema endocrino, el sistema inmune y el músculo esquelético son los órganos mejor estudiados en el desarrollo de fragilidad. La fragilidad también se ha asociado a una pérdida de la reserva fisiológica de los sistemas renal, respiratorio, cardiovascular, hematopoyético y el estado nutricional también podría ser un factor mediador³.

- El cerebro frágil: Con el envejecimiento se producen cambios estructurales y fisiológicos en el cerebro. Por una parte, hay una pérdida de neuronas en la mayor parte de regiones corticales. También se producen cambios estructurales y funcionales en las células gliales quedando hipersensibles a pequeños estímulos, y es este efecto el que podría estar implicado en la fisiopatología del delirium. Existe una íntima relación entre delirium y fragilidad. La combinación de ambos identifica ancianos con especial riesgo de resultados adversos y el aumento de la fragilidad también se asocia a un declive cognitivo más rápido³.

- El sistema endocrino frágil: El cerebro y el sistema endocrino están intrínsecamente relacionados a través del eje hipotálamo-hipofisario que controla el metabolismo y el uso energético a través de una serie de hormonas homeostáticas. Con la edad, disminuye la producción de hormonas circulantes como la hormona del crecimiento (actividad anabólica) y las hormonas sexuales. Por otra parte, también se produce un aumento gradual de la liberación de cortisol, que se asocia con un aumento del catabolismo, favoreciendo la pérdida de masa muscular, anorexia, pérdida de peso y reducción del gasto energético, todo ello característico de fragilidad³.
- El sistema inmune frágil: Con la edad se observa una reducción de las células madre (producción de linfocitos-T, dificultad de la respuesta de anticuerpos controlada por los linfocitos B y una reducción de la actividad fagocítica de los neutrófilos, macrófagos y células natural killer). Estos cambios provocan un fracaso de la respuesta antiinflamatoria aguda. La evidencia sugiere que la respuesta inflamatoria de bajo grado tiene un papel importante en la fisiopatología de la fragilidad. Los estados inflamatorios se asocian a anorexia y catabolismo del músculo esquelético y del tejido adiposo, lo que podría contribuir al compromiso nutricional, la debilidad del músculo y la pérdida de peso que caracterizan a la fragilidad³.
- El músculo esquelético frágil: La homeostasis muscular normal está coordinada por el cerebro, sistema endocrino e inmunológico y se afecta por factores nutricionales y la actividad física. Las consecuencias de la fragilidad sobre estos sistemas, pueden afectar este delicado equilibrio y acelerar el desarrollo de sarcopenia³.

Los genes, factores ambientales y el estilo de vida, se considera que juegan también un factor importante en el camino hacia la fragilidad⁷. La presencia de algunas enfermedades o procesos, también se relacionan con un mayor riesgo de fragilidad. La asociación de fragilidad y comorbilidad se estima en un 46,2% de los casos³. Dentro de estos procesos destacan: a) la diabetes mellitus: se considera

que la diabetes implica un mayor riesgo de fragilidad por múltiples factores como la presencia de neuropatía periférica, hipotensión ortostática y postprandial por neuropatía autonómica, la enfermedad vascular periférica, el descenso del umbral del dolor y la mayor incidencia de disfunción cognitiva^{7,36}; b) la presencia de dolor: que puede provocar una disminución de la actividad favoreciendo la atrofia muscular y la pérdida funcional; c) la depresión: con frecuencia asociada a deterioro cognitivo y funcional, de forma directa y/o en relación a los tratamiento farmacológicos; y otros como la anemia o la presencia de fracturas⁷.

2.3.2 Presentación clínica

Frecuentemente la presencia de las siguientes presentaciones clínicas, indican el riesgo de desarrollo o la presencia de fragilidad³⁷.

- Caídas: La alteración del equilibrio y de la marcha son factores importantes de riesgo de caídas y son al mismo tiempo las principales características de la fragilidad. Las caídas se relacionan con frecuencia con la presencia de un proceso menor que reduce la capacidad de equilibrio postural disminuyéndolo por debajo del umbral necesario para mantener una deambulación segura.

Las caídas espontáneas son frecuentes en casos de fragilidad severa, cuando los sistemas de visión, equilibrio y fuerza ya no son suficientes para asegurar una función adecuada. En estos casos son frecuentes las caídas de repetición, que además de las consecuencias físicas directas, frecuentemente provocan una reacción psicológica de miedo y evitación de más caídas, lo que facilita un estado de inmovilidad y discapacidad.

- Delirium: Es una situación clínica caracterizada por la rápida aparición de confusión fluctuante y alteración de la conciencia. El delirium se relaciona con la reducción de la función cerebral y se asocia de forma independiente con resultados adversos.

- Discapacidad fluctuante: Se trata de un estado variable de capacidad funcional, sin relación aparente con ningún factor desencadenante.

El paciente puede pasar de ser completamente independiente a requerir cuidados básicos.

2.3.3 Modelos de fragilidad

El aumento del interés por conocer los mecanismos y consecuencias de la fragilidad, aumenta también la necesidad de determinar modelos que permitan la identificación clínica del síndrome, predecir la historia natural y la respuesta a intervenciones específicas.

Morley et al²⁸ publicaron en 2013 los resultados de una reunión de consenso sobre fragilidad. De este consenso destacan cuatro puntos principales:

1. Definieron “fragilidad física” como un síndrome caracterizado por la disminución de fuerza, resistencia y función fisiológica que aumenta la vulnerabilidad del individuo para desarrollar mayor dependencia y/o mortalidad.

Precisaron también que la fragilidad física difiere de la multimorbilidad de forma que mientras la fragilidad física se centra en áreas específicas que pueden abordarse con estrategias globales, la multimorbilidad requiere del manejo de cada condición de forma separada.

2. La fragilidad física es una condición tratable. Puede ser potencialmente prevenida y tratada con medidas específicas que incluyen el ejercicio, la suplementación proteico-calórica, la vitamina D y la reducción de la polifarmacia.

3. Se han desarrollado y validado diversos test de screening para permitir la identificación clínica de las personas frágiles. Algunos ejemplos se presentan en la Tabla 2.

4. Las personas mayores de 70 años y los individuos con pérdida de peso significativa ($\geq 5\%$) por enfermedad crónica, deberían ser valoradas para descartar fragilidad con el objetivo de optimizar la atención a las personas con fragilidad física.

Tabla 2: Test de fragilidad. En esta tabla se recogen algunos de los test descritos para la identificación de individuos con fragilidad física:

TEST	REFERENCIAS
The Cardiovascular Health Study Frailty Screening Measure	31
The Simple “FRAIL” Questionnaire Screening Tool	38
The Clinical Frailty Scale	32
The Gérontopôle Frailty Screening Tool	39

Actualmente podemos detenernos en dos modelos principales de fragilidad física:

- **Modelo fenotípico:** Fried et al³¹ desarrollaron un modelo que establece tres fenotipos de fragilidad en base a cinco variables: pérdida de peso no intencionada, agotamiento, bajo nivel de actividad física, enlentecimiento y debilidad muscular (Tabla 3). Aquellos individuos que cumplen 3 o más de los criterios se consideran frágiles, aquellos con 1 o 2 se consideran prefrágiles y los que no cumplen ningún criterio se consideran no frágiles o robustos.

Hay que considerar que ese modelo no incluye factores importantes como el deterioro cognitivo prevalente en la población anciana y asociado a discapacidad, pero a pesar de las críticas, este modelo ha sido validado^{3,30}.

Tabla 3: Criterios de fragilidad de Fried et al.³¹:

Pérdida de peso	Pérdida de peso no intencionada >4,54 Kg o en caso de seguimiento, pérdida de peso no intencionada de al menos 5% respecto al peso del año anterior.
Cansancio autoreferido	Basado en la CES-D Depression Scale. Se leen dos frases: “siento que todo me cuesta un esfuerzo”, “no tenía ganas de hacer nada” y se realizaba la siguiente pregunta “¿Cuántas veces se ha sentido así en la última semana?” Se consideran criterio de fragilidad las respuestas de “algunas veces (3-4 días/semana)” o “la mayor parte del tiempo”.
Actividad física	Basado en la versión corta del Minnesota Leisure Time Activity Questionnaire. El resultado se obtiene en Kcal/semana utilizando un algoritmo estandarizado y se considera criterio de fragilidad un valor < 383 Kcal/semana para varones y < 270 Kcal/semana para mujeres.
Tiempo de marcha	El tiempo que tarda en caminar 4,5m. Un tiempo superior a 7,5 segundos (velocidad de marcha ≤ 0,8 m/s) se considera criterio de fragilidad.
Fuerza de garra	Considerando criterio de fragilidad valores < 30 Kg para varones y < 17 Kg en mujeres.

- Modelo de déficit acumulado: Se trata de un modelo clínicamente atractivo porque permite graduar la fragilidad aplicando el Índice de fragilidad. Este índice fue desarrollado a partir del estudio CSHA⁴⁰. Se identificaron 92

variables de síntomas y el índice realiza un cálculo de la presencia o ausencia de cada variable como una proporción del total (p.e. 20 déficits presentes, de 92 descritos: $20/92= 0,22$). De esta forma, la fragilidad se define como el efecto acumulativo de déficits individuales. Esto soporta la idea de reducción de reserva de homeostasis.

Se describió que un valor de 0,67 podría identificar el umbral de fragilidad, de forma que cualquier acúmulo por debajo de este valor aumentaría el riesgo de muerte. Múltiples estudios han demostrado la fuerte relación entre el índice de fragilidad y el riesgo de muerte o institucionalización³.

El índice de fragilidad continuo presenta mayor capacidad para discriminar entre personas con niveles moderados o severos de fragilidad, pero ambos modelos tienen una notable convergencia estadística, con un valor predictivo convergente para eventos adversos de salud³.

2.3.4 Prevalencia

Las tasas de prevalencia varían en función de la forma de valoración^{3,26}. En el estudio de Fried et al³¹ la población estudiada (hombres y mujeres mayores de 65 años) se categorizaba en 7 % de frágiles, 47 % prefrágiles y 46% no frágiles. Las estimaciones de prevalencia de fragilidad varían entre el 4-59,1% y se observa una tendencia a aumentar con la edad, del 4% entre 65-60 años al 26% en mayores de 85 años⁴¹.

En una revisión sistemática que incluyó 13 estudios en personas mayores de 65 años, se describió una prevalencia de entre 4-17% de fragilidad física, valor que aumentaba cuando se incluía la fragilidad psicosocial ⁴¹.

Fried et al.³¹ describieron el fenotipo de fragilidad en una cohorte de Estados Unidos y observaron que el individuo frágil tenía más edad, con mayor frecuencia eran mujeres, presentaban mayor tasa de discapacidad, menor nivel de educación, menores ingresos económicos, peor salud global, más enfermedades (excepto cáncer), mayor déficit cognitivo y presentaban mayor nivel de síntomas depresivos.

Op het Veld et al.³⁰ describieron los niveles de función social, psicológica y física en una cohorte comunitaria de los Países Bajos en relación a los fenotipos descritos por Fried. Observaron que existían diferencias en el nivel de función social, psicológica y física entre los individuos según el fenotipo: los no frágiles presentaban puntuaciones más favorables comparados con los frágiles, y los prefrágiles presentaban puntuaciones intermedias. Pero a pesar de los puntos en común entre ambos grupos, se considera que la prevalencia puede variar en función de la población observada, el instrumento utilizado para el diagnóstico de fragilidad y el grupo de edad³.

2.3.5 Impacto

La fragilidad tiene un importante impacto en los individuos, las familias, el sistema de salud y la sociedad.

Fried et al.³⁵ realizaron seguimiento de la población estudiada a 3 y 5 años. Encontraron que las personas categorizadas como frágiles habían sufrido mayor número de eventos adversos que los no frágiles y la tasa de mortalidad a los 7 años era de 12%, 23% y 43 % para los no frágiles, prefrágiles y frágiles respectivamente.

Desde un punto de vista clínico, la identificación y consideración de la fragilidad es crucial ya que constituye una situación de gran riesgo de eventos adversos de salud como las caídas, la hospitalización, discapacidad y muerte. Desde un punto de vista social, la identificación de la fragilidad es relevante porque permite identificar grupos de personas con necesidades especiales de atención y con alto riesgo de dependencia. Y desde el punto de vista económico, es importante ampliar el conocimiento de la fragilidad para permitir intervenciones planificadas de forma adecuada y realizar programas de prevención.

Se considera que la relación de la fragilidad con eventos adversos hace que sea muy costosa a todos los niveles pero existen pocos datos sobre el potencial beneficio económico de intervenciones específicas o de screening. Las personas

frágiles son altas consumidoras de recursos sanitarios y de la comunidad y se asume que una intervención precoz mejoraría la calidad de vida y disminuiría los costes de cuidados²⁸.

Gill et al ⁴² estudiaron las transiciones de fragilidad de 754 participantes (la mayor parte europeos y americanos) durante 4,5 años. El 57% de los participantes tuvieron al menos una transición durante ese periodo, y en estos, lo más común era empeorar el estado de fragilidad basal con tasas de hasta el 43% respecto al 23% que eran los que mejoraban a un estado menor de fragilidad. Del conjunto, los frágiles tenían menos probabilidades de mejorar y tenían más probabilidades de mantenerse frágiles. Ya en 2012, Espinoza et al⁴³ observaron que los individuos prefrágiles con dos características en el momento inicial, tenían más probabilidad de pasar a estado de fragilidad que aquellos que inicialmente sólo cumplían un criterio (G18). Estudios realizados en otras poblaciones como el llevado a cabo por Lee et al ⁴⁴ también observan cómo parte de la población recupera el estado previo y describieron que una gran proporción de los individuos prefrágiles se mantuvieron estables durante dos años, lo que sugiere la existencia de una ventana en la que las intervenciones podrían reducir la tasa de los que empeoran o mejorar la tasa de recuperación.

La literatura sugiere que la fragilidad puede ser un estatus reversible con la implementación de acciones como el ejercicio físico, la suplementación nutricional y no dirigidas a los componentes específicos de fragilidad⁴⁵. Así, la identificación precoz de población en diferentes estadios de fragilidad y la definición de sus características podría ser crucial para realizar guías de práctica clínica con el objetivo de prevenir y optimizar sus condiciones. Mejorar el conocimiento actual sobre la fragilidad y la sarcopenia, sus mecanismos de producción y la implementación de intervenciones preventivas aplicables en la práctica clínica habitual, suponen un reto médico y social importante dado las consecuencias que conllevan y el envejecimiento progresivo de nuestra sociedad.

3 JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS E HIPÓTESIS DE TRABAJO

3.1 Justificación

El envejecimiento y sus consecuencias constituyen un problema de salud pública importante dado el envejecimiento progresivo de la población y la importancia personal, social y económica de las consecuencias adversas que conlleva el declinar de la capacidad funcional y el aumento de riesgo de la morbi - mortalidad que acompaña al paso del tiempo.

Hay dos conceptos íntimamente relacionados con el envejecimiento: la sarcopenia y la fragilidad, y existe un interés creciente por aumentar el conocimiento de estos conceptos con el objetivo de desarrollar estrategias específicas preventivas y terapéuticas que permitan minimizar sus consecuencias a nivel sanitario, económico y social.

Desde un punto de vista clínico, la identificación y consideración de la fragilidad es crucial ya que constituye una situación de gran riesgo de eventos adversos de salud como las caídas, hospitalización, discapacidad y muerte.

Esta tesis se diseña en forma de dos manuscritos con el fin de ampliar el conocimiento sobre la fragilidad y analizar dos aspectos clave de la misma: las características del equilibrio y la marcha, y el músculo en la fragilidad.

La identificación de parámetros objetivos y cuantificables que permitan valorar el equilibrio, la marcha, y el músculo en la fragilidad podría permitir una mejor identificación del individuo frágil, así como desarrollar y monitorizar estrategias preventivas o terapéuticas específicas.

3.2 Hipótesis de trabajo

Los individuos mayores de 70 años presentan cambios en los parámetros temporoespaciales de la marcha, cambios en la capacidad de equilibrio y en las características ecográficas y sonoelastográficas musculares en relación a la fragilidad.

De acuerdo con estas hipótesis de trabajo, nos propusimos los objetivos que se especifican en el apartado siguiente.

4 OBJETIVOS

1. Determinar la existencia de características propias de los parámetros temporoespaciales de la marcha relacionados con la fragilidad.
2. Determinar las características del estudio del equilibrio mediante posturografía estática y test clínicos relacionadas con la fragilidad.
3. Determinar las características ecográficas de grosor, área seccional y ecogenicidad del músculo periférico en los individuos frágiles.
4. Determinar la existencia de características sonoelastográficas propias del músculo periférico en los individuos frágiles.

5 APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS

La valoración objetiva y cuantificable de parámetros de la marcha y del equilibrio que permitan valorar las características de individuos con diferentes fenotipos de fragilidad permitiría:

1. Ampliar los conocimientos sobre los cambios producidos por dicha condición sobre la marcha y el equilibrio.
2. Diseñar y desarrollar estrategias e intervenciones específicas en función de las alteraciones definidas así como monitorizar el resultado de dichas intervenciones.

Conocer las características del músculo esquelético en individuos frágiles utilizando métodos no invasivos como son la ecografía y la sonoelastografía, permitiría:

1. Ampliar los conocimientos sobre el estado del músculo en la población frágil.
2. Desarrollar estrategias preventivas o terapéuticas específicas en la población mayor.
3. Definir parámetros ecográficos y sonoelastográficos del músculo esquelético en ancianos que permitan valorar el impacto sobre el músculo de diferentes tipos de intervenciones preventivas y terapéuticas.

Este estudio permite iniciar una línea de investigación sobre el envejecimiento, sarcopenia y fragilidad, sus características, sus consecuencias a nivel del músculo esquelético y del nivel funcional, así como el desarrollo de programas de intervención específicos.

6 PRIMER MANUSCRITO:

**ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS
TEMPOROESPACIALES DE LA MARCHA Y EQUILIBRIO
EN ANCIANOS**

6.1 Introducción

6.1.1 La marcha

6.1.1.1 La marcha normal

Caminar es una de las tareas más frecuentemente realizadas en la vida diaria en la que alrededor de 1000 músculos deben ser sincronizados para mover aproximadamente 200 huesos sobre 100 movimientos articulares⁴⁶. Se trata de una compleja interacción simultánea del sistema motor, sensitivo y de las funciones cognitivas⁴⁷ para conseguir la capacidad de locomoción (iniciación y mantenimiento rítmico del paso), equilibrio y de adaptación a las exigencias del entorno⁴⁸.

Caminar se ha considerado tradicionalmente como una tarea motora automática, pero recientemente se está prestando más atención a la importancia del estado cognitivo. La marcha normal requiere planificar una estrategia de la mejor ruta, de la interacción continua con el entorno y de factores internos. La seguridad y eficacia de la marcha normal no recae sólo en los sistemas sensitivomotores sino también en la interacción entre la dimensión de control ejecutivo (integración y decisión de la acción), la dimensión cognitiva (navegación, percepción visuoespacial, atención) y la dimensión afectiva (humor, precaución, aceptación de riesgos)⁴⁸. La marcha es un comportamiento motor complejo con muchas facetas mesurables⁴⁹.

6.1.1.1.1 El ciclo de la marcha: Fases y subfases

Se denomina *ciclo de la marcha o zancada* a los acontecimientos ocurridos desde que un pie contacta con el suelo hasta que el mismo pie vuelve a contactar con el suelo de nuevo.

La distancia entre dos apoyos consecutivos del mismo pie se denomina *longitud de zancada*. Se denomina *longitud de paso* a la distancia de progresión, que separa el apoyo inicial de un pie del apoyo inicial del pie contralateral. A la separación entre los apoyos de ambos pies, medida entre los puntos medios de los talones, se le denomina *anchura del paso o base de sustentación* y, al ángulo entre la línea media del pie y la dirección de progresión, se le denomina *ángulo de paso*. (Figura 1)

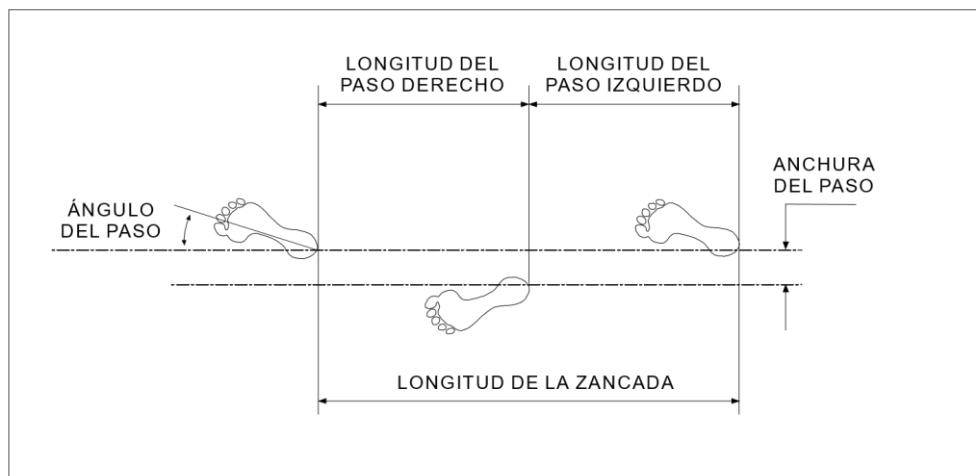


Figura 1: Representación de una zancada o ciclo de la marcha.

Cada zancada se compone de dos fases:

- Fase de apoyo:** durante la cual el pie se encuentra en contacto con el suelo. Representa el 60% de la duración del ciclo de la marcha. Se denomina *fase de apoyo monopodal* al intervalo en el que solo un pie contacta con el suelo, mientras el contralateral se encuentra en su fase de oscilación. Dentro de la fase de apoyo también existe un momento en que ambos pies contactan con el suelo, se denomina *fase de apoyo bipodal o doble apoyo* y representa el 10% de la fase de apoyo de cada pie. La duración de esta fase está condicionada por la velocidad de marcha, de forma que la duración de la fase de apoyo bipodal es

menor cuanta mayor es la velocidad, y llega a desaparecer cuando se realiza carrera. Así, la *duración del apoyo de un pie* equivale a la suma del tiempo de apoyo monopodal de dicho pie y de los dos tiempos de apoyo bipodal.

- b) **Fase de oscilación:** durante la cual el pie se halla en el aire mientras avanza hacia el paso siguiente. Representa el 40% de la duración del ciclo de la marcha.

En cada una de estas fases se distinguen varias subfases, y su conocimiento resulta importante para comprender y describir las características de la marcha normal como base para analizar las alteraciones de la marcha de cualquier origen. (Figura 2)

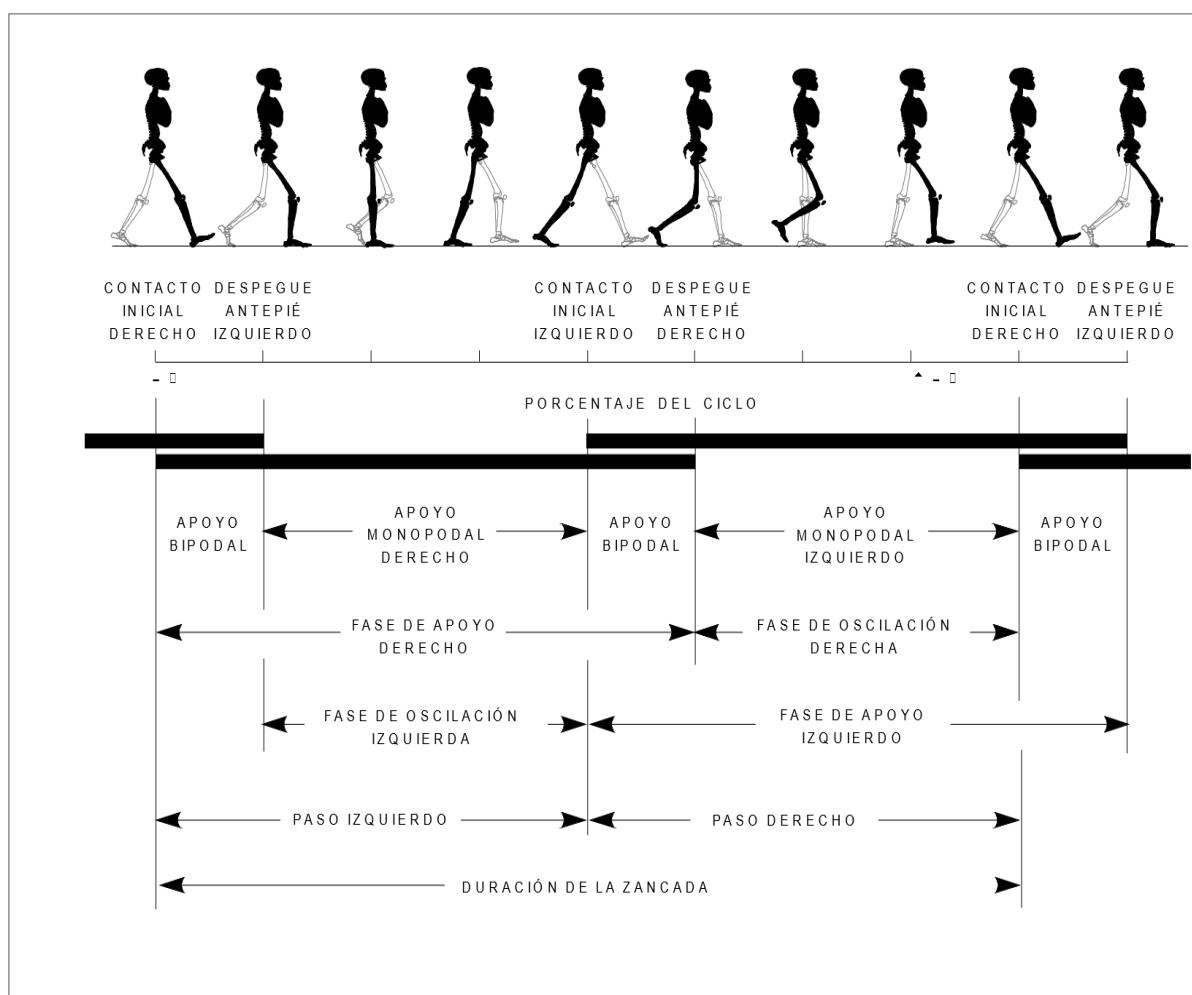


Figura 2: Representación del ciclo de la marcha y sus fases.

a. Fase de apoyo:

1. Fase de contacto inicial:

Constituye entre un 0-2% del ciclo de la marcha. Implica el posicionamiento para iniciar el apoyo que en condiciones normales se realiza con el talón.

2. Fase inicial de apoyo o de respuesta a la carga:

Constituye hasta un 10% del ciclo y coincide con el primer periodo de doble apoyo. El miembro que contacta absorbe el impacto y mantiene la estabilidad del apoyo.

3. Fase media de apoyo:

Transcurre entre el 10% y el 30% del ciclo. Es la primera parte del apoyo monopodal y se prolonga hasta el despegue del talón con el fin de conseguir la progresión del cuerpo sobre el miembro apoyado.

4. Fase final de apoyo :

Transcurre entre el 30 y 50% del ciclo y es la segunda mitad del apoyo monopodal en el que se proporciona aceleración y se asegura la longitud de la zancada. Comienza con el despegue del talón y finaliza cuando el miembro contralateral contacta con el suelo.

5. Fase pre-oscilación:

Transcurre entre el 50 y 60% del ciclo. Es el segundo periodo de doble apoyo y la transferencia del peso. Se corresponde con la fase inicial del apoyo contralateral.

b. Fase de oscilación:

6. Fase inicial:

Constituye entre el 50 y 75% del ciclo. El fin es despegar el pie del suelo y conseguir la cadencia deseada. La fase termina cuando el miembro en oscilación alcanza el miembro contralateral que se encuentra en fase media de apoyo.

7. Fase media:

Constituye entre el 75 y 90% del ciclo y comienza cuando ambos miembros se cruzan y el miembro en oscilación sobrepasa el miembro en apoyo.

8. Fase final:

Constituye entre el 90 y 100% del ciclo. En esta fase se completa el avance del miembro en oscilación preparando el contacto para el nuevo ciclo.

En el siguiente esquema (Figura 3) se identifican cada una de las subfases en relación al esquema que representa el ciclo de la marcha:

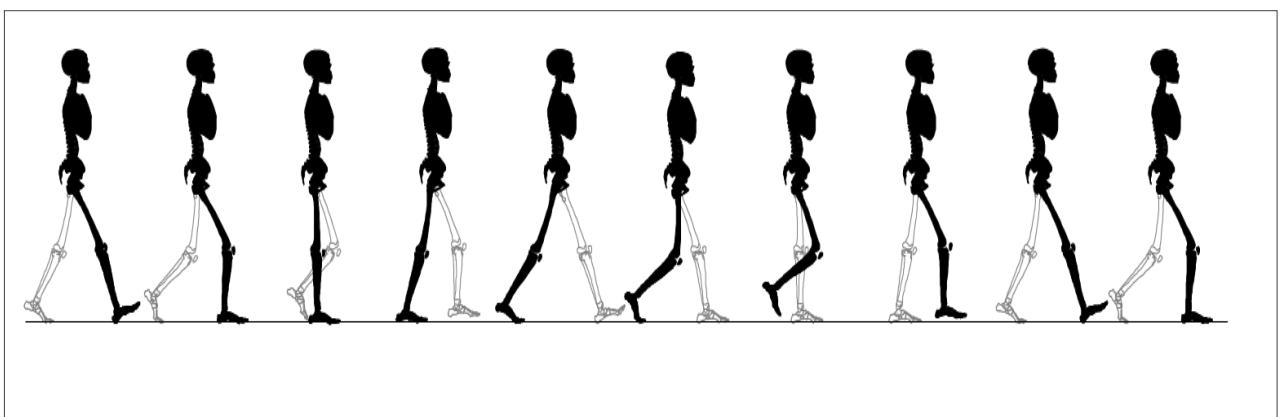


Figura 3: Representación de las subfases del ciclo de la marcha.

6.1.1.1.2 Parámetros de la marcha

Los avances tecnológicos de las últimas décadas permiten a clínicos e investigadores el acceso a dispositivos que permiten el estudio objetivo de diferentes variables que definen las características de la marcha.

Hollman et al.⁵⁰ describieron cinco factores o dominios en relación a la marcha:

1.- Ritmo: cadencia, duración del paso, duración de la zancada, tiempo de oscilación, tiempo de apoyo y apoyo simple.

2.- Fases: apoyo, oscilación, soporte simple, doble soporte y duración del doble soporte.

3.- Variabilidad: incluye la variabilidad de los parámetros (excepto la variabilidad de la anchura del paso).

4.- Paso: Velocidad de la marcha, longitud del paso, longitud de la zancada.

5.- Base de soporte: anchura del paso y variabilidad de la anchura/amplitud del paso.

Hay diferentes formas de clasificar los parámetros de la marcha, a continuación se presentan los parámetros y las definiciones operativas propuestas por Hollman et al.⁵⁰ y las unidades de medición más frecuentes:

a. Parámetros espaciales:

- Longitud del paso (cm): es la distancia antero-posterior entre el talón de una huella hasta el talón de la huella del pie contrario.

- Longitud de la zancada (cm): es la distancia antero-posterior entre los talones de dos huellas consecutivas del mismo pie. Dos pasos comprenden una zancada o ciclo de la marcha.
 - Amplitud del paso (cm): es la distancia lateral desde el centro del talón de una huella a la línea de progresión formada por dos huellas consecutivas del pie contrario.
- b. Parámetros temporales:
- Cadencia (pasos/min): es el número de pasos por minutos.
 - Duración del paso (s): es el tiempo transcurrido desde el contacto inicial de un pie hasta el contacto inicial del pie contrario.
 - Duración de la zancada (s): es el tiempo que transcurre entre el contacto inicial de dos pisadas consecutivas del mismo pie.
 - Duración del apoyo (s): es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial y el último contacto de una única pisada.
 - Duración de oscilación (s): es el tiempo transcurrido entre el último contacto de un pie hasta el contacto de la siguiente pisada del mismo pie.
 - Duración del apoyo simple (s): es el tiempo transcurrido entre el último contacto del pie contrario hasta el contacto inicial de la próxima pisada del mismo pie.
 - Duración del doble apoyo (s): es la suma de tiempo transcurrido entre dos periodos de doble soporte.

c. Parámetros temporofásicos:

- Tiempo de apoyo (% del ciclo de la marcha): es la duración del apoyo normalizado por la duración de la zancada.
- Tiempo de oscilación (% del ciclo de la marcha): es la duración de oscilación normalizado por la duración de la zancada.
- Tiempo de apoyo simple (% del ciclo de la marcha): es la duración del apoyo simple normalizado por la zancada.
- Tiempo de apoyo doble (% del ciclo de la marcha): es la duración del doble apoyo normalizado por la zancada.

d. Parámetros espaciotemporales:

- Velocidad de la marcha (cm / s): calculado dividiendo la distancia (cm) caminada por el tiempo (s) de marcha.
- Velocidad de la zancada (cm / s): calculado dividiendo la longitud de la zancada (cm) por la duración (s) de la zancada. También puede expresarse en m / s.

6.1.1.1.3 La velocidad de la marcha

La velocidad de la marcha hace referencia a la distancia recorrida en relación al tiempo invertido, generalmente se expresa en m / s.

La velocidad de la marcha se ha reportado como uno de los mayores predictores de resultados adversos y como el más útil para la identificación de fragilidad física⁵¹. De forma específica la velocidad de marcha es un predictor robusto de futura

discapacidad de movilidad, caídas y fracturas, desarrollo de dependencia, hospitalizaciones y muerte^{52 53 54}.

6.1.1.1.4 La variabilidad de los parámetros de la marcha

La variabilidad se basa en valorar la reproducibilidad de los movimientos^{49 55}. Inicialmente, la variabilidad de la marcha fue considerada una representación del “ruido” de las exploraciones, pero recientemente se sugiere que es un reflejo del control motor subyacente y podría ser relevante para cuantificar alteraciones patológicas o relacionadas con la edad⁵⁵. De hecho, la variabilidad de la marcha se ha utilizado como una medida de resultado primario en diversos ensayos clínicos⁵⁵.

Una baja variabilidad entre repeticiones refleja un proceso automático que requiere de mínima atención y se asocia a un control eficiente de la marcha y a una marcha segura⁵⁶. Una elevada variabilidad entre valores obtenidos en pruebas repetidas, se considera marcador de una regulación anormal de la marcha y podría reflejar vulnerabilidad de diversos sistemas además del locomotor⁴⁹.

Diversos estudios han demostrado asociación entre el aumento de la variabilidad de algunos parámetros de la marcha y la alteración del equilibrio y caídas⁵⁷, adultos mayores en riesgo de desarrollo de discapacidad y podría estar asociado al fenotipo de fragilidad^{55 57 47}. Pero la aplicabilidad clínica de la variabilidad de la marcha es todavía un tema controvertido.

6.1.1.2 La marcha en los adultos mayores

El estudio de la marcha ha sido utilizado para valorar la calidad de vida⁵⁰, el estado de salud⁵³ y la función física⁵⁸ en adultos mayores. De hecho se han utilizado

parámetros específicos de la marcha para determinar el riesgo de demencia, riesgo de caídas⁵⁹ e incluso el riesgo de mortalidad precoz⁵⁰.

Conocer cómo la marcha se asocia a estos fenómenos clínicos es un reto porque hay muchos parámetros de la marcha que pueden medirse pero no existe consenso sobre cuál es el más relevante⁵⁰.

6.1.1.2.1 La alteración de la marcha con la edad: ¿Patología o normalidad?

Tradicionalmente se consideró que el envejecimiento normal era el responsable de las alteraciones de la marcha observadas en ancianos, y se denominó *marcha senil* a la marcha lenta, con arrastre de los pies y de patrón cauteloso⁴⁸.

Con la edad se suceden una serie de cambios en diversos sistemas implicados en la marcha y que participan en los cambios observables con el envejecimiento⁴⁶:

- Cambios neurológicos: incluyen el aumento del tiempo de reacción, disminución del nivel de producción de neurotransmisores tipo dopamina, una disminución de la agudeza auditiva, vestibular, visual y de los sistemas somatosensoriales (especialmente de la percepción de vibraciones de alta frecuencia, tacto, propiocepción y estímulos de presión). Para una locomoción eficiente se requiere de un sistema nervioso integrado con un control motor suficiente y una respuesta sensitiva adecuada.
- Cambios en el aparato locomotor: con la edad se produce una disminución general de la fuerza muscular debido a la pérdida de neuronas motoras, fibras musculares y hay una disminución de la capacidad aeróbica. También hay cambios a nivel del tejido conectivo periarticular facilitando la limitación del rango pasivo de movimientos articulares.
- Cambios en la variables temporoespaciales, cinemáticos y cinéticos de la marcha: se ha observado que los ancianos tienen una velocidad natural de marcha menor que en jóvenes por una reducción de la longitud de la zancada

y un aumento de la duración del doble soporte. También se han descrito momentos de fuerza disminuidos a nivel de cadera y rodilla, un despegue menos vigoroso y mayor apoyo plantígrado que en sujetos jóvenes. Estos cambios se consideran adaptaciones para conseguir mayor seguridad en la marcha^{60,61}.

La alteración de la marcha tiene unas consecuencias devastadoras en la población mayor, entre ellas aumenta el riesgo de caídas (con consecuencias de diversa consideración), de inmovilidad, son marcador de futura enfermedad y se asocian a una reducción de la supervivencia^{59,48,47}.

Actualmente la alteración de la marcha se considera un marcador de enfermedad subyacente; incluso cuando es aislada, la marcha alterada puede reflejar estadios precoces de enfermedad, situaciones preclínicas neurodegenerativas o cerebrovasculares^{59,48}.

6.1.1.2.2 Epidemiología de la alteración de la marcha en adultos mayores

La marcha anormal se considera común en edades avanzadas pero no se ha establecido bien la epidemiología de la alteración de la marcha en ancianos⁵⁹.

La incidencia y prevalencia de la alteración de la marcha aumenta con la edad^{59,48,47}. El 85% de la población de 60 años tiene una marcha de características normales, pero a partir de los 85 años, la proporción disminuye hasta el 18%⁴⁸.

Veghese et al.⁵⁹ describieron una prevalencia ponderada de marcha anormal del 35% en un estudio realizado en 468 individuos de la comunidad. De los 168 individuos que presentaban una marcha anormal, 81 presentaban alteraciones de la marcha de causa no neurológica: artrosis o deformidades articulares (84,8%), enfermedad pulmonar crónica (6,2%), angina de pecho (4%), insuficiencia cardiaca (3,1%) y enfermedad vascular periférica (1,9%). El mismo grupo observó que aunque sólo un tercio de la muestra presentaba alteración de la marcha, el 58% de

todas las muertes e institucionalizaciones acaecidas en los 5 años siguientes, habían ocurrido en estos sujetos.

Pero hasta un 20% de los individuos mayores presentan una marcha de características normales, por lo que la presencia de alteraciones no debe de ser algo inevitable unido a la edad⁴⁸ y justifica su estudio.

Hay dos consecuencias fundamentales relacionadas con el declinar secundario a la edad que son evidentes en la marcha:

1. Disminución del rendimiento de la marcha: debido principalmente a la pérdida de fuerza muscular⁶². Cambios que se reflejan en los parámetros cinéticos y temporoespaciales³⁴.
2. Aparición de adaptaciones compensatorias que generan patrones de marcha⁶³: tendencia a realizar pasos más cortos, disminuir la velocidad, aumentar la amplitud del paso y aumentar el tiempo de doble soporte podrían resultar una estrategia compensatoria para aumentar la estabilidad, evitar caídas o reducir el coste energético de la movilidad⁴⁷.

6.1.1.2.3 La velocidad de la marcha en adultos mayores

La velocidad de la marcha natural está reducida de forma significativa en adultos mayores respecto a los jóvenes y parece ser consecuencia principalmente de la reducción en la longitud de la zancada⁶⁰, aunque la velocidad de la marcha se relacionada directamente con la fuerza muscular⁶⁴.

Se ha reportado una media de marcha normal en adultos mayores sanos de 130 cm/s⁶⁵. Alcock et al.⁶⁶ describieron que la pérdida al año de un 1,2% de la velocidad de la marcha es predecible debido a la edad. De todas formas, hallazgos recientes sugieren que monitorizar la velocidad de la marcha, ya que un descenso rápido de

la misma, especialmente en la velocidad de marcha rápida, se asocia a mayor riesgo de discapacidad⁶⁷.

6.1.1.2.4 Otros parámetros temporoespaciales de la marcha en adultos mayores

Las diferencias en la variabilidad motora en la marcha entre adultos mayores y jóvenes ha sido demostrada en diversos estudios, tal y como recoge la reciente revisión de la literatura realizada por Abutorabi et al.⁴⁷.

Los adultos mayores presentan un aumento de la variabilidad de los parámetros del paso respecto a los jóvenes presentando una disminución de la simetría y longitud del paso y un aumento de la duración y de la anchura del paso. Se postulan diferentes causas para ello: cambios del sistema neuromuscular periféricos, aumento del coste energético, debilidad muscular y alteración del equilibrio⁴⁷.

6.1.1.3 La alteración de la marcha y las caídas

6.1.1.3.1 Importancia de las caídas

Las caídas son la causa más importante de morbilidad en los ancianos. Aproximadamente un tercio de los mayores de 65 años experimentarán una caída al año y la mitad experimentarán caídas recurrentes, entre los mayores de 80 años, el 50% presenta al menos una caída en un año^{46,68}. El 60% de las personas que mueren como resultado de una caída se encuentran en estas franjas de edad⁶⁹. Las caídas son la principal causa de lesiones y son una fuente importante de costes en la sociedad occidental, se estima que representan una carga de entre el 0.85 y el 1.5% del gasto nacional de salud⁷⁰.

Las caídas son de carácter multifactorial, y pueden ocurrir como consecuencia de factores intrínsecos (relacionados con el propio individuo) o extrínsecos (dependientes del entorno, etc.). La mayor parte de las caídas tienen lugar durante la deambulación, suelen ser en interiores y la causa percibida más importante es la alteración del equilibrio y de la marcha⁶⁸.

6.1.1.3.2 La velocidad de la marcha y las caídas

La velocidad de la marcha se considera un signo de capacidad física en personas ancianas. Los individuos que caen presentan una velocidad de marcha menor que los individuos que no caen⁶⁸. Y se ha descrito que un descenso de 10cm/s en la velocidad de marcha se asocia con mayor riesgo de caídas en personas mayores⁷¹. Las personas que caen también presentan mayor variabilidad de la velocidad de marcha que las personas que no sufren caídas⁶⁸.

6.1.1.3.3 Otros parámetros de la marcha y las caídas

Hay dos enfoques para determinar el riesgo de caídas desde los parámetros temporoespaciales de la marcha: la comparación de los valores medios entre individuos que caen y los que no, y la valoración de la reproducibilidad de los movimientos coordinados que implica la marcha. Hay indicios de que el riesgo de caídas puede ser evaluado de forma más precisa utilizando la variabilidad de los parámetros temporoespaciales de la marcha que con los valores medios⁵⁵. Mortaza et al. describieron los parámetros de la marcha que diferencian a los individuos que caen respecto a los que no caen.

Los individuos que caen presentan⁶⁸:

- Mayor cadencia, o una combinación de cadencia lenta y zancada corta.
- Mayor duración del doble soporte.

- Menor longitud de la zancada.
- Menor longitud del paso.
- Aumento de la anchura del paso.

En relación a la variabilidad de los parámetros, se han descrito diferencias entre individuos, de forma que los que caen presentan mayor variabilidad de la duración de la fase de apoyo, de la duración de la fase de oscilación y de la duración de la zancada⁷². Otros autores también han descrito mayor variabilidad de la longitud del paso y de la cadencia en la población que sufre caídas⁶⁸.

Algunos parámetros también han sido reportados como factores de riesgo o predictores de futuras caídas, entre ellos: el descenso del 10% de la proporción de la fase de oscilación en relación al ciclo de la marcha⁷¹, el aumento de variabilidad de la duración de la zancada, de la fase de oscilación, del doble soporte y de la anchura del paso⁴⁹.

6.1.1.4 La alteración de la marcha y la fragilidad

La fragilidad como concepto fisiológico, es considerada como la falta de homeostasis con una reducción de la reserva cercana al umbral de insuficiente y una pérdida generalizada de la complejidad de múltiples sistemas fisiológicos, aumentando la vulnerabilidad ante la enfermedad u otros factores estresores^{49,57}.

La velocidad de la marcha es el parámetro de la marcha más reportado⁵⁰ y es uno de los cinco criterios de fragilidad descritos por Fried³¹. La velocidad de marcha se considera uno de los mayores predictores de eventos adversos como discapacidad motora, caídas u hospitalización, pero a pesar de ello, el análisis de la marcha no se ha utilizado en la valoración rutinaria de fragilidad⁵⁷.

Sabemos poco de la asociación entre los parámetros de la marcha (exceptuando la velocidad) y la categoría de estado de fragilidad⁵⁷. Aunque el interés clínico y científico ha aumentado en los últimos años, todavía disponemos de pocos estudios que permitan extraer conclusiones, además, de entre la literatura disponible, se identifican diversos factores de confusión relacionados principalmente con los protocolos de marcha, el uso de ayudas o la forma de categorizar la fragilidad, que dificultan la obtención de conclusiones⁵⁷.

Sabemos que la fragilidad se asocia con baja capacidad en múltiples parámetros cuantitativos de la marcha además de la velocidad⁴⁹. Y combinar varios de los parámetros temporoespaciales de la marcha podría aumentar la sensibilidad y especificidad de la predicción de riesgo de fragilidad y/o su clasificación⁵⁷.

6.1.1.4.1 La velocidad y la fragilidad

La velocidad de la marcha se ha reportado como uno de los mayores predictores de resultados adversos y el más útil para la identificación de fragilidad física⁵¹. De forma específica la velocidad de la marcha es un predictor robusto de futura discapacidad de movilidad, caídas y fracturas, necesidad de cuidador, hospitalizaciones y muerte^{53,54}.

El estándar actual para identificar fragilidad es la velocidad de marcha habitual autoselecciónada⁵⁷, pero diversos estudios plantean el estudio de la marcha y de la velocidad de la marcha a velocidad rápida o mientras se realiza otra tarea, ya que la velocidad de confort podría suponer un estrés insuficiente a pesar de tener una reserva fisiológica menor⁵⁷.

La velocidad de la marcha disminuye con la progresión de la fragilidad y eso se refleja también en algunos parámetros temporoespaciales de la marcha. Por tanto, la velocidad juega un papel importante para la definición de fragilidad pero una baja velocidad de marcha es una variable inespecífica ya que puede relacionarse con

otros procesos como el propio envejecimiento y no da información sobre un patrón específico de marcha que permita diferenciar los estados de fragilidad⁵⁷.

6.1.1.4.2 Otros parámetros de la marcha y la fragilidad

Cuando se excluye la velocidad de la marcha de la definición de fragilidad, la variabilidad de la marcha podría discriminar el estado de fragilidad⁵³.

En la revisión realizada por Schwenk et al., los autores concluyen que la reducción de la cadencia podría permitir discriminar entre no frágiles y prefrágiles y resultar un parámetro sensible para realizar un diagnóstico precoz de fragilidad, mientras que la disminución de la longitud del paso podría reflejar la progresión a fragilidad (el paso de prefrágil a frágil)⁵⁷.

Montero-Odasso et al., estudiaron los parámetros de la marcha en los tres grupos de fragilidad⁴⁹. Encontraron que todos los grupos de fragilidad presentaban diferencias significativas en la velocidad de la marcha, en la duración de la zancada y en la anchura del paso. Al analizar la variabilidad de la marcha encontraron que un aumento de la variabilidad de la duración de la zancada permitía diferenciar entre frágiles y no frágiles, y un aumento de la variabilidad de la anchura del paso diferenciaba a los prefrágiles y frágiles de los no frágiles. Observaron también que los individuos que cumplían el criterio de fragilidad de *baja velocidad* de marcha, presentaban una alteración de todas las medidas cuantitativas de la marcha, mientras que los que cumplían el criterio de *cansancio*, además de alteraciones en las medidas cuantitativas de la marcha, presentaban una mayor variabilidad de la duración y longitud de la zancada⁴⁹.

Globalmente, los resultados sugieren que la prefragilidad se relaciona principalmente con el deterioro de los parámetros temporales de la marcha y la progresión hacia la fragilidad con el deterioro de los parámetros espaciales (posiblemente relacionados con el declive de la fuerza y/o potencia de las extremidades inferiores, consecuencia de la sarcopenia)⁵⁷.

Los estudios sobre la marcha en individuos frágiles son controvertidos. En parte por la variabilidad de la definición de fragilidad utilizada, también por las diferencias entre los protocolos de estudio de la marcha y por las diferentes teorías sobre el significado del estudio de la variabilidad de los parámetros de la marcha⁶².

La evidencia soporta la idea de considerar la alteración de la marcha como un signo de alarma de probable patología subyacente. Además, la complejidad del proceso de la marcha sugiere que las características de ésta representan una medida acumulada de fragilidad y reflejan un declinar de múltiples sistemas fisiológicos indicando un aumento de la vulnerabilidad a estresores con asociación de resultados adversos, es decir, fragilidad⁵⁷. En el futuro, los estudios deberían ir dirigidos a explorar si las variables de la marcha son suficientemente fiables para identificar la fragilidad y sensibles al cambio en el tiempo⁵⁷.

6.1.2 El equilibrio

6.1.2.1 El equilibrio y la marcha

El sistema postural mantiene el equilibrio en bipedestación estática y durante las actividades motoras (dinámica). La información discurre por estructuras aferentes periféricas (oído, vista, músculo, etc.) hacia el córtex cerebral donde la información será procesada para elaborar una respuesta, el resultado es la adaptación del cuerpo asumiendo posturas y movimientos relativos para mantener el equilibrio⁷³.

Las exigencias de equilibrio durante la marcha son diferentes a aquellas implicadas en mantener la postura en bipedestación. Durante la bipedestación, el objetivo es mantener el centro de gravedad del cuerpo dentro de la base de soporte. Durante la marcha, al inicio, el centro de gravedad del cuerpo se desplaza hacia delante y hacia fuera del pie en apoyo. En el momento que se consigue la cadencia

adecuada, el único periodo de estabilización es en la fase de doble apoyo e incluso en ese periodo un miembro está despegando mientras el otro acepta el peso completo del cuerpo. Durante la marcha, el cuerpo se encuentra en un estado inherente de inestabilidad⁶⁰.

6.1.2.2 Valoración del equilibrio o estabilidad

6.1.2.2.1 Tests clínicos

Existen multitud de test clínicos y escalas que permiten valorar el equilibrio o estabilidad. Algunos valoran la capacidad de mantener la estabilidad en bipedestación estática y otros valoran el equilibrio en diversas condiciones o realización de tareas.

A continuación se presenta una breve reseña de los más utilizados en nuestro medio en población adulta mayor:

- Functional Gait Assessment⁷⁴ : determina la estabilidad postural durante varias tareas que implican la marcha.
- Four Square Step Test⁷⁵ : valora el equilibrio dinámico, determina la capacidad de la persona para salvar objetos dando un paso al mismo tiempo que avanza en varias direcciones del espacio.
- Timed Up and Go⁷⁶ : valora la movilidad, la capacidad de caminar y el riesgo de caídas.
- Functional Reach Test⁷⁷ : valora la estabilidad del individuo midiendo la distancia máxima que puede alcanzar mientras se mantiene en pie fijo en un punto. Existe una versión modificada en la que el individuo se mantiene sentado en un punto fijo⁷⁸.

- Tinetti Performance Oriented Mobility Assessment⁷⁹ : valorar la capacidad de marcha y equilibrio. Tiene una subescala propia de equilibrio.
- Berg Balance Scale⁸⁰: consta de una secuencia de 14 órdenes y permite la valoración del equilibrio estático y dinámico. Existe una versión corta (Short Form Berg Balance Scale 3 point).
- 360 Degree Turn Test⁸¹ : es una medida de equilibrio dinámico y se puede medir registrando el tiempo y/o el número de pasos que requiere el individuo para dar una vuelta completa sobre sí mismo.
- Test de apoyo unipodal^{82,83} : permite valorar el equilibrio estático y el riesgo de caídas.

6.1.2.2.2 Test instrumentados

6.1.2.2.2.1 Posturografía estática

El estudio de posturografía estática se realiza mediante el uso de plataformas de fuerza, y siguiendo el Sistema Internacional de medida, la unidad de medida es el Newton (N).

La posturografía estática permite definir objetivamente la posición media del cuerpo y medir los pequeños movimientos que sufre alrededor de la posición bípeda. Aunque equilibrio y estabilidad se utilizan frecuentemente como sinónimos, los movimientos que registra la posturografía reflejan la estabilidad, que es la propiedad del cuerpo de volver a su posición. La plataforma de fuerza mide la posición del centro de presión (CoP), es decir, el punto de aplicación de las fuerzas de reacción que se oponen al desplazamiento de la plataforma producido por el propio peso corporal. Teóricamente es la resultante de tres componentes: fuerza de reacción antero-posterior, medio-lateral y vertical pero falta acuerdo científico sobre lo que realmente representa el balanceo del CoP y los protocolos de estudio

que podría ser más adecuados en cada tipo de población a estudio⁸⁴. Una de las formas de valoración es la comparación de los registros obtenidos con ojos abiertos y con ojos cerrados. Todo individuo cambia de táctica cuando cierra los ojos, disminuyendo el número de las oscilaciones⁸⁵.

Como variables a analizar para el estudio de los movimientos del CoP se han propuesto: la velocidad media, la longitud del recorrido que realiza la proyección del CoP, el área de la elipse que incluye el recorrido realizado por el CoP y las variaciones en los ejes mediolateral y anteroposterior⁸⁶. La velocidad media de los movimientos del CoP se considera una de las más relevantes, y se ha reportado que esta velocidad media aumenta con la edad^{87, 88}. Igual en jóvenes que en adultos mayores, la velocidad media del CoP aumenta aproximadamente un 30% en condiciones de ojos cerrados⁸⁹. El ratio entre el registro con ojos abiertos y cerrados (Romberg ratio= Romberg ojos cerrados/ Romberg ojos abiertos) se ha propuesto como medida para valorar el componente sensorial del mantenimiento de la bipedestación estática. Pero datos recientes sugieren que el Romberg ratio de la posturografía estática no provee de una información fiable sobre el componente sensorial de la estabilidad⁹⁰.

La posturografía se ha utilizado para el diagnóstico de diversos procesos y la valoración del resultado de tratamiento específicos⁸⁴. Piirtola et al.⁹¹ realizaron un meta-análisis sobre su uso en el estudio del envejecimiento y concluyeron que la alteración de los valores de equilibrio mediolateral en estática podrían ser predictores de caídas. No se disponen de datos específicos relacionados con los hallazgos en relación a la fragilidad.

6.1.2.2.2.2 Baropodometría estática:

Se trata de dispositivos que tienen sensores de presión incluídos de forma que permite el registro de las presiones de la superficie plantar^{73,92}. Los sensores recogen las características de las huellas plantares y las fuerzas de reacción del

suelo (centro de presiones) durante la bipedestación estática, registra cada pie y sus subdivisiones (antepié, mediopie y retropié) ⁷³.

Pueden ser plataformas estáticas (que miden la presión entre el pie y el suelo mientras el individuo mantiene la posición en bipedestación), pistas de marcha (que permiten el estudio de la marcha) o plantillas (que miden las presiones entre el pie y el calzado). Las pista de marcha y las plantillas permiten además el estudio de las presiones, centro de presiones y parámetros temporoespaciales durante la marcha ⁷³.

En el Sistema Internacional, el Newton (N) es la unidad de fuerza y el Pascal (P) la unidad de presión. Un Pascal se define como la presión experimentada cuando una fuerza de 1N se aplica en un área de 1m². Los valores de presión pueden ser expresados en N/cm².

Las diferencias entre las características técnicas de los dispositivos (tipos de sensores, procedimientos de calibración, protocolos de estudio, etc.)⁹³ y los pocos trabajos científicos utilizando la baropodometría, son causas por las que la aplicación clínica de esta técnica resulta útil para el estudio de procesos que implican al pie y el miembro inferior, pero controvertido para la aplicación en otros procesos ⁷³. Los autores desconocen estudios previos que utilicen la baropodometría en el ámbito de la fragilidad.

6.1.2.3 El equilibrio en el adulto mayor

El control postural en adultos mayores está alterado por múltiples factores⁸⁹ y la mayor parte de las personas mayores presentan algún grado de alteración del equilibrio⁹⁴.

Existe una serie de cambios que se producen con la edad y que pueden alterar la estabilidad de la marcha bien de forma directa o indirecta por provocar sensación de inestabilidad e inseguridad⁴⁸.

- Cambios a nivel de sistema nervioso central: atrofia de regiones motoras corticales y cuerpo calloso, reducción del volumen de materia gris y blanca, degeneración de ganglios basales motores.
- Disfunción a nivel vestibular, cambios visuales y de los sistemas de atención.
- Disminución de hasta un 40% de la fuerza en miembros inferiores, alteración de la respuesta motora para la corrección del equilibrio con coactivación de músculos antagonistas, etc.⁸⁹. Algunos de estos cambios pueden coincidir con el declive motor y presentarse como déficit del control motor fino, del equilibrio y de la marcha, provocando un aumento de la variabilidad del movimiento⁴⁷.

En condiciones normales es necesario pivotar ligeramente el centro de presiones y el centro de masas para transferir el peso corporal durante las actividades de la vida diaria⁹⁴. El problema más frecuente en los adultos mayores suele ser la transferencia incorrecta del peso al realizar un cambio voluntario del centro de presiones para conseguir un movimiento⁹⁴, en esos casos presentan un menor desplazamiento, mayor tiempo de reacción y lentitud de movimientos⁹⁵ que los individuos jóvenes.

Estos cambios del patrón de marcha son considerados por algunos como una estrategia compensatoria para aumentar la estabilidad de la marcha, evitar caídas y/o reducir el coste energético que supone la movilidad^{47,96}. Mientras que otros, consideran que los cambios de la marcha que aparecen con la edad, son una manifestación temprana de patología subyacente.

Para estudiar los mecanismos de control postural durante la bipedestación estática se han utilizado medidas como el desplazamiento del centro de presiones y sus derivadas⁹⁷. La pérdida de la simetría y el aumento de la variabilidad de la marcha también han sido estudiados en esta población^{49,57,47}. De entre la literatura destacan los siguientes hallazgos, cambios característicos relacionados con las alteraciones del equilibrio en la población adulta mayor y el intento de minimizar sus consecuencias:

- mayor excursión del centro de presiones durante la bipedestación estática (velocidad media del centro de presiones)⁸⁹.
- reducción del momento mediolateral del centro de masas durante la marcha⁴⁷.
- disminución del movimiento del centro de presiones con la transferencia del peso⁹⁸.
- aumento del tiempo de doble soporte en la marcha^{49,57}.
- aumento de la anchura del paso^{99,100}.

En relación a la fragilidad, el aumento de la duración del doble soporte a velocidad rápida emerge como el parámetro de mayor efecto para discriminar entre frágil y prefrágil⁵⁷.

El estudio de las alteraciones que presentan los adultos mayores a nivel de la estabilidad y las características de la marcha constituyen actualmente una paradoja conocida: las mismas características se asocian a procesos considerados patológicos como el aumento del riesgo de caídas, que se asocian a la adopción de estrategias compensatorias para conseguir más seguridad y estabilidad en una población que presenta múltiples cambios consecuencia de la edad⁵⁵.

El objetivo principal de este estudio fue determinar las características específicas de equilibrio y parámetros de la marcha que permitan discriminar entre los diferentes estados de fragilidad.

Otros objetivos de este estudio fueron establecer la relación entre las características de equilibrio y marcha de cada estado de fragilidad con el nivel funcional de los individuos.

6.2 Material y método

6.2.1 Diseño del estudio, reclutamiento y muestra

Se ha llevado a cabo un estudio observacional, transversal, descriptivo, realizado en el Hospital de Mataró (Consorci Sanitari del Maresme: CSdM) para el que previamente se obtuvo el informe favorable del Comité de Ética (CEIC) de dicho centro.

Los participantes fueron reclutados en los dispositivos asistenciales del CSdM: ABS Mataró Centre, ABS Cirera-Molins, ABS Argentona, Consultas Externas de Geriatría y Medicina Interna y Hospital de Día del paciente crónico complejo del Hospital de Mataró entre Octubre de 2012 y Diciembre de 2013.

Los candidatos eran personas mayores de 70 años de la comunidad y que vivían en domicilio. Fueron informados verbalmente del objetivo del estudio y de la implicación de participar en el mismo. También les fue entregada una hoja de información y aquellos que cumplían los criterios de inclusión y firmaron el consentimiento informado, fueron incluidos en el estudio como participantes. A cada uno se le asignó un código único e irrepetible que permitió su identificación manteniendo la confidencialidad del individuo. Una vez incluidos fueron clasificados en grupos de fragilidad siguiendo el modelo de fenotipo de fragilidad descrito por Fried et al.³¹

6.2.1.1 Criterios de inclusión

- Edad igual o mayor a 70 años.
- Capacidad de deambulación independiente con o sin ayudas técnicas.

- Individuos no institucionalizados.
- Aceptación y firma del consentimiento informado.

6.2.1.2 Criterios de exclusión

- Hospitalización y/o enfermedad aguda intercurrente en las dos semanas previas al inicio del estudio.
- Estado terminal o con una esperanza de vida inferior a tres meses.
- Deterioro o capacidad cognitiva que no permita la comprensión y firma del consentimiento informado, así como la realización de las pruebas necesarias para el estudio.

6.2.2 Principales medidas de resultado y métodos de medición

6.2.2.1 Evaluación de fragilidad

Para la evaluación de fragilidad se aplicaron los criterios descritos por Fried et al.³¹. Este grupo desarrolló un modelo de valoración de fragilidad que permitiera identificar el síndrome definiendo un fenotipo.

Los criterios definidos por Fried et al.³¹ y utilizados para la valoración en nuestro estudio fueron los descritos en la tabla 4.

Tabla 4: Criterios de fragilidad de Fried et al.³¹:

Pérdida de peso	Pérdida de peso no intencionada >4,54 Kg o en caso de seguimiento, pérdida de peso no intencionada de al menos 5% respecto al peso del año anterior.
Cansancio autoreferido	Basado en la CES-D Depression Scale. Se leen dos frases: “siento que todo me cuesta un esfuerzo”, “no tenía ganas de hacer nada” y se realizaba la siguiente pregunta “¿Cuántas veces se ha sentido así en la última semana?” Se consideran criterio de fragilidad las respuestas de “algunas veces (3-4 días/semana)” o “la mayor parte del tiempo”.
Actividad física	Basado en la versión corta del Minnesota Leisure Time Activity Questionnaire. El resultado se obtiene en Kcal/semana utilizando un algoritmo estandarizado y se considera criterio de fragilidad un valor < 383 Kcal/semana para varones y < 270 Kcal/semana para mujeres.
Tiempo de marcha	El tiempo que tarda en caminar 4,5m. Un tiempo superior a 7,5 segundos (velocidad de marcha ≤ 0,8 m/s) se considera criterio de fragilidad.
Fuerza de garra	Considerando criterio de fragilidad valores < 30 Kg para varones y < 17 Kg en mujeres.

Para valorar el criterio de fragilidad respecto al nivel de *Actividad Física*, Fried et al.³¹ describieron los valores en base a la versión corta del Minnesota Leisure Time Activity questionnaire (MLTAq), calculaban las Kcal/semana utilizando el algoritmo estandarizado y estratificaron esta variable por sexo considerando criterio de fragilidad en hombres una actividad < 383 Kcal/semana y < 270 Kcal/semana en el caso de las mujeres. En este estudio se utilizó la versión reducida del MLTAq validada en español (VREM). Existen dos publicaciones electrónicas con la información necesaria para aplicar el VREM. Una guía del usuario con las instrucciones para los entrevistadores (Guía del entrevistador. Disponible en:

<https://dl.dropbox.com/u/17515407/VREM.pdf>) y una hoja de cálculo en formato Excel a través de la cual, una vez llenados los campos, de forma automática se calcula el gasto energético en el tiempo libre (en METs-min / 14 días) a la vez que clasifica al individuo en función de su gasto energético entre sedentario y muy activo (Cálculo del gasto energético VREM. Disponible en: https://dl.dropbox.com/u/17515407/calculo_resultados_VREM.xlsx). Para poder valorar el ítem de actividad física siguiendo los criterios de fragilidad de Fried, el resultado en METs-min/14 días fue transformado en Kcal/semana teniendo en cuenta que 1 MET equivale a 1 Kcal/Kg de peso corporal/h.

La *velocidad de marcha* se calculó en una distancia de 4 metros. Una velocidad \leq 0.8 m/s se consideró criterio de fragilidad.

6.2.2.2 Evaluación de sarcopenia

Los criterios aplicados para el diagnóstico de sarcopenia fueron los definidos por el Grupo Europeo de Trabajo sobre la Sarcopenia en personas de edad avanzada (EWGSOP, Grupo de Trabajo sobre la Sarcopenia)¹⁰:

- I. Masa muscular baja
- II. Menor fuerza muscular
- III. Menor rendimiento físico

El diagnóstico requiere la confirmación del criterio I, más el criterio II ó el criterio III. Para evaluar cada uno de los criterios, se siguieron las recomendaciones de las técnicas de evaluación propuestas por el EWGSOP.

La *masa muscular* se valoró por *análisis de bioimpedanciometría*. Este calcula el volumen de masa corporal magra y grasa. Es una prueba barata y sencilla y se considera una buena alternativa portátil a la absorciometría radiológica de doble

energía (DEXA), considerada como alternativa óptima a la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM) para calcular la masa muscular y magra. En este estudio, la valoración por bioimpedancia para la estimación de la masa muscular y grasa, se realizó utilizando el dispositivo BIA 101 (Akern Srl, Pontassieve, Florence, Italy). Para este estudio se consideró el valor de la masa muscular absoluta que corresponde a la masa muscular (Kg)/ talla (m^2).

Los valores de referencia utilizados para el cribaje de sarcopenia fueron los propuestos por el EWGSOP en el consenso de 2010 de Índice de masa muscular esquelética (IMME) utilizando la masa muscular absoluta, basado en el análisis estadístico de los datos del estudio NHANES III en varones y mujeres de edad avanzada (≥ 60 años) y cuyos valores de referencia son:

- Varones:

- Sarcopenia grave ≤ 8.50 Kg/ m^2
 - Sarcopenia moderada $8.51 - 10.75$ Kg/ m^2
 - Músculo normal ≥ 10.76 Kg/ m^2

- Mujeres:

- Sarcopenia grave ≤ 5.75 Kg/ m^2
 - Sarcopenia moderada $5.76 - 6.75$ Kg/ m^2
 - Músculo normal ≤ 6.76 Kg/ m^2

La fuerza muscular se valoró mediante la fuerza de prensión. Se utilizó el dinamómetro de mano hidráulico JAMAR® (Nottinghamshire, UK). Se trata de un dinamómetro que permite valorar la fuerza isométrica de garra expresada en Kg. La prueba se realizó con la mano dominante. En caso de imposibilidad de realizarla con la mano dominante (secuelas de lesiones previas, dolor crónico o agudo, etc.)

se realizó con la mano contralateral. Se realizaron tres repeticiones con un descanso de 30 segundos entre ellas y se registró el valor más alto para el análisis. La prueba se realizó con el paciente sentado con la espalda apoyada en el respaldo, el hombro en aducción, rotación neutra y codo en flexión de 90º, antebrazo en posición neutra, la muñeca con una flexión dorsal de entre 0-30º y una desviación cubital de entre 0-15º (Ilustración 1). De las 5 posiciones de agarre posibles, se inició en la posición dos. El explorador sujetaba ligeramente el dinamómetro para aguantar el peso e indicaba al individuo “¡apriete todo lo fuerte que pueda!... ¡más fuerte!.... ¡más fuerte!.... stop”¹⁰¹.



Ilustración 1: Fuerza de garra. Posición para la realización del test isométrico de fuerza de garra o handgrip.

El *rendimiento físico* se valoró mediante la velocidad de marcha en 4 metros expresada en m/s. Siguiendo las recomendaciones del EWGSOP del consenso de 2010 el valor de referencia para considerar un menor rendimiento físico es una velocidad < 0.8 m/s.

6.2.2.3 Evaluación del equilibrio

6.2.2.3.1 Evaluación computarizada del equilibrio

6.2.2.3.1.1 Posturografía con plataforma de fuerza:

En este estudio se utilizó la plataforma de fuerza AMTI's AccuSway^{plus} Balance Platform (AMTI, Watertown, MA, USA) (Ilustración 2). Se trata de una plataforma de 50 x 50 cm integrada en el suelo con capacidad para medir las fuerzas y momentos en los tres ejes del espacio y valorar así las coordenadas del centro de presiones y de la base de soporte. Se realizó la valoración en estática, es decir, la medición del centro de presiones y su balanceo o desplazamiento mientras el individuo mantiene la bipedestación estática sobre la plataforma durante 60 s. Para este estudio se consideró la variable de área de barrido, área del desplazamiento realizado por el centro de presiones al mantener la bipedestación expresada en cm².

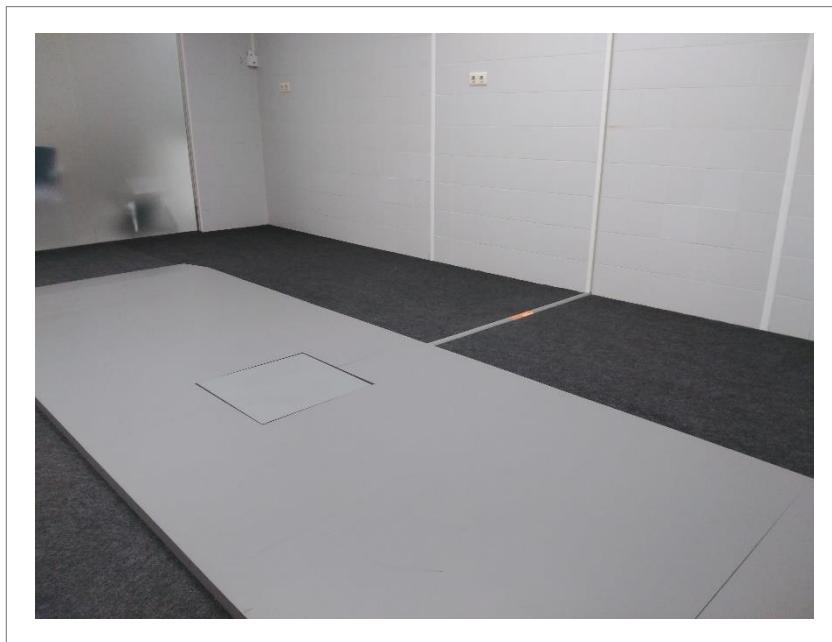


Ilustración 2: Plataforma de fuerzas. Imagen de la plataforma de fuerzas incluida en una pista de marcha. El individuo debe colocarse sobre la plataforma y mantener la bipedestación estática para la realización de la posturografía estática.

6.2.2.3.1.2 Estudio del equilibrio estático con baropodometría:

En este estudio se utilizó el sistema WinFDM-T 2.1X (Zebris Medical GmbH, Isny / Allgäu, Germany). Consta de una cinta sin fin en la que se integra una matriz de 150 x 50 cm con más de 5000 sensores capacitativos de presión / fuerza y permite el estudio del equilibrio en estática y de la marcha (Ilustración 3). Para el estudio del equilibrio estático, el paciente debía colocarse en bipedestación sobre la cinta y mantener la bipedestación estática durante 30 s en los que el sistema realiza el registro (Ilustración 4).

Permite el estudio de la distribución de las presiones plantares, la distribución del peso corporal y del comportamiento del centro de presiones durante la bipedestación estática.

De los datos obtenidos, se realizó el estudio de:

- I. Presiones plantares: El sistema permite obtener la distribución de las presiones plantares en antepié y retropié en ambos pies expresado en % respecto del total. Se considera que en condiciones normales, el antepié debe cargar aproximadamente 1/3 (33%) del total y 2/3 (66%) la parte posterior del pie. (Figura 4.a)
- II. Distribución del peso corporal: La distribución del peso se expresa como el porcentaje (%) del total distribuido en cada una de las extremidades inferiores, considerándose óptima la distribución de aproximadamente el 50% del peso corporal en cada una de las extremidades. (Figura 4.b)
- III. Centro de presiones: La representación del centro de gravedad sobre una plataforma de presiones se denomina centro de presiones (centre of pressure: CoP). Del estudio del comportamiento del CoP durante la bipedestación estática, se analizaron:
 - la velocidad media del CoP (expresado en mm/s) (Figura 4.c)

- el área de confianza (95%) de la elipse: corresponde al área que dibuja el balanceo del CoP (expresado en mm²) durante la bipedestación estática mantenida. (Figura 4.c)



Ilustración 3 : Plataforma baropodométrica. Imagen de la cinta sin fin utilizada en nuestro estudio, dispone de una plataforma baropodométrica incluida en su base bajo el tapiz rodante.

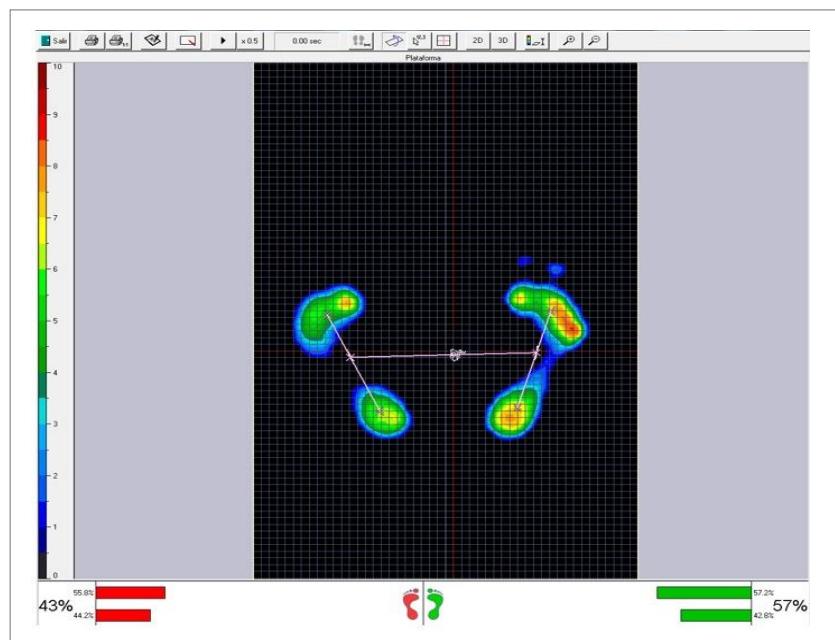


Ilustración 4 : Baropodometría estática. Ejemplo de la visualización en pantalla durante el registro.

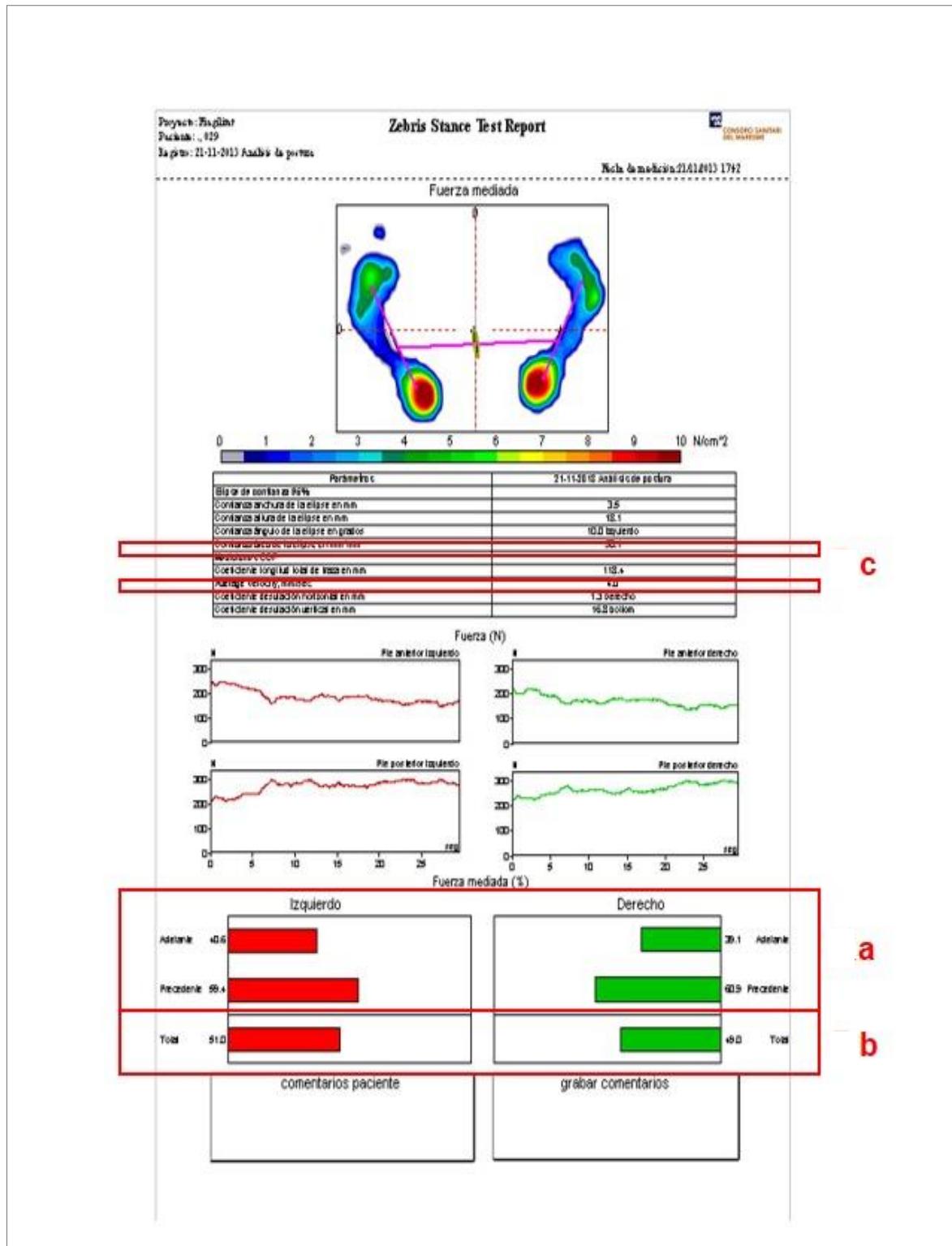


Figura 4: Informe de baropodometría estática. (4 a) Registro de las presiones plantares diferenciando antepié y retropié. (4 b) Registro de la distribución del peso corporal en porcentaje sobre cada una de las extremidades inferiores. (4 c) Información sobre el registro del área de confianza 95% y velocidad media).

6.2.2.4 Evaluación clínica del equilibrio

6.2.2.4.1 Tiempo de apoyo monopodal (Single leg support (SLS) o One-Leg standing test)⁸²

El tiempo de apoyo monopodal es un test empleado para valorar el control postural y se considera útil para valorar el equilibrio. Se expresa en unidad de tiempo (segundos (s)). El sujeto debe conseguir el apoyo monopodal de forma autónoma y mantenerse en posición erecta de bipedestación sobre una pierna todo el tiempo que pueda, con los ojos abiertos o cerrados, mientras el observador cronometra el tiempo que el individuo es capaz de mantener el equilibrio. Se permitió a todos los sujetos que realizaran algún intento de prueba antes de ser cronometrados. (Ilustración 5)



Ilustración 5 : Test de apoyo monopodal. Para la realización del test de apoyo monopodal el individuo debe mantener la bipedestación con el apoyo de un solo pie sin ayudas.

La capacidad de mantener el equilibrio sobre un solo pie es muy variable en la población y disminuye rápidamente con la edad, sobre todo con los ojos cerrados. La imposibilidad para mantenerse sobre un solo pie durante 5 segundos se ha relacionado con el aumento del riesgo de caídas¹⁰². El umbral de 5 segundos se adoptó en concordancia con la Tinetti Balance Subscale⁷⁹ que considera un equilibrio normal cuando el individuo es capaz de mantener el equilibrio monopodal durante al menos 5 segundos, se considera “incapaz” de realizar el test cuando tenía una duración inferior a 5 s. No se permitía el uso de ayudas técnicas para la realización del test.

6.2.2.4.2 The Timed “Up and Go” Test (TUG)

Este test fue descrito inicialmente en 1986¹⁰³ para detectar problemas de equilibrio en el anciano, el individuo debía levantarse de una silla con reposabrazos, caminar 3 metros, girar sobre sí mismo, retroceder los 3 metros y volver a sentarse, y el examinador debía juzgar de forma subjetiva la ejecución, siguiendo una escala que permitía una valoración de entre 0 y 5 puntos. Debido a la subjetividad de la puntuación, hoy en día se considera imprecisa y está en desuso. Para solventar la subjetividad, Podsialo et al.⁷⁶ describieron el test “Timed Up and Go” en el que el examinador cronometra el tiempo que precisa el sujeto para realizar la prueba descrita por Mathias et al.¹⁰³

El Timed Up & Go se considera útil para valorar la movilidad funcional, el equilibrio, la habilidad para la marcha y el riesgo de caídas en ancianos^{76,104}.

El individuo debe sentarse con la espalda apoyada en el respaldo de una silla estándar (43-45 cm de alto), deberá ponerse en pie, caminar 3 metros a una velocidad confortable, girar, caminar de vuelta hacia la silla y volver a sentarse. El cronómetro se iniciaba cuando el examinador decía “Ya” y se paraba al completar la secuencia cuando el individuo contactaba con el asiento de la silla (Ilustración 6). El tiempo requerido para completar el test era registrado y expresado en segundos

(s). Si había dificultad de comprensión se realizaba una prueba previa. El uso de ayudas técnicas estaba permitido.

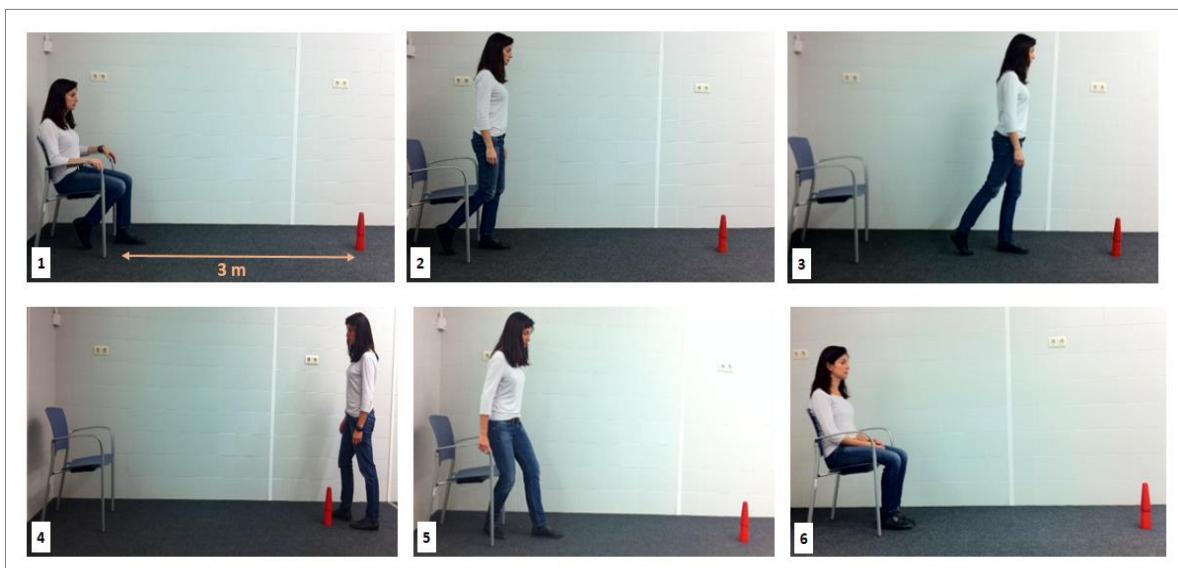


Ilustración 6: Timed Up and Go Test. Para la realización del TUG el paciente ha de comenzar sentado en una silla, deberá levantarse, recorrer una distancia de 3 metros, dar la vuelta y recorrer de nuevo los 3 metros hasta sentarse en la silla de inicio.

La incapacidad de completar el test se consideraba como “incapaz”. De acuerdo con Bischoff et al.¹⁰⁵, se considera normal la realización de la prueba en menos de 12s, mientras que se considera “incapaz” de realizarla cuando el individuo requiere más de 12s.

6.2.2.4.3 Four Square Step Test (FSST)⁷⁵

Se considera un test de equilibrio dinámico que permite valorar clínicamente la capacidad de cambiar de dirección mientras se da un paso. El FSST ha demostrado ser un test sensible y específico para la identificación de individuos mayores con riesgo de caer. Tiene una excelente fiabilidad test-retest inter e intra-observador en individuos geriátricos. Valora la capacidad del individuo para dar un paso rápido en diferentes direcciones.

Para su realización se necesita de un cronómetro y cuatro bastones de 90cm de largo que se colocan en el suelo en forma de aspa, diferenciando cuatro cuadrados en el suelo. Cada cuadro está identificado con números “1,2,3,4” (Ilustración 7). El individuo se mantiene en pie en el cuadrado número 1 mirando hacia el número 2. El objetivo es pasar de un cuadrado a otro lo más rápido posible siguiendo la secuencia “2, 3, 4, 1, 4, 3, 2, 1”. Esta secuencia requiere que el individuo de un paso hacia delante, hacia atrás y hacia ambos lados. Se registra el tiempo en segundos desde que el individuo inicia la secuencia con el contacto con el cuadrado número 2 y termina cuando el segundo pie contacta al final de la secuencia en el cuadrado número 1. Las instrucciones al individuo son: “Intente completar la secuencia lo más rápido posible sin tocar los bastones. Ambos pies deben contactar con el suelo en cada uno de los cuadrados”. Se permitía una prueba previa para solventar posibles dudas antes de registrar el tiempo para la realización del test.

Es un test fácil y de rápida administración, requiere poco espacio, no requiere de equipamiento especial pero requiere supervisión del individuo valorado. La necesidad de más de 15 segundos para completar el test refleja mayor riesgo de caídas⁷⁵.

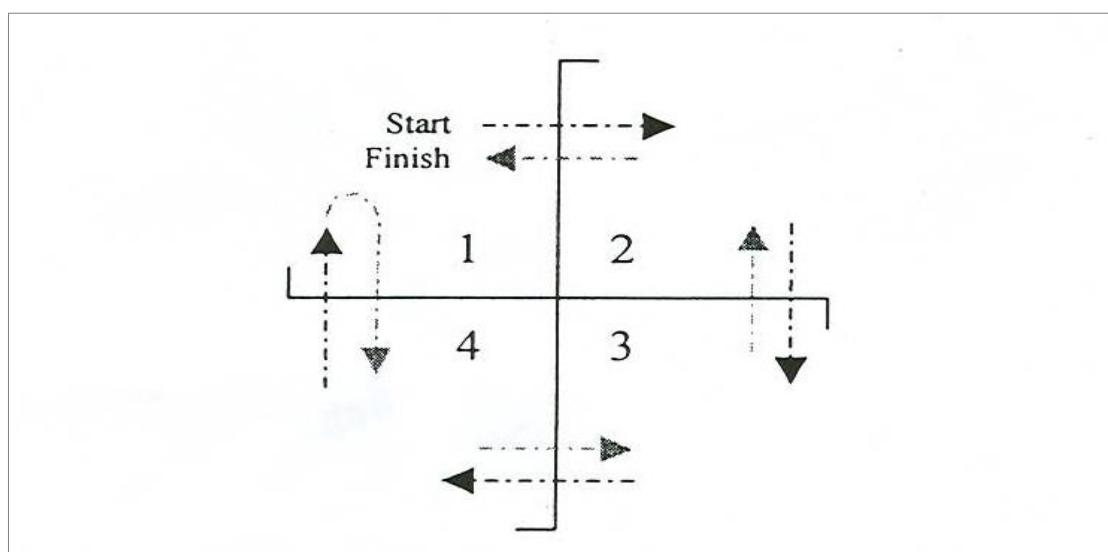


Ilustración 7: Four Square Step Test. Disposición de los bastones sobre el suelo y numeración de los cuadrados. La secuencia a realizar será “2, 3, 4, 1, 4, 3, 2, 1”.

6.2.2.5 Estudio de los parámetros temporoespaciales de la marcha

El registro se realizó con el sistema WinFDM-T Version 2.1.X (Zebriis Medical GmbH) que consta de una plataforma de presiones integrada en una pista sin fin descrito previamente en el apartado 5.2.2.3.1.2.

Para la realización del registro, el individuo se colocaba sobre la cinta sin fin parada, se daban las instrucciones de seguridad y se ponía en marcha una vez explicado el procedimiento de la prueba. El dispositivo permite aumentar la velocidad de la cinta sin fin de forma progresiva hasta conseguir la marcha de confort auto referida por el individuo en el momento del estudio.

Los datos temporoespaciales de la marcha registrados son (Figura 5):

- Amplitud del paso (cm): es la distancia lateral desde el centro del talón de una huella a la línea de progresión formada por dos huellas consecutivas del pie contrario.
- Longitud del paso (cm): es la distancia antero-posterior entre el talón de una huella hasta el talón de la huella del pie contrario.
- Duración del paso (s): es el tiempo transcurrido desde el contacto inicial de un pie hasta el contacto inicial del pie contrario.
- Fase de apoyo (% del total del ciclo de la marcha). Es la duración del apoyo normalizado por la duración de la zancada. Es la fase en la que el pie se encuentra en contacto con el suelo.

Se analizaron las subfases de:

- - Respuesta a la carga (% del total del ciclo de la marcha): es la subfase de contacto del apoyo inicial inmediato.

- - Soporte simple (% del total del ciclo de la marcha): es la fase en que sólo un pie contacta con el suelo mientras el contralateral está en oscilación.
- - Pre-oscilación (% del total del ciclo de la marcha): es la última parte del apoyo y coincide con la fase inicial de apoyo del pie contralateral.
- Doble soporte total (% del ciclo de la marcha): hace referencia a la fase en la que ambos pies están en contacto con el suelo.
- Fase de oscilación (% del ciclo de la marcha): es la fase en la que el pie está en el aire mientras avanza hacia el paso siguiente.
- Soporte doble total (%)
- Longitud de la zancada (cm): es la distancia antero-posterior entre los talones de dos huellas consecutivas del mismo pie. Dos pasos comprenden una zancada o ciclo de la marcha.
- Duración de la zancada (s): es el tiempo que transcurre entre el contacto inicial de dos pisadas consecutivas del mismo pie.
- Cadencia (pasos/min): es la expresión del número de pasos realizados por unidad de tiempo (minutos)
- Velocidad (Km/h): es la velocidad en Km/h a la que se realiza la prueba. En nuestro estudio y condicionado por las características técnicas del dispositivo, la velocidad inicial era de 0,8 Km/h y se aumentaba de forma progresiva hasta conseguir la velocidad de confort autoreferida por el sujeto.

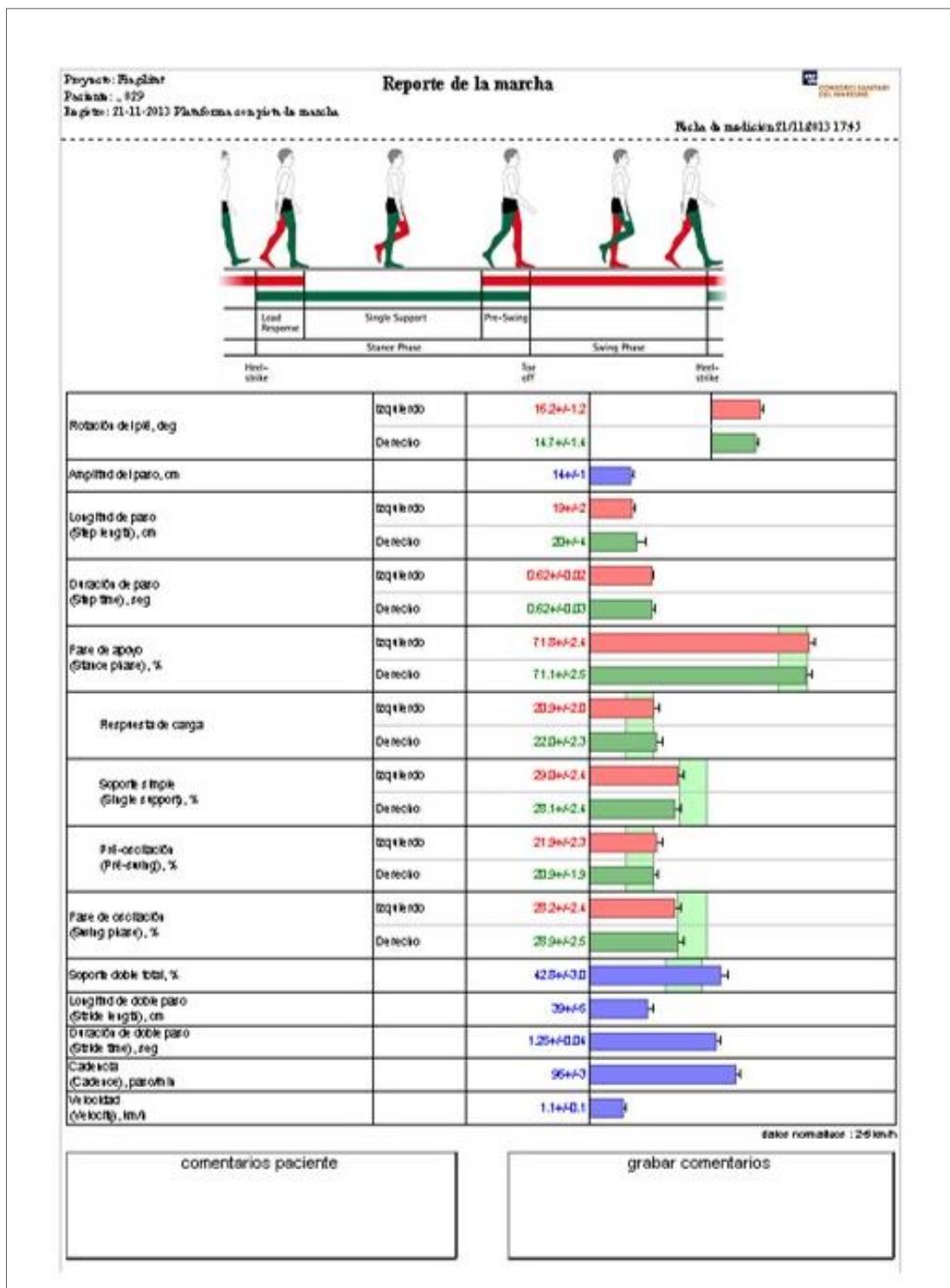


Figura 5: Parámetros temporoespaciales de la marcha. Ejemplo de un informe del estudio de los parámetros temporoespaciales de la marcha a velocidad autoseleccionada.

6.2.2.6 Evaluación de la fuerza

6.2.2.6.1 Handgrip

Para su valoración en este estudio se utilizó el dinamómetro de mano hidráulico JAMAR® (Nottinghamshire, UK) y el resultado se expresó en Kg. Se siguió la misma metodología descrita en el apartado 5.2.2.2. de valoración de sarcopenia.

6.2.2.7 Evaluación de la calidad de vida autopercibida: EQ - 5D¹⁰⁶

Es un instrumento genérico de medición de la calidad de vida relacionada con la salud diseñado a partir del cuestionario EUROQoL¹⁰⁷. Para este estudio se utilizó la versión validada en castellano¹⁰⁶ (Anexo 1). Es un test autoadministrado y requiere de entre 2-3 minutos de dedicación.

El sistema descriptivo posee cinco dimensiones de salud: movilidad, cuidado personal, actividades cotidianas, dolor / malestar y ansiedad / depresión, con tres opciones de respuesta: “sin problemas”, “algunos / moderados problemas”, “muchos problemas”. Además de la valoración de las cinco dimensiones, existe un ítem que permite la valoración subjetiva del estado de salud utilizando una escala visual analógica. Esta escala se presenta en forma de termómetro, cuyos extremos aparecen etiquetados con “peor estado de salud imaginable” y “mejor estado de salud imaginable”, permitiendo la valoración entre 0 y 100 entre ambos extremos.

6.2.2.8 Otras variables recogidas

Se recogieron datos sobre los siguientes aspectos biográficos y clínicos:

- Datos de filiación: nombre, fecha de nacimiento, edad, domicilio, teléfono.

- Antecedentes de patologías del aparato locomotor, sistema visual, procesos neurológicos, antecedentes de patología cardiopulmonar, patología del sistema endocrino y antecedentes psiquiátricos.
- Tratamiento farmacológico habitual: corticoides, antidiabéticos, AINEs, Diuréticos, Beta-bloqueantes, Psicofármacos o neuromoduladores.
- Ayudas para la marcha en interiores y exteriores: ninguna, uno o dos bastones ingleses o caminador.
- Nivel funcional: se utilizó el Índice de Barthel que permite valorar la capacidad del individuo para realizar 10 actividades de la vida diaria consideradas básicas. Descrito inicialmente por Mahoney et al.¹⁰⁸, permite obtener una puntuación entre 0 (dependencia total del individuo para las actividades) y 100 (completa independencia para todas las actividades). Se han descrito diversas modificaciones, y para este estudio fue utilizada la versión en castellano¹⁰⁹ (Anexo 2) .

6.2.3 Análisis estadístico

Este se consideró un estudio exploratorio por lo que se consideró suficiente una muestra de 30 sujetos por grupo, esto es un total de 60 individuos. Esta muestra es suficiente para detectar diferencias de proporciones/prevalencia del 50% al 20% en las principales medidas del resultado entre grupos en un contraste unilateral y asumiendo un riesgo alpha del 5% y un riesgo beta del 20%.

Se ha realizado un análisis descriptivo de los parámetros recogidos mediante porcentajes para los datos categóricos y medias y desviaciones estándar para los continuos.

Dichos datos, se han comparado entre grupos según fragilidad (frágil vs pre-frágil vs robusto, frágil vs pre-frágil, frágil vs robusto y pre-frágil vs robusto) mediante el

test de Chi-cuadrado para las variables categóricas (Fisher en casos de N pequeñas). Para las variables continuas, teniendo en cuenta que los grupos tienen N<30, se ha realizado el test de Kruskall-Wallis (cuando se comparan 3 grupos) o U de Mann-Whitney (cuando se comparan 2 grupos). Los análisis de los parámetros de composición corporal y fuerza muscular, se realizan estratificando por género.

6.3 Resultados

6.3.1 Características de la muestra

El total de la muestra incluye 62 individuos de los que al aplicar los criterios de fragilidad de Fried, 13 cumplían criterios de fragilidad, 26 cumplían criterios de prefragilidad y 23 eran robustos. La media de edad fue de 84,9 años (DS 7,5) en el grupo de frágiles, 78,6 (DS 6,6) en el de prefrágiles y de 73,7 (DS 4,9) en el grupo de robustos, diferencias estadísticamente significativas. Al analizar la comorbilidad en la muestra destacó una mayor prevalencia de insuficiencia cardiaca y alteración del sueño en los individuos frágiles, así como un menor nivel funcional valorado con el Índice de Barthel y la necesidad de ayudas técnicas para la marcha por interiores y exteriores. En la tabla 5 se presentan las características globales de la muestra en cada uno de los grupos, así como los criterios de fragilidad de Fried.

En las tablas 6, 7 y 8 se describen las diferencias de los criterios de fragilidad de Fried comparando los grupos dos a dos para analizar las diferencias entre cada uno de los tres grupos.

6.3.2 Características de la bioimpedanciometría

Al realizar el análisis de la composición corporal destaca que las diferencias se observan principalmente en la población femenina. En la tabla 9 se muestran los resultados del análisis de composición corporal de toda la muestra y las diferencias entre los tres grupos.

Cuando realizamos el estudio comparando los grupos dos a dos para buscar las diferencias entre los grupos, destacaron las diferencias en el porcentaje de agua corporal intra y extracelular entre las mujeres frágiles y robustas y entre las frágiles y prefrágiles sin observar cambios en el contenido de agua total. También se observaron diferencias entre estos grupos en cuanto al porcentaje total de masa

muscular y el ritmo metabólico. Por otra parte, en la población masculina tan sólo se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de agua intra- y extracelular (manteniendo también el porcentaje de agua corporal total) y en el ritmo metabólico entre varones prefrágiles y robustos.

En las tablas 10, 11 y 12 se muestran las diferencias de los grupos dos a dos en cuanto a composición corporal valorado por bioimpedanciometría.

6.3.3 Resultados de la valoración del equilibrio

No se encontraron diferencias significativas entre los grupos en cuanto a la valoración posturográfica del Romberg con ojos abiertos y cerrados y tampoco en la distribución del peso corporal valorada por baropodometría. En la Tabla 13 se detallan los resultados del análisis del equilibrio en toda la muestra.

La velocidad del centro de presiones valorado en la baropodometría en individuos frágiles, con una media de 10,7 mm/s (DS 3,8) es significativamente mayor que la obtenida en el grupo de prefrágiles y en el de robustos.

En el test de apoyo unipodal durante cinco segundos, sólo el 23,1% de los individuos frágiles fueron capaces de realizarlo, presentando diferencias significativas respecto a los individuos con fenotipo de prefrágil y robusto. Sólo el grupo de robustos consiguió en el 100 % de los casos, completar el apoyo unipodal durante 5 s con uno y con ambos pies.

Por último, las diferencias en el tiempo requerido para la realización del test de equilibrio dinámico Four Square Step Test en el grupo de frágiles (24,5 segundos (DS 13,20)) y para el TUG (27,7 segundos (DS 14,6)) fue significativamente mayor que el requerido por el grupo de robustos. El grupo de prefrágiles requiere de más tiempo para la realización del TUG y presenta menor capacidad para realizar el

apoyo unipodal que el grupo de robustos, mientras que en nuestra muestra, los resultados del FSST no permitirían discriminar entre ambos grupos.

En las tablas 14, 15 y 16 se detallan los resultados y comparaciones entre fenotipos de fragilidad dos a dos.

6.3.4 Resultados de los parámetros temporoespaciales de la marcha

En la tabla 17 se describen los resultados del estudio de los parámetros temporoespaciales de la marcha en los tres grupos.

Cuando analizamos los resultados comparando los grupos dos a dos para encontrar las diferencias entre fenotipos destaca que los individuos frágiles presentan resultados que indican un aumento de la fase de apoyo y sus subfases con una disminución de la fase de oscilación y un aumento del doble soporte respecto al grupo con fenotipo de robustos. De estos parámetros, a pesar de existir diferencias prácticamente en todos ellos respecto al grupo de prefrágiles, sólo el aumento del doble soporte resulta estadísticamente significativo.

Respecto al resto de parámetros temporoespaciales de la marcha, observamos diferencias significativas en la longitud del paso y de la zancada entre los tres fenotipos, de forma que los individuos frágiles presentan una disminución significativa de la longitud del paso (derecho: 17,9 cm (DS 4,9), e izquierdo: 17,5 cm (DS 4,5)) y de la longitud de la zancada (35,3 cm (DS 8,0)) respecto a los individuos prefrágiles y a los robustos. La velocidad de marcha a la que realizaron la prueba los individuos frágiles (0,9 Km / h (DS 0,003)) es significativamente menor que la conseguida por los otros grupos. Los individuos prefrágiles también presentaron una velocidad de marcha para la realización de la prueba (1,2 Km / h (DS 0,4)), inferior a la de los individuos robustos (1,5 Km / h (DS 0,4)).

En las tablas 18, 19 y 20 se detallan los resultados y análisis de los parámetros temporoespaciales de la marcha dos a dos para estudiar las diferencias entre fenotipos.

6.3.5 Resultados de la valoración de la calidad de vida

Los resultados globales de los tres grupos se muestran en la tabla 21.

Al analizar por grupos y esferas, los individuos frágiles presentan peores puntuaciones en todas las subesferas (movilidad, cuidado personal, actividades cotidianas y anisedad/depresión) respecto a los individuos con fenotipo robusto y prefrágil, a excepción de la esfera de dolor/malestar, en la que no se encuentran diferencias significativas entre ninguno de los grupos.

A nivel del marcador global del EuroQol destaca que no existen diferencias entre la puntuación obtenida en la población frágil y prefrágil. Los detalles de los resultados y la comparación entre fenotipos se detallan a continuación en las tablas 22, 23 y 24.

Tabla 5. Características generales de la muestra. (*) Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

(†) Los valores se expresan como n (%).

	FRÁGIL	PREFRÁGIL	ROBUSTO	p
Edad* (años)	84,9 (7,5)	78,6 (6,6)	73,7 (4,9)	< 0,001
Sexo* (%)	9 (69,2 %)	14 (53,8 %)	8 (34,8 %)	0,122
IMC*: (Kg/m ²)				
Hombres	23,3 (7,9)	27,6 (2,3)	29,6 (5,8)	0,320
Mujeres	26,5 (6,9)	30,9 (6,1)	28,2 (3,7)	0,321
Índice de Barthel	90,8 (13,4)	97,3 (9,9)	100,0 (0)	< 0,001
Comorbilidad †:				
Artrosis	11 (84,6 %)	17 (65,4 %)	17 (73,9 %)	0,440
EPOC / Bronquitis crónica	5 (38,5 %)	3 (11,5 %)	3 (13%)	0,088
Diabetes mellitus	3 (23,1 %)	4 (15,4 %)	8 (34,8 %)	0,284
Insuficiencia cardiaca	8 (61,5 %)	5 (19,2 %)	2 (8,7 %)	0,001
Insuficiencia renal crónica	2 (15,4 %)	4 (15,4 %)	0 (0 %)	0,141
Hepatopatía crónica	0 (0 %)	1 (3,8 %)	0 (0 %)	0,495
Cáncer	0 (0 %)	5 (19,2 %)	3 (13 %)	0,240
Vértigo	2 (15,4 %)	3 (11,5 %)	2 (8,7 %)	0,830
Alteración del sueño	9 (69,2 %)	10 (38,5 %)	6 (26,1 %)	0,039
Depresión	5 (38,5 %)	9 (34,6 %)	6 (26,1 %)	0,706
Uso habitual de fármacos†:				
Antidiabéticos orales	2 (15,4 %)	4 (15,4 %)	7 (30,4 %)	0,372
Diuréticos	6 (46,2 %)	9 (34,6 %)	7 (30,4 %)	0,634
Beta bloqueantes	1 (7,7 %)	6 (23,1 %)	6 (26,1 %)	0,403
Corticoides	1 (7,7 %)	0 (0 %)	3 (13 %)	0,175
Antiinflamatorios	1 (7,7 %)	6 (24 %)	3 (13 %)	0,375
Psicofármacos/ neuromoduladores	10 (76,9 %)	4 (53,8 %)	6 (26,1 %)	0,010
Caidas últimos 3 meses†	3 (23,1 %)	8 (30,8 %)	2 (8,7%)	0,163
Ayudas técnicas exteriores†	11 (84,7 %)	9 (34,6 %)	3 (13,0 %)	< 0,001
Ayudas técnicas interiores†	3 (23,1%)	1 (3,8 %)	0 (0,0 %)	0,020
Fuerza de garra (Kg) *:				
- Hombres	17,11 (7,10)	26,60 (7,30)	34,00 (4,70)	0,001
- Mujeres	11,50 (5,70)	18,60 (4,90)	21,10 (3,60)	0,003
Velocidad de marcha (m/s)*	0,51 (0,20)	1,10 (0,30)	1,20 (0,20)	< 0,001

Tabla 6. Análisis de las diferencias en los criterios de fragilidad de Fried entre individuos frágiles y robustos. Los valores se expresan como n (%).

	FRÁGIL	ROBUSTOS	p
Criterios de Fragilidad (Fried):			
Pérdida de peso último año	5 (38,0 %)	0 (0,0 %)	0,003
Cansancio autoreferido	10 (76,9 %)	0 (0,0 %)	< 0,001
Bajo nivel de actividad	9 (69,2 %)	0 (0,0 %)	< 0,001
Baja velocidad de marcha	13 (100 %)	0 (0,0 %)	< 0,001
Baja fuerza de garra	9 (69,2 %)	0 (0,0 %)	< 0,001

Tabla 7. Análisis de las diferencias en los criterios de fragilidad de Fried entre individuos frágiles y prefrágiles. Los valores se expresan como n (%).

	FRÁGIL	PREFRÁGIL	p
Criterios de Fragilidad (Fried):			
Pérdida de peso último año	5 (38,0 %)	4 (15,4 %)	0,129
Cansancio autoreferido	10 (76,9 %)	8 (30,8 %)	0,006
Bajo nivel de actividad	9 (69,2 %)	9 (34,6 %)	0,041
Baja velocidad de marcha	13 (100 %)	2 (7,7 %)	< 0,001
Baja fuerza de garra	9 (69,2 %)	10 (38,5 %)	0,070

Tabla 8. Análisis de las diferencias en los criterios de fragilidad de Fried entre individuos prefrágiles y robustos. Los valores se expresan como n (%).

	PREFRÁGIL	ROBUSTOS	p
Criterios de Fragilidad (Fried):			
Pérdida de peso último año	4 (15,4 %)	0 (0,0 %)	0,112
Cansancio autoreferido	8 (30,8 %)	0 (0,0 %)	0,005
Bajo nivel de actividad	9 (34,6 %)	0 (0,0 %)	0,002
Baja velocidad de marcha	2 (7,7 %)	0 (0,0 %)	0,491
Baja fuerza de garra	10 (38,5 %)	0 (0,0 %)	0,001

Tabla 9. Resultados de bioimpedanciometría en función del sexo y fenotipo de fragilidad. Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

	FRÁGIL		PREFRÁGIL		ROBUSTO		p	
	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER
Agua corporal total (Kg)	36,2 (1,1)	27 (3,9)	38,2 (3,8)	34,1 (5,6)	43,7 (4,9)	32,9 (2,2)	0,021	0,013
% de agua total	52,2 (3,9)	52 (8,2)	53,3 (2,2)	43,3 (10,4)	54,8 (4,2)	48,8 (4,5)	0,433	0,260
Agua extracelular (l)	21,2 (2,8)	17,1 (1,7)	20,8 (1,3)	19,7 (4,2)	22,4 (2,6)	17,8 (1,3)	0,173	0,297
% de agua extracelular	58,5 (5,9)	63,9 (6,5)	54,8 (3,5)	57,4 (3,7)	51,5 (4,7)	54 (3,2)	0,054	0,003
Agua intracelular (l)	15 (1,7)	9,9 (2,8)	17,4 (2,9)	15 (2,6)	21,2 (3,6)	15,1 (1,7)	0,025	0,001
% de agua intracelular	41,5 (5,9)	36,1 (6,5)	45,4 (3,5)	44,5 (6,3)	48,5 (4,7)	46 (3,2)	0,054	0,003
Masa grasa total (Kg)	24,2 (4,6)	20,3 (10,6)	27,2 (8,2)	2,1 (10,4)	25,4 (6)	26,9 (6,7)	0,846	0,110
% de masa grasa total	34,8 (5)	35 (10,3)	38,2 (12,9)	42,3 (5,3)	31,6 (5,3)	39 (5,5)	0,315	0,409
Masa muscular (Kg)	23,8 (2,1)	16,2 (4)	25,8 (5,2)	23,6 (3,9)	33 (5,3)	23,7 (2,4)	0,021	0,001
% de masa muscular	34,3 (1,5)	30,2 (3,7)	37,7 (2,7)	32,2 (4,8)	41,6 (6,1)	35 (3,6)	0,084	0,084

Tabla 10. Análisis de los resultados del estudio de bioimpedanciometría entre individuos frágiles y robustos. Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

	FRÁGIL		ROBUSTO		p	
	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER
Agua corporal total (Kg)	36,2 (1,1)	27 (3,9)	43,7 (4,9)	32,9 (2,2)	0,039	0,018
% de agua total	52,2 (3,9)	52 (8,2)	54,8 (4,2)	48,8 (4,5)	0,525	0,655
Agua extracelular (l)	21,2 (2,8)	17,1 (1,7)	22,4 (2,6)	17,8 (1,3)	0,525	0,406
% de agua extracelular	58,5 (5,9)	63,9 (6,5)	51,5 (4,7)	54 (3,2)	0,095	0,002
Agua intracelular (l)	15 (1,7)	9,9 (2,8)	21,2 (3,6)	15,1 (1,7)	0,039	0,002
% de agua intracelular	41,5 (5,9)	36,1 (6,5)	48,5 (4,7)	46 (3,2)	0,095	0,002
Masa grasa total (Kg)	24,2 (4,6)	20,3 (10,6)	25,4 (6)	26,9 (6,7)	0,751	0,159
% de masa grasa total	34,8 (5)	35 (10,3)	31,6 (5,3)	39 (5,5)	0,525	0,655
Masa muscular (Kg)	23,8 (2,1)	16,2 (4)	33 (5,3)	23,7 (2,4)	0,039	0,002
% de masa muscular	34,3 (1,5)	30,2 (3,7)	41,6 (6,1)	35 (3,6)	0,153	0,035

Tabla 11. Análisis de los resultados del estudio de bioimpedanciometría entre individuos frágiles y prefrágiles. Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

	FRÁGIL		PREFRÁGIL		p	
	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER
Agua corporal total (Kg)	36,2 (1,1)	27,0 (3,9)	38,2 (3,8)	34,1 (5,6)	0,462	0,006
% de agua total	52,2 (3,9)	52,0 (8,2)	53,3 (2,2)	43,3 (10,4)	0,770	0,176
Agua extracelular (l)	21,2 (2,8)	17,1 (1,7)	20,8 (1,3)	19,7 (4,2)	0,770	0,176
% de agua extracelular	58,5 (5,9)	63,9 (6,5)	54,8 (3,5)	57,4 (3,7)	0,380	0,028
Agua intracelular (l)	15,0 (1,7)	9,9 (2,8)	17,4 (2,9)	15,0 (2,6)	0,380	0,001
% de agua intracelular	41,5 (5,9)	36,1 (6,5)	45,4 (3,5)	44,5 (6,3)	0,380	0,011
Masa grasa total (Kg)	24,2 (4,6)	20,3 (10,6)	27,2 (8,2)	2,1 (10,4)	0,770	0,063
% de masa grasa total	34,8 (5)	35,0 (10,3)	38,2 (12,9)	42,3 (5,3)	1,000	0,272
Masa muscular (Kg)	23,8 (2,1)	16,2 (4)	25,8 (5,2)	23,6 (3,9)	0,659	0,001
% de masa muscular	34,3 (1,5)	30,2 (3,7)	37,7 (2,7)	32,2 (4,8)	0,143	0,375

Tabla 12. Análisis de los resultados del estudio de bioimpedanciometría entre individuos prefrágiles y robustos. Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

	PREFRÁGIL		ROBUSTO		p	
	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER
Agua corporal total (Kg)	38,2 (3,8)	34,1 (5,6)	43,7 (4,9)	32,9 (2,2)	0,028	0,899
% de agua total	53,3 (2,2)	43,3 (10,4)	54,8 (4,2)	48,8 (4,5)	0,218	0,190
Agua extracelular (l)	20,8 (1,3)	19,7 (4,2)	22,4 (2,6)	17,8 (1,3)	0,062	0,310
% de agua extracelular	54,8 (3,5)	57,4 (3,7)	51,5 (4,7)	54,0 (3,2)	0,048	0,062
Agua intracelular (l)	17,4 (2,9)	15,0 (2,6)	21,2 (3,6)	15,1 (1,7)	0,037	0,612
% de agua intracelular	45,4 (3,5)	44,5 (6,3)	48,5 (4,7)	46,0 (3,2)	0,048	0,204
Masa grasa total (Kg)	27,2 (8,2)	2,1 (10,4)	25,4 (6)	26,9 (6,7)	0,602	0,271
% de masa grasa total	38,2 (12,9)	42,3 (5,3)	31,6 (5,3)	39,0 (5,5)	0,136	0,291
Masa muscular (Kg)	25,8 (5,2)	23,6 (3,9)	33,0 (5,3)	23,7 (2,4)	0,025	0,832
% de masa muscular	37,7 (2,7)	32,2 (4,8)	41,6 (6,1)	35,0 (3,6)	0,073	0,108

Tabla 13. Resultados de la valoración del equilibrio. (*) Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

	FRÁGIL	PREFRAGL	ROBUSTO	p
Posturografía*				
Romberg ojos abiertos	4,1 (2,9)	3,0 (2,1)	2,5 (2,1)	0,135
Romberg ojos cerrados	6,8 (6,1)	5,2 (7,9)	4,1 (6,2)	0,091
Baropodometría estática				
Distribución del peso corporal				
Pie derecho (%)	47,7 (6,3)	49,8 (7,1)	49,9 (4)	0,451
Antepié (%)	42,2 (7,2)	43,8 (13,2)	43,7 (10,3)	0,791
Retropié (%)	57,8 (7,2)	56,2 (13,2)	56,3 (10,3)	0,791
Pie izquierdo (%)	52,3 (5,3)	43,8 (13,2)	50,1 (4)	0,451
Antepié (%)	42,7 (11,6)	41,6 (10,9)	41,2 (10,6)	0,972
Retropié (%)	57,3 (11,6)	58,4 (10,9)	58,8 (10,6)	0,972
Velocidad del CoP (mm/s)*	10,7 (3,8)	7,3 (4,4)	5,5 (2,5)	< 0,001
Área del CoP (mm²)*	74,4 (55,8)	61,4 (42,1)	43,8 (32,5)	0,136
Apoyo unipodal				
Capaz de realizar con un pie	3 (23,1%)	15 (57,7 %)	23 (100 %)	< 0,001
Capaz de realizar ambos pies	3 (23,1 %)	14 (53,8 %)	23 (100 %)	< 0,001
TUG*	27,7 (14,6)	10,7 (3,3)	9,2 (1,8)	< 0,001
FSST*	24,5 (13,2)	11,9 (2,3)	10,6 (2)	< 0,001

Tabla 14. Resultados y análisis de la diferencias entre los fenotipos de frágil y robusto. (*) Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

	FRÁGIL	ROBUSTO	p
Posturografía*			
Romberg ojos abiertos	4,1 (2,9)	2,5 (2,1)	0,058
Romberg ojos cerrados	6,8 (6,1)	4,1 (6,2)	0,039
Baropodometría estática			
Distribución del peso corporal			
Pie derecho (%)	47,7 (6,3)	49,9 (4)	0,237
Antepié (%)	42,2 (7,2)	43,7 (10,3)	0,434
Retropié (%)	57,8 (7,2)	56,3 (10,3)	0,434
Pie izquierdo (%)	52,3 (5,3)	50,1 (4)	0,237
Antepié (%)	42,7 (11,6)	41,2 (10,6)	0,889
Retropié (%)	57,3 (11,6)	58,8 (10,6)	0,889
Velocidad del CoP (mm/s)*	10,7 (3,8)	5,5 (2,5)	< 0,001
Área del CoP (mm ²)*	74,4 (55,8)	43,8 (32,5)	0,082
Apoyo unipodal*			
Capaz de realizar con un pie	3 (23,1%)	23 (100 %)	< 0,001
Capaz de realizar ambos pies	3 (23,1 %)	23 (100 %)	< 0,001
TUG*	27,7 (14,6)	9,2 (1,8)	< 0,001
FSST*	24,5 (13,2)	10,6 (2)	< 0,001

Tabla 15. Resultados y análisis de la diferencias entre los fenotipos de frágil y prefrágil. (*) Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

	FRÁGIL	PREFRAGL	p
Posturografía*			
Romberg ojos abiertos	4,1 (2,9)	3,0 (2,1)	0,307
Romberg ojos cerrados	6,8 (6,1)	5,2 (7,9)	0,198
Baropodometría estática			
Distribución del peso corporal			
Pie derecho (%)	47,7 (6,3)	49,8 (7,1)	0,265
Antepié (%)	42,2 (7,2)	43,8 (13,2)	0,962
Retropié (%)	57,8 (7,2)	56,2 (13,2)	0,962
Pie izquierdo (%)	52,3 (5,3)	43,8 (13,2)	0,265
Antepié (%)	42,7 (11,6)	41,6 (10,9)	0,826
Retropié (%)	57,3 (11,6)	58,4 (10,9)	0,826
Velocidad del CoP (mm/s)*	10,7 (3,8)	7,3 (4,4)	0,002
Área del CoP (mm ²)*	74,4 (55,8)	61,4 (42,1)	0,638
Apoyo unipodal*			
Capaz de realizar con un pie	3 (23,1%)	15 (57,7 %)	0,023
Capaz de realizar ambos pies	3 (23,1 %)	14 (53,8 %)	0,068
TUG*	27,7 (14,6)	10,7 (3,3)	< 0,001
FSST*	24,5 (13,2)	11,9 (2,3)	< 0,001

Tabla 16. Resultados y análisis de la diferencias entre los fenotipos de prefrágil y robusto. (*) Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

	PREFRÁGIL	ROBUSTO	p
Posturografía*			
Romberg ojos abiertos	3,0 (2,1)	2,5 (2,1)	0,211
Romberg ojos cerrados	5,2 (7,9)	4,1 (6,2)	0,207
Baropodometría estática			
Distribución del peso corporal			
Pie derecho (%)	49,8 (7,1)	49,9 (4)	0,928
Antepié (%)	43,8 (13,2)	43,7 (10,3)	0,667
Retropié (%)	56,2 (13,2)	56,3 (10,3)	0,667
Pie izquierdo (%)	43,8 (13,2)	50,1 (4)	0,928
Antepié (%)	41,6 (10,9)	41,2 (10,6)	0,888
Retropié (%)	58,4 (10,9)	58,8 (10,6)	0,888
Velocidad del CoP (mm/s)*	7,3 (4,4)	5,5 (2,5)	0,088
Área del CoP (mm ²)*	61,4 (42,1)	43,8 (32,5)	0,107
Apoyo unipodal*			
Capaz de realizar con un pie	15 (57,7 %)	23 (100 %)	0,001
Capaz de realizar ambos pies	14 (53,8 %)	23 (100 %)	< 0,001
TUG*	10,7 (3,3)	9,2 (1,8)	0,026
FSST*	11,9 (2,3)	10,6 (2)	0,064

Tabla 17. Resultados del estudio de los parámetros temporoespaciales de la marcha. (*) Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

	FRÁGIL	PREFRÁGIL	ROBUSTO	p
Duración fase de apoyo pie derecho (%)	74,7 (2,7)	72,7 (3,2)	71,1 (2,9)	0,021
Izquierdo (%)	75,2 (3,2)	72,3 (3,7)	71,1 (3,0)	0,033
Respuesta a la carga pie derecho	40,2 (45,8)	22,1 (2,9)	21,1 (2,9)	0,002
izquierdo	25,0 (4,4)	23,1 (3,9)	21,1 (2,4)	0,020
Soporte simple de pie derecho	41,1 (48,9)	27,9 (3,4)	28,9 (2,9)	0,128
izquierdo	25,7 (2,9)	27,3 (3,5)	29,0 (2,8)	0,032
Pre-oscilación pie derecho	44,2 (57,9)	23,1 (3,8)	21,1 (2,4)	0,015
izquierdo	25,0 (1,9)	21,9 (2,8)	21,1 (2,9)	0,002
Duración fase de oscilación pie derecho (%)	25,3 (2,7)	27,3 (3,2)	29,0 (2,9)	0,016
izquierdo (%)	24,9 (3,2)	27,7 (3,7)	28,9 (3,0)	0,033
Doble soporte total (%)	67,6 (53,7)	44,9 (6,0)	42,1 (4,9)	0,004
Amplitud del paso (cm)*	13,3 (3,8)	13,8 (4,2)	13,6 (2,3)	0,808
Duración del paso derecho (s)*	0,7 (0,2)	0,7 (0,2)	0,7 (0,2)	0,945
izquierdo (s)*	0,7 (0,2)	0,7 (0,2)	0,7 (0,2)	0,943
Longitud del paso derecho (cm)*	17,9 (4,9)	23,0 (7,6)	27,2 (7,4)	0,004
izquierdo (cm)*	17,5 (4,5)	22,3 (6,8)	26,5 (5,7)	0,004
Duración de la zancada (s)*	14,0 (37,9)	1,4 (0,3)	1,4 (0,3)	0,614
Longitud de la zancada (cm)*	35,3 (8,0)	45,3 (13,9)	53,4 (13,1)	0,005
Cadencia (pasos/min)*	90,6 (19,5)	91,4 (18,2)	93,6 (20,2)	0,960
Velocidad de la marcha durante la prueba (Km/h)*	0,9 (0,03)	1,2 (0,4)	1,5 (0,4)	0,001

Tabla 18. Comparación de los resultados de los parámetros temporoespaciales de la marcha entre los fenotipos frágil y robusto. (*) Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

Tabla 19. Comparación de los resultados de los parámetros temporoespaciales de la marcha entre los fenotipos frágil y prefrágil. (*) Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

	FRÁGIL	PREFRÁGIL	p
Duración fase de apoyo pie derecho (%)	74,7 (2,7)	72,7 (3,2)	0,109
izquierdo (%)	75,2 (3,2)	72,3 (3,7)	0,074
Respuesta a la carga pie derecho	40,2 (45,8)	22,1 (2,9)	0,007
Izquierdo	25,0 (4,4)	23,1 (3,9)	0,345
Soporte simple de pie derecho	41,1 (48,9)	27,9 (3,4)	0,186
izquierdo	25,7 (2,9)	27,3 (3,5)	0,234
Pre-oscilación pie derecho	44,2 (57,9)	23,1 (3,8)	0,220
Izquierdo	25,0 (1,9)	21,9 (2,8)	0,004
Duración fase de oscilación pie derecho (%)	25,3 (2,7)	27,3 (3,2)	0,109
izquierdo (%)	24,9 (3,2)	27,7 (3,7)	0,074
Doble soporte total (%)	67,6 (53,7)	44,9 (6,0)	0,025
Amplitud del paso (cm)*	13,3 (3,8)	13,8 (4,2)	0,746
Duración del paso derecho (s)*	0,7 (0,2)	0,7 (0,2)	0,951
izquierdo (s)*	0,7 (0,2)	0,7 (0,1)	0,903
Longitud del paso derecho (cm)*	17,9 (4,9)	23,0 (7,6)	0,046
izquierdo (cm)*	17,5 (4,5)	22,3 (6,8)	0,084
Duración de la zancada (s)*	14,0 (37,9)	1,4 (0,3)	0,497
Longitud de la zancada (cm)*	35,3 (8,0)	45,3 (13,9)	0,041
Cadencia (pasos/min)*	90,6 (19,5)	91,4 (18,2)	0,855
Velocidad de la marcha durante la prueba (Km/h)*	0,9 (0,03)	1,2 (0,4)	0,014

Tabla 20. Comparación de los resultados de los parámetros temporoespaciales de la marcha entre los fenotipos prefrágil y robusto. (*) Los valores se expresan como \bar{x} (DS).

	PREFRÁGIL	ROBUSTO	p
Duración fase de apoyo pie derecho (%)	72,7 (3,2)	71,1 (2,9)	0,094
izquierdo (%)	72,3 (3,7)	71,1 (3,0)	0,316
Respuesta a la carga pie derecho	22,1 (2,9)	21,1 (2,9)	0,169
Izquierdo	23,1 (3,9)	21,1 (2,4)	0,061
Soporte simple de pie derecho	27,9 (3,4)	28,9 (2,9)	0,341
izquierdo	27,3 (3,5)	29,0 (2,8)	0,077
Pre-oscilación pie derecho	23,1 (3,8)	21,1 (2,4)	0,062
Izquierdo	21,9 (2,8)	21,1 (2,9)	0,211
Duración fase de oscilación pie derecho (%)	27,3 (3,2)	29,0 (2,9)	0,080
izquierdo (%)	27,7 (3,7)	28,9 (3,0)	0,316
Doble soporte total (%)*	44,9 (6,0)	42,1 (4,9)	0,113
Amplitud del paso (cm)*	13,8 (4,2)	13,6 (2,3)	0,655
Duración del paso derecho (s)*	0,7 (0,2)	0,7 (0,2)	0,796
izquierdo (s)*	0,7 (0,1)	0,7 (0,2)	0,756
Longitud del paso derecho (cm)*	23,0 (7,6)	27,2 (7,4)	0,052
izquierdo (cm)*	22,3 (6,8)	26,5 (5,7)	0,050
Duración de la zancada (s)*	1,4 (0,3)	1,4 (0,3)	0,844
Longitud de la zancada (cm)*	45,3 (13,9)	53,4 (13,1)	0,084
Cadencia (pasos/min)*	91,4 (18,2)	93,6 (20,2)	0,844
Velocidad de la marcha durante la prueba (Km/h)*	1,2 (0,4)	1,5 (0,4)	0,012

Tabla 21. Resultados del Cuestionario EuroQol en los tres grupos. Los valores se expresan como n (%).

	FRÁGIL	PREFRÁGIL	ROBUSTO	p
Movilidad				< 0,001
Caminar sin problemas	2 (15,4 %)	17 (65,4 %)	22 (95,7 %)	
Algunos problemas	10 (76,9 %)	9 (34,6 %)	1 (4,3 %)	
En cama	1 (7,7 %)	0 (0%)	0 (0 %)	
Cuidado personal				0,001
Sin problemas	8 (61,5 %)	25 (96,2 %)	23 (100 %)	
Algunos problemas	4 (30,8 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	
Incapaz	1 (7,7 %)	1 (3,8 %)	0 (0%)	
Actividades cotidianas				0,001
Sin problemas	5 (38,5 %)	23 (88,5 %)	22 (95,7 %)	
Algunos problemas	6 (46,2 %)	2 (7,7 %)	1 (4,3 %)	
Incapaz	2 (15,4 %)	1 (3,8 %)	0 (0%)	
Dolor / malestar				0,348
No dolor / malestar	4 (30,8 %)	11 (42,3 %)	14 (60,9 %)	
Dolor / malestar moderado	8 (61,5 %)	13 (50 %)	0 (39,1 %)	
Mucho dolor / malestar	1 (7,7 %)	2 (7,7 %)	0 (0%)	
Ansiedad / Depresión				0,001
No ansiedad / depresión	7 (53,8 %)	17 (65,4 %)	20 (87 %)	
Moderada ans. / depresión	2 (15,4 %)	9 (34,6 %)	3 (13 %)	
Gran depresión / ansiedad	4 (30,8 %)	0 (0%)	0 (0%)	
EuroQol	60,2 (29,6)	64,1 (14,8)	78,3 (14,9)	0,009

Tabla 22. Resultados del Cuestionario EuroQol, comparación entre individuos frágiles y robustos. Los valores se expresan como n (%).

	FRÁGIL	ROBUSTO	p
Movilidad			< 0,001
Caminar sin problemas	2 (15,4 %)	22 (95,7 %)	
Algunos problemas	10 (76,9 %)	1 (4,3 %)	
En cama	1 (7,7 %)	0 (0 %)	
Cuidado personal			0,001
Sin problemas	8 (61,5 %)	23 (100 %)	
Algunos problemas	4 (30,8 %)	0 (0 %)	
Incapaz	1 (7,7 %)	0 (0 %)	
Actividades cotidianas			0,001
Sin problemas	5 (38,5 %)	22 (95,7 %)	
Algunos problemas	6 (46,2 %)	1 (4,3 %)	
Incapaz	2 (15,4 %)	0 (0%)	
Dolor / malestar			0,125
No dolor / malestar	4 (30,8 %)	14 (60,9 %)	
Dolor / malestar moderado	8 (61,5 %)	0 (39,1 %)	
Mucho dolor / malestar	1 (7,7 %)	0 (0%)	
Ansiedad / Depresión			0,016
No ansiedad / depresión	7 (53,8 %)	20 (87 %)	
Moderada ans. / depresión	2 (15,4 %)	3 (13 %)	
Gran depresión / ansiedad	4 (30,8 %)	0 (0%)	
EuroQol	60,2 (29,6)	78,3 (14,9)	0,039

Tabla 23. Resultados del Cuestionario EuroQol, comparación entre individuos frágiles y prefrágiles. Los valores se expresan como n (%).

	FRÁGIL	PREFRÁGIL	p
Movilidad			0,008
Caminar sin problemas	2 (15,4 %)	17 (65,4 %)	
Algunos problemas	10 (76,9 %)	9 (34,6 %)	
En cama	1 (7,7 %)	0 (0%)	
Cuidado personal			0,009
Sin problemas	8 (61,5 %)	25 (96,2 %)	
Algunos problemas	4 (30,8 %)	0 (0 %)	
Incapaz	1 (7,7 %)	1 (3,8 %)	
Actividades cotidianas			0,005
Sin problemas	5 (38,5 %)	23 (88,5 %)	
Algunos problemas	6 (46,2 %)	2 (7,7 %)	
Incapaz	2 (15,4 %)	1 (3,8 %)	
Dolor / malestar			0,773
No dolor / malestar	4 (30,8 %)	11 (42,3 %)	
Dolor / malestar moderado	8 (61,5 %)	13 (50 %)	
Mucho dolor / malestar	1 (7,7 %)	2 (7,7 %)	
Ansiedad / Depresión			0,009
No ansiedad / depresión	7 (53,8 %)	17 (65,4 %)	
Moderada ans. / depresión	2 (15,4 %)	9 (34,6 %)	
Gran depresión / ansiedad	4 (30,8 %)	0 (0%)	
EuroQol	60,2 (29,6)	64,1 (14,8)	0,643

Tabla 24. Resultados del Cuestionario EuroQol, comparación entre individuos prefrágiles y robustos. Los valores se expresan como n (%).

	PREFRÁGIL	ROBUSTO	p
Movilidad			0,012
Caminar sin problemas	17 (65,4 %)	22 (95,7 %)	
Algunos problemas	9 (34,6 %)	1 (4,3 %)	
En cama	0 (0%)	0 (0 %)	
Cuidado personal			1,000
Sin problemas	25 (96,2 %)	23 (100 %)	
Algunos problemas	0 (0 %)	0 (0 %)	
Incapaz	1 (3,8 %)	0 (0%)	
Actividades cotidianas			0,555
Sin problemas	23 (88,5 %)	22 (95,7 %)	
Algunos problemas	2 (7,7 %)	1 (4,3 %)	
Incapaz	1 (3,8 %)	0 (0%)	
Dolor / malestar			0,233
No dolor / malestar	11 (42,3 %)	14 (60,9 %)	
Dolor / malestar moderado	13 (50 %)	0 (39,1 %)	
Mucho dolor / malestar	2 (7,7 %)	0 (0%)	
Ansiedad / Depresión			0,080
No ansiedad / depresión	17 (65,4 %)	20 (87 %)	
Moderada ans. / depresión	9 (34,6 %)	3 (13 %)	
Gran depresión / ansiedad	0 (0%)	0 (0%)	
EuroQol	64,1 (14,8)	78,3 (14,9)	0,003

6.4 DISCUSIÓN

Se ha realizado el estudio de características del equilibrio y la marcha en población anciana frágil. Respecto al equilibrio, en nuestro estudio, los ancianos frágiles presentan un aumento de la velocidad de balanceo del CoP en el análisis instrumentado del equilibrio y requieren de más tiempo para completar los test clínicos de equilibrio (TUG y FSST) y aproximadamente, sólo uno de cada cinco ancianos frágiles son capaces de mantener el apoyo unipodal durante 5 segundos. Respecto a la marcha en nuestro estudio, los ancianos frágiles presentan un aumento de la fase de apoyo con disminución de la fase de oscilación, aumento del doble soporte, disminución de la longitud del paso y de la zancada y una disminución de la velocidad de marcha respecto a los ancianos no frágiles.

Todos los individuos reclutados e incluidos en nuestro estudio cumplían el criterio propuesto de edad (mayores de 70 años) y fueron clasificados en fenotipos de fragilidad aplicando los criterios descritos por Fried et al.³¹ y observamos que, en nuestra muestra, edad y fragilidad están relacionados, siendo los individuos robustos los más jóvenes y los frágiles los más ancianos. Esto nos obliga a analizar nuestros resultados cuidadosamente y valorar los cambios de la edad como posible factor relacionado con nuestros hallazgos. Este estudio fue inicialmente diseñado para describir las características de la marcha y el equilibrio según el fenotipo de fragilidad y no para el análisis multivariado de otros factores, este enfoque debería plantearse en otro estudio con una muestra suficiente y un diseño adecuado para ello.

La prevalencia global de sarcopenia en nuestra muestra es de 14,51%, porcentaje inferior al descrito por otros grupos en muestras de individuos mayores de 70 años de edad: 30 – 50 %¹⁹, 20%¹⁶. Las diferencias en la prevalencia reportada por diversos grupos puede deberse principalmente a las diferencias en los datos normativos utilizados, la definición de sarcopenia aplicada, la población a estudio y la población de referencia. Por otra parte, de entre las diversas formas de definir la masa muscular para la valoración de sarcopenia¹¹⁰, en nuestro estudio se utilizó la fórmula de masa muscular (Kg) / altura (m)²^{19, 16, 10} y se ha reportado la posibilidad

de que esta definición subestime la sarcopenia en ancianos obesos y la sobreestime en los de bajo peso^{22, 111}. Esto podría ser un factor a tener en cuenta ya que la mayor parte de nuestra muestra presenta un IMC superior a 25, considerándose población con sobrepeso (IMC entre 25 y 29,9) y en menor medida obesos (IMC entre 30 y 39,9). La sarcopenia se caracteriza por la pérdida lenta y progresiva de masa muscular asociada al envejecimiento en ausencia de condición o enfermedad subyacente, por lo que la prevalencia de la sarcopenia aumenta con la edad^{16, 17}, algo observable también en los resultados de nuestro estudio, en el que la sarcopenia es más frecuente en el grupo de individuos de mayor edad (84,9 años), que al mismo tiempo son del grupo de frágiles (30,8%). No hemos encontrado datos que permitan valorar nuestros datos sobre sarcopenia en relación al fenotipo de fragilidad. Durante un tiempo fragilidad y sarcopenia se han estudiado de forma paralela pero ambas condiciones tienden a converger ya que existe un solapamiento entre ambas²⁵ y algunos autores consideran que la sarcopenia debería considerarse el sustrato biológico para el desarrollo de la fragilidad física y la vía por la que se desarrollan los resultados negativos de salud relacionados con la fragilidad²⁰. En nuestros resultados observamos que el porcentaje de sarcopenia es mayor en los individuos frágiles (30,8 %) respecto a los prefrágiles (15,4 %) y los robustos (15,4 %), hallazgo compatible con la relación entre sarcopenia y fragilidad reportada en la literatura. Además, la presencia de sarcopenia en algunos individuos del grupo robustos de nuestra muestra, es congruente con la disminución de la masa muscular descrita por algunos grupos incluso en ancianos sanos activos^{112, 113}.

En nuestro estudio observamos una mayor prevalencia de la alteración del sueño (69,2 %) en el grupo de individuos frágiles respecto al resto de fenotipos, así como un mayor uso de psicofármacos y neuromoduladores en estos individuos. Respecto a la morbilidad asociada, en nuestro estudio también destaca la prevalencia de la insuficiencia cardiaca, mayor en el grupo de frágiles. Estos resultados no concuerdan con los de otros grupos que han reportado la existencia de relación entre la fragilidad y la presencia de Diabetes Mellitus^{7,36}. Además nuestros resultados también resultan difíciles de comparar con los de otros grupos por las diferencias al valorar la comorbilidad, como Montero-Odasso et al. quienes

reportaron relación entre la fragilidad y una mayor comorbilidad valorada, a diferencia de nuestro estudio, con el Índice de comorbilidad de Charlson⁴⁹.

Los valores del IMC de nuestra muestra son discretamente superiores a los descritos por Montero-Odasso et al.⁴⁹ quienes también estudiaron las características de una muestra siguiendo los criterios de fragilidad de Fried. La diferencia entre los valores absolutos de ambas muestras pueden deberse a las diferencias étnico-culturales entre ambas, ya que Montero-Odasso et al. realizaron su estudio en población canadiense⁴⁹. Tanto en dicho estudio como en el nuestro, las muestras de cada uno de los grupos según el fenotipo de fragilidad resultaron comparables por IMC.

En cuanto a la composición corporal, en nuestra muestra globalmente son las mujeres quienes presentan más cambios, especialmente en la distribución del agua corporal, observando un aumento del porcentaje de agua extracelular y un descenso del porcentaje de agua intracelular. Estas mismas diferencias persisten en las mujeres al estudiar individuos frágiles y robustos y al estudiar frágiles y prefrágiles, pero estas mismas diferencias en la distribución del agua corporal sólo se observan en hombres al estudiar individuos prefrágiles y robustos. Nuestros resultados apuntan a que las diferencias en la distribución del agua corporal aparecen en varones en relación al inicio de la prefragilidad, mientras que en mujeres podrían relacionarse con la progresión hacia fragilidad. En la literatura se ha descrito la asociación de fragilidad con la disminución del índice de masa magra corporal¹¹⁴. También se puntualiza que la estimación de la composición corporal valorada por impedanciometría debe ser valorada con precaución, ya que esta técnica se basa en la medición de la hidratación de los tejidos para conducir la energía eléctrica definida como *resistencia*, y la resistencia de los tejidos no depende de las variaciones del agua corporal total¹¹⁵, de forma que la preparación previa a la realización de la medida es crítica para optimizar la fiabilidad de los resultados, condición que no podemos asegurar que se haya cumplido en nuestra muestra. Las diferencias de metodología entre estudios dificulta la posibilidad de comparar resultados específicos entre grupos. En nuestro estudio, el nivel funcional fue valorado utilizando el Índice de Barthel. Pese a que frágiles y prefrágiles

presentan puntuaciones correspondientes a un nivel de baja dependencia en contraste con el nivel de independencia completa de los robustos¹¹⁶, los valores del Índice de Barthel disminuyen en relación al estatus de fragilidad. Además podemos considerar que la disminución observada entre cada uno de los grupos resulta clínicamente relevante si tomamos como referencia la diferencia mínima clínicamente importante (1,85 puntos) descrita por Yu et al en individuos tras ictus¹¹⁷.

La velocidad de la marcha es probablemente el parámetro temporoespacial de la marcha más ampliamente estudiado. La disminución de la velocidad de la marcha y valores inferiores a 0,8 m/s se considera un marcador de fragilidad^{31,49,118,49,119}, riesgo de caídas^{59,68}, discapacidad y dependencia^{52,67}. Algunos autores han postulado que la valoración de la velocidad confortable de la marcha puede no resultar suficientemente exigente y enmascarar alteraciones potencialmente significativas^{49,57,67}. Por el contrario, otros grupos han concluido que la velocidad de confort es la mejor medida física para predecir el inicio de dependencia funcional⁵² y además es la más sensible para valorar el riesgo de caídas en mayores de 75 años⁵². En este estudio hemos valorado la velocidad de marcha habitual o de confort, y observamos que la velocidad disminuye con la progresión del estado de fragilidad, en la línea de lo reportado en la literatura por otros autores^{57,118}. Los valores de velocidad de marcha de cada fenotipo de fragilidad obtenidos en nuestro estudio también son comparables a los descritos por otros grupos^{49,119}, y de acuerdo con las conclusiones de la revisión realizada por Schwenk et al., la velocidad de la marcha permitiría diferenciar entre individuos frágiles, prefrágiles y robustos⁵⁷. En concordancia con los datos reportados por Montero-Odasso et al., sólo el grupo de frágiles presentaba una velocidad de marcha < 0,8 m/s, aunque en nuestra muestra la velocidad de los frágiles (0,51 m/s) era inferior a la reportada por Montero-Odasso et al. para el mismo grupo (0,79 m/s)⁴⁹. Estas diferencias pueden deberse a las diferencias entre las características de las muestras y las forma de registro de ambos estudios, ya que Montero-Odasso et al. utilizaron una pista con sensores de presiones. Por otra parte, se ha reportado que se requiere de una velocidad media de marcha de 1,20 m/s para poder realizar marcha por exteriores¹²⁰, de forma que en nuestra muestra, sólo los individuos robustos

obtuvieron estos valores y los frágiles e incluso los prefrágiles podrían presentar dificultades.

Dado el diseño de nuestro trabajo, debemos valorar la posible relación de nuestros resultados de velocidad de marcha con la edad de los diferentes grupos. La velocidad media de la marcha disminuye con la edad⁴⁷, pero la velocidad de marcha media en adultos mayores reportada en la literatura es muy variable (1,15 – 1,38 m/s¹²¹, 0,93 m/s¹²², 0,98 – 1,20⁵⁰, y esto se debe principalmente a que las muestras y los métodos de registro son diferentes. Las diferencias de metodología e instrumentación entre estudios es probablemente la mayor dificultad para realizar la comparación de resultados de valoración biomecánica. La diferencia de edad entre frágiles (84,9 años) y robustos (73,7 años) en nuestra muestra es de prácticamente una década, y la disminución de la velocidad de marcha de los frágiles respecto a los robustos es de aproximadamente 42,5%, muy superior a la estimación realizada por Himann et al. de una pérdida entre el 12-16 % de la velocidad de marcha por cada década de edad a partir de los 70 años¹²³, lo que nos hace pensar que las diferencias observadas, al menos entre estos dos grupos, pueden deberse al propio envejecimiento y/o a otros factores.

El equilibrio postural es un comportamiento altamente complejo en el que intervienen múltiples factores, por ello en este estudio planteamos una valoración instrumentada y con test clínicos, aunque algunos autores no han encontrado correlación entre los resultados de ambos^{124,125}. Cuando valoramos el área del balanceo realizado por el centro de presiones (área del CoP) en la posturografía estática, con ojos abiertos y cerrados, observamos una tendencia a aumentar el área en ambas condiciones siendo este incremento menor en robustos y mayor en los individuos frágiles, aunque tan sólo el aumento en la condición de ojos cerrados del grupo frágil respecto a los individuos robustos resultó relevante. El aumento del área del CoP ha sido estudiado previamente por otros grupos en población mayor observando también un aumento de los valores en función de la edad^{124,126}. La medida más ampliamente reportada para el estudio del equilibrio es la velocidad media del balanceo del centro de presiones, que aumenta en relación a la edad^{87, 88, 124, 127, 128, 129, 130}. En nuestros resultados el grupo de frágiles presentaba una

mayor velocidad media del centro de presiones respecto a los prefrágiles y frágiles, resultado congruente con lo descrito en la literatura a pesar de las diferencias en la instrumentación para la recogida de los datos. Este aumento de la velocidad media de balanceo del CoP en relación a la edad ha sido relacionado con los cambios que se producen con el envejecimiento. Cambios a nivel del sistema nervioso central, disfunción sensorial (visual, vestibular, auditiva) y a nivel muscular que pueden alterar la estabilidad de forma directa o indirecta provocando sensación de inestabilidad e inseguridad^{48,125}.

Mientras los resultados de las valoraciones instrumentadas del equilibrio son controvertidos, existe un mayor acuerdo en la interpretación de los test clínicos. En nuestro estudio se valoró la capacidad de realizar el test de apoyo unipodal durante 5 segundos dado que una duración inferior se considera predictor de alto riesgo de caídas¹³¹ y observamos que los tres fenotipos de fragilidad se diferencian en la capacidad de realizar el test tanto con un pie como con ambos. Tan sólo un 23,1% de los individuos frágiles eran capaces de completar el test durante 5 segundos frente al 100% de los robustos, resultados que coinciden con la conclusión de la revisión realizada por Michikawa et al. en la que concluyeron que el test de equilibrio monopodal podría utilizarse como predictor de fragilidad en ancianos de la comunidad¹³². También el tiempo requerido para completar el test de Timed Up and Go (TUG) resultó diferente entre los tres fenotipos, siendo evidente el aumento en los frágiles. El grupo de individuos frágiles presenta valores (media de 24,5 s) considerados indicadores de alto riesgo de caídas¹⁰⁴ y de falta de independencia para las transferencias⁷⁶. Existen pocos estudios sobre la capacidad del TUG para discriminar fragilidad. Kim et al.¹¹⁸ reportaron una capacidad buena del test para discriminar entre individuos con alto y bajo riesgo de fragilidad incluso una vez ajustado por edad, con valores de 11,66 s (6,58-20,67). Savva et al.¹³³ concluyeron que el TUG puede considerarse una medida sensible y específica de fragilidad, y útil si no pueden aplicarse todos los criterios de Fried. Reportaron un valor predictivo positivo del TUG del 90% con un punto de corte de 12 s, considerándolo útil para el screening de fragilidad, pero desaconsejando su uso para identificar individuos prefrágiles. Nuestros resultados son congruentes con lo descrito en la literatura y de acuerdo con Savva et al.¹³³, sólo las diferencias observadas entre el

tiempo requerido para completar el test entre individuos frágiles y no frágiles, serían valorables clínicamente, no siendo aplicable para identificar individuos prefrágiles.

No hemos encontrado en la literatura ningún artículo que haga referencia al Four Square Step test (FSST) y la fragilidad. En nuestro estudio resulta evidente el aumento del tiempo requerido por los individuos frágiles (24,5 s) respecto al tiempo empleado por los prefrágiles (11,9 s) y robustos (10,6 s), entre los que no existen diferencias clínicamente relevantes. La necesidad de más de 15 s para completar el test se considera altamente sensible y específico para identificar individuos con riesgo de caídas⁷⁵ y sólo los individuos frágiles superan este tiempo en nuestra muestra, relación compatible con la propia definición de fragilidad a la que se asocia un aumento del riesgo de caídas.

Los parámetros temporoespaciales de la marcha están influenciados por múltiples factores y presentan cambios en relación a múltiples causas. En primer lugar en relación a la edad, probablemente uno de los factores más estudiados, así como las variaciones relacionadas con el género. En ancianos, la fragilidad es otro de los factores relacionados con los cambios observados en los parámetros de la marcha, aunque existen escasos estudios que permitan caracterizar los patrones de marcha en relación al fenotipo de fragilidad. Además de éstos, existen múltiples factores, aunque menos estudiados, que pueden alterar la marcha en adultos mayores: sarcopenia, debilidad muscular, nivel funcional, estado nutricional, etc.

En el análisis de los parámetros temporales de la marcha de nuestra muestra entre frágiles y robustos destaca un aumento de la fase de apoyo (pie derecho 74,7% del ciclo de la marcha, pie izquierdo 75,2%) con una disminución del soporte simple (pie derecho 41,1% del ciclo de la marcha, pie izquierdo 25,7%) y un aumento del doble soporte total (67,6%) en los individuos frágiles. Un aumento del doble soporte (32,1%) fue también reportado por Kressig et al. al estudiar ancianos en transición a fragilidad¹³⁴. Montero-Odasso et al. también describieron un aumento del doble soporte entre frágiles y robustos pero expresado en duración (s) y no en porcentaje del ciclo de la marcha⁴⁹. Hollman et al. describieron un aumento de la fase de doble soporte en relación a la edad en ancianos sanos⁵⁰. El aumento de la fase de apoyo

observado en nuestra población frágil respecto a los robustos (pie derecho 74,7% del ciclo de la marcha, pie izquierdo 75,2%), difiere de los resultados descritos por Kressig et al.¹³⁴ quienes reportaron una fase de apoyo del 66% en población en transición hacia fragilidad. Las diferencias entre los porcentajes obtenidos por Kressig et al. y nuestro estudio, pueden deberse por una parte, a la diferencia en la clasificación de la muestra ya que Kressig et al. utilizaron los criterios de transición de Speechley and Tinetti¹³⁴ y en nuestro estudio se aplicaron los criterios de Fried. Por otra parte, las diferencias en los dispositivos para el estudio de la marcha utilizados por Kressig et al. (sistema de análisis del movimiento y plataformas de fuerza) y los utilizados en nuestro estudio (plataforma de presiones en cinta sin fin) podría ser otro factor a valorar al comparar los porcentajes de ambos estudios. No obstante, nuestros resultados resultan congruentes con los de otros estudios que reportan un aumento de la fase de apoyo y del doble soporte en población frágil.

En el análisis de los parámetros espaciales de la marcha de nuestra muestra, encontramos una disminución de la longitud del paso (17,5 cm (DS 4,5)) y de la longitud de la zancada (35,3 cm (DS 8,0)) en los individuos frágiles respecto a los robustos. Estos resultados difieren de la longitud de zancada descrita por Kressig et al. (111 cm (DS 0,18)) y esta diferencia, como se ha comentado previamente, puede deberse a las diferencias de la definición de la muestra y la instrumentación utilizada en ambos estudios. Montero-Odasso et al. no encontraron diferencias en ninguno de estos parámetros entre la población frágil y robusta. No conocemos estudios que analicen la relación entre la disminución de la longitud del paso y la fragilidad, pero Mortaza et al. concluyeron en su estudio sobre parámetros temporoespaciales de la marcha y caídas, que un descenso de la longitud del paso y de la longitud de la zancada, diferenciaba a los ancianos que sufren caídas de los que no caen⁶⁸. En la revisión sistemática realizada por Abutorabi et al. sobre los efectos de la edad sobre los parámetros de la marcha en sujetos sanos, consideraron la disminución de la longitud del paso como uno de los cambios de la marcha asociados a la edad⁴⁷.

Al realizar el análisis de los parámetros de la marcha en individuos frágiles y prefrágiles, obtuvimos diferencias tanto en parámetros temporales como espaciales de la marcha. En relación a los parámetros temporales, se observó un aumento del porcentaje de doble soporte total de los individuos frágiles (67,6 %) respecto a los prefrágiles (44,9 %). Kressig et al.¹³⁴ describieron un doble soporte de 32,1% en población en transición hacia fragilidad, pero las diferencias en la clasificación de la muestra y las diferencias en la instrumentación, hace difícil comparar estos resultados con los nuestros. Los resultados obtenidos en nuestro estudio al analizar la marcha entre frágiles y prefrágiles son congruentes con los descritos por Schwenck et al. ⁵⁷ en su revisión sobre análisis de la marcha y fragilidad en la que consideran la disminución de la longitud del paso y el aumento del doble soporte como las variables que podrían tener mayor poder para discriminar entre individuos frágiles y prefrágiles.

No se observaron diferencias en los parámetros temporoespaciales de la marcha entre individuos prefrágiles y robustos, pero nuestros resultados muestran una tendencia a disminuir la longitud del paso en los individuos prefrágiles. Esta reducción de la longitud del paso también ha sido descrita por Freire et al. ¹¹⁹ quienes también describieron una disminución del soporte simple en los individuos prefrágiles. Este grupo, del mismo modo que el nuestro, utilizó los criterios de Fried para definir los estados de prefrágil y robusto, pero los resultados de ambos estudios difieren en la instrumentación del análisis de la marcha, lo que podría deberse a que Freire et al utilizaron una pista de marcha libre con una alfombra de sensores de presión, a diferencia de la cinta sin fin utilizada en nuestro estudio. Schwenck et al. ⁵⁷ describieron la cadencia como el parámetro a valorar entre prefrágiles y robustos, resultado que no coincide con los obtenidos en nuestro estudio ni por Freire et al. ¹¹⁹.

Si analizamos nuestros resultados, observamos que los grupos frágil, prefrágil y robustos presentan diferencias en cuanto a la edad. La edad es uno de los factores que puede modificar los parámetros de la marcha como ya hemos mencionado previamente. De hecho en nuestro estudio encontramos las diferencias más importantes en los parámetros temporoespaciales de la marcha entre los individuos

frágiles y robustos, que al mismo tiempo los individuos más mayores (frágiles 85,9 años (DS 7,5)) y los más jóvenes (robustos 73,7 años (DS 4,9)).

Schwenk et al. en su revisión sobre análisis de la marcha y fragilidad proponen que en función de sus resultados, la disminución de la cadencia (parámetro temporal de la marcha) podría facilitar la identificación entre individuos prefrágiles y robustos, mientras que la disminución del paso (parámetro espacial de la marcha) entre frágiles y prefrágiles. Es decir, proponen que los cambios en los parámetros temporales de la marcha estarían relacionados con la prefragilidad y podrían permitir un diagnóstico precoz de fragilidad, mientras que los parámetros espaciales de la marcha estarían relacionados con la progresión de la fragilidad⁵⁷. Esto difiere de nuestros resultados, en los que los cambios en los parámetros espaciales (disminución de la longitud de paso) estarían relacionados con la prefragilidad y la aparición de cambios en los parámetros temporales (aumento del doble soporte total) con la progresión hacia fragilidad. Por otra parte, teniendo en cuenta que nuestros grupos presentan diferencias de edad, los resultados en los parámetros temporoespaciales de la marcha también podrían estar relacionados con el envejecimiento, pudiendo reflejar el continuo de los cambios que se producen en los parámetros de la marcha en relación a la edad.

En nuestro estudio la valoración de los parámetros de la marcha se realizó a una velocidad seleccionada por el propio paciente en una cinta sin fin. Según Cofré et al.⁹⁴ algunos estudios apuntan la existencia de diferencias entre la marcha en la vida diaria y la marcha realizada en una cinta sin fin, en cuyo caso resulta más simétrica, menos variable y más estable. Como hemos comentado previamente, ésto podría estar relacionado con algunas de las diferencias entre nuestros resultados y los encontrados en la literatura, también respecto a la amplitud del paso o base de sustentación o soporte. Existe poca información sobre el comportamiento de este parámetro en la fragilidad. En contra de nuestros resultados, en los que no observamos diferencias en los distintos fenotipos de fragilidad, Freire et al.¹¹⁹ reportaron un aumento de la base de sustentación en individuos prefrágiles frente a robustos, en la línea de lo reportado por Montero-Odasso et al. quienes observaron un aumento de la amplitud del paso en relación

al fenotipo de fragilidad ⁴⁹. La relación de este parámetro y la edad es algo controvertido, pero en la revisión realizada por Abutorabi et al. ⁴⁷ concluyen que los ancianos presentan mayor amplitud de la base que los individuos jóvenes, que Hollman et al concretaron en valores entre 7,9 - 10 cm ⁵⁰, valores inferiores en los observados en el global de nuestra muestra (13,6 cm en robustos). Las diferencias metodológicas y de instrumentación entre los distintos estudios también pueden ser causa de estas diferencias.

En este estudio hay limitaciones que deben ser mencionadas. En primer lugar se trata de un estudio transversal, descriptivo cuyo diseño no permite analizar relaciones causales. Además, habría sido recomendable utilizar índices para la descripción de la muestra, algunos ampliamente reportados en la literatura y que permitirían analizar nuestros resultados en comparación con las de otros estudios, principalmente respecto a la morbilidad, uso de fármacos así como añadir datos sobre algunos factores potencialmente relevantes como el estado cognitivo, el estado nutricional o el nivel de actividad física de los individuos. El diseño de estudio no permite el análisis multivariado de distintos factores que pueden intervenir en los resultados, por lo que este enfoque podría considerarse para continuar la línea de investigación de la marcha y el equilibrio en esta población. Por último, la heterogeneidad de las muestras, de las pruebas biomécanicas y la instrumentación de las mismas reportadas en la literatura, así como la falta de consenso sobre los protocolos de valoración y sobre las variables clínicamente relevantes, dificultan el análisis y comparación de los valores absolutos obtenidos como resultados.

7 SEGUNDO MANUSCRITO:

ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS ECOGRÁFICOS Y SONOELASTOGRÁFICOS DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO EN ANCIANOS

7.1 Introducción

7.1.1 El músculo

El músculo esquelético es el compartimento más grande del cuerpo en adultos, a excepción de la existencia de obesidad que implica el aumento excesivo del tejido adiposo¹³⁵. El cuerpo humano dispone de alrededor de 600 músculos y realizan diversas funciones estructurales, mecánicas y metabólicas. Hay dos factores principales que determinan la función metabólica del músculo: la masa muscular y su composición, pero el músculo también requiere de integridad vascular y neurológica para desarrollar una función mecánica y metabólica correcta¹³⁶.

No podemos olvidar que el músculo esquelético no puede aislarse del resto del organismo, los fenómenos endógenos y exógenos que pueden modificar las consecuencias de la edad sobre el organismo pueden también influenciar la calidad y cantidad del músculo esquelético¹³⁷.

7.1.1.1 El músculo y el envejecimiento

El proceso normal de envejecimiento se acompaña de una disminución de la capacidad física, la movilidad y la resistencia, lo que conlleva la pérdida de independencia¹³⁸. La fuerza muscular (entendida como la capacidad de generar fuerza) y la masa muscular juegan un importante papel en la capacidad de mantener las capacidades de la vida diaria, así como la capacidad para participar en actividades diversas incluidas las recreacionales¹³⁹.

Con la edad se producen cambios fisiológicos en los músculos que pueden llegar a limitar las actividades de la vida diaria¹⁴⁰. El paso del tiempo induce cambios

musculares cuantitativos y cualitativos, cambios a nivel del tejido conectivo, disminución del volumen muscular, los fascículos musculares se hacen más cortos y disminuyen su ángulo de pennación.

Los cambios del músculo asociados al envejecimiento, se relacionan con resultados adversos como fracturas óseas patológicas e incluso la muerte¹⁴¹. La calidad del músculo es un concepto que incluye aspectos de estructura anatómica, composición química-metabólica y capacidad mecánica-metabólica¹³⁵. La calidad muscular definida como la capacidad de generar fuerza relativa al volumen del músculo¹⁴² se deteriora de forma progresiva con el envejecimiento, mientras que la atrofia por sí misma, es sólo uno de los factores de la pérdida de capacidad funcional. Aunque la pérdida de masa y fuerza muscular son interdependientes, se estima que la pérdida de fuerza ocurre entre 2 y 4 veces más rápida que la pérdida de masa muscular y parece ser un factor de riesgo más importante para la predicción de eventos adversos¹⁴³.

Hablamos de *dinapenia* para hacer referencia a la pérdida de fuerza y función muscular relacionada con la edad¹⁰, a diferencia de *sarcopenia*, término que hace referencia a la pérdida de masa y fuerza muscular, así como a los cambios cualitativos del tejido muscular relacionados con la edad¹¹.

7.1.1.2 Los cambios en la composición corporal asociados al envejecimiento

Con el paso del tiempo se producen cambios significativos en la composición corporal. Con el envejecimiento se observa una disminución de la masa magra²⁰, que es dos veces mayor en varones y puede ser mayor en individuos sedentarios¹¹³. Al mismo tiempo que se pierde masa magra, un adulto puede esperar aumentar

aproximadamente 0,5 Kg de masa grasa por año entre los 30 y 60 años de edad¹⁴⁴, aumenta el contenido de grasa subcutánea y también la grasa perivisceral¹⁴⁵. A pesar de los cambios en la composición corporal, puede que no se produzca un cambio del peso corporal, y esto puede enmascarar lo que se ha denominado *obesidad sarcopénica*, ligada por otra parte, al aumento del riesgo de eventos adversos relacionados con la salud¹⁴⁶.

A nivel muscular se observan múltiples cambios que incluyen principalmente:

- aumento de la infiltración intramuscular de tejido graso y tejido conectivo denominado *Mioestatosis*¹⁴⁷. Este cambio puede tener unas consecuencias negativas ya que esta infiltración intramuscular puede desplazar material contráctil y alterar las propiedades elásticas del músculo, la capacidad muscular de generar fuerza y alterar la dinámica de la contracción¹⁴⁸,
- pérdida de fibras musculares tipo II¹⁴⁹,
- cambios a nivel estructural y biomecánico de la matriz extracelular, caracterizados por el aumento de la concentración de colágeno. Estos cambios podrían contribuir a la pérdida de función muscular observada con la edad como son la pérdida de capacidad para generar fuerza y el aumento de la rigidez¹⁵⁰.

El paso del tiempo se relaciona con importantes cambios en la composición corporal, la más relevante, la sarcopenia, que se relaciona al mismo tiempo con el declinar de la función, discapacidad e incluso mortalidad^{20,13}.

7.1.1.3 La masa muscular y el envejecimiento

Hay muchos factores que determinan la masa total muscular de un individuo, entre ellos el tamaño del propio individuo¹⁵¹, la cantidad de tejido adiposo¹⁵¹, la raza¹⁵², factores genéticos¹⁵³, el nivel de actividad¹⁵⁴, los niveles hormonales¹⁵⁵ y los hábitos dietéticos¹⁵⁶. Por otra parte, la calidad muscular es un concepto que incluye aspectos de estructura anatómica, composición química y metabólica y capacidad mecánica y metabólica¹⁵⁷.

Watanable et al.¹⁵⁸ concluyeron que tanto las características cuantitativas (masa) como las cualitativas (calidad) del músculo, contribuyen de forma independiente a la fuerza muscular.

A partir de los 35 años un sujeto sano pierde entre un 1-2% de su masa muscular y un 1.5% de fuerza al año, lo que se acelera a partir de los 60 años llegando hasta un 3% por año^{113,152,159}. A partir de los 70 años el área seccional del muslo disminuye un 1% al año y la pérdida concomitante de la fuerza de extensión de rodilla puede llegar a ser entre 2 y 5 veces mayor¹⁶⁰. Algunos estudios apuntan a que a los 80 años un individuo sano ha perdido entre 30-40% de su masa muscular, pérdida que puede ser mayor ante una enfermedad crónica o aguda¹⁶¹. También se ha estudiado la evolución del área seccional con la edad, que también disminuye hasta un 40% en muslo, entre los 20 y 60 años¹¹³ y hasta un 74% en mayores de 75 años respecto a adultos de 20-40 años¹⁶².

El mantenimiento de la masa muscular durante el envejecimiento es crítico para asegurar que los adultos mayores sean independientes para actividades de la vida diaria¹⁴⁵. A pesar de la importancia que se le atribuye a la masa muscular, existe literatura que defiende que la masa de músculo esquelético, función y resultados a veces no van ligados a la edad de las personas¹³⁵ e incluso en algunos casos

compartimentos corporales como la masa grasa corporal resulta ser un factor predictor de resultados negativos en ancianos, mayor que la masa muscular total¹⁶³.

7.1.1.4 Cambios con la edad en la fuerza y potencia muscular

La pérdida de masa muscular que acompaña al envejecimiento, es la principal causa de alteración de la fuerza y potencia muscular relacionada con la edad^{164,165}. Esta pérdida no es una condición uniforme ya que afecta más a los músculos posturales que a los no posturales^{166,159}, y por tanto afecta en mayor medida a los músculos de las extremidades inferiores¹⁶⁷. Este déficit de fuerza de las extremidades inferiores puede provocar limitación funcional de las actividades relevantes de la vida diaria (caminar, realizar escaleras, transferencias, etc.)¹⁴⁵. Tanto la calidad como la cantidad (masa) muscular se asocian con la fuerza muscular¹⁴⁵.

La fuerza muscular es altamente dependiente de la masa, composición y arquitectura muscular¹⁶⁸. Se ha reportado que parámetros de masa como el área seccional de un músculo^{168,169}, o parámetros estructurales como el ángulo de pennación¹⁷⁰, se relacionan con la fuerza muscular.

En los adultos mayores, además de los cambios producidos en el músculo propios del envejecimiento, son frecuentes los cambios secundarios al desuso, que conlleva también un cambio en la composición intramuscular con un aumento del contenido en grasa y pérdida de fuerza¹⁷¹. Además, hay factores neurales como el reclutamiento de unidades motoras, la frecuencia de contracción, la sincronización de unidades motoras o la coordinación intramuscular que también tienen impacto en la fuerza muscular¹⁶⁸.

La fuerza muscular es un factor predictor de la capacidad del paciente para volver a sus actividades de la vida diaria¹⁷² y para la supervivencia¹⁷³ tras una enfermedad aguda. También es un parámetro para el diagnóstico de sarcopenia¹⁰. La fuerza muscular baja es un valor predictor de inmovilización, discapacidad física y aumento de la mortalidad^{173,174}. El concepto de potencia muscular implica la velocidad a la que se realiza una tarea, y se considera un determinante importante de la capacidad física en ancianos, incluso mayor que la alteración aislada de la fuerza¹⁷⁵.

En ancianos entre 75 y 85 años se observa un deterioro de la fuerza y la potencia. Comparado con población joven, se ha reportado una reducción de la potencia (60%) mayor que la de la fuerza muscular (torque de extensión de rodilla 43% que la reducción de la potencia (60%) es mayor que la fuerza muscular (43% en el torque de extensión rodilla 43%)¹⁶². Una de las posibles razones de la mayor pérdida de potencia muscular en ancianos se considera la atrofia predominante de fibras musculares rápidas^{149,14}.

7.1.1.5 La arquitectura muscular y el envejecimiento

Las características estructurales del músculo también sufren cambios con la edad, pero la contribución de los cambios en la arquitectura muscular ha sido poco considerada a pesar de que éstos podrían potencialmente modificar la función muscular¹⁷⁶.

Este mismo grupo describieron los cambios estructurales a nivel de gastrocnemius medialis, comparando las características entre individuos ancianos y jóvenes, y concluyeron que todos los parámetros considerados para valorar la arquitectura muscular eran significativamente menores en la población mayor.

En los últimos años está aumentando la literatura que hace referencia a estas características y cambios estructurales. El factor desencadenante de este aumento es la introducción y generalización del uso de la ecografía como técnica de imagen válida y accesible para el estudio del músculo^{177,178,179}.

Algunos de los parámetros morfológicos del músculo más frecuentemente referenciados son¹⁸⁰:

- grosor muscular.
- área seccional.
- longitud del fascículo.
- ángulo de pennación u orientación de los fascículos.
- curvatura del fascículo.

7.1.1.6 Cambios en la contracción muscular con el envejecimiento

Cuando se produce la contracción concéntrica se generan una serie de cambios en el músculo. Por una parte, el vientre muscular se acorta y cuando el músculo se acorta aumenta su área seccional para conservar el volumen¹⁸¹, esto conlleva un aumento del grosor (si el abultamiento de músculo ocurre paralelo a los planos del fascículo) o aumenta la anchura del músculo (si el abombamiento es perpendicular a los planos de los fascículos). La dirección del abultamiento está determinado por

el tejido conectivo que rodea al músculo (aponeurosis superficial, profunda y tendón si lo hay). Al mismo tiempo, cuando se produce la contracción concéntrica, los fascículos rotan y aumenta el ángulo de pennación¹⁷⁰.

El rendimiento muscular depende de la disposición geométrica de los fascículos y de la contribución del tejido conectivo externo e interno del propio vientre muscular¹⁸¹.

Con la edad se afecta la geometría dinámica del músculo durante la contracción voluntaria, provocando una menor rotación de los fascículos y cambios más pequeños en el grosor muscular¹⁸¹.

7.1.2 Fragilidad y sarcopenia: la pérdida de función física

El proceso normal de envejecimiento se acompaña de una disminución de la función física¹³⁸, movilidad¹⁸² y resistencia, lo que conlleva a diferentes grados de pérdida de independencia¹³⁹.

El término sarcopenia fue acuñado para identificar los cambios a nivel de masa y función muscular que ocurren con la edad⁹, pero se cree que son muchos los factores que contribuyen a la sarcopenia^{139,17}. Entre estos factores se incluyen el declive del sistema nervioso central, la pérdida intrínseca de la función contráctil muscular, la reducción dietética de proteínas, los cambios de los esteroides gonadales, el aumento de estímulos catabólicos, el descenso de la fuerza, de la tasa metabólica y del consumo máximo de oxígeno¹³⁸. Los cambios fisiológicos a nivel de la fuerza muscular y de la capacidad cardiopulmonar, probablemente contribuyen a la debilidad y pérdida de la independencia en actividades de la vida diaria¹³⁸.

Por otra parte el concepto de fragilidad continúa siendo controvertido, lo que en parte refleja la naturaleza compleja y multidimensional de la misma¹³⁷ . La sarcopenia es considerada por algunos como el sustrato de la fragilidad.

La degeneración del músculo esquelético (sarcopenia) y el descenso de la reserva de homeostasis (fragilidad) son característicos del proceso de envejecimiento asociado a diversos eventos adversos relacionados con la salud. El punto en común entre sarcopenia y fragilidad es la alteración de la función física²⁰.

La función física disminuye con la edad, existiendo un amplio abanico de consecuencias como la limitación para la movilidad, caídas, aislamiento social, reducción de la calidad de vida, dependencia e institucionalización²⁰ . La función física se valora generalmente mediante test de velocidad de la marcha y de fuerza muscular¹³⁷ .

7.1.3 Métodos de estudio y valoración del músculo esquelético

Existen diversos métodos para valorar el músculo esquelético. La mayor parte de ellos permiten valorar la cantidad global de tejido no graso y/o muscular pero gracias al desarrollo tecnológico de las últimas décadas se plantea el estudio cuantitativo y también cualitativo del músculo. Este estudio resulta importante ya que tanto la calidad como la cantidad muscular se asocian de forma independiente con la fuerza muscular^{145,158} .

Diversos autores han reportado el uso de la RM, TC y la ecografía para estudiar el volumen muscular (grosor y área seccional), la arquitectura muscular (ángulo de pennación y longitud del fascículo) y la calidad muscular (ecogenicidad)^{147,183,184} .

7.1.3.1 Antropometría

Es un método no invasivo y barato. Requiere de la medición de diferentes pliegues cutáneos, circunferencias y longitudes en diferentes puntos del cuerpo, basándose en referencias anatómicas. Por ejemplo, la circunferencia de la pantorrilla se ha relacionado con la masa muscular, de forma que un valor < 31 cm se asocia a discapacidad¹⁸⁵. Requiere de formación específica y puede resultar difícil y poco preciso en el caso de obesidad. Hay que tener en cuenta que son medidas con riesgo de error y que además no discrimina el contenido intramuscular de tejido adiposo¹⁰.

La presencia de obesidad que dificulta la identificación de referencias óseas y los cambios producidos por el envejecimiento en las características de los tejidos, la pérdida de elasticidad y la disminución del tono muscular subyacente a los pliegues cutáneos entre otros, dificultan la utilización de la antropometría en población anciana y en obesos presenta dificultades que no aparecen en jóvenes o niños¹³⁵.

7.1.3.2 Absorciometría radiológica de doble energía (DEXA)

Es una técnica que permite diferenciar el tejido blando magro, el tejido adiposo y el mineral óseo. Puede realizarse el estudio regional o del cuerpo completo y tiene un coste moderado. Como inconveniente, es una técnica que implica una baja radiación para el individuo, no permite discernir tan específicamente la masa y la calidad muscular como otros sistemas de valoración y los equipos no son portátiles^{135,10}.

En la ilustración 8 se muestra un ejemplo del informe que se obtiene.

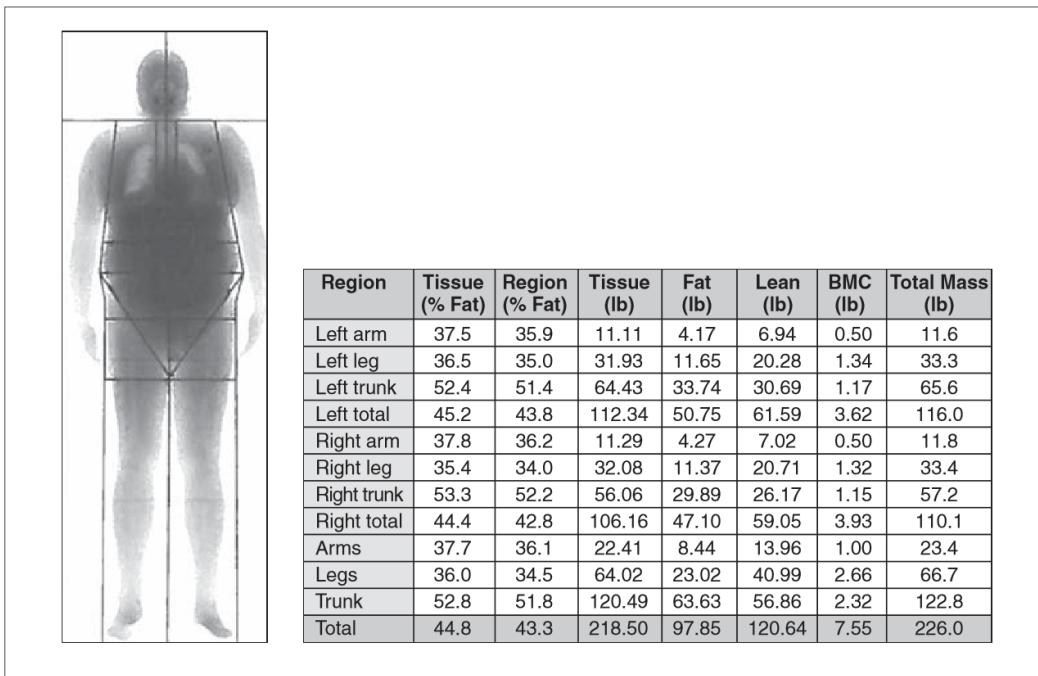


Ilustración 8: Ejemplo de estudio por DEXA de cuerpo completo y de los resultados de análisis de composición corporal. Imágenes pertenecientes a Boutin et al¹⁸⁶

7.1.3.3 Análisis de bioimpedancia (ABI)

Es una técnica basada en la medición de la impedancia segmental, resistencia y reactancia de los tejidos¹³⁵ y permite calcular el volumen de masa corporal magra y grasa. Es una técnica inocua, de coste variable dependiendo de los dispositivos, fácil de usar, reproducible y portátil. En las últimas décadas se ha estudiado su correlación con las predicciones con RM¹⁸⁷ y se han definido valores de referencia para varones y mujeres adultos de raza blanca incluyendo personas de edad avanzada^{188,189}. Cabe tener en cuenta que las condiciones de hidratación y actividad reciente del individuo pueden hacer variar los resultados y deben de ser controladas¹³⁵.

7.1.3.4 Metabolitos urinarios: Medición de creatinina de 24 horas y de 3-Metilhistidina

Es un método no invasivo y permite valorar la masa muscular. Requiere de la colaboración del individuo tanto para mantener una dieta adecuada durante la recogida de la muestra (dieta libre en carne) como para completar la recogida de la misma durante 24h¹³⁵.

7.1.3.5 Tomografía Computerizada (TC)

La TC permite valorar el área seccional transversal del músculo así como diferenciar el tejido graso de otros tejidos blandos y también permite la reconstrucción en tres dimensiones. El aumento de infiltración grasa se identifica por una reducción del coeficiente de atenuación¹⁸³, y se asocia a valores menores de fuerza muscular¹⁸³. Como inconveniente, es una técnica de coste elevado, acceso limitado y por tanto de difícil uso en la práctica clínica habitual, además de suponer la exposición del individuo a radiación^{135,10}.

En la ilustración 9 podemos observar un estudio del contenido muscular por TC.

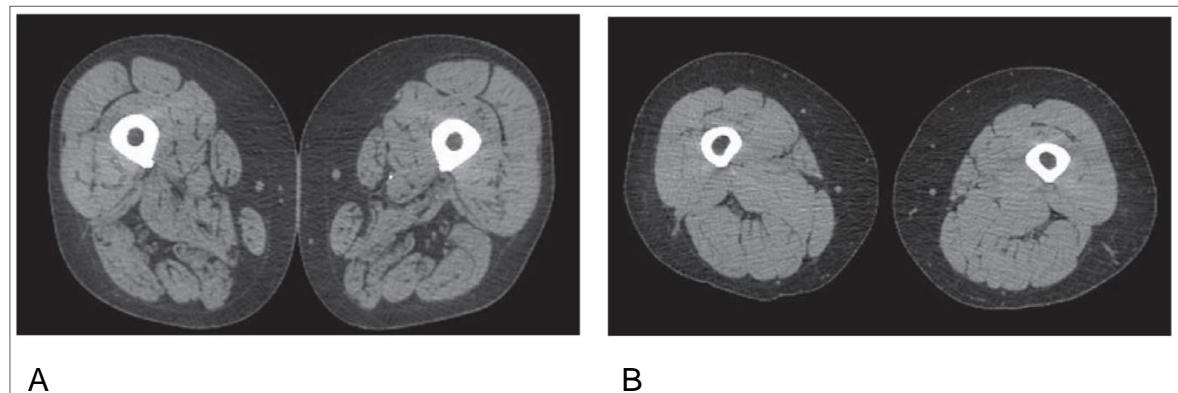


Ilustración 9: Ejemplo de estudio por TC a nivel de muslo. (A) Se observa aumento de grasa intramuscular más evidente en compartimentos posteriores. (B) Imagen de músculo normal. Imágenes pertenecientes a Boutin et al¹⁸⁶

7.1.3.6 Resonancia magnética (RM)

La RM permite valorar el área seccional del músculo, el volumen y múltiples medidas de la calidad del músculo esquelético¹³⁵. Es la técnica de imagen más sofisticada para caracterizar la pérdida de calidad muscular manifestada por edema anormal, tejido adiposo (mioestatosis) y tejido conectivo (miofibrosis)¹⁸⁶. Existen diversos sistemas y software que permiten la obtención de diversos parámetros y ratios¹⁸⁶. Es inocua, permite reconstrucciones en tres dimensiones, no supone exposición a radiación pero su coste es elevado y es difícil su aplicación en la práctica clínica habitual^{135,10}.

En la Ilustración 10 se muestra un ejemplo de imagen de RM muscular para el estudio de fracción

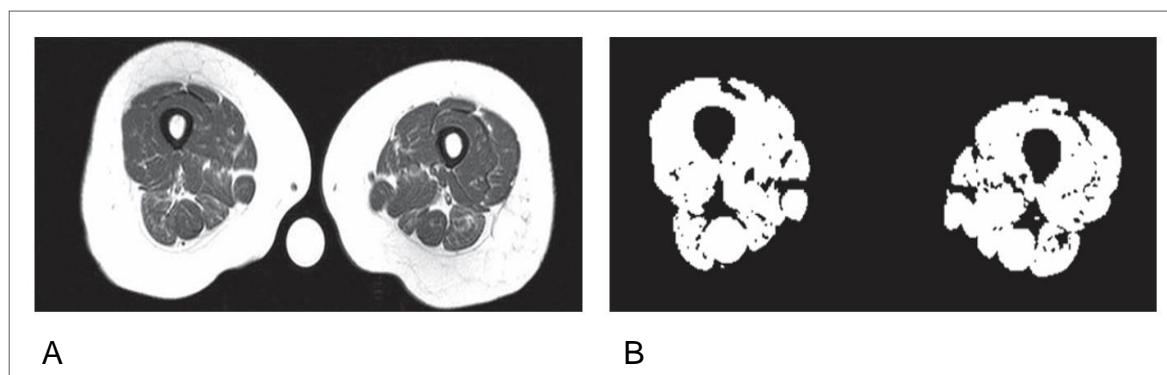


Ilustración 10: Estudio de RM muscular. Ejemplo de estudio por RM T1-weighted spin-echo axial de muslo. (A) Imagen con disminución de la masa muscular relativa. (B) Imagen de segmentación muscular, permite calcular la fracción grasa. Imágenes pertenecientes a Boutin et al¹⁸⁶

7.1.3.7 Ecografía

La ecografía es una técnica inocua, segura y accesible que permite estudiar los músculos de forma individual, medir el grosor y el área seccional^{6,4135,191}. Requiere de experiencia, y es necesario ser cuidadoso con la metodología (presión y

orientación del transductor principalmente) y los puntos de exploración para conseguir reproducibilidad^{135,177}.

7.1.3.7.1 La ecografía para la valoración del músculo esquelético

Los recientes avances tecnológicos en ecografía permiten nuevas oportunidades para la aplicación de esta técnica de imagen en la evaluación de la masa y la calidad muscular¹³⁵.

La ecografía se basa en el efecto piezoelectrónico de algunos cristales, cuando se les aplica una diferencia de potencial (corriente alterna), los cristales vibran produciendo una onda ultrasónica que puede dirigirse y propagarse a través de un medio. En la ecografía, la sonda o transductor contiene estos cristales que vibran y generan el haz de ultrasonidos al recibir el impulso eléctrico, pero también realizan el circuito inverso ya que reciben los ultrasonidos reflejados por los tejidos subyacentes, los transforman en una señal eléctrica que darán lugar a la imagen ecográfica. La imagen ecográfica se codifica en una escala de grises, de forma que aquellos tejidos que dejan pasar los ultrasonidos (especialmente aquellos ricos en agua) serán visualizados “oscuros” (hipoecogénicos o hipoecoicos), mientras que los tejidos que más reflejan los ultrasonidos, serán visualizados como “blancos” (hiperecogénicos o hiperecoicos), siendo el hueso, por su contenido en calcio, el tejido que refleja todos los ultrasonidos y que constituye la estructura más hiperecogénica (“blanca”).

Karl T. Dussik fue el primero en utilizar la ecografía en 1942, con el objetivo de diagnosticar tumores cerebrales¹⁹². Pero no fue hasta 1958 cuando este mismo autor publicó el primer artículo sobre ecografía musculoesquelética: ‘Measurements of articular tissues with ultrasound’, en el American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation¹⁹³.

Actualmente el modo B es el más utilizado, nos permite obtener imágenes en dos dimensiones del tejido adiposo, muscular y de estructuras óseas. Pero ya se dispone de equipos que permiten realizar imágenes en tres dimensiones y calcular volúmenes musculares totales¹³⁵.

7.1.3.7.2 Características ecográficas del músculo normal

El músculo normal está formado por las fibras musculares muy ricas en agua, y por el tejido conectivo circundante. Las fibras musculares se agrupan para formar fascículos y éstos se agrupan para formar el músculo. Las fibras están rodeadas por tejido conectivo denominado endomisio, los fascículos por el denominado perimisio, y el músculo está envuelto por una capa de tejido conectivo más gruesa que se denomina epimisio. Estas características histológicas del músculo son las responsables de la imagen característica del músculo por ecografía (Ilustración 11), la presencia de cambios en la composición del músculo pueden ser reflejados como cambios en la imagen ecográfica del mismo.

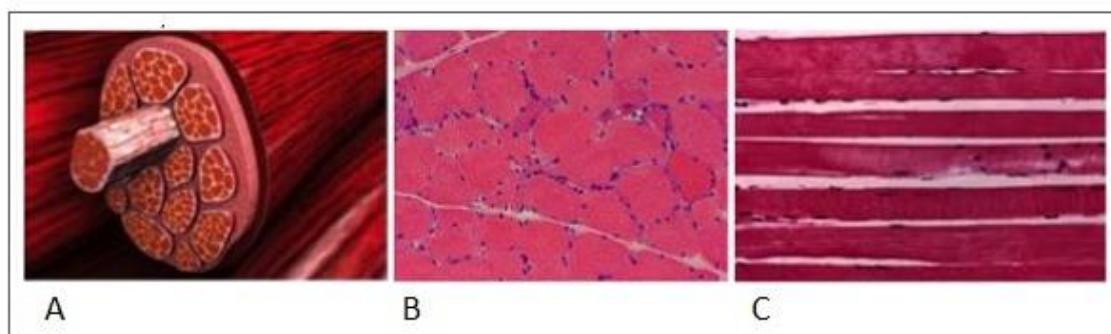


Ilustración 11: Características histológicas del músculo esquelético. (A) Ilustración de las fibras musculares rodeadas por tejido conjuntivo: endomisio, agrupadas en fascículos rodeados por el perimisio para conformar el músculo rodeado por el epimisio. Sección transversal (B) y longitudinal (C) de músculo esquelético.

La imagen ecográfica de un músculo normal se caracteriza por un fondo hipoeccogénico (“oscuro”) que representa las fibras musculares con alto contenido

en agua y líneas hiperecogénicas (“blancas”) que corresponden a los componentes de tejido conectivo (tabiques fibroadiposos, permisio y epimisio).

Cuando la sonda se coloca paralela a la disposición de las fibras musculares, la imagen obtenida se define como “en pluma de ave” (Ilustración 12).

Cuando la sonda se coloca transversal a la disposición de las fibras musculares, la imagen obtenida se denomina “en cielo estrellado” (Ilustración 13).

La ecografía se considera una técnica útil, no invasiva, de bajo coste y accesible para valorar la morfología del músculo esquelético y estimar la composición tisular en adultos^{179,194,195,196,190}. Diversos grupos han demostrado que los cambios que sufre el músculo pueden ser visualizados, identificados y valorados utilizando la ecografía tanto en individuos adultos sanos como en presencia de patología^{197,198,199}. Varios estudios han concluido que la ecografía es una herramienta fiable entre observadores^{179,191}, fiable también cuando se realizan mediciones en distintas sesiones²⁰⁰, y aplicable para una gran variedad de grupos musculares¹⁷⁹. Clásicamente se ha planteado que la ecografía es una técnica de aplicabilidad limitada principalmente por considerarse observador - dependiente, siendo esta dependencia mayor que en otros métodos de valoración muscular como la DXA, la CT o la RM¹⁷⁹. Por otra parte, diversos estudios han demostrado que existe una buena concordancia inter-observador de los valores de grosor muscular por ecografía, incluso cuando es valorado por profesionales con poca experiencia en la técnica^{201,202}.

A pesar de la posible controversia, la ecografía muscular cuantitativa se considera útil en la clínica y en investigación para caracterizar el músculo esquelético en distrofias musculares^{190,177} y sarcopenia^{186,203,204}, incluso recientemente se ha descrito una buena concordancia de la valoración ecográfica del rectus femoris con los resultados de grasa libre apendicular obtenidos por DEXA²⁰⁵, lo que amplía las posibilidades futuras de utilizar la ecografía para estimar la pérdida muscular de las extremidades inferiores y su aplicación para el diagnóstico de sarcopenia en adultos mayores²⁰³.



Ilustración 12: Imagen ecográfica de un músculo en corte longitudinal. Encuadrado en azul, imagen ecográfica correspondiente a un corte longitudinal de un músculo “en pluma de ave”. Se observa un fondo hipoeccogénico (correspondiente a las fibras musculares con alto contenido en agua) sobre el que destacan bandas hipereccogénicas alineadas (correspondiente al tejido conectivo que rodea los haces musculares).



Ilustración 13: Imagen ecográfica de un músculo en corte transversal. Encuadrado en amarillo, imagen correspondiente a un corte transversal de un músculo, imagen “en cielo estrellado” con fondo hipoeccogénico (correspondiente a fibras musculares con alto contenido en agua) sobre el que destaca un punteado hipereccogénico (correspondiente a la sección transversal del tejido conectivo que rodea los haces musculares).

No hay duda en que se requiere de una metodología cuidadosa que implica principalmente la estandarización de procedimientos para conseguir medidas fiables, seriadas y comparativas, prestando atención a factores como la localización del punto de examen, la posición del transductor, la presión ejercida y la orientación de la sonda, la posición del paciente, el estado de contracción del músculo, para optimizar los resultados cuantitativos de la valoración del músculo esquelético por ecografía¹⁷⁹.

La valoración ecográfica del músculo esquelético habitualmente incluye la medición regional del tamaño muscular como marcador de masa o cantidad muscular, y de la ecointensidad o ecogenicidad como marcador de calidad muscular¹⁸⁶.

7.1.3.7.3 Los parámetros morfológicos del músculo

Se ha demostrado que los parámetros morfológicos del músculo como grosor^{206,207}, longitud del fascículo²⁰⁸, ángulo de pennación u orientación de fascículos^{209,210}, curvatura del fascículo²¹¹ y el área seccional^{212,213} han sido extraídos de forma exitosa de secuencias de imágenes de ecografía muscular.

Ikai y Fukunaga, fueron de los primeros de los primeros grupos en utilizar la ecografía para medir el área seccional muscular en 1968²¹⁴. Más recientemente grupos como Sanada et al²¹⁵, Reeves et al¹⁷⁸ y Abe et al²¹⁶ estudiaron el grosor y área seccional muscular obtenido por ecografía utilizando la RM o la DEXA como criterios de referencia, y concluyeron que la ecografía podría considerarse como técnica alternativa para la valoración del músculo esquelético.

El uso de la ecografía para valorar la cantidad y calidad del músculo está aumentando exponencialmente en los últimos años. El estudio de los parámetros morfológicos del músculo esquelético con ecografía se ha utilizado para estudiar las diferencias en condiciones estáticas y dinámicas²¹⁷, durante la contracción muscular²⁰⁶, se considera útil para el manejo de pacientes con enfermedades neuromusculares en niños^{191,218} y en adultos^{196,219}, aumenta su uso como

herramienta clínica y de investigación para evaluar el músculo esquelético tras una intervención específica¹⁵¹ y puede permitir la valoración de los cambios en relación al entrenamiento, situaciones de desuso o sarcopenia¹⁷⁸. Incluso Loenneke et al.²²⁰ sugirieron que el grosor muscular medido en la porción anterior del músculo puede ser utilizado para monitorizar los cambios de tamaño muscular relacionados con la edad.

El uso de la ecografía cuantitativa para la determinación de sarcopenia ha sido propuesta previamente²²¹ pero esta aproximación no ha sido apoyada por la mayor parte de las sociedades internacionales que mantienen el diagnóstico basado en los criterios clínicos^{10,18,222}. La medición ecográfica del grosor muscular ha sido utilizada para estudios epidemiológicos de sarcopenia, en individuos institucionalizados²²³, en pacientes tras sufrir un accidente cerebrovascular²²⁴ y en pacientes de la Unidad de Cuidados intensivos²²⁵. En una revisión muy reciente, Boutin et al.¹⁸⁶ incluyen la valoración muscular mediante ecografía como uno de los métodos de imagen útiles para valorar la presencia de sarcopenia junto a técnicas clásicamente más generalizadas como la DXA, TC o RM (Tabla 25).

Tabla 25: Valoración de Sarcopenia por imagen propuesta por Boutin et al¹⁸⁶.

MODALIDAD	PARÁMETROS COMUNES
Absorciometría radiológica de doble energía (DEXA)	Masa magra total Masa magra apendicular Masa magra apendicular / altura ²
Ecografía	Volumen muscular Área seccional muscular Ecointensidad
Resonancia Magnética	Edema muscular Atrofia Infiltración grasa y fibrosa Volumen muscular Área seccional muscular
Tomografía Computerizada	Volumen muscular Área seccional muscular Atenuación muscular

La medida del grosor muscular por ecografía se ha asociado a la fuerza muscular, ha permitido también valorar los cambios musculares tras un programa de entrenamiento de fuerza²²⁶, incluso ha permitido monitorizar la evolución de la sarcopenia midiendo el grosor muscular del cuádriceps, valor que al mismo tiempo se correlacionaba con la fuerza medida al realizar la máxima contracción isométrica¹⁶⁸.

Algunos estudios sugieren que las manifestaciones de la sarcopenia aparecen inicialmente en el muslo, especialmente a nivel del cuádriceps, si fuera así, la ecografía muscular podría tener un papel importante para el screening poblacional antes de utilizar técnicas de cuerpo completo como la DEXA^{220,227} (Ilustración 14).

El estudio sobre la valoración de los datos obtenidos con ecografía sobre el músculo esquelético continúan, ya que algunos grupos apuntan a la posible importancia de los cambios observados a nivel del área anatómica seccional máxima, volumen muscular, longitud de fascículo, ángulo de pennación y área fisiológica seccional, que podrían jugar un papel importante en la pérdida de función muscular en ancianos, entre otras cosas, por la mayor probabilidad de afectación de la relación longitud-tensión, fuerza-velocidad y potencia-velocidad del músculo, íntimamente relacionadas con la capacidad de las funciones comunes de la vida diaria como caminar, subir y bajar escaleras, etc.¹⁷⁶.

Para conseguir medidas fiables, seriadas y que puedan ser comparadas, la valoración ecográfica del músculo debe realizarse cuidando factores como la adecuada identificación del punto de examen, la posición, orientación y presión del transductor, la posición del paciente y el estado de contracción muscular. El entrenamiento y la estandarización de procedimientos permiten la aplicación de la ecografía para obtener medidas cuantitativas útiles¹⁷⁹. El volumen, el área seccional muscular y la valoración cualitativa y cuantitativa del aspecto del músculo pueden ser fácilmente obtenidos con ecografía de forma prácticamente independiente al grosor de tejido subcutáneo¹⁹¹.

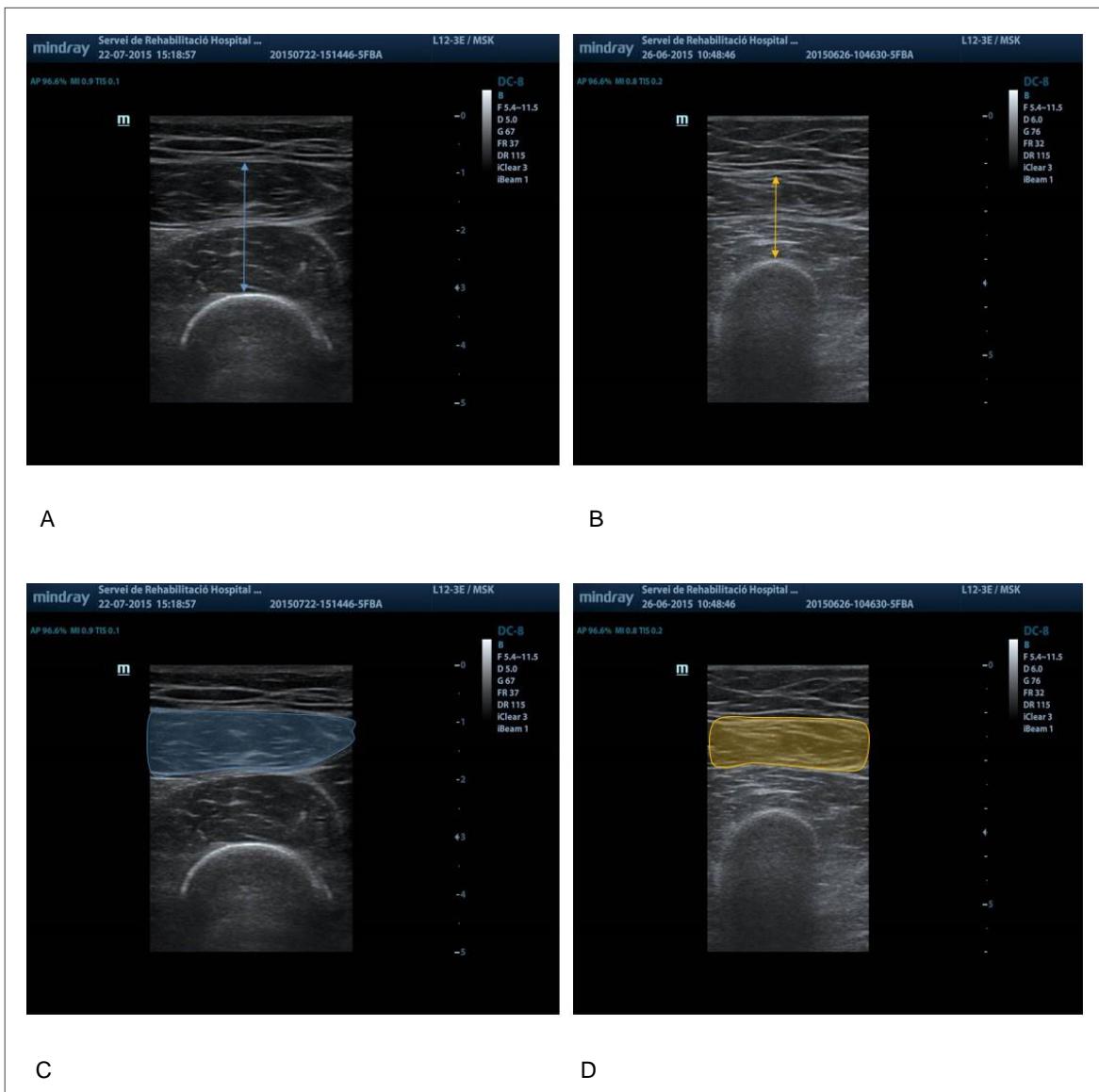


Ilustración 14: Músculo normal y sarcopénico. Imágenes ecográficas de cara anterior de muslo, corte transversal. (A) La flecha azul marca el grosor muscular correspondiente a recto anterior y vasto intermedio. (B) La flecha amarilla marca el grosor muscular correspondiente a recto anterior y vasto intermedio en un individuo sarcopénico. (C) El sombreado azul marca el área transversal de recto anterior. (D) El sombreado amarillo marca el área transversal de recto anterior en un individuo sarcopénico.

7.1.3.7.4 La ecogenicidad muscular

La ecointensidad o ecogenicidad muscular se relaciona con la composición tisular, en particular, con el tejido graso y conectivo intramuscular y se considera indicador de calidad muscular^{228,229}.

Los cambios en la composición muscular de los adultos mayores han sido previamente reportados^{145,158, 230} y se caracterizan por el aumento de contenido fibroso y adiposo intramuscular^{218,219,231}. Estos cambios tisulares provocan una mayor reflexión del haz de ultrasonidos y da lugar a una imagen de mayor ecogenicidad muscular (“más blanca”), pero no hay que olvidar que también se producen cambios a nivel de la matriz extracelular y una pérdida de la homogeneidad de la dirección de las fibras musculares que también participan en el aumento de la ecogenicidad muscular del adulto mayor¹⁵⁸ (Ilustración 15).

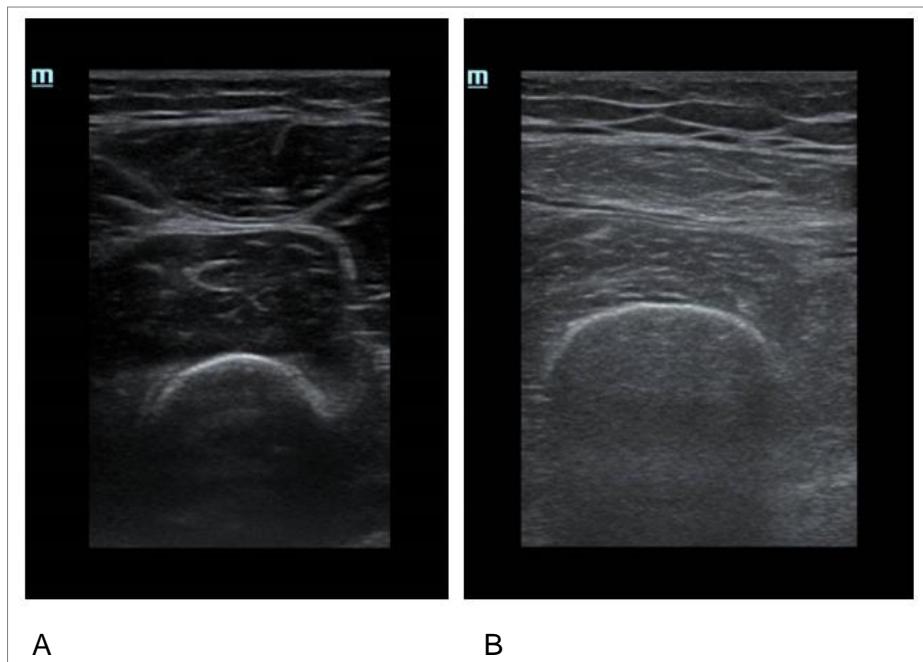


Ilustración 15: Ecogenicidad en músculo joven y anciano. (A) Imagen ecográfica muscular transversal de un individuo joven, músculo de predominio hipoeucogénico y patrón característico en cielo estrellado. (B) Imagen ecográfica muscular transversal de un individuo anciano, se observan cambios en el patrón y un aumento global de la ecogenicidad muscular.

El estudio de la calidad muscular o de la composición del tejido muscular va ganando atención ya que se ha observado que una baja calidad muscular influencia la fuerza máxima independientemente del volumen muscular¹⁴⁵, influencia la

capacidad cardiorespiratoria²³² y la capacidad de extremidades inferiores²² en adultos mayores.

Se han descrito algunos métodos para intentar cuantificar estos cambios en la ecogenicidad. La escala de Heckmatt²³³ es un ejemplo de método para la valoración visual de la ecogenicidad muscular. Consiste en valorar la ecogenicidad de un músculo en relación a la visualización de la cortical de la estructura ósea subyacente, así consideraban grado 1 al músculo normal hipoecogénico que permitía distinguir perfectamente la cortical ósea y grado 4 al músculo que presentaba un aumento de la ecogenicidad tan importante, que este perdía su morfología característica y además no permitía visualizar la cortical (Ilustración 16).

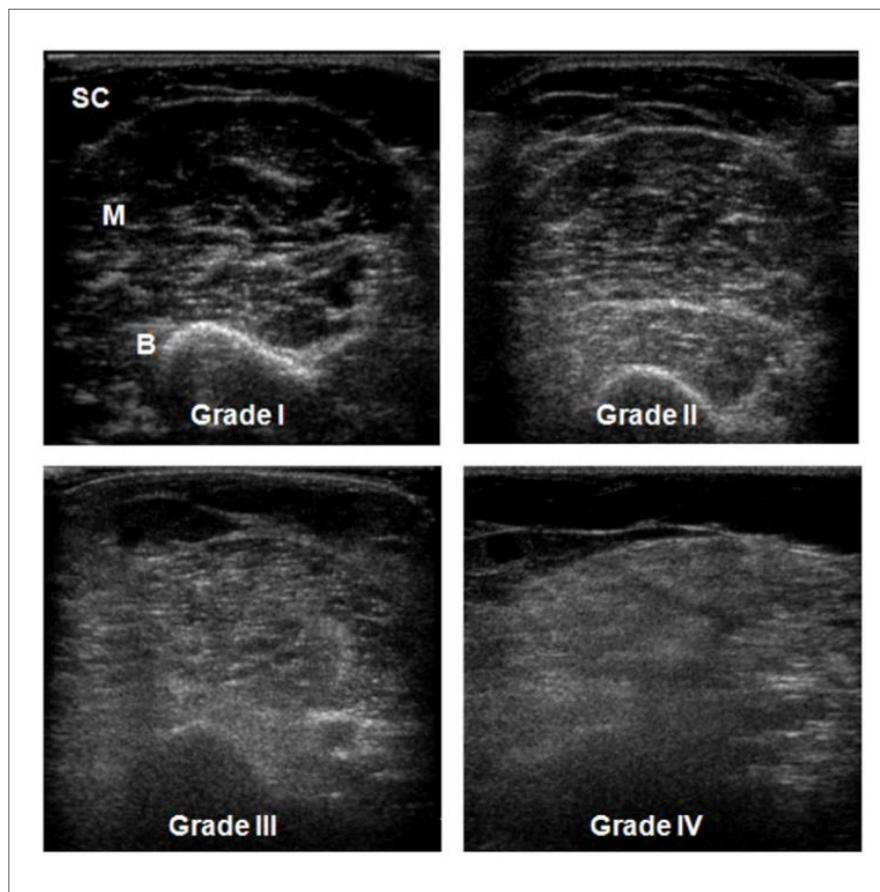


Ilustración 16: Valoración cualitativa de la ecogenicidad muscular utilizando la escala de Heckmatt. Grados: (1) normal, (2) discreto aumento de la ecogenicidad muscular con reflexión normal del hueso, (3) moderado aumento de ecogenicidad muscular con disminución de la reflexión del hueso, (4) aumento severo de la ecogenicidad muscular con ausencia de reflexión ósea. Imágenes pertenecientes a Zaidman et al²³³.

Pero esta aproximación visual para graduar el nivel de ecogenicidad muscular resulta altamente subjetiva y dependiente de la experiencia del observador, por lo que algunos autores la consideran inadecuada o al menos insuficiente^{234,235}. Para superar esta limitación, actualmente se recomienda el análisis computerizado de la escala de grises de la imagen ecográfica, que permite medir de forma cuantitativa la ecogenicidad y estos datos cuantitativos resultan útiles para la investigación, permiten una evaluación objetiva y el análisis estadístico²³⁵.

Fukumoto et al.¹⁴⁵ concluyeron que la calidad muscular determinada por la ecogenicidad del músculo esquelético se asocia con la fuerza muscular independientemente de la edad o el grosor muscular¹⁵⁸ y que no se asocia con el porcentaje de grasa corporal, IMC o el grosor del tejido celular subcutáneo.

Los adultos mayores presentan mayor ecogenicidad muscular que los individuos jóvenes, y el análisis computarizado de la escala de grises parece ser fiable y sensible para detectar los cambios en la calidad muscular. Hay que tener en cuenta que el proceso de atrofia muscular también se acompaña de un aumento de grasa y tejido fibroso intramuscular que implica un aumento de la ecogenicidad²¹⁹. Se considera que para determinar sarcopenia, es necesaria una valoración de la calidad muscular, y aunque la relación detallada entre ecointensidad, volumen muscular y fuerza muscular permanece poco claro en ancianos, se ha reportado que la ecogenicidad tiene una correlación negativa significativa con la fuerza isométrica, la fuerza isocinética y la capacidad cardiovascular²³⁰. Es decir, que los cambios de la calidad muscular relacionados con la edad contribuyen a la disminución de la fuerza muscular¹⁵⁸, y la ecografía podría considerar un método de bajo coste, accesible y seguro, adecuado para determinar la ecogenicidad muscular como índice de calidad muscular^{145,158}.

7.1.3.7.5 La sonoeslastografía muscular

La sonoeslastografía es un método en tiempo real para visualizar la distribución de la tensión y elasticidad de un tejido²³⁶.

Fue descrita inicialmente por Ophir et al²³⁷ y mide la deformación de los tejidos en respuesta a la aplicación de una fuerza externa, asumiendo que la deformación es menor en tejidos rígidos y mayor en tejidos elásticos blandos. Es un método basado en el ultrasonido pero independiente de la impedancia acústica de los tejidos, y permite la valoración visual cualitativa y la medida cuantitativa de las propiedades mecánicas de los tejidos^{238,239}.

La aplicación de la elastografía para el estudio del músculo se encuentra en desarrollo, y se observa un aumento del interés global gracias a la introducción en el mercado de sistemas accesibles que ha provocado un aumento de la investigación del potencial clínico de esta técnica en el aparato locomotor.

La sonda ecográfica se coloca sobre la piel en la zona a estudio y la elastografía permite obtener una imagen en modo B y una imagen coloreada en tiempo real que se denomina *elastograma*. El elastograma se obtiene en tiempo real durante la aplicación del estrés y representa la respuesta de cada tejido. Cada color representa un nivel de dureza o resistencia al estrés aplicado. Uno de los sistemas de codificación es el “RGB” (red-green-blue) de forma que el rojo corresponde a los tejidos blandos con deformación significativa, el azul corresponde a áreas rígidas de baja distorsión y el verde representa la deformación intermedia²⁴⁰. En la Ilustración 17 se muestra un ejemplo de exploración con sonoelastografía y el correspondiente elastograma.

Existen diversas técnicas de elastografía: Strain elastography, Acoustic radiation force impulse elastography, Shear wave elastography y Transient elastography. Se diferencian principalmente por el tipo de estrés aplicado, el método utilizado para detectar el desplazamiento del tejido y la construcción de la imagen^{238,239}. De todas ellas, la más extendida actualmente es la Strain elastography.

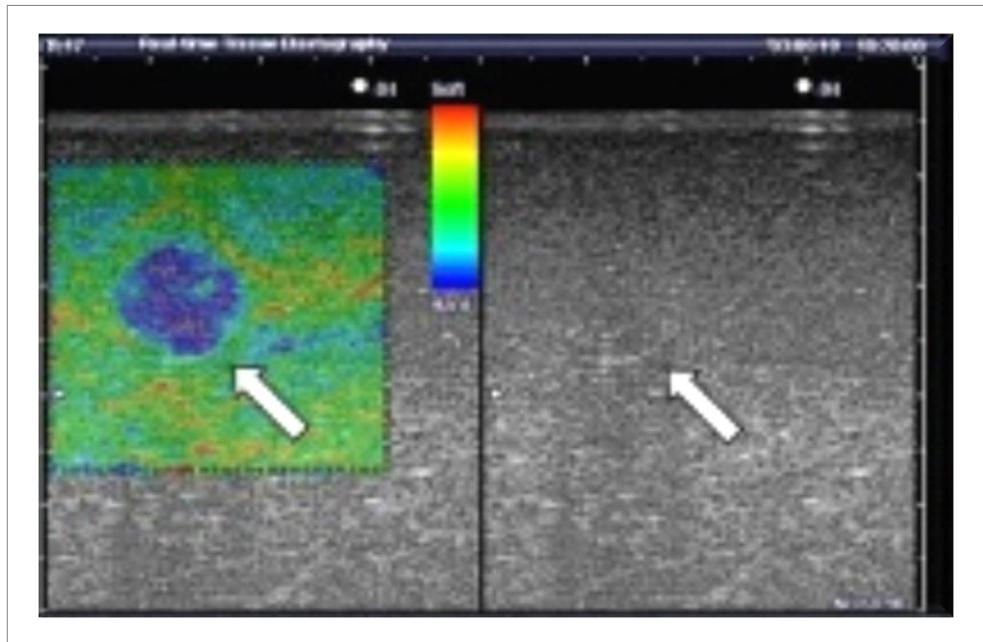


Ilustración 17: Ejemplo de estudio sonoelastográfico a la izquierda e imagen ecográfica modo - B a la derecha. Las flechas indican la misma área en ambos modos. En el estudio elastográfico se evidencia la presencia de una zona redondeada de color azul frente al color predominantemente verde circundante, y que corresponde a un área que se comporta de forma diferente al tejido que le rodea cuando se aplica una compresión manual con la sonda.

La Strain elastography se basa en la compresión del tejido a baja frecuencia, que generalmente es aplicada con la mano que sujet a el transductor²³⁶. El principio básico es que la fuerza de compresión aplicada sobre la superficie, provoca un desplazamiento axial o deformación de los tejidos subyacentes, que es calculado por una serie de procesos matemáticos comparando con los parámetros obtenidos antes y después de esta compresión²³⁷ (Ilustración 18 y Figura 6). Este tipo de elastografía mide la deformación relativa de un área respecto a otra y lo representa en un mapa de color (elastograma). La información de elasticidad derivada de este método es cualitativa o semicuantitativa^{238,239}.

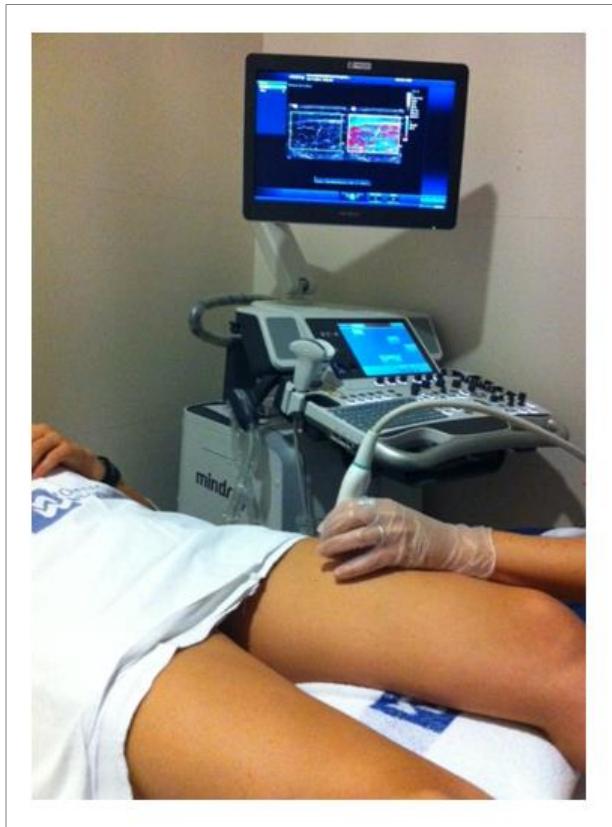


Ilustración 18: Sonoelastografía. Ejemplo de realización de un estudio muscular por sonoelastografía en recto anterior, la imagen muestra la metodología utilizada en nuestro estudio.

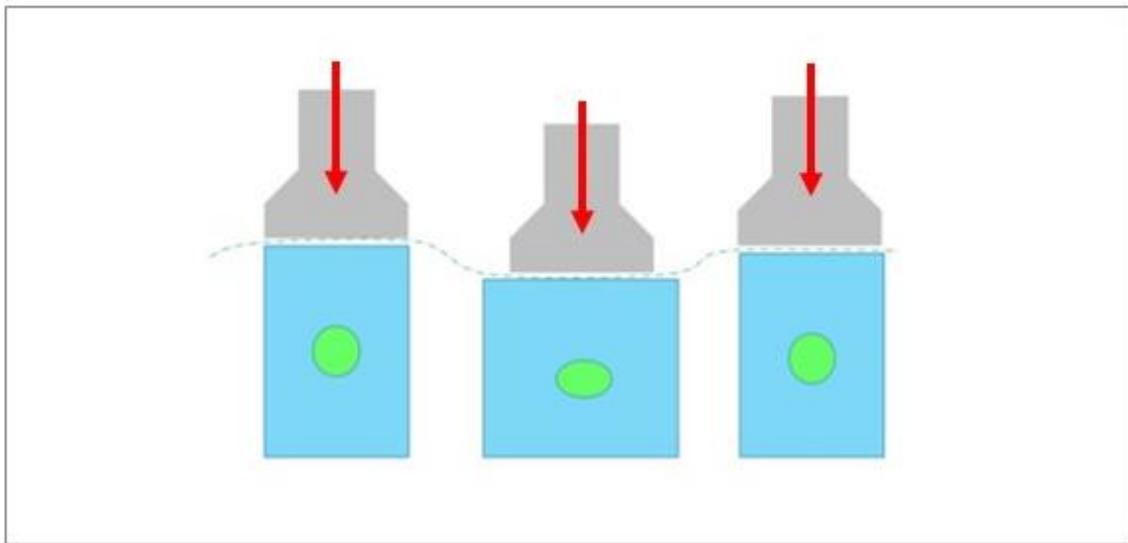


Figura 6: En la imagen se observa la presión axial cíclica ejercida con el transductor sobre la superficie (línea punteada). Se muestra la variación de los tejidos en función de la presión ejercida, produciéndose mayor cambio o deformabilidad cuanto mayor es la presión ejercida y cuanto más blandos son los tejidos (en la figura, representados en color azul), y menor deformabilidad cuanto más rígidas son las estructuras (representada en color verde).

Existe cierta controversia sobre la reproducibilidad y fiabilidad de la elastografía ya que la propia técnica presenta una serie de limitaciones:

- Compresión manual: se postula que podría haber diferencias en el desplazamiento de los tejidos dependiendo del grado de presión realizado. Las presiones deben de ser moderadas para que la relación entre presión y las propiedades elásticas de los tejidos sean lineales. Para evitar este posible sesgo, la mayor parte de los sistemas disponen de un software que ofrece un feedback visual al explorador indicando la correcta aplicación de presión y así minimizar la variación intra- e inter-observador²³⁶.
- Falta de medida cuantitativa: Se han descrito el uso de métodos semicuantitativos mediante ratios²⁴¹, escalas o score de elastogramas^{241,242,243} o software externos²⁴⁴. El inconveniente es la confusión para interpretar y comparar los resultados de distintos estudios incluso cuando se ha utilizado la misma técnica.
- Distancia entre la sonda y el área del tejido de interés: la Guía Europea de Ultrasonido para Medicina y Biología recomienda una distancia máxima de 3-4 cm para obtener mejores resultados^{245, 246}.
- Dificultad anatómica para la aplicación de la presión: la presencia de zonas prominentes adyacentes o estructuras óseas pueden dificultar el contacto completo de la sonda y la aplicación homogénea de presión en la zona de interés²⁴⁷.
- El tamaño del elastograma: dado que la técnica realiza una comparación con el tejido adyacente, la cantidad y calidad del tejido circundante incluido en el elastograma podría condicionar el resultado obtenido²³⁶.

A pesar del gran interés que despierta el uso de la elastografía en el músculo esquelético, la falta de literatura y las dificultades para realizar comparaciones entre estudios, hacen que persistan las dudas sobre su utilidad clínica²³⁶.

La apariencia del músculo normal no ha sido estudiada detalladamente, cuando el músculo normal está en reposo las imágenes muestran un mosaico no homogéneo de dureza intermedia o alta, con zonas parcheadas de áreas más blandas y más duras especialmente en la zona más periférica del elastograma (Ilustración 19). Los músculos se consideran estructuras blandas, y se ha descrito que durante la contracción las estructuras musculares enfatizan su elasticidad.

También se ha estudiado los cambios en un músculo normal durante el ejercicio utilizando la elastografía y medidas biomecánicas concluyendo que la elastografía es útil para elaborar un mapa de elasticidad del músculo²⁴⁸. Pero todavía se desconoce de qué depende la variación del color y si los patrones son reproducibles entre diferentes músculos e individuos.

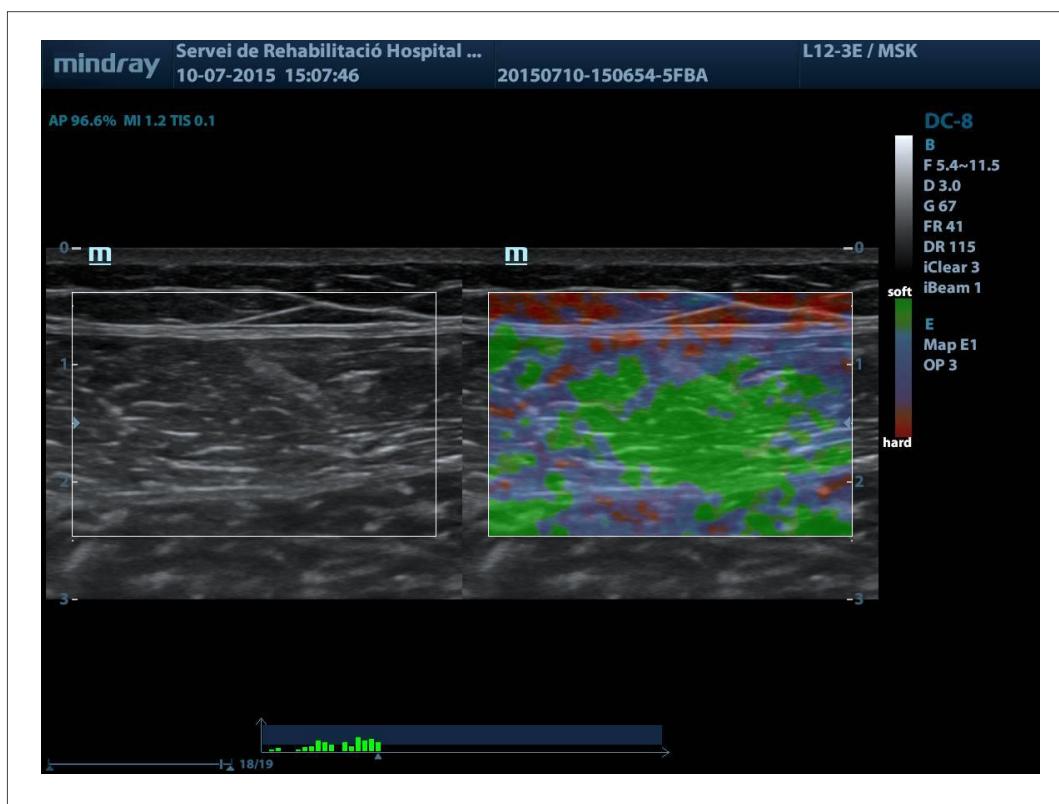


Ilustración 19: Imagen correspondiente a recto anterior en individuo joven y sano en reposo. A la izquierda la imagen en Modo – B, a la derecha elastograma del músculo en forma de mosaico no homogéneo de dureza intermedia o alta (verde/azul), áreas parcheadas con áreas más blandas y más duras (rojas) en la zona más periférica del elastograma.

Existen datos limitados sobre el uso de la elastografía en el músculo normal y en músculo histológicamente alterado²³⁶ . La mayor parte de datos de elastografía sobre músculo son de procesos degenerativos o enfermedades neuromusculares, estudios en los que se sugiere que la elastografía podría tener un papel significativo para diagnóstico, estadioaje y monitorización de resultados en músculo distrófico, miopático y espástico²⁴⁴ .

El envejecimiento y la sarcopenia asocian cambios de la calidad muscular, que potencialmente producen alteraciones biomecánicas como rigidez y pérdida de elasticidad, que pueden ser detectables por elastografía¹³⁵ . La elastografía aporta información adicional sobre la calidad del músculo esquelético²⁴⁹ pero se desconocen datos específicos relacionados con los cambios musculares producidos por la edad y por la fragilidad.

7.2 Material y método

7.2.1 Diseño del estudio, reclutamiento y muestra

Se trata de un estudio observacional, transversal, descriptivo, realizado en el Hospital de Mataró (Consorci Sanitari del Maresme: CSdM) para el que previamente se obtuvo el informe favorable del Comité de Ética (CEIC) de dicho centro.

Los participantes fueron reclutados en los dispositivos asistenciales del CSdM: ABS Mataró Centre, ABS Cirera-Molins, ABS Argentona, Consultas Externas de Medicina Física y Rehabilitación del Hospital de Mataró entre Enero y Junio de 2015.

Los candidatos eran individuos mayores de 70 años de la comunidad y que vivían en domicilio. Fueron informados verbalmente del objetivo del estudio y de la implicación de participar en el mismo. También les fue entregada una hoja de información y aquellos que cumplían los criterios de inclusión y firmaron el consentimiento informado, fueron incluidos en el estudio como participantes. A cada uno se le asignó un código único e irrepetible que permitió su identificación manteniendo la confidencialidad del individuo. Una vez incluidos fueron clasificados en grupos de fragilidad siguiendo el modelo de fenotipo de fragilidad descrito por Fried et al.³¹.

7.2.1.1 Criterios de inclusión

- Edad igual o mayor a 70 años.
- Capacidad de deambulación independiente con o sin ayudas técnicas.

- Individuos no institucionalizados.
- Aceptación y firma del consentimiento informado.

7.2.1.2 Criterios de exclusión

- Hospitalización y/o enfermedad aguda intercurrente en las dos semanas previas.
- Individuo en estado terminal o con una esperanza de vida inferior a tres meses.
- Capacidad cognitiva que permita la comprensión y firma del consentimiento informado, así como la realización de las pruebas necesarias para el estudio.

7.2.2 Evaluación de concordancia inter e intraobservador del estudio ecográfico y sonoelastográfico

A pesar de seguir metodología descrita previamente por otros autores para la realización del estudio ecográfico y sonoelastográfico muscular, y dado que una de las principales limitaciones que se atribuye a la ecografía es la condición de explorador – dependiente, se realizó un estudio de concordancia intra e inter – observador.

Para calcular la concordancia intra – observador, un mismo observador realizó dos exploraciones en momentos diferentes de ecografía y sonoelastografía muscular a la misma muestra, siguiendo la metodología descrita previamente.

Para el cálculo de la concordancia inter – observador, dos observadores diferentes realizaron la exploración ecográfica y sonoelastográfica muscular siguiendo la misma metodología. Ninguno de ellos conocía los resultados del otro observador.

Ambos observadores tenían experiencia previa en el uso de la ecografía y sonoelastografía en aparato musculoesquelético. Las imágenes obtenidas por ambos, fueron analizadas por un único observador, y se realizó el estudio de concordancia intra- e inter-observador para los parámetros ecográficos de grosor subcutáneo, grosor muscular, compresibilidad y ecogenicidad muscular. A nivel de los resultados de elastografía muscular, se realizó el estudio de concordancia inter e intra - observador tanto para la valoración de color como para el análisis del histograma.

Para realizar este estudio de concordancia se utilizó una muestra de 15 voluntarios, hombres y mujeres jóvenes de entre 30 y 50 años de edad que pudieran asistir a valoración en varias ocasiones, dado que la muestra de ancianos presentaba dificultades para desplazarse hasta nuestra Unidad. Se incluyeron aquellos individuos con un nivel de actividad física equiparable a 150 minutos de actividad moderada por semana, recomendación de promoción y mantenimiento de buena salud según el American College of Sports Medicine²⁵⁰, excluyendo así a individuos con niveles de actividad extremos. Además de la valoración ecográfica y sonoelastográfica muscular, se recogieron datos de comorbilidad (valorado con el índice de comorbilidad de Charlson^{251,252}), composición corporal por bioimpedanciometría y fuerza de garra.

Los resultados obtenidos en esta muestra de población joven, también se utilizaron en nuestro estudio como valores de referencia en población joven sana.

7.2.3 Principales medidas de resultado y métodos de medición

7.2.3.1 Evaluación de fragilidad

Los criterios definidos por Fried et al.³¹ y utilizados para la valoración en nuestro estudio se describen en la tabla 26.

Tabla 26: Criterios de fragilidad de Fried et al.³¹:

Pérdida de peso	Pérdida de peso no intencionada >4,54 Kg o en caso de seguimiento, pérdida de peso no intencionada de al menos 5% respecto al peso del año anterior.
Cansancio autoreferido	Basado en la CES-D Depression Scale. Se leen dos frases: “siento que todo me cuesta un esfuerzo”, “no tenía ganas de hacer nada” y se realizaba la siguiente pregunta “¿Cuántas veces se ha sentido así en la última semana?” Se consideran criterio de fragilidad las respuestas de “algunas veces (3-4 días/semana)” o “la mayor parte del tiempo”.
Actividad física	Basado en la versión corta del Minnesota Leisure Time Activity Questionnaire. El resultado se obtiene en Kcal/semana utilizando un algoritmo estandarizado y se considera criterio de fragilidad un valor < 383 Kcal/semana para varones y < 270 Kcal/semana para mujeres.
Tiempo de marcha	El tiempo que tarda en caminar 4,5m. Un tiempo superior a 7,5 segundos (velocidad de marcha ≤ 0,8 m/s) se considera criterio de fragilidad.
Fuerza de garra	Considerando criterio de fragilidad valores < 30 Kg para varones y < 17 Kg en mujeres.

Para valorar el criterio de fragilidad respecto al nivel de *Actividad Física*, Fried et al³¹ describieron los valores en base a la versión corta del Minnesota Leisure Time Activity questionnaire (MLTAq), calculaban las Kcal/semana utilizando el algoritmo

estandarizado y estratificaron esta variable por sexo considerando criterio de fragilidad en hombres una actividad < 383 Kcal/semana y < 270 Kcal/semana en el caso de las mujeres. En este estudio se utilizó la versión reducida del MLTAq validada en español (VREM). Existen dos publicaciones electrónicas con la información necesaria para aplicar el VREM. Una guía del usuario con las instrucciones para los entrevistadores (Guía del entrevistador. Disponible en: <https://dl.dropbox.com/u/17515407/VREM.pdf>) y una hoja de cálculo en formato Excel a través de la cual, una vez llenados los campos, de forma automática se calcula el gasto energético en el tiempo libre (en METs-min/14 días) a la vez que clasifica al individuo en función de su gasto energético entre sedentario y muy activo (Cálculo del gasto energético VREM. Disponible en: https://dl.dropbox.com/u/17515407/calculo_resultados_VREM.xlsx). Para poder valorar el ítem de actividad física siguiendo los criterios de fragilidad de Fried, el resultado en METs-min/14 días fue transformado en Kcal/semana teniendo en cuenta que 1 MET equivale a 1Kcal/Kg de peso corporal/h.

La *velocidad de marcha* se calculó en una distancia de 4 metros. Una velocidad ≤ 0.8 m/s se consideró criterio de fragilidad.

7.2.3.2 Valoración ecográfica del músculo

El estudio ecográfico se realizó con el equipo de ultrasonografía Mindray DC - 8 (Mindray Medical International Ltd., Nanshan, Shenzhen 518057, P.R. China) y se registraron imágenes modo – B transversales de cuádriceps femoral utilizando una sonda lineal multifrecuencia (L12 – 3 E) de 6,6 – 13,5 MHz.

La zona a estudio fue la cara anterior del muslo del lado dominante del sujeto, si alguna condición previa lo impedía, la valoración se realizaba en el muslo contralateral. Se realizaron imágenes en el eje transversal, es decir, la sonda se colocaba perpendicular al eje longitudinal del cuádriceps femoral, a nivel del punto

medio de la distancia entre el trocánter mayor y el cóndilo femoral externo de fémur, siguiendo el método utilizado previamente por otros grupos¹⁶⁸.

El individuo se encontraba en decúbito supino, con las piernas en extensión descansando de forma natural sobre un pequeño apoyo en la zona poplítea para mantener una flexión de rodilla de 15º permitiendo la relajación del paciente. Todas las imágenes fueron registradas en el punto medio de la distancia entre el trocánter mayor y el espacio articular lateral de la rodilla, punto que corresponde aproximadamente al punto medio de fémur y en el que se ha descrito que el área seccional anatómica del cuádriceps es mayor²⁵³. La posición del participante y el punto de estudio han sido reportados previamente por otros grupos¹⁶⁸. El punto de estudio era marcado sobre la piel del paciente para asegurar la misma posición en todos los registros realizados. Se utilizó gel transductor suficiente para asegurar una mínima compresión de la sonda a la hora de registrar las imágenes. Las imágenes fueron adquiridas con una sonda lineal utilizando frecuencias de 11,5 Mhz. La visualización hiperecogénica de la cortical del fémur en la base de la pantalla se consideró la referencia ósea y permitía centrar la imagen en la que debían diferenciarse vasto intermedio y recto femoral (Ilustración 20).

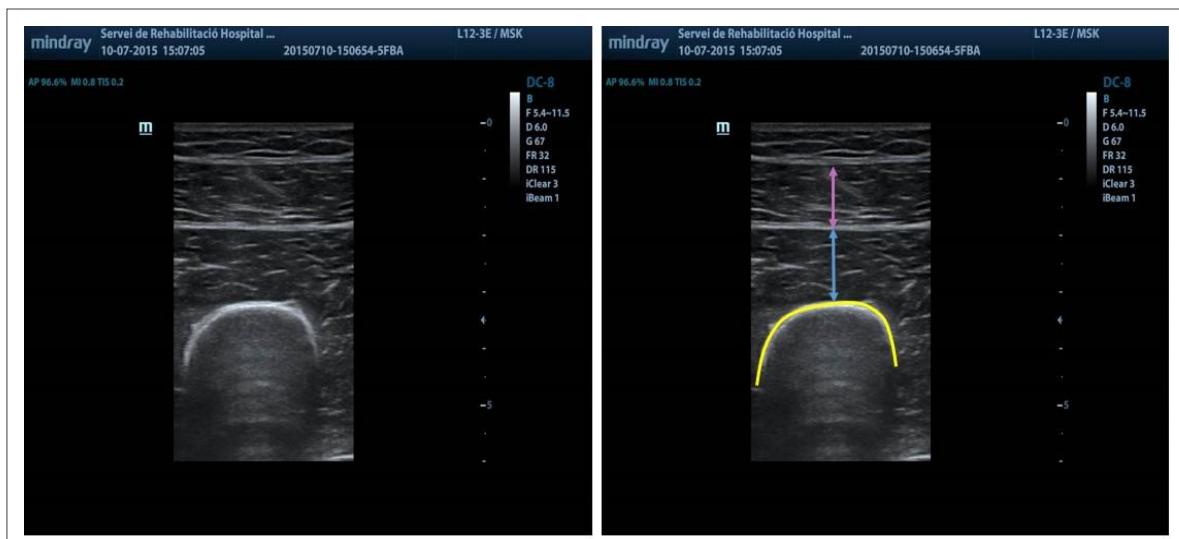


Ilustración 20: Imagen ecográfica de cara anterior de muslo. A la derecha se marcan: cortical de fémur en amarillo, grosor del vasto intermedio en azul, grosor de recto anterior en morado.

Las imágenes fueron grabadas en el dispositivo y posteriormente, sobre las imágenes grabadas, se realizaron las siguientes mediciones utilizando la opción *Caliper*:

- Área transversal de recto femoral (expresado en mm²): se calculó utilizando la opción del propio dispositivo de *Cálculo del área* sobre las imágenes previamente grabadas en condiciones de mínima compresión de la sonda por parte del observador. Una vez seleccionada la imagen, el cursor permite al observador “dibujar” el área del recto femoral y el dispositivo calcula automáticamente el valor numérico del área seleccionada (Ilustración 21).



Ilustración 21: La línea verde marca el perímetro del recto femoral y permite el cálculo del área seleccionada. El valor se expresa en cm² en el ángulo superior derecho de la imagen.

- Grosor de tejido celular subcutáneo (expresado en mm): se consideró la distancia obtenida al medir desde la fascia ventral del recto femoral hasta piel (Ilustracion 22).

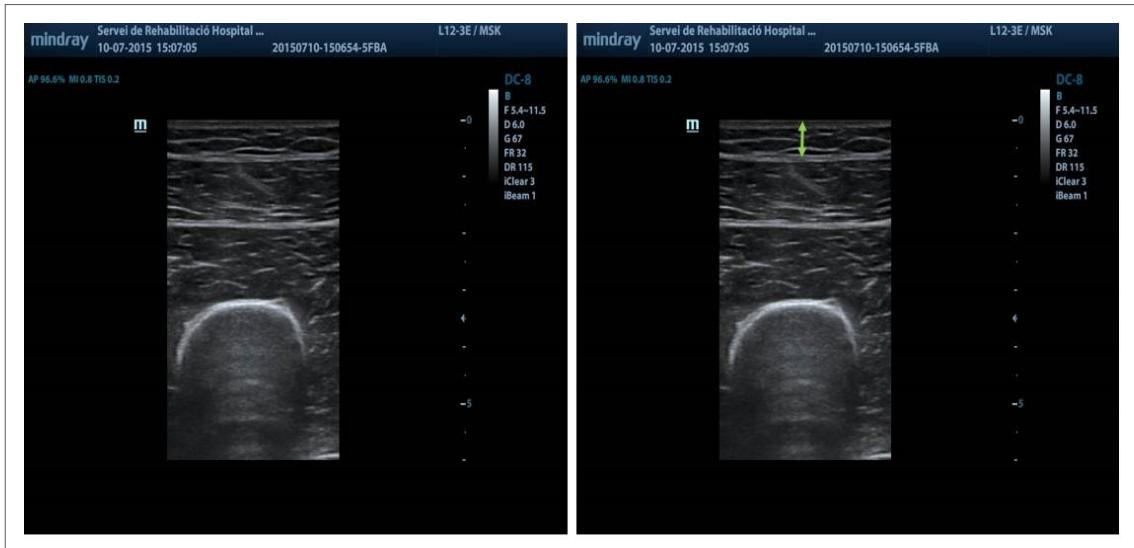


Ilustración 22: La flecha verde en la imagen de la derecha marca el grosor del tejido celular subcutáneo.

- Grosor muscular (expresado en mm): se consideró la distancia entre el borde superior de la cortical del fémur hasta la fascia ventral del recto femoral incluyendo así vasto intermedio y recto femoral (Ilustración 23).

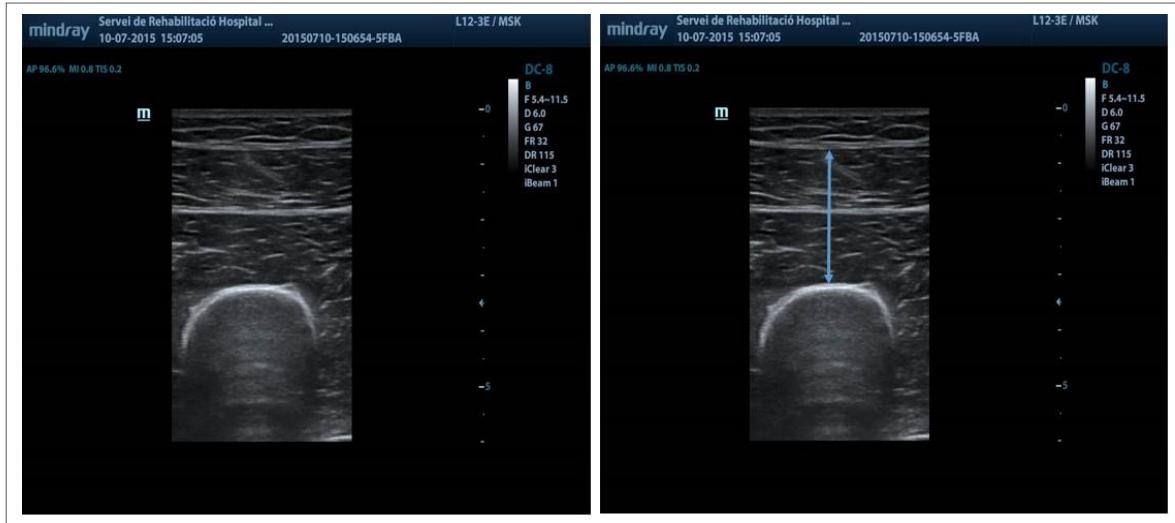


Ilustración 23: La flecha azul en la imagen de la derecha marca el grosor muscular que incluye vasto intermedio y recto anterior.

El grosor muscular fue valorado con mínima presión como se ha explicado previamente y también cuando el observador realizaba máxima compresión sobre el transductor mientras el paciente se mantenía en reposo. Estas medidas del grosor muscular con mínima y máxima compresión nos permitieron calcular el Índice de Compresibilidad que se describe a continuación.

- Índice de Compresibilidad ²⁵⁴: para su cálculo es necesario disponer del grosor muscular global (recto femoral y vasto intermedio) en condiciones de mínima y máxima compresión con la sonda por parte del observador. El valor final se expresa en porcentaje aplicando la siguiente fórmula: $(\alpha - \beta) / \alpha \times 100$, donde α corresponde al grosor muscular con mínima compresión y β al grosor muscular con máxima compresión (Ilustración 24).

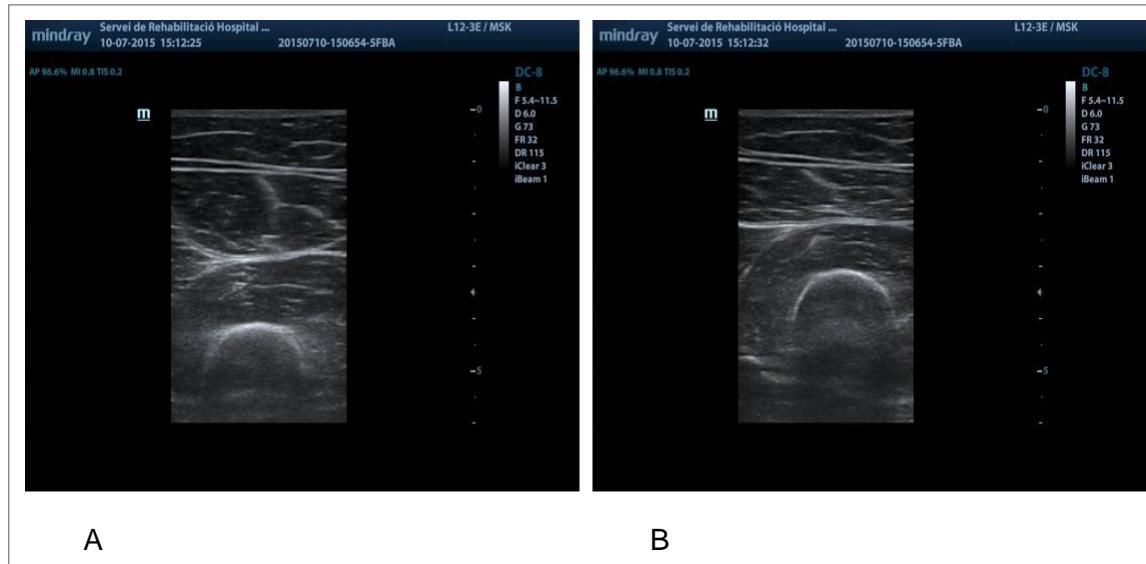


Ilustración 24: Imagen ecográfica de cara anterior de muslo. (A) Ecografía recogida ejerciendo mínima presión sobre el transductor. (B) Ecografía recogida ejerciendo máxima presión sobre el transductor.

- Ecogenicidad: La ecogenicidad muscular de recto femoral se valoró en las imágenes registradas en condiciones de mínima compresión. Se analizó la escala de grises con el software Imagen J (National Institutes of Health, NIH, Bethesda, Maryland, USA) descrito previamente por otros grupos^{168,230}. Para hacer el análisis de la escala de grises se selecciona una región de interés en la imagen de corte transversal excluyendo fascia o hueso. La media de ecogenicidad obtenida de la región se expresa con un valor numérico entre 0 (negro) y 255 (blanco) (\bar{X} (DS)).

Un único observador con experiencia en el uso de la ecografía en aparato musculoesquelético, realizó la exploración ecográfica, registro de las imágenes, mediciones de los parámetros y de la ecogenicidad.

7.2.3.3 Valoración elastográfica del músculo

El estudio sonoelastográfico se realizó con el módulo Natural Touch Elastography del dispositivo Mindray DC - 8 (Mindray Medical International Ltd., Nanshan, Shenzhen 518057, P.R. China). Se trata de una elastografía por compresión o *Strain elastography* en la que el observador aplica compresión con la mano que sujet a el transductor. El dispositivo dispone de un software que ofrece un feed back visual al explorador indicando la correcta aplicación de la presión y minimizar la variación intra e inter observador²³⁶.

El estudio se realizó a nivel de cara anterior de muslo, la posición del individuo y el punto de colocación de la sonda son los mismos que se han descrito previamente para la valoración ecográfica muscular en el apartado 6.2.2.2. Para la realización de la elastografía el observador aplicaba compresión a través de la sonda sobre la superficie cutánea y se registraron las imágenes que el propio sistema de feed back advertía como correctamente realizadas. Estas imágenes de elastografía, denominadas elastogramas, eran grabadas para su análisis posterior.

El análisis de los elastogramas se realizó únicamente sobre el registro a nivel de recto femoral. Por una parte un único observador realizó la valoración semicuantitativa del color predominante en el área de interés del elastograma a nivel de recto femoral, clasificando entre: “Rojo - Verde – Azul”²⁴⁰, este tipo de valoración semicuantitativa ha sido descrita previamente²⁵⁵, en nuestro estudio el color verde corresponde a características de baja dureza (blando) y el color rojo de dureza elevada, siendo el azul la representación de una dureza intermedia. Por otra parte, se realizó el cálculo del histograma utilizando el software Image J (National Institutes of Health, NIH, Bethesda, Maryland, USA) utilizado por otros grupos previamente²⁵⁶ y siguiendo la misma metodología descrita para el cálculo de la ecogenicidad en este mismo apartado, lo que nos permitió obtener un valor numérico entre 0 (negro) y 255 (blanco) expresado como \bar{x} (DS).

Un único observador con experiencia en el uso de la sonoelastografía en el aparato musculoesquelético, realizó la exploración elastográfica, registro de los elastogramas y análisis posterior (visual y de histograma).

7.2.3.4 Evaluación de la composición corporal

En este estudio la valoración de la composición corporal se realizó por *bioimpedanciometría*. Se trata de una prueba barata y sencilla y se considera una buena alternativa portátil a la absorciometría radiológica de doble energía (DEXA), considerada como alternativa óptima a la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM) para calcular la masa muscular y magra.

En este estudio, la valoración por bioimpedancia para la estimación de la composición corporal se realizó con el dispositivo Bodystat 1500 (Bodystat Ltd., Isle of Man British Isles) que ofrece los valores de contenido total de grasa (expresado en porcentaje del total corporal y en Kg), contenido magro (expresado

en porcentaje del total corporal y en Kg), contenido en agua (expresado en porcentaje del total corporal y en litros) e IMC.

7.2.3.5 Valoración de la fuerza muscular

7.2.3.5.1 Fuerza de garra o prensión (handgrip)

La fuerza de garra es un fuerte predictor de futura discapacidad, morbilidad y mortalidad^{257,258}. Para su valoración en este estudio se utilizó el dinamómetro de mano hidráulico JAMAR® (Nottinghamshire, UK). Se trata de un dinamómetro que permite valorar la fuerza isométrica de garra.

La prueba se realizó con la mano dominante. En caso de imposibilidad de realizarla con la mano dominante (secuelas de lesiones previas, dolor crónico o agudo, etc.) se realizó con la mano contralateral. Se realizaron tres repeticiones con un descanso de 30 segundos entre ellas y se registró el valor más alto para el análisis. La prueba se realizó con el paciente sentado con la espalda apoyada en el respaldo, el hombro en aducción, rotación neutra y codo en flexión de 90º, antebrazo en posición neutra, la muñeca con una flexión dorsal de entre 0-30º y una desviación cubital de entre 0-15º. De las 5 posiciones de agarre posibles, se inició en la posición dos (Ilustración 25). El explorador sujetaba ligeramente el dinamómetro para aguantar el peso e indicaba al individuo “¡apriete todo lo fuerte que pueda!... ¡más fuerte!.... ¡más fuerte!.... stop”¹⁰¹.



Ilustración 25: Fuerza de garra. Posición para la realización del test isométrico de fuerza de garra o handgrip.

7.2.3.5.2 Fuerza de extensión isométrica de rodilla

Para la valoración de la fuerza de extensión de rodilla se utilizó el dinamómetro de mano MicroFET 2 (Hoggan Health Industries, West Jordan, Utah, USA). Los valores de fuerza isométrica se expresan en Newton (N). Se siguió la misma metodología descrita por Stone et al.²⁵⁹ quienes concluyeron que la dinamometría manual era una técnica fiable para valorar la fuerza de extensión de la rodilla en personas frágiles o ancianos, aunque recomiendan que el observador realice pruebas previamente para no comprometer por falta de fuerza, la fiabilidad de los resultados²⁵⁹.

El individuo a estudio se colocaba sentado con las caderas y rodillas en flexión de 90º y las manos descansando sobre las rodillas. El dinamómetro se situaba a una distancia de 10 cm distal de la tuberosidad tibial y se pedía al individuo que tratara de extender la rodilla lo más fuerte posible de forma mantenida durante 4 s (Ilustración 26). Esta metodología fue descrita previamente por Stone et al.²⁵⁹. Se

realizaban tres repeticiones con un descanso de 45 s entre ellas y el valor más alto conseguido era registrado para análisis.

El observador fue entrenado previamente en el uso del dinamómetro manual y en la metodología previamente expuesta.



Ilustración 26: Test isométrico de extensión de rodilla. Posición y colocación del dinamómetro manual para la valoración de la fuerza isométrica de extensión de rodilla.

7.2.3.6 Valoración funcional o de capacidad física

7.2.3.6.1 Velocidad de marcha

La velocidad de marcha se considera uno de los mayores predictores de resultados adversos y como el más útil para la identificación de fragilidad física⁵¹. De forma específica la velocidad de marcha es un predictor robusto de futura discapacidad

de movilidad, caídas y fracturas, desarrollo de dependencia, hospitalizaciones y muerte^{52 53 54}.

En este estudio se calculó la velocidad de marcha en una distancia de 4 metros, siguiendo las recomendaciones del EWGSOP del consenso de 2010, siendo el valor de referencia para considerar un menor rendimiento físico una velocidad ≤ 0.8 m/s.

7.2.3.6.2 The Timed “Up and Go” Test (TUG)

Este test fue descrito inicialmente en 1986¹⁰³ para detectar problemas de equilibrio en el anciano, el individuo debía levantarse de una silla con reposabrazos, caminar 3 metros, girar sobre sí mismo, retroceder los 3 metros y volver a sentarse, y el examinador debía juzgar de forma subjetiva la ejecución, siguiendo una escala que permitía una valoración de entre 0 y 5 puntos. Debido a la subjetividad de la puntuación, hoy en día se considera imprecisa y está en desuso. Para solventar la subjetividad, Podsialo et al.⁷⁶ describieron el test “Timed Up and Go” en el que el examinador cronometra el tiempo que precisa el sujeto para realizar la prueba descrita por Mathias et al.¹⁰³.

El Timed Up & Go se considera útil para valorar la movilidad funcional, el equilibrio, la habilidad para la marcha y el riesgo de caídas en ancianos.

El individuo debe sentarse con la espalda apoyada en el respaldo de una silla estándar (43-45 cm de alto), deberá ponerse en pie, caminar 3 metros a una velocidad confortable, girar caminar de vuelta hacia la silla y volver a sentarse. El cronómetro se inicia cuando el examinador decía “Ya” y se paraba al completar la secuencia cuando el individuo contactaba con el asiento de la silla (Ilustración 27). El tiempo requerido para completar el test era registrado y expresado en segundos (s). Si había dificultad de comprensión se realizaba una prueba previa. El uso de ayudas técnicas estaba permitido.

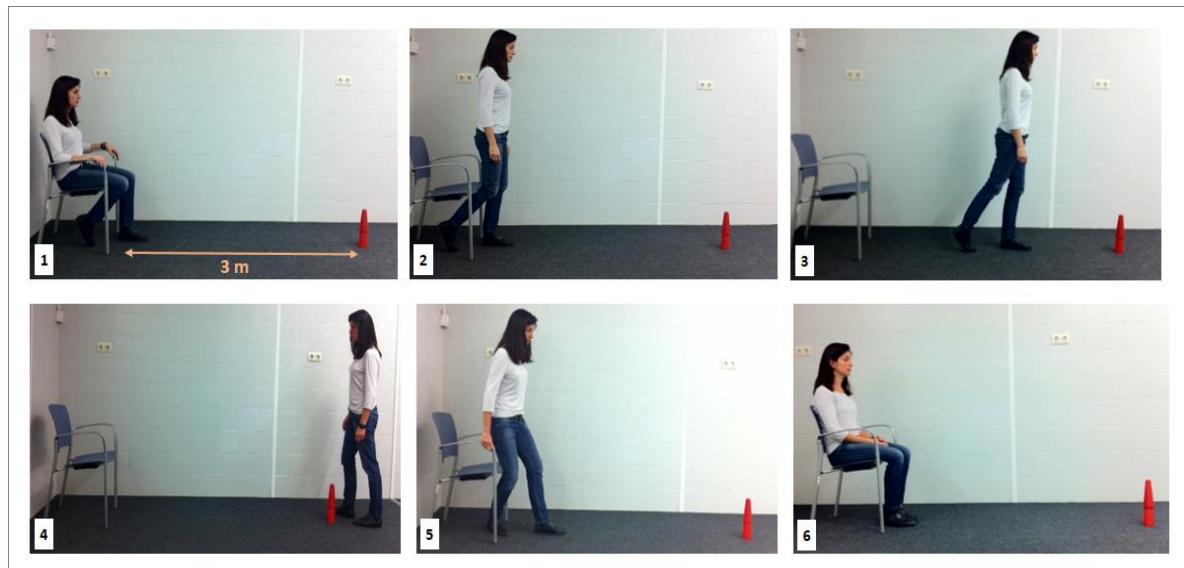


Ilustración 27: Timed Up and Go Test. Para la realización del TUG el paciente debe comenzar sentado en una silla, deberá levantarse, recorrer una distancia de 3 metros, dar la vuelta y recorrer de nuevo los 3 metros hasta sentarse en la silla de inicio.

La incapacidad de completar el test se consideraba como “incapaz”. De acuerdo con Bischoff et al¹⁰⁵, se considera normal la realización de la prueba en menos de 12s, mientras que se considera “incapaz” de realizarla cuando el individuo requiere más de 12s.

7.2.3.6.3 Four Square Step Test (FSST)⁷⁵

Se considera un test de equilibrio dinámico que permite valorar clínicamente la capacidad de cambiar de dirección mientras se da un paso. El FSST ha demostrado ser un test sensible y específico para la identificación de individuos mayores con riesgo de caer. Tiene una excelente fiabilidad test-retest inter e intra-observador en individuos geriátricos. Valora la capacidad del individuo para dar un paso rápido en diferentes direcciones.

Para su realización se necesita de un cronómetro y cuatro bastones de 90cm de largo que se colocan en el suelo en forma de aspa, diferenciando cuatro cuadrados

en el suelo. Cada cuadro está identificado con números “1,2,3,4” (ver figura 7). El individuo se mantiene en pie en el cuadrado número 1 mirando hacia el número 2. El objetivo es pasar de un cuadrado a otro lo más rápido posible siguiendo la secuencia “2, 3, 4, 1, 4, 3, 2, 1”. Esta secuencia requiere que el individuo de un paso hacia delante, hacia atrás y hacia ambos lados. Se registra el tiempo desde que el individuo inicia la secuencia con el contacto con el cuadrado número 2 y termina cuando el segundo pie contacta al final de la secuencia en el cuadrado número 1. Las instrucciones al individuo son: “Intente completar la secuencia lo más rápido posible sin tocar los bastones. Ambos pies deben contactar con el suelo en cada uno de los cuadrados”. Se permitía una prueba previa para solventar posibles dudas antes de registrar el tiempo para la realización del test.

Es un test fácil y de rápida administración, requiere poco espacio, no requiere de equipamiento especial pero requiere supervisión del individuo valorado. La necesidad de más de 15 segundos para completar el test refleja mayor riesgo de caídas⁷⁵.

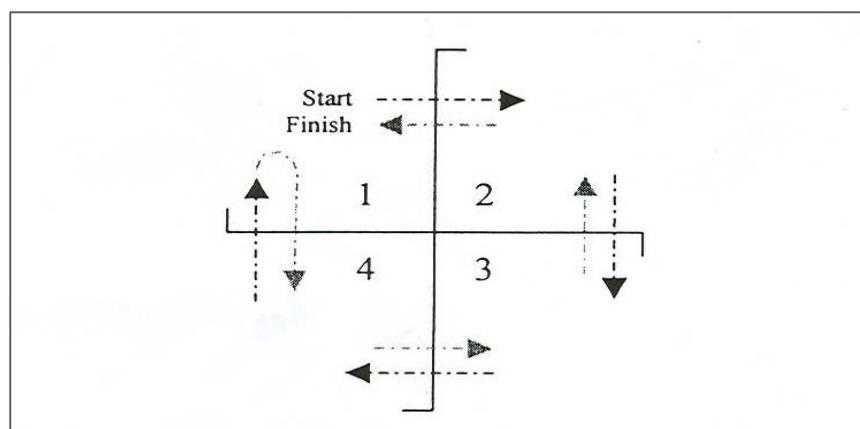


Figura 7: Disposición de los bastones sobre el suelo y numeración de los cuadrados. La secuencia a realizar será “2, 3, 4, 1, 4, 3, 2, 1”

7.2.3.6.4 Five times sit – to –stand ²⁶⁰ (FTSTS)

Para iniciar el test el participante debe de estar sentado con los brazos cruzados sobre el pecho y la espalda apoyada en una silla de entre 43-45 cm de altura. En caso de hemiparesia/hemiplejia previa o alteración de la extremidad superior que no permita la posición de inicio, el individuo puede colocar el brazo al lado del cuerpo o utilizar un cabestrillo. Se explicaba al participante que debía ponerse en pie y sentarse cinco veces seguidas tan rápido como pudiera. En cada repetición, al incorporarse debía conseguir ponerse completamente erguido y al sentarse no debía tocar el respaldo de la silla. El cronómetro se activaba al dar la orden de “YA” para iniciar el test y se paraba cuando quedaba sentado tras la quinta repetición.

Se permitía hacer una prueba previa y comprobar que las instrucciones se habían comprendido correctamente. Si el individuo no completaba las cinco repeticiones o requería del uso de las extremidades superiores se consideraba “incapaz”, si completaba el test se registraba el tiempo que había requerido para completarlo expresado en segundos.



Ilustración 28: Five Times Sit-to-stand test. El individuo debe pasar de estar sentado a estar completamente en pie cinco veces seguidas sin ayudarse de las extremidades superiores.

Este test se considera como medida funcional de fuerza de extremidades inferiores y movilidad funcional y también se ha considerado útil para monitorizar cambios en el equilibrio²⁶¹. Schaubert et al. reportaron 4,2 s como el mínimo cambio detectable en ancianos sanos²⁶².

7.2.3.7 Otras variables recogidas

Se recogieron datos sobre los siguientes aspectos biográficos y clínicos:

- Datos de filiación: nombre, fecha de nacimiento, edad, domicilio, teléfono.
- Comorbilidad: se utilizó el Índice de Charlson^{251,252} para la descripción de la comorbilidad (Anexo 3).
- Tratamiento farmacológico habitual: corticoides, antidiabéticos, AINEs, Diuréticos, Beta-bloqueantes, Psicofármacos o neuromoduladores.
- Ayudas para la marcha en interiores y exteriores: ninguna, uno o dos bastones ingleses o caminador.
- Nivel funcional: se utilizó el Índice de Barthel que permite valorar la capacidad del individuo para realizar 10 actividades de la vida diaria consideradas básicas. Descrito inicialmente por Mahoney et al (Mahoney & Barthel, 1965), permite obtener una puntuación entre 0 (dependencia total del individuo para las actividades) y 100 (completa independencia para todas las actividades). Se han descrito diversas modificaciones, y para este estudio se utilizó la versión en castellano¹⁰⁹ (Anexo 2).

7.2.4 Análisis estadístico

Este se consideró un estudio exploratorio para obtener datos preliminares sobre las características ecográficas y sonoelastográficas del músculo de los tres grupos de estudio. Si consideramos el grosor muscular obtenido con mínima compresión (incluyendo recto anterior y vasto intermedio) como medida principal del resultado para demostrar diferencias entre frágiles y no frágiles, aceptando un riesgo alfa de 0,05 y un riesgo beta inferior al 0,2 en un contraste bilateral, era necesario un mínimo de 15 sujetos por grupo para detectar una diferencia igual o superior a 0,5 mm asumiendo una desviación estándar común de 0,5.

Se ha realizado un análisis descriptivo de los parámetros recogidos mediante porcentajes para los datos categóricos y medias y desviaciones estándar para los continuos.

Dichos datos, se han comparado entre grupos según fragilidad (frágil vs pre-frágil vs robusto, frágil vs no frágil) y según edad (jóvenes y viejos). El análisis de las variables categóricas se ha realizado mediante el test de Chi-cuadrado (Fisher en casos de N pequeñas). Para las variables continuas, teniendo en cuenta que los grupos tienen $N < 30$, se ha realizado el test de Kruskall-Wallis (cuando se comparan 3 grupos) o U de Mann-Whitney (cuando se comparan 2 grupos).

Los análisis de la fuerza muscular, los parámetros de composición corporal, y los de las ecografías, se han realizado estratificando por género.

Las correlaciones entre variables continuas, para cada grupo de fragilidad y de edad, se han realizado mediante el coeficiente de correlación de Pearson (si siguen una distribución Normal) o de Spearman (si no siguen una distribución normal o $N < 30$).

El análisis del Test-Retest (inter e intra-observador), de los parámetros de las ecografías, se ha realizado mediante el cálculo del Índice de Correlación Intraclass (análisis de fiabilidad).

7.3 Resultados

7.3.1 Características de la muestra

El total de la muestra incluye 48 individuos de los cuales el 33,3 % cumplían criterios de fragilidad de Fried³¹, un 31,2 % cumplían criterios de prefragilidad y el 35,4 % resultaron robustos. La media de edad fue de 83,38 años (DS 4,57) en el grupo de frágiles, 77,47 (DS 5,22) en el de prefrágiles y de 75,88 (DS 3,57) en el grupo de robustos, diferencias que resultaron estadísticamente significativas ($p < 0,001$).

La comorbilidad fue valorada utilizando el Índice de comorbilidad Charlson siendo mayor en el grupo de individuos frágiles con una puntuación de 3,38 (DS 2,39).

Del resto de características de la muestra destaca el menor nivel funcional de los frágiles así como el mayor uso de antidiabéticos en este grupo respecto al resto de la muestra. En la tabla 27 se presentan las características globales de la muestra en cada uno de los grupos, así como el cumplimiento de los criterios de fragilidad de Fried.

Las características de la muestra joven y la comparación con las características generales de la muestra de adultos mayores se muestran en la Tabla 28.

En nuestra muestra no hemos encontrado diferencias estadísticamente significativas de la composición corporal en ancianos entre los distintos fenotipos de fragilidad (Tabla 29). Las diferencias de composición corporal entre mayores y jóvenes si resultaron estadísticamente significativas observando un aumento del porcentaje de masa grasa ($p = 0,003$ en hombres y $p < 0,001$ en mujeres) y un descenso del porcentaje de masa no magra ($p = 0,003$ en hombres y $p < 0,001$ en mujeres) (Tabla 30).

7.3.2 Análisis de la fiabilidad de la técnica ecográfica utilizada en el estudio

7.3.2.1 Análisis de concordancia intra-observador

Destaca la muy buena concordancia obtenida en la valoración de la ecogenicidad muscular del recto anterior, $ICC = 0,965$ ($p < 0,001$). Los ICC correspondientes a la valoración del grosor muscular en condiciones de máxima ($ICC = 0,717$) y mínima compresión ($ICC = 0,681$), ambos necesarios para el cálculo del Índice de Compresibilidad, presentan también una buena concordancia intra – observador ($p = 0,012$ y $p = 0,020$ respectivamente).

Ninguno de los parámetros para la valoración sonoelastográfica muscular presentaron una concordancia significativa. Los ICC obtenidos para las medidas de todos los parámetros se muestran en la Tabla 31.

7.3.2.2 Análisis de concordancia inter-observador

Los ICC obtenidos representan una concordancia muy buena para las medidas de los parámetros de grosor de grosor muscular con máxima y mínima presión, área seccional y ecogenicidad muscular, con valores de ICC entre 0,828 y 0,930 ($p < 0,001$ para todos ellos).

En el caso de los parámetros de la sonoelastografía muscular, sólo la valoración cualitativa de color del elastograma presentó un nivel de concordancia moderado ($p = 0,013$) (Tabla 31).

7.3.3 Valoración de la fuerza muscular y test funcionales

El análisis de la fuerza muscular se realizó en función del fenotipo de fragilidad y diferenciando entre sexos. Los individuos frágiles presentan valores de menor fuerza muscular respecto a los no frágiles. Los hombres y las mujeres frágiles presentan menor fuerza de garra que el resto de la muestra, diferencia que resultó estadísticamente significativa ($p = 0,001$ en mujeres, $p < 0,001$ en hombres). Los valores de fuerza isométrica máxima de extensión de rodilla también son inferiores en hombres y en mujeres frágiles respecto al resto de individuos de la muestra ($p = 0,006$ para ambos sexos) (Tabla 32).

Los individuos del grupo de frágiles también presentan menor capacidad funcional valorado por los test de ejecución. Tan sólo el Timed Up and Go fue realizado por el total de la muestra mientras que no todos los individuos prefrágiles y frágiles pudieron completar los test de Five Times Sit to Stand y el Four Square Step Test. Las puntuaciones obtenidas en los tres test fueron significativamente inferiores en el grupo de frágiles respecto a los no frágiles ($p < 0,001$) (Tabla 32).

7.3.4 Resultados del estudio muscular por ecografía: grosor muscular, área seccional y compresibilidad

El análisis de los resultados del estudio muscular por ecografía se realizó en la población anciana en relación al estado de fragilidad y también por sexo. Dado que en este estudio incluimos la validación de la técnica ecográfica utilizando una muestra de individuos jóvenes, también pudimos realizar el estudio comparativo entre los resultados de la valoración ecográfica muscular en ancianos respecto a nuestra muestra joven de referencia.

En ancianos, el grosor muscular y el área seccional muscular disminuyen en relación al fenotipo de fragilidad ($p = 0,019$ y $p = 0,049$ respectivamente) siendo menores en el grupo de individuos frágiles (Tabla 33 y 34). El grosor muscular y el área seccional muscular también son menores en ancianos respecto a los obtenidos en la población joven de referencia ($p < 0,001$ en ambos) (Tabla 35 y 36). Al realizar el análisis por sexos observamos que el descenso de grosor muscular en relación a la fragilidad sólo resulta estadísticamente significativo en el grupo de ancianos varones ($p = 0,028$) (Tabla 37), mientras que la diferencia de grosor muscular entre población joven y mayor sólo resulta estadísticamente significativa para las mujeres ($p < 0,001$) (Tabla 38). En el caso del área seccional muscular, no se encontraron diferencias significativas en el grupo de ancianos al realizar el análisis por sexos (Tabla 37), mientras que sí resultaron estadísticamente significativas las diferencias entre la población joven y mayor tanto en hombres ($p = 0,011$) como en mujeres ($p < 0,001$) (Tabla 38).

El índice de compresibilidad muscular en ancianos disminuye conforme aumenta el grado de fragilidad ($p = 0,034$) (Tabla 33). Los jóvenes tienden a presentar valores del índice de compresibilidad muscular superior al de los ancianos ($p = 0,054$) (Tabla 35). No se obtuvieron diferencias al realizar el análisis por sexos.

7.3.5 Resultados del estudio de la ecogenicidad muscular y la sonoelastografía muscular de recto anterior

A pesar de observar un aumento de la ecogenicidad muscular del recto anterior en relación al fenotipo de fragilidad (49,72 (DS 18,85) en robustos vs 63,68 (DS 23,53) en frágiles), la diferencia no resulta estadísticamente significativa ($p = 0,087$) (Tabla 39 y 40). Tampoco se han encontrado diferencias en la ecogenicidad muscular del recto anterior al contemplar el sexo de los individuos de la muestra de ancianos (Tabla 41). Los valores de ecogenicidad del recto anterior eran mayores en

ancianos que en jóvenes, diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,001$) (Tabla 42 y 43). Al realizar el análisis por sexos sólo las diferencias entre mujeres mayores y jóvenes resultaron estadísticamente significativas ($p = 0,001$) (Tabla 44).

Los resultados de la sonoelastografía del recto anterior, valorada por histograma y por color predominante, no mostraron diferencias significativas en la población anciana, ni en relación al fenotipo de fragilidad ni al realizar el análisis por sexos (Tablas 39 y 41). La población anciana presenta valores más elevados en el histograma de la sonoelastografía muscular del recto anterior (90,77 (DS 14,10)) que la población joven de referencia (74,51 (DS 8,64)) que resultaron estadísticamente significativas ($p < 0,001$) (Tabla 42 y 43). Estas diferencias también resultaron estadísticamente significativas tanto en hombres ($p = 0,017$) como en mujeres ($p = 0,004$) al realizar el análisis por sexos (Tabla 44).

7.3.6 Estudio de la correlación entre los parámetros ecográficos y sonoelastográficos musculares y los test de función

Para investigar la correlación entre los parámetros ecográficos y sonoelastográficos musculares y los test funcionales, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson y Rho de Spearman para las correlaciones no paramétricas (Tabla 45 a la 51). Los resultados de la correlación entre los parámetros ecográficos musculares en la población joven de referencia se muestran en la Tabla 52.

En el grupo de ancianos observamos una correlación positiva entre los dos parámetros cuantitativos de la ecografía muscular y representativos de la masa muscular: el grosor muscular de cara anterior de muslo y el área seccional de recto anterior que presentaron una correlación positiva, $r = 0,8091$ ($p < 0,001$) (Tabla 45).

Esta correlación positiva, y con valores similares, también se observa al analizar la muestra según el fenotipo de fragilidad siendo en robustos $r = 0,733$ ($p = 0,001$), en prefrágiles $r = 0,842$ ($p < 0,001$) y en frágiles $r = 0,868$ ($p < 0,001$) (Tabla 47). No se observó correlación entre grosor muscular y área seccional en la población joven de referencia.

De entre los parámetros cualitativos, la compresibilidad muscular mostró correlación positiva con los parámetros de masa muscular (con el grosor muscular $r = 0,604$, $p < 0,001$ y con el área seccional $r = 0,588$ ($p < 0,001$). Al analizar los resultados en función del fenotipo de fragilidad, sólo el grupo de robustos mostró la existencia de correlación positiva entre compresibilidad y grosor muscular ($r = 0,665$, $p = 0,004$) y con valores similares a los observados también en la población joven ($r = 0,646$, $p = 0,009$). En el grupo de prefrágiles observamos una correlación más baja que no alcanzó la significación estadística, y no se observó correlación entre compresibilidad y grosor muscular en el grupo de individuos frágiles. La correlación positiva entre compresibilidad y grosor muscular también fue observada en los individuos jóvenes.

En el grupo de ancianos también observamos la existencia de correlación entre la ecogenicidad muscular y los parámetros de masa muscular, tratándose en este caso de una correlación negativa (grosor muscular $r = -0,540$, $p < 0,001$ y área seccional $r = -0,381$, $p = 0,009$) (Tabla 45 y 46). En el análisis según el fenotipo de fragilidad, los individuos robustos y los frágiles presentaron correlación negativa entre la ecogenicidad y ambos parámetros de masa muscular, mientras que la correlación negativa observada en los prefrágiles no resultó estadísticamente significativa (Tabla 47).

En el global de la muestra de ancianos, la elastografía muscular (valorada por histograma) tan sólo mostró correlación positiva con otro parámetro cualitativo, la ecogenicidad muscular ($r = 0,674$, $p < 0,001$) (Tabla 45). Esta correlación se observó también en el grupo de robustos y prefrágiles pero no en el grupo de

individuos frágiles (Tabla 47). Tampoco se observó correlación entre elastografía y ecogenicidad muscular en la población joven de referencia.

En nuestro estudio observamos correlación positiva entre el grosor muscular de cara anterior de muslo y la fuerza isométrica de extensión de rodilla ($r = 0,619$, $p < 0,001$) (Tabla 47 y 49). También se observó correlación positiva entre el grosor muscular y la fuerza de garra en ancianos ($r = 0,585$, $p \leq 0,001$) (Tabla 47 y 49). Los individuos robustos presentaban correlación entre grosor muscular y fuerza, tanto de garra como de extensión de rodilla ($r = 0,636$ y $r = 0,754$ respectivamente, $p < 0,05$), los prefrágiles sólo presentaron correlación positiva entre el grosor muscular y la fuerza de garra ($r = 0,659$, $p = 0,010$) y no se observó correlación en los individuos frágiles (Tabla 47). Tampoco observamos correlación entre grosor muscular y fuerza de garra en la población joven de referencia, la fuerza isométrica de extensión de rodilla no fue valorada en esta población ya que la metodología utilizada se considera fiable para personas frágiles o ancianos²⁵⁹. En relación a la fuerza y la correlación observada con el área de sección muscular, los resultados son superponibles a los descritos para el grosor muscular, en ancianos, según fenotipo de fragilidad y también en la población joven de referencia.

Por otra parte, la correlación observada entre la ecogenicidad de recto anterior y el grosor muscular en ancianos fue negativa ($r = -0,540$, $p \leq 0,001$). También fue negativa la correlación entre la ecogenicidad y la fuerza máxima isométrica de extensión de rodilla ($r = -0,443$, $p = 0,002$) (Tabla 50). Sólo en el grupo de frágiles se observó correlación negativa significativa de la ecogenicidad con el grosor muscular y con la fuerza de extensión de rodilla. No se observó correlación entre estos parámetros en los individuos prefrágiles. En el grupo de robustos sólo resultó significativa la correlación negativa entre ecogenicidad y grosor muscular ($r = -0,683$, $p = 0,003$) (Tabla 51), correlación también observada en el grupo de jóvenes ($r = -0,572$, $p = 0,026$).

En nuestro estudio también se analizó la correlación entre los parámetros de ecografía y sonoelastografía muscular con los test funcionales y la velocidad de marcha como valoración de la capacidad funcional de los individuos (Tabla 50). Al analizar la correlación entre los parámetros ecográficos y los test funcionales encontramos que el TUG y el FTSTS son los dos test que presentan mayor correlación con los parámetros ecográficos musculares. Los resultados de la sonoelastografía muscular no mostraron correlación alguna con los test funcionales. Los parámetros de masa muscular (grosor y área seccional) y el índice de compresibilidad muscular, presentan una correlación negativa con el resultado de los test, es decir, que a mayor grosor, área seccional muscular, o mayor compresibilidad, el individuo requiere de menos tiempo para completar los test, lo que refleja una mejor funcionalidad. Por el contrario, la ecogenicidad muscular presenta una correlación positiva con los test, es decir, a mayor ecogenicidad muscular (que refleja mayor alteración cualitativa), mayor tiempo requerido para completar los test, que implica menor capacidad funcional. La velocidad de marcha presentó correlación positiva con los parámetros ecográficos cuantitativos musculares (grosor muscular $r = 0,545$, $p < 0,001$ y área seccional $r = 0,461$, $p = 0,001$), correlación positiva con el índice de compresibilidad muscular ($r = 0,414$, $p = 0,004$) y correlación negativa con la ecogenicidad muscular ($r = -0,391$, $p = 0,007$).

Tabla 27: Características de la muestra de adultos mayores según fenotipo de fragilidad.
(*)Valores expresados como \bar{X} (DS).

	ROBUSTO	PREFRÁGIL	FRÁGIL	p
Edad (años) (*)	75,88 (3,57)	77,47 (5,22)	83,38 (4,57)	<0,001
Sexo (♀) (*)	47,1 %	80 %	56,3 %	0,150
Fármacos habituales				
Antihipertensivos	70,6 %	66,7 %	81,3 %	0,636
Estatinas	58,8 %	60,0 %	62,5 %	0,976
Antidiabéticos	29,4 %	0,0 %	43,8 %	0,017
Antiinflamatorios	5,9 %	0,0 %	6,3 %	0,621
Opioides	17,6 %	13,3 %	0,0 %	0,249
Antidepresivos	17,6 %	46,7 %	50,0 %	0,107
Ansiolíticos	23,5 %	53,3 %	37,5 %	0,221
Acenocumarol	17,6 %	13,3 %	25,0 %	0,700
Antiagregantes	35,3 %	26,7 %	56,3 %	0,219
Inhaladores	11,8 %	26,7 %	37,5 %	0,229
Índice Charlson	1,41 (0,94)	1,40 (1,30)	3,38 (2,39)	0,006
Índice Barthel	97,35 (6,64)	95,00 (5,98)	75,31(18,48)	<0,001
Criterios de fragilidad				
Pérdida peso último año	0,0 %	0,0 %	25,0 %	0,013
Cansancio autoreferido	0,0 %	6,7 %	75,0 %	<0,001
Bajo nivel de actividad	0,0 %	6,7 %	87,5 %	<0,001
Baja velocidad marcha	0,0 %	33,3 %	93,8 %	0,001
Baja fuerza de garra	0,0 %	93,3 %	100,0 %	<0,001

Tabla 28: Características de la muestra de individuos jóvenes y comparación con la muestra de adultos mayores.

	JÓVENES	MAYORES	p
Edad (años) (\bar{x} (DS))	39,67 (5,05)	78,88 (5,47)	< 0,001
Sexo (♀) (%)	66,7	60,4	0,002
IMC (Kg / m²) (\bar{x} (DS))	24,92 (3,20)	28,75 (4,53)	0,001
Índice de Barthel (\bar{x} (DS))	100,00 (0,00)	89,27 (15,33)	< 0,001
Índice de Charlson (\bar{x} (DS))	0,07 (0,26)	2,79 (1,25)	0,932
Fuerza de garra (Kg) (\bar{x} (DS)) ♀	42,80 (5,81)	25,16 (9,89)	0,002
♂	26,70 (2,98)	12,85 (5,02)	< 0,001
Fármacos habituales			
Antihipertensivos	0,0 %	72,9 %	< 0,001
Estatinas	0,0 %	60,4 %	< 0,001
Antidiabéticos	0,0 %	25,0 %	0,054
Antiinflamatorios	0,0 %	4,2 %	0,999
Opioides	0,0 %	10,6 %	0,323
Antidepresivos	0,0 %	37,5 %	0,003
Ansiolíticos	0,0 %	37,5 %	0,003
Acenocumarol	0,0 %	18,8 %	0,100
Antiagregantes	0,0 %	39,6 %	0,003
Inhaladores	6,7 %	25,0 %	0,162

Tabla 29: Análisis de la composición corporal por bioimpedanciometría en ancianos por fenotipo de fragilidad. Los valores se expresan en \bar{x} (SD).

	FRÁGIL		PREFRÁGIL		ROBUSTO		p	
	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER
Agua corporal total (Kg)	43,1 (3,9)	30,9 (3,4)	39,4 (5,3)	30,8 (3,0)	40,2 (9,6)	33,5 (4,5)	0,599	0,466
% de agua total	54,9 (3,8)	47,1 (6,6)	47,4 (13,9)	47,5 (3,7)	55,8 (7,6)	50,8 (13,95)	0,702	0,978
Masa grasa total (Kg)	30,5 (14,0)	32,2 (10,7)	24,4 (4,1)	30,2 (5,4)	23,9 (4,8)	31,7 (11,4)	0,309	0,612
% de masa grasa	31,8 (3,8)	46,9 (4,6)	33,5 (4,1)	46,1 (4,9)	34,2 (9,9)	45,8 (14,8)	0,708	0,467
Masa no grasa (Kg)	57,9 (10,9)	35,3 (5,9)	48,8 (9,6)	31,4 (6,8)	47,7 (13,2)	35,1 (6,2)	0,306	0,705
% de masa no grasa	66,3 (5,6)	53,0 (4,6)	66,5 (4,1)	53,8 (4,9)	65,7 (49,7)	54,1 (14,8)	0,926	0,467

Tabla 30: Análisis de la composición corporal por bioimpedanciometría en ancianos por fenotipo de fragilidad. Los valores se expresan en \bar{x} (SD).

	HOMBRES		p	MUJER		p
	JÓVENES	MAYORES		JÓVENES	MAYORES	
Agua corporal total (Kg)	43,4 (2,8)	41,9 (6,1)	0,583	34,0 (3,8)	31,7 (3,7)	0,088
% de agua total	57,4 (5,6)	53,4 (7,4)	0,170	52,0 (6,3)	48,4 (8,6)	0,067
Masa grasa total (Kg)	15,8 (7,0)	27,5 (10,8)	0,009	19,6 (7,5)	31,3 (9,0)	0,002
% de masa grasa	20,1 (5,7)	32,7 (5,9)	0,003	31,0 (9,4)	46,3 (8,7)	< 0,001
Masa no grasa (Kg)	60,5 (5,5)	53,2 (11,8)	0,108	85,5 (123,5)	33,8 (6,3)	< 0,001
% de masa no grasa	79,8 (5,7)	66,1 (6,5)	0,003	70,9 (7,5)	53,7 (8,7)	< 0,001

Tabla 31: Validación de la técnica ecográfica intra- e inter – observador. Estudio del coeficiente de correlación intraclass (ICC).

		ICC intra –observador		ICC inter-observador	
		ICC	p	ICC	p
GROSOR <u>(mínima compresión)</u>	Tejido subcutáneo	0,977	< 0,001	0,975	< 0,001
	Muscular *	0,681	0,020	0,828	0,001
GROSOR <u>(máxima compresión)</u>	Tejido subcutáneo	0,993	< 0,001	0,968	< 0,001
	Muscular *	0,717	0,012	0,867	< 0,001
AREA SECCIONAL	Recto Anterior	0,585	0,056	0,860	< 0,001
ECOGENICIDAD <u>Histograma †</u>	Recto Anterior	0,965	< 0,001	0,930	< 0,001
ELASTOGRAFÍA					
<u>Histograma †</u>	Recto Anterior	0,540	0,079	0,513	0,095
<u>Color ‡</u>	Recto Anterior	0,211	0,409	0,587	0,013

* Muscular: hace referencia al grosor muscular de cara anterior de muslo que incluye Recto Anterior y Vasto Intermedio.

† Histograma: hace referencia a la valoración de la ecogenicidad del Recto Anterior calculado por el análisis de la escala de grises, no dispone de unidades propias.

‡ Color: hace referencia a la categorización de la elastografía en grupos en función del predominio de color a nivel de Recto Anterior.

Tabla 32: Resultados del estudio de la fuerza muscular y test funcionales. (*)Valores expresados como \bar{x} (DS).

		ROBUSTO	PREFRÁGIL	FRÁGIL	p
Valoración de la fuerza					
Fuerza de garra^(*) (Kg)	♀	18,00 (0,93)	12,67 (3,31)	7,56 (3,81)	0,001
	♂	33,33 (4,56)	21,67 (1,53)	16,14 (7,99)	< 0,001
Fuerza extensión de rodilla^(*) (N)	♀	171,10 (50,04)	158,80 (32,18)	119,00 (37)	0,006
	♂	232,44 (41,58)	193,00 (65,34))	147,14 (35,90)	0,006
Test funcionales					
Timed Up and Go:					
- Capaz de completar		100,0 %	100,0 %	100,0 %	
- Tiempo ejecución ^(*) (s)		8,58 (2,25)	14,25 (8,93)	28,82 (14,95)	< 0,001
Five Times Sit to Stand:					
- Capaz de completar		100,0 %	93,3 %	81,3 %	0,144
- Tiempo ejecución ^(*) (s)		11,80 (3,27)	20,79 (25,12)	33,55 (9,46)	< 0,001
Four Square Step Test:					
- Capaz de completar		100,0 %	93,3 %	87,5 %	0,332
- Tiempo ejecución ^(*) (s)		11,31 (36,5)	15,31 (7,76)	25,88 (9,46)	< 0,001

Tabla 33: Resultados de la valoración de la estructura muscular y compresibilidad con ecografía de cara anterior de muslo según fenotipo de fragilidad.

	ROBUSTO	PREFRÁGIL	FRÁGIL	p
GROSOR (X̄ (DS) en mm)				
Tejido subcutáneo	1,01 (0,34)	1,29 (0,60)	0,97 (0,50)	0,167
Muscular *	2,80 (0,68)	2,30 (0,66)	2,10 (0,56)	0,019
AREA SECCIONAL (X̄ (DS) en mm²)				
Recto Anterior	4,06 (1,45)	3,25 (0,86)	2,92 (1,08)	0,049
COMPRESIBILIDAD (%)				
Muscular *	35,84 (12,95)	29,73 (11,70)	27,28 (10,64)	0,034

* Muscular: hace referencia al grosor muscular de cara anterior de muslo que incluye Recto Anterior y Vasto Intermedio

Tabla 34: Grosor muscular de cara anterior de muslo en ancianos según el fenotipo de fragilidad descrito por Fried.

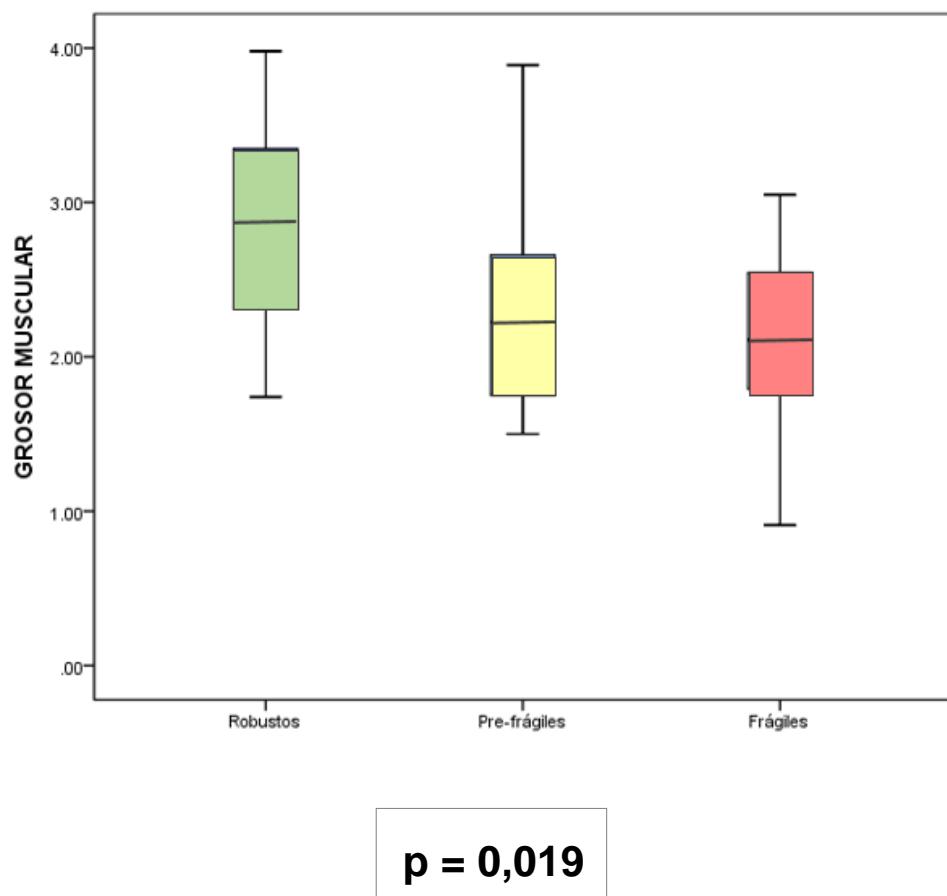


Tabla 35: Resultados de la valoración de la estructura muscular y compresibilidad con ecografía de cara anterior de muslo por grupos de edad (jóvenes y mayores).

	JOVENES	MAYORES	p
GROSOR (x̄ (SD) en mm)			
Tejido subcutáneo	1,04 (0,33)	1,08 (0,50)	0,916
Muscular *	3,19 (0,51)	2,41 (0,70)	< 0,001
AREA SECCIONAL (x̄ (SD) en mm²)			
Recto Anterior	5,54 (0,79)	3,41 (1,24)	< 0,001
COMPRESIBILIDAD (%)			
Muscular *	36,54 (9,58)	31,19 (12,18)	0,054

* Muscular: hace referencia al grosor muscular de cara anterior de muslo que incluye Recto Anterior y Vasto Intermedio.

Tabla 36: Grosor muscular de cara anterior de muslo en individuos jóvenes y mayores.

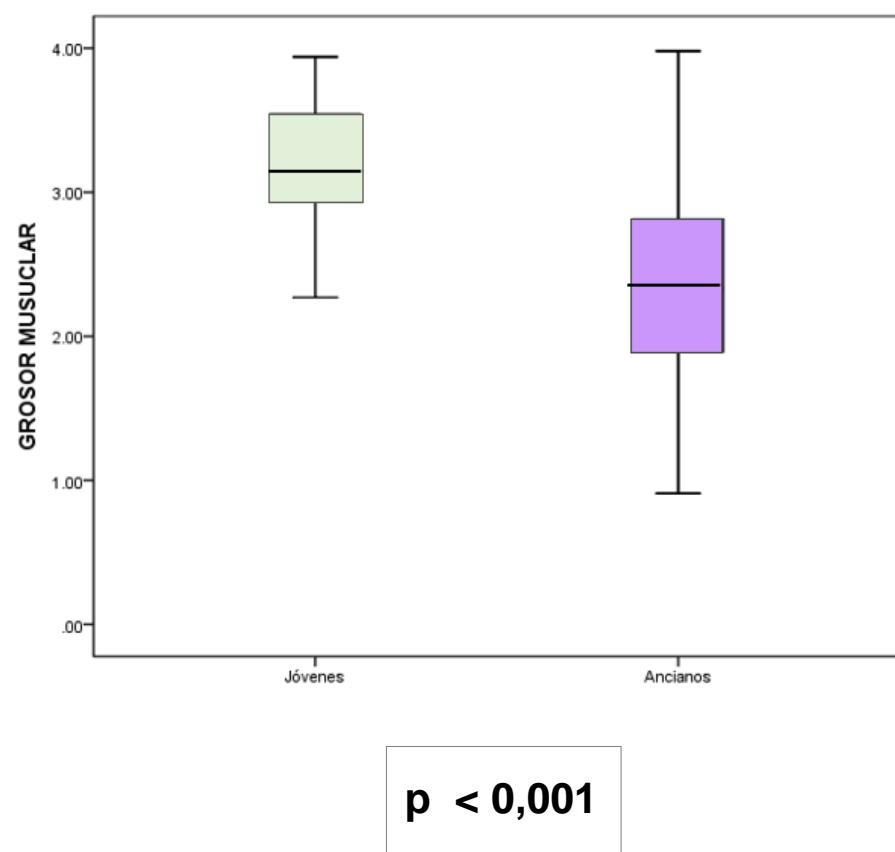


Tabla 37: Resultados de la valoración de la estructura muscular y compresibilidad con ecografía de cara anterior de muslo según fenotipo de fragilidad.

	ROBUSTO		PREFRÁGIL		FRÁGIL		P	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
GROSOR (\bar{x} (SD) en mm)								
Tejido subcutáneo	1,17 (0,41)	0,88 (0,18)	1,43 (0,57)	0,71 (0,41)	0,97 (0,50)	0,56 (0,21)	0,364	0,067
Muscular *	2,35 (0,51)	3,20 (0,56)	2,16 (0,51)	3,14 (1,07)	2,10 (0,56)	2,29 (0,35)	0,391	0,028
AREA SECCIONAL (\bar{x} (SD) mm ²)								
Recto Anterior	3,55 (1,08)	4,45 (1,63)	3,10 (0,82)	4,14 (0,67)	3,45 (1,15)	2,50 (0,87)	0,083	0,472
COMPRESIBILIDAD (%)								
Muscular *	29,74(12,88)	41,27(10,94)	28,73(12,00)	35,67 (10,63)	25,07(11,81)	29,80(9,36)	0,435	0,113

* Muscular: hace referencia al grosor muscular de cara anterior de muslo que incluye Recto Anterior y Vasto Intermedio.

Tabla 38: Resultados de la valoración de la estructura muscular y compresibilidad con ecografía de cara anterior de muslo por grupos de edad (jóvenes y mayores) y sexo.

	JOVENES		MAYORES		P	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂
GROSOR (x̄ (SD) en mm)						
Tejido subcutáneo	1,11 (0,37)	0,89 (0,16)	1,31 (0,48)	0,73 (0,26)	0,274	0,135
Muscular *	3,10 (0,50)	3,38 (0,55)	2,15 (0,57)	2,84 (0,68)	< 0,001	0,156
AREA SECCIONAL (x̄ (SD) en mm²)						
Recto Anterior	5,30 (0,87)	6,03 (0,20)	3,02 (0,96)	4,03 (1,41)	< 0,001	0,011
COMPRESIBILIDAD (%)						
Muscular *	34,52 (10,98)	40,59 (4,37)	27,98 (11,90)	36,18(11,15)	0,136	0,157

* Muscular: hace referencia al grosor muscular de cara anterior de muslo que incluye Recto Anterior y Vasto Intermedio.

Tabla 39: Resultados de ecogenicidad y sonoelastografía del recto anterior según fenotipo de fragilidad. (*)Valores expresados como \bar{X} (DS).

	ROBUSTO	PREFRÁGIL	FRÁGIL	p
ECOGENICIDAD				
Histograma (*)	49,72 (18,85)	69,16 (22,46)	63,68 (23,52)	0,087
SONOELASTOGRAFÍA				
Histograma (*)	90,66 (13,27)	92,06 (17,42)	89,40 (12,50)	0,760
Color (%) Verde	62,5 %	81,8 %	44,4 %	0,095
Azul	37,5 %	18,2 %	33,6 %	
Rojo	0,0 %	0,0 %	22,0 %	

Tabla 40: Ecogenicidad muscular de recto anterior en individuos ancianos según el fenotipo de fragilidad de Fried.

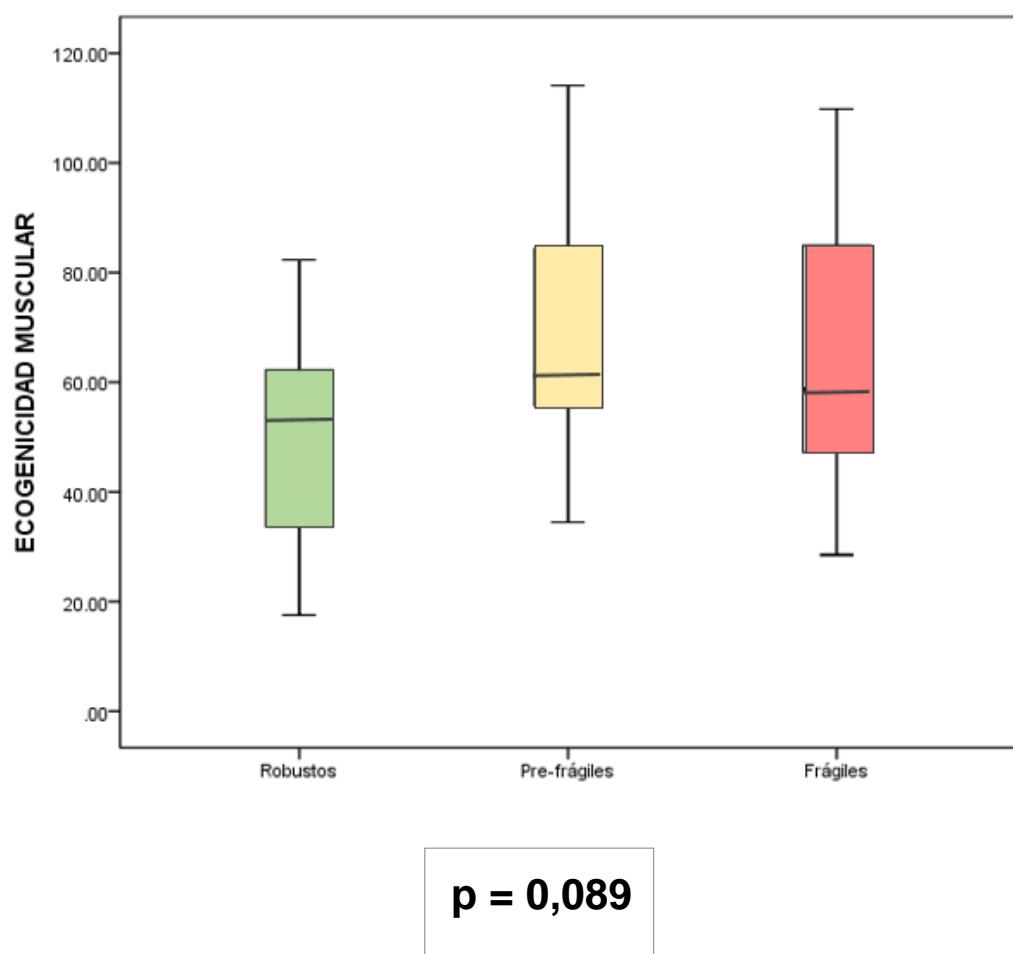


Tabla 41: Resultados de ecogenicidad y sonoelastografía del recto anterior según fenotipo de fragilidad y sexo. (*) Valores expresados como \bar{x} (DS).

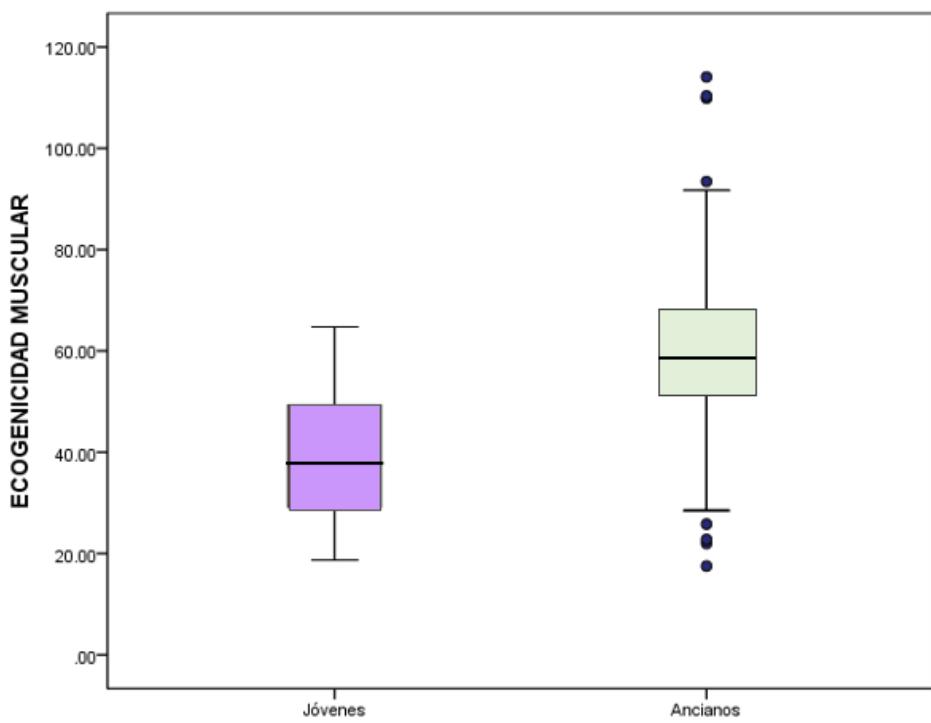
	ROBUSTO		PREFRÁGIL		FRÁGIL		p	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
ECOGENICIDAD								
Histograma ^(*)	58,09 (5,56)	41,27 (10,94)	73,01 (21,41)	46,02 (16,37)	66,35(25,66)	60,24(21,93)	0,245	0,271
SONOELASTOGRAFÍA								
Histograma ^(*)	93,37 (11,91)	88,55 (14,58)	94,74 (18,10)	80,02 (7,72)	88,40 (9,58)	90,21 (15,56)	0,749	0,483
Color (%)	Verde		57,1 %	66,7 %	77,8 %	100 %	75,0 %	20,0 %
	Azul		42,9 %	33,3 %	22,2 %	0,0 %	0,0 %	60,0 %
	Rojo		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	25,0 %	20,0 %

Tabla 42: Resultados de ecogenicidad y sonoelastografía del recto anterior por edad.

(*)Valores expresados como \bar{x} (DS).

	JOVENES	MAYORES	p
ECOGENICIDAD			
Histograma (*)	38,99 (13,61)	60,26 (22,71)	0,001
SONOELASTOGRAFÍA			
Histograma (*)	74,51 (8,64)	90,77 (14,10)	< 0,001
Color (%) Verde	73,3 %	63,9 %	0,598
Azul	26,7 %	30,6 %	
Rojo	0,0 %	5,6 %	

Tabla 43: Ecogenicidad muscular de recto anterior en individuos jóvenes y ancianos.



p = 0,001

Tabla 44: Resultados de ecogenicidad y sonoelastografía del Recto Anterior por edad y sexo. (*)Valores expresados como \bar{x} (DS).

	JOVENES		MAYORES		p	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂
ECOGENICIDAD						
Histograma (*)	42,66 (15,06)	31,65 (6,13)	66,83 (20,35)	49,68 (22,83)	0,001	0,136
SONOELASTOGRAFÍA						
Histograma (*)	76,01 (0,82)	71,53 (5,25)	92,99 (14,25)	88,00(13,86)	0,004	0,017
Color (%) Verde	90,0 %	40,0 %	70,0 %	56,3 %	0,721	1,000
Azul	10,0 %	60,0 %	25,0 %	37,5 %		
Rojo	0,0 %	0,0 %	5,0 %	6,3 %		

Tabla 45: Resultados de coeficientes de correlación entre los parámetros ecográficos cuantitativos y cualitativos musculares en ancianos.

r: correlación de Pearson (para análisis de correlación). * $p \leq 0,001$, † $p < 0,05$.

	Grosor muscular	Area seccional	Índice compresibilidad	Ecogenicidad muscular	Sonoelastografía Muscular (Histograma)
Grosor muscular	-	r = 0,801 *	r = 0,604 *	r = - 0,540 *	r = - 0,162
Area seccional	-	-	r = 0,588 *	r = - 0,381 †	r = - 0,200
Índice compresibilidad	-	-	-	r = - 0,212	r = 0,200
Ecogenicidad muscular	-	-	-	-	r = 0,674 *

Tabla 46: Tabla de correlación entre ecogenicidad y grosor muscular. Correlación entre ecogenicidad muscular de recto anterior y grosor muscular de cara anterior de en ancianos (Tabla superior) y en individuos jóvenes (Tabla inferior).

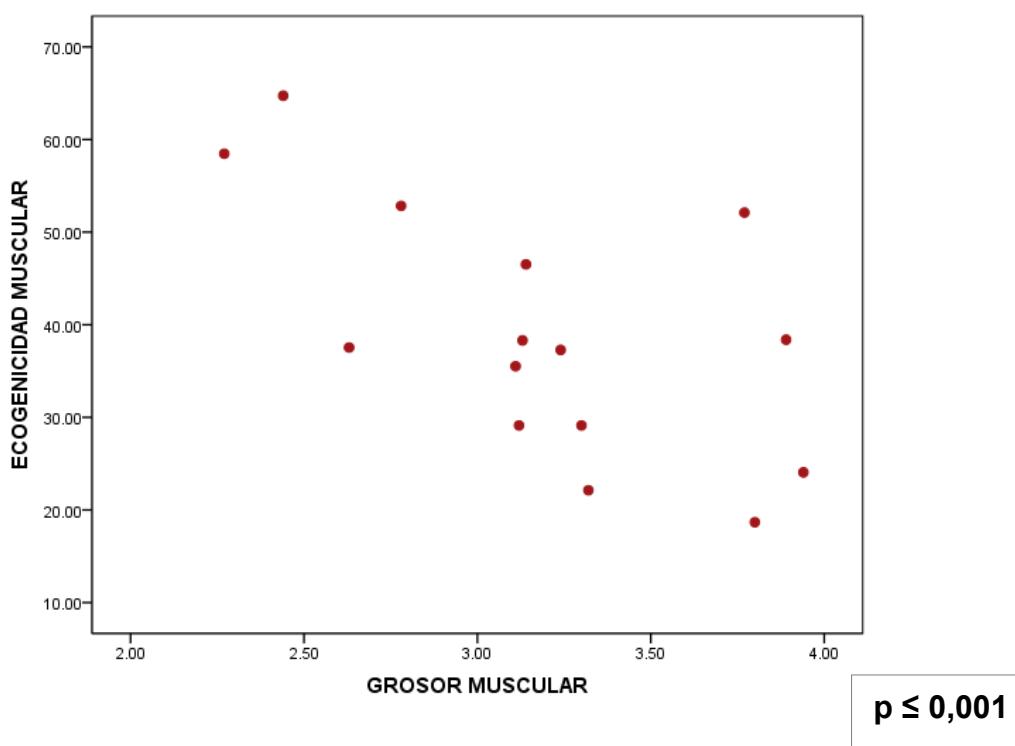
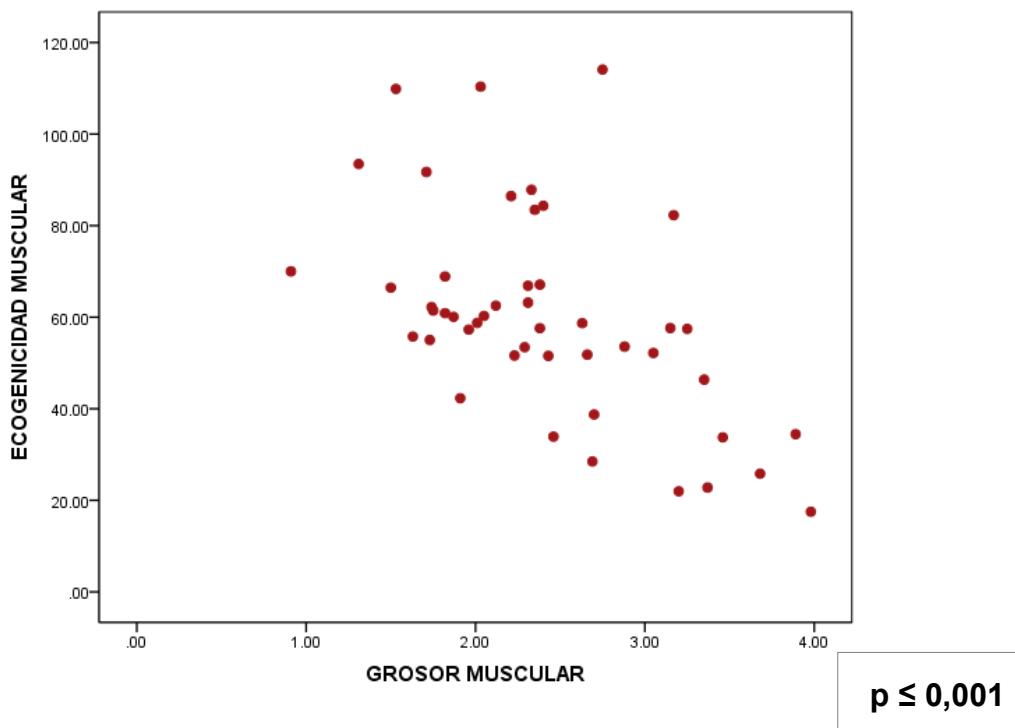


Tabla 47: Resultados de coeficientes de correlación entre los parámetros ecográficos cuantitativos y cualitativos musculares en ancianos.

r_s : Spearman's Rho (para análisis de correlación no paramétrica), r: correlación de Pearson (para análisis de correlación).

* $p \leq 0,001$, † $p < 0,05$.

	TUG	FTSTS	FSST	Velocidad de marcha	Fuerza isométrica extensión rodilla	Fuerza de garra
Grosor muscular	$r_s = 0,425$ †	$r_s = -0,501$ *	$r = -0,418$ †	$r = 0,545$ *	$r = 0,608$ *	$r = 0,585$ *
Área seccional muscular	$r_s = -0,389$ †	$r_s = -0,356$ †	$r = -0,348$ †	$r = 0,461$ *	$r = 0,619$ *	$r = 0,528$ *
Índice compresibilidad	$r_s = -0,450$ †	$r_s = -0,461$ †	$r = -0,263$	$r = 0,414$ †	$r = 0,402$ †	$r = 0,454$ †
Ecogenicidad muscular	$r_s = 0,393$ †	$r_s = 0,346$ †	$r = 0,467$ *	$r = -0,391$ †	$r = -0,443$ †	$r = -0,409$ †
Sonoelastografía muscular (Histograma)	$r_s = 0,114$	$r_s = 0,057$	$r = 0,242$	$r = -0,136$	$r = -0,182$	$r = -0,099$

Tabla 48: Correlación entre grosor muscular y capacidad funcional. Como capacidad funcional se incluye la velocidad de marcha y los test clínicos: TUG, FSST y FTSTS.

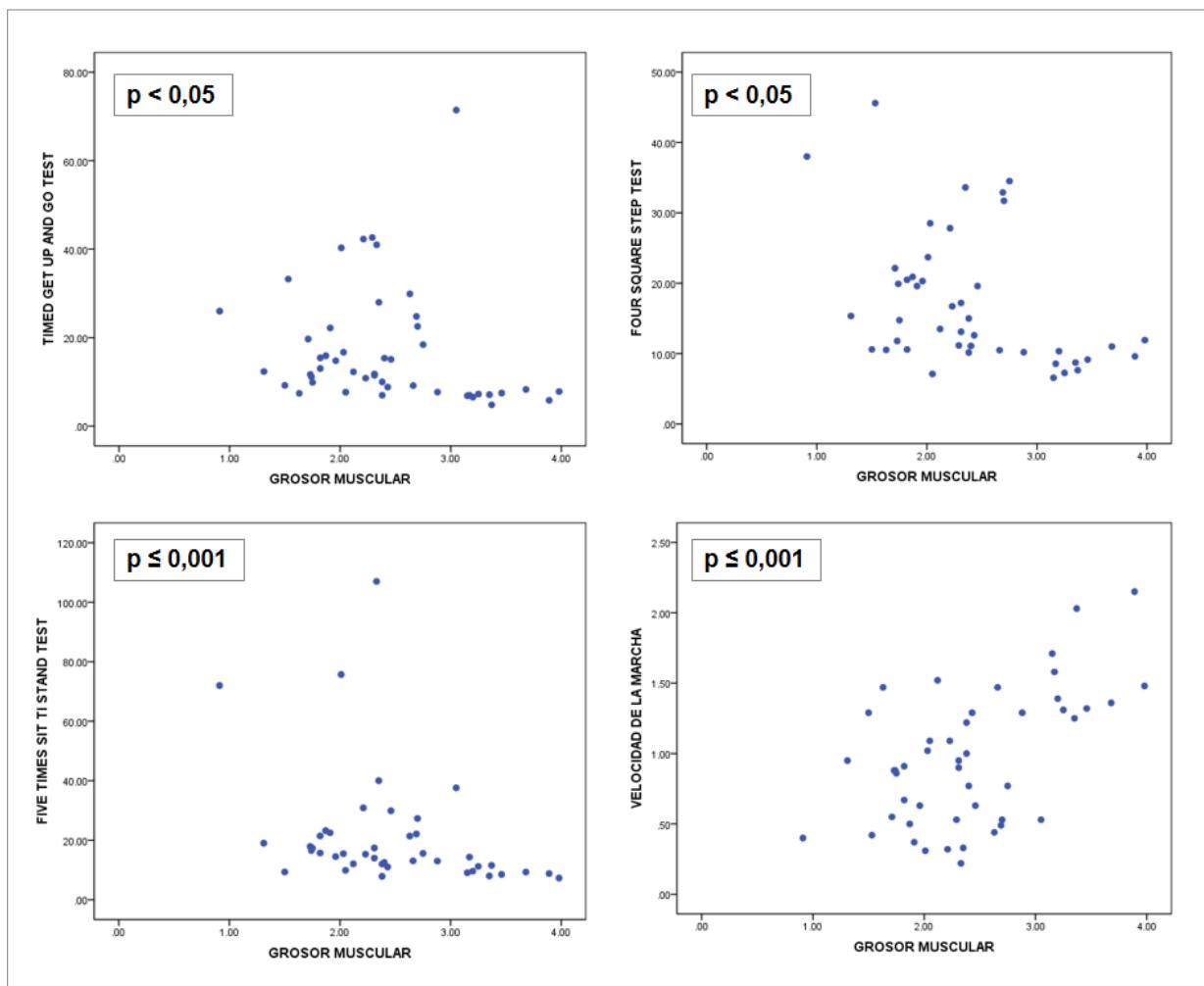


Tabla 49: Correlación entre grosor muscular y valoración de la fuerza en ancianos. Para el estudio de la fuerza se han incluido la fuerza de garra y la fuerza isométrica de extensión de rodilla.

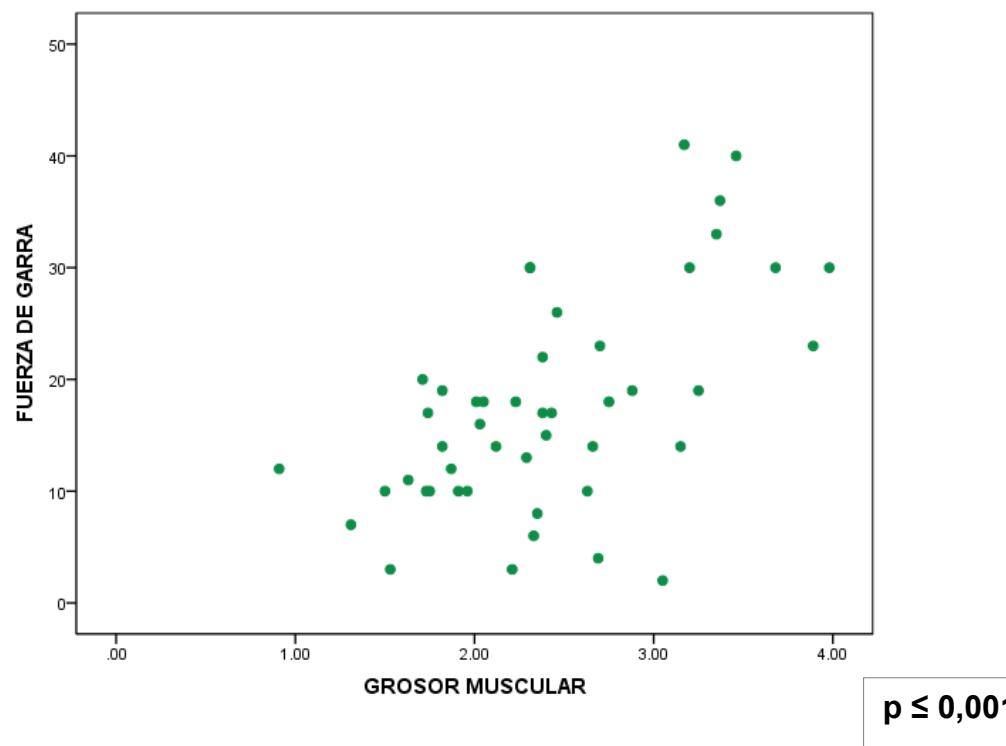
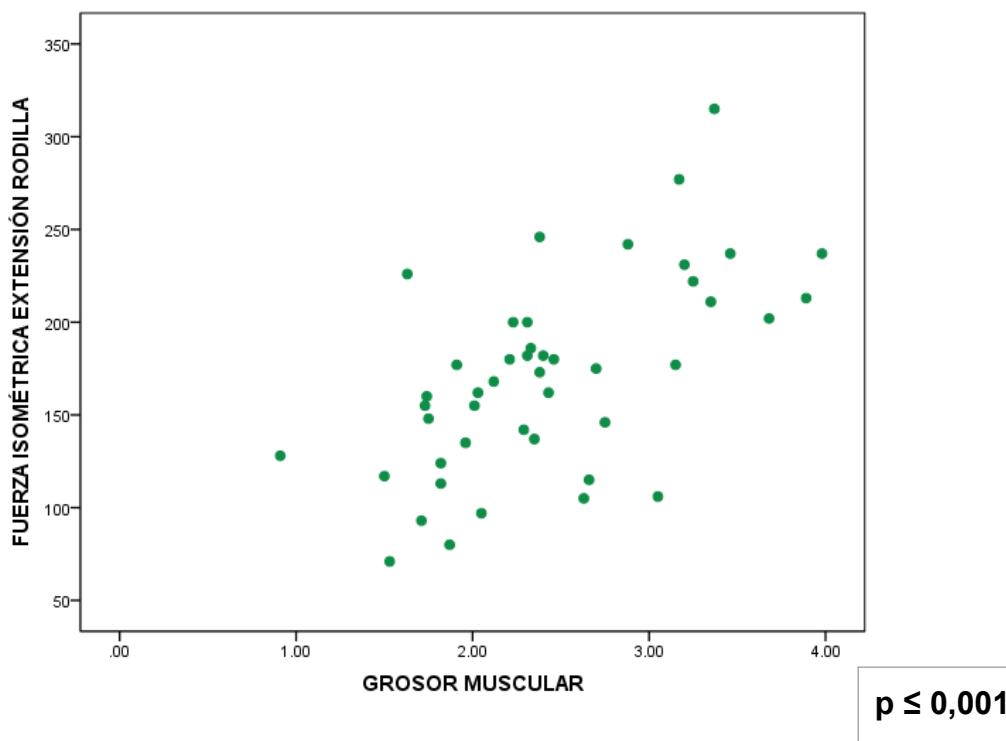


Tabla 50: Resultados de coeficientes de correlación entre los parámetros ecográficos musculares, fuerza y test de capacidad funcional en ancianos según el fenotipo de fragilidad. r_s : Spearman's Rho. * $p \leq 0,001$, † $p < 0,05$.

		Grosor muscular	Área seccional	Índice compresibilidad	Ecogenicidad muscular	Sonoelastografía Muscular (Histograma)
Grosor muscular (r_s)	ROBUSTO	-	0,733 *	0,665 †	- 0,683 †	- 0,378
	PREFRÁGIL	-	0,842 *	0,521	- 0,073	- 0,282
	FRÁGIL	-	0,868 *	0,008	- 0,706 †	- 0,200
Área seccional (r_s)	ROBUSTO	-	-	0,562 †	- 0,482	- 0,322
	PREFRÁGIL	-	-	0,437	- 0,099	- 0,227
	FRÁGIL	-	-	0,268	- 0,529 †	- 0,200
Índice compresibilidad (r_s)	ROBUSTO	-	-	-	- 0,404	- 0,085
	PREFRÁGIL	-	-	-	- 0,156	- 0,227
	FRÁGIL	-	-	-	- 0,171	- 0,500
Ecogenicidad muscular (r_s)	ROBUSTO	-	-	-	-	0,574 †
	PREFRÁGIL	-	-	-	-	0,709 †
	FRÁGIL	-	-	-	-	0,133

Tabla 51: Resultados de coeficientes de correlación entre los parámetros ecográficos musculares, fuerza y test de capacidad funcional en ancianos según el fenotipo de fragilidad. r_s : Spearman's Rho. * $p \leq 0,001$, † $p < 0,05$.

		TUG	FTSTS	FSST	Velocidad de marcha	Fuerza isométrica extensión rodilla	Fuerza de garra
Grosor muscular (r_s)	ROBUSTO	- 0,548 †	- 0,681 †	- 0,361	0,842 *	0,754 *	0,636 †
	PREFRÁGIL	- 0,103	- 0,445	- 0,214	0,225	0,218	0,659 *
	FRÁGIL	0,362	0,060	- 0,011	0,025	0,387	0,030
Área seccional (r_s)	ROBUSTO	- 0,556 †	- 0,282	- 0,376	0,839 *	0,854 *	0,487
	PREFRÁGIL	- 0,156	- 0,385	- 0,159	0,176	0,218	0,659 *
	FRÁGIL	0,371	0,154	- 0,018	- 0,050	0,387	0,028
Índice compresibilidad (r_s)	ROBUSTO	- 0,571 †	- 0,576 *	- 0,426	0,593 †	0,555 †	0,485 †
	PREFRÁGIL	- 0,253	- 0,467	- 0,159	0,493	- 0,218	0,516
	FRÁGIL	0,004	0,315	- 0,066	0,190	0,178	0,031
Ecogenicidad muscular (r_s)	ROBUSTO	0,287	0,532 †	0,086	- 0,583 †	- 0,420	- 0,271
	PREFRÁGIL	- 0,833 *	0,440	0,687 *	- 0,634 †	- 0,191	- 0,016
	FRÁGIL	0,029	0,187	0,244	- 0,170	- 0,528	- 0,275
Sonoelastografía muscular (r_s)	ROBUSTO	0,118	0,376	0,082	- 0,221	- 0,309	- 0,240
	PREFRÁGIL	0,673 †	- 0,006	0,382	- 0,132	- 0,273	0,326
	FRÁGIL	- 0,067	- 0,117	- 0,347	0,008	0,503	- 0,475

Tabla 52: Resultados de coeficientes de correlación entre los parámetros ecográficos musculares y fuerza de garra en la población joven.

r_s : Spearman's Rho. * $p \leq 0,001$, † $p < 0,05$

	Grosor muscular	Área seccional	Índice compresibilidad	Ecogenicidad muscular	Sonoelastografía Muscular (Histograma)	Fuerza de garra
Grosor muscular	-	$r_s = 0,415$	$r_s = 0,646$ †	$r_s = -0,572$ †	$r_s = -0,082$	$r_s = 0,251$
Área seccional	-	-	$r_s = 0,425$	$r_s = -0,257$	$r_s = -0,155$	$r_s = 0,199$
Índice compresibilidad	-	-	-	$r_s = -0,295$ †	$r_s = -0,311$	$r_s = 0,241$
Ecogenicidad muscular	-	-	-	-	$r_s = 0,397$	$r_s = -0,213$
Sonoelastografía Muscular (Histograma)	-	-	-	-	-	$r_s = 0,271$

7.4 Discusión

Se ha realizado el estudio ecográfico de características cuantitativas y cualitativas de músculo en población anciana frágil. Los individuos con fenotipo frágil presentan un menor grosor muscular de cara anterior de muslo, menor área de sección de recto anterior y menor compresibilidad muscular que el resto de ancianos no frágiles. A nivel cualitativo observamos una tendencia a aumentar la ecogenicidad de recto anterior en individuos ancianos conforme aumenta el grado de fragilidad. Los ancianos presentan menor grosor muscular y menor área seccional de recto anterior que los jóvenes, presentan también mayor ecogenicidad muscular en recto anterior y valores más altos en el histograma obtenido por sonoelastografía muscular que la población joven de referencia.

Los autores desconocen trabajos previos en los que se reporten las características ecográficas cuantitativas y cualitativas del músculo esquelético en ancianos según el fenotipo de fragilidad.

Todos los individuos reclutados e incluidos en nuestro estudio cumplían el criterio propuesto de edad (mayores de 70 años) y fueron clasificados en fenotipos de fragilidad aplicando los criterios descritos por Fried et al.³¹ y observamos que en nuestra muestra, edad y fragilidad están relacionados, siendo los individuos robustos los más jóvenes (75,88 años) y los frágiles los más ancianos (83,38 años). Por ello debemos analizar nuestros resultados cuidadosamente y valorar la edad como posible factor relacionado con nuestros hallazgos. Este estudio fue inicialmente diseñado para describir las características ecográficas y sonoelastográficas del músculo respecto al fenotipo de fragilidad y no para el análisis multivariado de otros factores, este enfoque debería plantearse en otro estudio con una muestra suficiente y un diseño adecuado para ello.

En nuestra muestra, los individuos frágiles presentan una comorbilidad considerada alta (Índice de comorbilidad de Charlson de 3,38), superior a la de los individuos prefrágiles y robustos, resultado similar a los descritos por otros grupos⁴⁹. La presencia de mayor consumo de fármacos antidiabéticos en los individuos frágiles de nuestra muestra coincide con la relación entre fragilidad y Diabetes Mellitus reportada por otros grupos^{7,36}.

En cuanto a la composición corporal, en nuestra muestra no observamos diferencias en la población de adultos mayores en relación al fenotipo de fragilidad. Si que, tanto los hombres como las mujeres mayores presentan mayor porcentaje de masa grasa y una disminución del porcentaje de masa magra respecto a los resultados del análisis de composición corporal del grupo de los jóvenes. Estos resultados son similares a los descritos en la literatura¹¹⁴ pero también se ha reportado que la estimación de la composición corporal por BIA debe ser valorada con precaución, ya que esta técnica se basa en la medición de la hidratación de los tejidos para conducir la energía eléctrica definida como *resistencia*, y la resistencia de los tejidos no depende de las variaciones del agua corporal total¹¹⁵, de forma que la preparación previa a la realización de la medida es crítica para optimizar la fiabilidad de los resultados, condición que no podemos asegurar que se haya cumplido en nuestra muestra. Las diferencias de metodología entre estudios dificulta la posibilidad de comparar resultados específicos entre grupos.

En nuestro estudio, el nivel funcional fue valorado utilizando el Índice de Barthel y observamos que la puntuación de dicho índice disminuye en relación al estatus de fragilidad. Los individuos robustos y prefrágiles presentan puntuaciones de escasa dependencia frente al grupo de frágiles que presentan puntuaciones de moderada dependencia¹¹⁶. Diversos parámetros de nuestro estudio nos aportan información sobre la capacidad funcional de la muestra: la velocidad de la marcha, la fuerza de garra, la fuerza isométrica de extensión de rodilla y los test funcionales. Los individuos frágiles presentan puntuaciones inferiores al resto de la muestra reflejando una menor capacidad funcional respecto a los individuos no frágiles,

resultados congruentes con lo descrito en la literatura^{31, 118, 54, 119,104,75}. De todos ellos, la fuerza muscular se considera un importante predictor de supervivencia^{173,258} y es un parámetro importante para el diagnóstico de sarcopenia¹⁰. En nuestra muestra, hombres y mujeres presentaban un importante descenso de la fuerza de garra en relación a la fragilidad, de forma que los individuos frágiles presentaban menor fuerza que los robustos, se observó una disminución del 58 % en las mujeres ($p = 0,001$) y de un 51,57 % en los hombres ($p < 0,001$). Respecto a la fuerza isométrica de extensión de rodilla, también se observa un descenso en relación a la fragilidad, de forma que la disminución de la fuerza entre robustos y frágiles era de 30,45 % en mujeres y de 36,69 % en hombres ($p = 0,006$). De forma similar a los resultados de nuestro estudio, la presencia de un descenso de la fuerza mayor en extremidades superiores que en extremidades inferiores ha sido reportado previamente en la literatura¹⁵⁹.

En nuestro estudio incluimos el análisis de la concordancia intra- e interobservador de las medidas ecográficas y sonoelastográficas realizado con una muestra de individuos jóvenes. La concordancia obtenida intraobservador fue buena para la medición del grosor muscular de cara anterior de muslo (entre 0,681 – 0,717, $p < 0,005$) y muy buena interobservador (entre 0,828 – 0,867, $p = 0,001$). Datos congruentes aunque inferiores a los descritos por Strasser et al.¹⁶⁸ en el mismo grupo muscular (85- 97 %), pero en población más joven (24,2 años frente a los 39,6 años de nuestra muestra joven). El nivel de concordancia en nuestro estudio para la valoración de la ecogenicidad fue muy buena tanto intra- como interobservador (0,965 y 0,930 respectivamente), datos similares aunque superiores a los reportados por Strasser et al.¹⁶⁸ (0,57 – 0,65). Hay que destacar que además de las diferencias de edad entre las muestras de ambos estudios, Strasser et al.¹⁶⁸ valoraron la concordancia de grosor y ecogenicidad muscular en todo el cuádriceps, mientras que en nuestro estudio los datos hacen referencia a grosor muscular de cara anterior de muslo y ecogenicidad de recto anterior, y además valoramos la ecogenicidad sobre un corte longitudinal del recto anterior, a diferencia de Strasser et al.¹⁶⁸ quienes utilizaron un corte longitudinal.

En nuestro estudio observamos una concordancia moderada intra- e inter-observador (0,540 y 0,513 respectivamente) para la sonoelastografía muscular de recto anterior (valoración por histograma). Sólo hemos encontrado otro grupo que haya reportado datos sobre la concordancia de los datos de sonoelastografía muscular. Park et al.²⁵⁵ reportaron ICC con valores entre 0,906 – 0,926, superiores a nuestros resultados, pero las diferencias en el grupo muscular estudiado (recto anterior en nuestro estudio y gastrocnemius por Park et al.²⁵⁵), las diferencias entre las muestras (jóvenes sanos en nuestro estudio e individuos espásticos por Park et al.²⁵⁵) y las diferencias en la técnica de análisis del histograma, hacen que los resultados de ambos grupos no resulten comparables.

En nuestra muestra, los adultos mayores presentan menor grosor muscular de la cara anterior de muslo, menor área seccional y menor compresibilidad de recto anterior en relación a la fragilidad. En nuestro estudio observamos una disminución del 25 % del grosor muscular de la cara anterior de muslo (recto anterior y vasto intermedio) en individuos frágiles respecto a los robustos y una disminución del 24,45 % al analizar las diferencias entre jóvenes y mayores. La disminución del grosor en ancianos respecto a jóvenes coincide con lo reportado por otros autores¹⁶⁸, aunque la disminución reportada en nuestro estudio es superior a la reportada por Strasser et al.¹⁶⁸ , 19,88 %. Esta diferencia puede deberse principalmente a las diferencias de edad entre las muestras de ambos estudios, 39,67 años en jóvenes y 78,88 años en ancianos en nuestro estudio, frente a 24,2 años y 67,8 años en la muestra de Strasser et al.¹⁶⁸ . Si analizamos los valores del grosor muscular de la cara anterior de muslo en adultos mayores, nuestros resultados (2,41 cm (DS 0,70)) son inferiores a los reportados por otros grupos en población mayor (2,82 cm¹⁶⁸, 3,57 cm¹⁴⁵, 4,44 cm¹⁵⁸) pero hay que destacar que estos grupos estudian muestras con una media de edad inferior a la nuestra (67,8 años¹⁶⁸, 70,4 años¹⁴⁵, 74,4 años¹⁵⁸), de diversas características étnicas y reportan diferentes protocolos de valoración ecográfica que difieren en factores como la localización de la sonda o el uso del eje longitudinal o transversal para la valoración muscular, todas estas diferencias limitan la comparación con nuestros resultados,

y en ningún caso estos estudios valoran el estado de fragilidad de las muestras de adultos mayores.

En nuestro estudio se observa también una disminución del valor del área seccional muscular de recto anterior en relación al fenotipo de fragilidad, siendo menor en los individuos frágiles quienes presentan una disminución del 28,07 % del área respecto a los robustos. Esta disminución es congruente con la disminución observada también en el grosor muscular dado que ambos son parámetros relacionados con la masa muscular, pero los autores desconocen trabajos previos en los que se valore el área seccional muscular en población frágil. En nuestro estudio, los mayores presentaban una reducción del 38,44 % del área seccional muscular de recto anterior respecto a la muestra de individuos jóvenes. No hemos encontrado estudios previos que reporten datos de área seccional muscular en ancianos mediante ecografía, además la ecografía puede resultar una técnica de valor limitado para la valoración del área seccional del recto anterior ya que la imagen ecográfica obtenida está limitada por la longitud de la sonda y puede no ser suficiente para realizar la medida directa del área seccional completa del recto anterior en algunos individuos, esta limitación ha sido reportada previamente en la literatura para la valoración ecográfica de músculos grandes¹⁶⁸.

El Índice de Compresibilidad fue descrito por Tok et al.²⁵⁴ como parámetro de elasticidad muscular en individuos tras sufrir AVC, basado en el aumento de la rigidez de la célula muscular espástica respecto a la del músculo sano²⁶³. Tok et al.²⁵⁴, describieron la existencia de correlación negativa entre compresibilidad y el tiempo de evolución del accidente cerebrovascular (ACV) al comparar el lado afecto por el ACV con el contralateral²⁵⁴, de forma que la compresibilidad del músculo espástico era menor cuanto más tiempo había pasado desde el ACV. En nuestro estudio, el índice de compresibilidad del recto anterior disminuye en relación a la fragilidad, y tiende a disminuir también en relación a los jóvenes. En nuestro estudio, se observa la existencia de correlación negativa entre la compresibilidad y la ecogenicidad muscular, ambos considerados parámetros cualitativos pero no

disponemos de datos sobre el índice de compresibilidad muscular en población sana joven ni anciana que nos permitan cuestionar nuestros resultados. Considerar que la disminución de la compresibilidad podría reflejar una disminución de la elasticidad muscular, podría resultar congruente con los cambios del tejido muscular en relación al envejecimiento descritos en la literatura^{147,148,150}, de todas formas, sería necesario realizar estudios específicos para valorar el comportamiento de la compresibilidad muscular en el músculo sano y en el contexto del envejecimiento y de la fragilidad.

Los autores quieren prestar atención a las diferencias observadas en relación al sexo ya que los hombres presentan mayor reducción del grosor muscular en relación a la fragilidad (28,43 % de reducción entre robustos y frágiles ($p = 0,028$), frente al 10,63 % observado en mujeres ($p = 0,391$)) mientras que las mujeres presentan mayor reducción del grosor muscular en las mayores respecto a las jóvenes (30,64 % en mujeres ($p < 0,001$), respecto al 15,97 % de los hombres ($p = 0,156$)). Estos hallazgos sugieren que la pérdida de grosor muscular no ocurre de la misma manera en hombres y en mujeres. En el caso de los hombres, las variaciones se observan en la población mayor de 70 años y en relación al fenotipo de fragilidad, mientras que en las mujeres, la reducción del grosor se observa entre mujeres jóvenes y mayores. Resultados similares han sido reportados por otros grupos como Kirchengast et al.²⁶⁴ quienes observaron que los hombres presentaban una mayor pérdida de masa muscular a partir de los 80 años, mientras que las mujeres presentaban la mayor pérdida de masa muscular antes de los 70 años, aunque reconocían que en ambos sexos existía la influencia de la edad. Algunos autores han propuesto que los cambios producidos por la menopausia podrían tener un fuerte impacto en el músculo asociado a la pérdida de masa muscular en mujeres que se encuentran en dicha etapa²⁶⁵. También hay grupos que describen una disminución de la masa muscular en relación a la edad sin observar diferencias entre hombres y mujeres^{266,267}. La posibilidad de que hombres y mujeres presenten diferente comportamiento en cuanto a la pérdida de masa muscular continúa siendo controvertido, y los autores consideran que puede constituir una nueva línea de trabajo en el futuro, ya que identificar el

comportamiento del músculo en ambos sexos podría permitir el estudio y desarrollo de estrategias específicas en un futuro con el fin de prevenir o tratar el declive muscular en la población.

En nuestro estudio, se observa una tendencia al aumento de la ecogenicidad muscular en relación al fenotipo de fragilidad, en hombres y en mujeres. Sí que encontramos un aumento de la ecogenicidad muscular de recto anterior en la población adulta mayor, siendo un 54,55 % mayor ($p < 0,001$) respecto a la de la muestra joven. Este aumento es muy superior al descrito por Strasser et al.¹⁶⁸ (18,64 %) pero las diferencias entre las muestras y la metodología de ambos estudios pueden justificar la diferencia entre los resultados. Otros grupos han estudiado la ecogenicidad muscular del recto anterior en población mayor^{145,158,230}, pero las diferencias entre las características de la muestra, entre los protocolos de estudio ecográfico y el cálculo cuantitativo de la ecogenicidad, dificultan el análisis de los resultados. En nuestro estudio también se valoró la diferencia entre jóvenes y mayores en función del sexo, y fue en el grupo de mujeres mayores en las que se observó un aumento de la ecogenicidad del 56,65 % ($p < 0,001$) respecto a las mujeres jóvenes. Los autores sugieren que este dato podría contemplarse en una línea futura de investigación sobre la evolución de las características cuantitativas y cualitativas del músculo con el envejecimiento y en función del sexo como se ha introducido previamente. No se observaron diferencias entre los valores del histograma del análisis del elastograma (sonoelastografía) del recto anterior entre los individuos de diferentes fenotipos de fragilidad. Sí se observó un aumento del 21,82 % ($p < 0,001$) de los valores del histograma en los mayores respecto a la muestra joven, diferencias que se observaron tanto en hombres como en mujeres al realizar el estudio por sexos ($p = 0,004$ para las mujeres, $p = 0,017$ para los hombres). Los autores desconocen la existencia de estudios previos sobre la sonoelastografía muscular en individuos frágiles.

Drakonaki et al.²³⁶ describieron el elastograma del músculo normal en reposo como un mosaico no homogéneo de dureza intermedia, aunque otros grupos lo definen

como de baja dureza o blando²⁴⁰. Hasta el momento actual, existe poca literatura que permita describir las características sonoelastográficas del músculo normal. En nuestra muestra joven el color predominante es el verde (75,3 %) que representa áreas blandas y no se observa representación intramuscular de áreas de alta dureza (color rojo). Cuando comparamos jóvenes con mayores, observamos que en los individuos mayores hay una tendencia a disminuir la presencia de color verde (63,9 %) y a la aparición de áreas rojas de alta dureza (5,6 %) ($p = 0,598$). Al analizar la población mayor, observamos una tendencia a disminuir la representación de áreas blandas (verde) en relación a la fragilidad, de forma que los resultados en los individuos frágiles reflejan un tejido menos blando (verde 44,4 %) que en los individuos robustos (verde 62,5 %) ($p = 0,095$).

En nuestro estudio observamos una correlación positiva entre el grosor muscular de cara anterior de muslo y la fuerza isométrica de extensión de rodilla ($r = 0,619$, $p < 0,001$). La correlación positiva entre grosor muscular y fuerza de extensión de rodilla también han sido reportados por otros grupos^{168, 158, 145}. El valor del coeficiente en nuestro estudio es un valor intermedio comparado con los reportados por otros autores que varían entre $r = 0,411$ ¹⁵⁸, $r = 0,47$ ¹⁴⁵ ó $r = 0,834$ ¹⁶⁸. Hay que precisar que estos estudios y el nuestro, difieren en las características de las muestras, la técnica de recogida de los datos y la valoración de la ecogenicidad, y estas diferencias podrían ser la causa de las diferencias en los valores de los coeficientes. La correlación positiva entre grosor muscular y fuerza de extensión de rodilla observada en los individuos jóvenes de nuestro estudio, está de acuerdo con lo reportado por otros grupos¹⁶⁸.

También obtuvimos una correlación positiva entre el área de sección muscular del recto anterior y la fuerza máxima isométrica de extensión de rodilla, siendo en nuestra muestra $r = 0,619$ ($p < 0,001$). No existen muchos datos sobre el área seccional muscular en ancianos, además, ya se ha comentado la limitación instrumental de su valoración, dado que la valoración del área seccional estará limitada por la longitud de la sonda que utilizamos. De acuerdo con nuestros

resultados, Seymour et al.²⁶⁸ también reportaron una correlación positiva entre el área seccional del recto anterior y la fuerza de extensión de rodilla de $r = 0,78$, aunque en individuos EPOC, los autores desconocen la existencia de trabajos previos que valoren esta correlación en ancianos.

En nuestro estudio se estudió también la correlación entre grosor muscular y la ecogenicidad de recto anterior, obteniendo una correlación negativa entre ellos ($r = -0,540$, $p < 0,001$). Otros grupos también reportaron una correlación negativa entre estos parámetros^{158, 145}, aunque con valores inferiores a los observados en nuestro estudio ($r = -0,102^{158}$, $r = -0,33^{145}$), de nuevo, las diferencias entre las características de las muestras y las diferencias en los protocolos y valoración de la ecogenicidad, pueden ser la causa de estas diferencias. La correlación negativa entre ecogenicidad y grosor muscular ha sido reportada incluso en población joven¹⁶⁸, datos que concuerdan con los resultados en nuestro estudio.

La correlación observada entre la ecogenicidad de recto anterior y la fuerza máxima isométrica de extensión de rodilla también fue positiva ($r = 0,443$, $p = 0,002$). Otros grupos también han reportado la existencia de correlación positiva entre estos dos parámetros ($r = 0,51^{232}$, $r = 0,40^{145}$, $r = 0,314^{269}$, $r = 0,30^{168}$). El valor del coeficiente obtenido en nuestro trabajo es un valor intermedio entre los reportados por otros autores, estas diferencias pueden estar relacionadas entre las diferencias de las muestras y las diversas metodologías seguidas en cada estudio.

Al realizar el análisis de correlación con los test funcionales encontramos que el TUG y el FTSTS son los dos test que presentan mayor correlación con los parámetros ecográficos y sonoelastográficos musculares. Los parámetros de masa muscular (grosor y área seccional) y el índice de compresibilidad muscular, presentan una correlación negativa con el resultado de los test, es decir, que a mayor grosor y área seccional muscular y mayor compresibilidad, el individuo requiere de menos tiempo para completar los test, lo que refleja una mejor funcionalidad. Por el contrario, la ecogenicidad muscular presenta una correlación

positiva con los test, es decir, a mayor ecogenicidad muscular (que refleja mayor alteración cualitativa), mayor tiempo requerido para completar los test, lo que implica menor capacidad funcional. En concordancia con nuestros resultados otros grupos han reportado la existencia de correlación negativa entre la ecogenicidad y la capacidad cardiovascular en ancianos²³² y entre ecogenicidad y capacidad funcional²⁶⁹. De acuerdo con todo esto, podemos considerar la concordancia positiva entre a velocidad de marcha con los parámetros cuantitativos de grosor muscular y área seccional, y negativa con la ecogenicidad, ya que reflejarían la relación entre una mayor velocidad a mayor masa muscular y menor ecogenicidad muscular, pero desconocemos la existencia de estudios que reporten la concordancia entre la velocidad de marcha y los parámetros ecográficos musculares.

Cabe comentar que en el subgrupo de ancianos frágiles, a diferencia principalmente de los robustos, no se encontró correlación entre los parámetros musculares ecográficos y sonoelastográficos y los parámetros de fuerza y función. Este hallazgo sugiere que el desarrollo de prefragilidad y fragilidad parece acompañarse de cambios en las características ecográficas y sonoelastográficas musculares, que al no presentar correlación con la pérdida de fuerza y función en estos individuos, incitaría a plantear estudios en un futuro para llegar a identificar y valorar otros procesos implicados o asociados al inicio y desarrollo de la fragilidad.

En este estudio hay limitaciones que deben ser mencionadas. En primer lugar se trata de un estudio transversal, descriptivo cuyo diseño no permite analizar relaciones causales. Además, la heterogeneidad de las muestras a estudio, la diversidad de metodología y de dispositivos tecnológicos utilizados para la valoración ecográfica y ecogenicidad muscular y la falta de consenso sobre los parámetros clínicamente relevantes, dificultan el análisis y comparación de los resultados obtenidos con los reportados por otros grupos. También hay que comentar una serie de limitaciones relacionadas con la propia técnica, como son la longitud de la sonda que puede dificultar la valoración de algún parámetro como el

área seccional transversal, el estado de hidratación del individuo a estudio, ya que variaciones en el estado de hidratación de los tejidos podría modificar la transmisión de los ultrasonidos y el resultado de la valoración ecográfica, incluso el propio dispositivo utilizado para la valoración ecográfica, dado que la resolución del mismo podría condicionar la posibilidad de llegar a percibir determinadas características de la imagen ecográfica obtenida. Respecto a la sonoelastografía, hay que destacar que la falta de consenso sobre su aplicabilidad para el estudio del músculo esquelético, la falta de protocolos y la variabilidad de técnicas de elastografía dificultan también la valoración e interpretación de los resultados. Globalmente, la escasez de bibliografía sobre el uso de la valoración ecográfica y sonoelastográfica del músculo esquelético en la población anciana y su posible aplicación para la identificación de la fragilidad, limitan la interpretación de los resultados pero ponen de manifiesto la existencia de un campo de investigación futura prometedor y de gran interés. La ecografía y la sonoelastografía muscular son técnicas accesibles y reproducibles que aportan información cuantitativa y cualitativa muy valiosa para ampliar el conocimiento del músculo esquelético que constituye una pieza clave en el estudio del proceso de envejecimiento, sarcopenia y fragilidad. El desarrollo de conocimiento en esta área podría permitir la aplicación de la ecografía y sonoelastografía para ampliar el diagnóstico del estado muscular en ancianos, mejorar la aproximación a los procesos de envejecimiento y fragilidad, desarrollar estrategias específicas y valorar el resultado de las mismas.

8 CONCLUSIONES

8.1 Conclusión sobre la hipótesis de trabajo

Los ancianos frágiles presentan cambios en los parámetros temporoespaciales de la marcha, cambios en la capacidad de equilibrio y en las características ecográficas y sonoelastográficas musculares.

8.2. Conclusiones de los objetivos

- 1.** Los ancianos frágiles respecto al resto de ancianos, presentan un aumento de la fase de apoyo y del doble soporte, disminuyen la fase de oscilación, de la longitud del paso, y de la zancada y disminuyen la velocidad de marcha.
- 2.** Los ancianos frágiles respecto al resto de ancianos, presentan un aumento de la velocidad de balanceo del centro de presiones y un aumento del tiempo requerido para la realización de test clínicos del equilibrio.
- 3.** Los ancianos frágiles respecto al resto de ancianos, presentan menor grosor muscular de la cara anterior de muslo, menor área seccional transversal y menor compresibilidad de recto anterior que el resto ancianos. La fragilidad también se asocia a un aumento de la ecogenicidad muscular de recto anterior, aunque no permite diferenciar a los individuos frágiles del resto de los individuos ancianos.
- 4.** El músculo de los individuos frágiles en relación al resto de ancianos, se caracteriza por la presencia de zonas de alta dureza en el elastograma y valores del histograma mayores sin que estos hallazgos permitan diferenciarlos del resto de individuos mayores.

9 BIBLIOGRAFÍA

1. Gems D. The aging-disease false dichotomy: understanding senescence as pathology. *Front Genet.* 2015;6(June):1-7. doi:10.3389/fgene.2015.00212.
2. Faragher RG a. Should we treat aging as a disease? The consequences and dangers of miscategorisation. *Front Genet.* 2015;6(July):1-7. doi:10.3389/fgene.2015.00171.
3. Clegg A, Young J, Iliffe S, Rikkert MO, Rockwood K. Frailty in elderly people. *Lancet.* 2013;381(9868):752-762. doi:10.1016/S0140-6736(12)62167-9.
4. Bürkle A, Moreno-Villanueva M, Bernhard J, et al. MARK-AGE biomarkers of ageing. *Mech Ageing Dev.* 2015. doi:10.1016/j.mad.2015.03.006.
5. Andradas Aragónés E, Labrador Cañas MV, Lizarbe Alonso V, Molina Olivas M. Documento de consenso sobre prevención de fragilidad y caídas en la persona mayor. Estrategia de Promoción de la Salud y Prevención en el SNS. 2014.
6. Sergiev P, Dontsova O, Berezkin G. Theories of Aging: An Ever-Evolving Field. *Acta Naturae.* 2015;7(1 (24)):9-18.
7. Morley JE, Haren MT, Rolland Y, Kim MJ. Frailty. *Med Clin North Am.* 2006;90(5):837-847. doi:10.1016/j.mcna.2006.05.019.
8. Critchley M. The neurology of old age. *Lancet.* 1931;1:1221-1230.
9. Rosenberg I. Summary comments: epidemiological and methodological problems in determining nutritional status of older persons. *Am J Clin Nutr.* 1989;50:1231-1233.
10. Jentoft AJC, Baeyens JP, Bauer JM, et al. Sarcopenia : consenso europeo sobre su definición y diagnóstico Informe del Grupo europeo de trabajo sobre la sarcopenia en personas de edad avanzada. *Age Ageing.* 2010;44(0):412-423. doi:10.1093/ageing/afq034.
11. Cruz-Jentoft AJ, Triana FC, Gómez-Cabrera MC, et al. La eclosión de la sarcopenia: Informe preliminar del Observatorio de la Sarcopenia de la Sociedad Española de Geriatría y Gerontología. *Rev Esp Geriatr Gerontol.* 2011;46(2):100-110. doi:10.1016/j.regg.2010.11.004.
12. Von Haehling S, Morley JE, Anker SD. From muscle wasting to sarcopenia and myopenia: Update 2012. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2012;3(4):213-217. doi:10.1007/s13539-012-0089-z.

13. Calvani R, Miccheli A, Landi F, et al. Current nutritional recommendations and novel dietary strategies to manage sarcopenia. *J Frailty Aging*. 2013;2:38-53.
14. Lang T, Streeper T, Cawthon P, Baldwin K, Taaffe DR, Harris TB. Sarcopenia: etiology, clinical consequences, intervention, and assessment. *Osteoporos Int*. 2010;21(4):543-559. doi:10.1007/s00198-009-1059-y.
15. Beaudart C, Rizzoli R, Bruyère O, Reginster J, Biver E. Sarcopenia : burden and challenges for public health. *Arch public Heal*. 2014;72(45):1-8.
16. Iannuzzi-Sucich M, Prestwood KM, Kenny AM. Prevalence of Sarcopenia and Predictors of Skeletal Muscle Mass in Healthy, Older Men and Women. *Journals Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci*. 2002;57(12):M772-M777. doi:10.1093/gerona/57.12.M772.
17. Marcell TJ. Sarcopenia: causes, consequences, and preventions. *Journals Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci*. 2003;58(10):M911-M916. doi:10.1093/gerona/58.10.M911.
18. Morley JE, Abbatecola AM, Argiles JM, et al. Sarcopenia With Limited Mobility: An International Consensus. *J Am Med Dir Assoc*. 2011;12:403-409. doi:10.1016/j.jamda.2011.04.014.
19. Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol*. 1998;147(8):755-763. doi:10.1186/1471-2318-7-5.
20. Landi F, Calvani R, Cesari M, et al. Sarcopenia as the biological substrate of physical frailty. *Clin Geriatr Med*. 2015;31:367-374.
21. Bowen T, Schuler G, Adams V. Skeletal muscle wasting in cachexia and sarcopenia: molecular pathophysiology and impact of exercise training. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2015;6:197-207.
22. Visser M, Kritchevsky SB, Goodpaster BH, et al. Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study . *J Am Geriatr Soc*. 2002;50:897-904. doi:jgs50217 [pii].
23. Murphy RA, Ip EH, Zhang Q, et al. Transition to sarcopenia and determinants of transitions in older adults: A population-based study. *Journals Gerontol - Ser A Biol Sci Med Sci*. 2014;69(6):751-758. doi:10.1093/gerona/glt131.
24. Cruz-Jentoft AJ, Landi F, Schneider SM, et al. Prevalence of and interventions for sarcopenia in ageing adults: a systematic review. Report of the International Sarcopenia Initiative (EWGSOP and IWGS). *Age Ageing*. 2014;43(6):748-759. doi:10.1093/ageing/afu115.

25. Cruz-Jentoft AJ, Landi F, Topinková E, Michel J-P. Understanding sarcopenia as a geriatric syndrome. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2010;13(1):1-7. doi:10.1097/MCO.0b013e328333c1c1.
26. Shamliyan T, Talley KMC, Ramakrishnan R, Kane RL. Association of frailty with survival: A systematic literature review. *Ageing Res Rev*. 2013;12(2):719-736. doi:10.1016/j.arr.2012.03.001.
27. Buckinx F, Rolland Y, Reginster J-Y, Ricour C, Petermans J, Bruyère O. Burden of frailty in the elderly population: perspectives for a public health challenge. *Arch Public Heal*. 2015;73(1):1-7. doi:10.1186/s13690-015-0068-x.
28. Morley JE, Vellas B, Abellan van Kan G, et al. Frailty consensus: A call to action. *J Am Med Dir Assoc*. 2013;14(6):392-397. doi:10.1016/j.jamda.2013.03.022.
29. Friedman SM, Shah K, Hall WJ. Failing to Focus on Healthy Aging: A Frailty of Our Discipline? *J Am Geriatr Soc*. 2015;63(7):1459-1462. doi:10.1111/jgs.13512.
30. Op het Veld LPM, van Rossum E, Kempen GIJM, de Vet HCW, Hajema K, Beurskens AJHM. Fried phenotype of frailty: cross-sectional comparison of three frailty stages on various health domains. *BMC Geriatr*. 2015;15(1):77. doi:10.1186/s12877-015-0078-0.
31. Fried LP, Tangen CM, Walston J, et al. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2001;56(3):M146-M156. doi:10.1093/gerona/56.3.M146.
32. Rockwood K, Song X, MacKnight C, et al. A global clinical measure of fitness and frailty in elderly people. *CMAJ*. 2005;173(5):489-495. doi:10.1503/cmaj.050051.
33. Boyd CM, Xue Q-L, Simpson CF, Guralnik JM, Fried LP. Frailty, hospitalization, and progression of disability in a cohort of disabled older women. *Am J Med*. 2005;118(11):1225-1231. doi:10.1016/j.amjmed.2005.01.062.
34. Kirkwood RN, de Souza Moreira B, Vallone MLDC, Mingoti SA, Dias RC, Sampaio RF. Step length appears to be a strong discriminant gait parameter for elderly females highly concerned about falls: A cross-sectional observational study. *Physiotherapy*. 2011;97(2):126-131. doi:10.1016/j.physio.2010.08.007.
35. Fried LP, Xue QL, Cappola AR, et al. Nonlinear multisystem physiological dysregulation associated with frailty in older women: Implications for etiology and treatment. *Journals Gerontol - Ser A Biol Sci Med Sci*. 2009;64(10):1049-1057. doi:10.1093/gerona/glp076.

36. A.J. S, Sinclair AJ. Diabetes in the elderly: A perspective from the United Kingdom. *Clin Geriatr Med.* 1999;15(2):225-237.
<http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=med4&NEWS=N&AN=10339630\nhttp://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed4&NEWS=N&AN=1999178277>.
37. Clegg a., Rogers L, Young J. Diagnostic test accuracy of simple instruments for identifying frailty in community-dwelling older people: a systematic review. *Age Ageing.* 2014;44(1):148-152. doi:10.1093/ageing/afu157.
38. Lopez D, Flicker L, Dobson A. Validation of the frail scale in a cohort of older Australian women. *J Am Geriatr Soc.* 2012;60(1):171-173.
39. Subra J, Gillette-Guyonnet S, Cesari M, Oustric S, VellaS B. The integration of frailty into clinical practice: Preliminary results from the gérontopôle. *J Nutr Heal Aging.* 2012;16(8):714-720. doi:10.1007/s12603-012-0391-7.
40. Rockwood K, Mitnitski A. Frailty Defined by Deficit Accumulation and Geriatric Medicine Defined by Frailty. *Clin Geriatr Med.* 2011;27(1):17-26. doi:10.1016/j.cger.2010.08.008.
41. Collard RM, Boter H, Schoevers R a., Oude Voshaar RC. Prevalence of frailty in community-dwelling older persons: A systematic review. *J Am Geriatr Soc.* 2012;60(8):1487-1492. doi:10.1111/j.1532-5415.2012.04054.x.
42. Gill TM, Gahbauer EA, Allore HG, Han L. Transitions between frailty states among community-living older persons. *Arch Intern Med.* 2006;166(4):418-423. doi:10.1001/archinte.166.4.418.
43. Espinoza SE, Jung I, Hazuda H. Frailty transitions in the San Antonio longitudinal study of aging. *J Am Geriatr Soc.* 2012;60(4):652-660. doi:10.1111/j.1532-5415.2011.03882.x.
44. Lee JSW, Auyeung TW, Leung J, Kwok T, Woo J. Transitions in frailty states among community-living older adults and their associated factors. *J Am Med Dir Assoc.* 2014;15(4):281-286. doi:10.1016/j.jamda.2013.12.002.
45. Michel J, Cruz-Jentoft A, Cederholm T. Frailty, exercise and nutrition. *Clin Geriatr Med.* 2015;31:375-387.
46. Prince F, Corriveau H, Hébert R, Winter DA. Gait in the elderly. *Gait Posture.* 1997;5(2):128-135. doi:10.1016/S0966-6362(97)01118-1.
47. Abutorabi A, Arazpour M, Bahramizadeh M, Hutchins SW, Fadayevatan R. The effect of aging on gait parameters in able-bodied older subjects: a literature review. *Aging Clin Exp Res.* 2015. doi:10.1007/s40520-015-0420-6.

48. Snijders AH, van de Warrenburg BP, Giladi N, Bloem BR. Neurological gait disorders in elderly people: clinical approach and classification. *Lancet Neurol*. 2007;6(1):63-74. doi:10.1016/S1474-4422(06)70678-0.
49. Montero-Odasso M, Muir SW, Hall M, et al. Gait variability is associated with frailty in community-dwelling older adults. *Journals Gerontol - Ser A Biol Sci Med Sci*. 2011;66 A(5):568-576. doi:10.1093/gerona/glr007.
50. Hollman JH, McDade EM, Petersen RC. Normative spatiotemporal gait parameters in older adults. *Gait Posture*. 2011;34(1):111-118. doi:10.1016/j.gaitpost.2011.03.024.
51. Rothman MD, Leo-Summers L, Gill TM. Prognostic significance of potential frailty criteria. *J Am Geriatr Soc*. 2008;56(12):2211-2216. doi:10.1111/j.1532-5415.2008.02008.x.
52. Shinkai S, Watanabe S, Kumagai S, et al. Walking speed as a good predictor for the onset of functional dependence in a Japanese rural community population. *Age Ageing*. 2000;29(5):441-446. doi:10.1093/ageing/29.5.441.
53. Cesari M, Kritchevsky SB, Penninx BWHJ, et al. Prognostic value of usual gait speed in well-functioning older people--results from the Health, Aging and Body Composition Study. *J Am Geriatr Soc*. 2005;53(10):1675-1680. doi:10.1111/j.1532-5415.2005.53501.x.
54. Montero-Odasso M, Schapira M, Soriano ER, et al. Gait velocity as a single predictor of adverse events in healthy seniors aged 75 years and older. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2005;60(10):1304-1309. doi:10.1093/gerona/60.10.1304.
55. Gouelle A, Mégrat F, Presedo A, Husson I, Yelnik A, Penneçot GF. The Gait Variability Index: A new way to quantify fluctuation magnitude of spatiotemporal parameters during gait. *Gait Posture*. 2013;38(3):461-465. doi:10.1016/j.gaitpost.2013.01.013.
56. Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK. Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82(8):1050-1056. doi:10.1053/apmr.2001.24893.
57. Schwenk M, Howe C, Saleh A, et al. Frailty and technology: A systematic review of gait analysis in those with frailty. *Gerontology*. 2014;60(1):79-89. doi:10.1159/000354211.
58. Studenski S, Perera S, Wallace D, et al. Physical performance measures in the clinical setting. *J Am Geriatr Soc*. 2003;51(3):314-322. doi:10.1046/j.1532-5415.2003.51104.x.

59. Verghese J, LeValley A, Hall CB, Katz MJ, Ambrose AF, Lipton RB. Epidemiology of gait disorders in community-residing older adults. *J Am Geriatr Soc.* 2006;54(2):255-261. doi:10.1111/j.1532-5415.2005.00580.x.
60. Winter DA, Patla AE, Frank JS, Walt SE. Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. *Phys Ther.* 1990;70(6):340-347.
61. Elble RJ, Thomas SS, Higgins C, Colliver J. Stride-dependent changes in gait of older people. *J Neurol.* 1991;238(1):1-5. doi:10.1007/BF00319700.
62. Perry MC, Carville SF, Smith ICH, Rutherford OM, Newham DJ. Strength, power output and symmetry of leg muscles: Effect of age and history of falling. *Eur J Appl Physiol.* 2007;100:553-561. doi:10.1007/s00421-006-0247-0.
63. Lord SR, Lloyd DG, Li SK. Sensori-motor function, gait patterns and falls in community-dwelling women. *Age Ageing.* 1996;25:292-299. doi:10.1093/ageing/25.4.292.
64. Bassey EJ, Bendall MJ, Pearson M. Muscle strength in the triceps surae and objectively measured customary walking activity in men and women over 65 years of age. *Clin Sci (Lond).* 1988;74(1):85-89. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3338255>.
65. Arazpour M, Ahmadi F, Bani M a, et al. Gait evaluation of new powered knee-ankle-foot orthosis in able-bodied persons: a pilot study. *Prosthet Orthot Int.* 2014;38(1):39-45. doi:10.1177/0309364613486917.
66. Alcock L, Vanicek N, O'Brien T. Alterations in gait speed and age do not fully explain the changes in gait mechanics associated with healthy older women. *Gait Posture.* 2013;37(4):586-592. doi:10.1016/j.gaitpost.2012.09.023.
67. Artaud F, Singh-Monux A, Dugravot A, Tzourio C, Elbaz A. Decline in fast gait speed as a predictor of disability in older adults. *J Am Geriatr Soc.* 2015;63(6):1129-1136.
68. Mortaza N, Abu Osman N, Mahdikhani M. Are the spatio-temporal parameters of gait capable of distinguishing a faller from a non-faller elderly? *Eur J Phys Rehabil Med.* 2014;50(6):677-691.
69. Rivara F, Grossman D, Cummings P. Injury prevention. *N Engl J Med.* 1997;337:613-618.
70. Heinrich S, Rapp K, Rissmann U, Becker C, König HH. Cost of falls in old age: A systematic review. *Osteoporos Int.* 2010;21(6):891-902. doi:10.1007/s00198-009-1100-1.

71. Verghese J, Holtzer R, Lipton RB, Wang C. Quantitative gait markers and incident fall risk in older adults. *Journals Gerontol - Ser A Biol Sci Med Sci.* 2009;64(8):896-901. doi:10.1093/gerona/glp033.
72. Hausdorff JM, Edelberg HK, Mitchell SL, Goldberger AL, Wei JY. Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly failers. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997;78(3):278-283. doi:10.1016/S0003-9993(97)90034-4.
73. Rosário JLP. A review of the utilization of baropodometry in postural assessment. *J Bodyw Mov Ther.* 2014;18(2):215-219. doi:10.1016/j.jbmt.2013.05.016.
74. Wrisley DM, Kumar NA. Functional gait assessment: concurrent, discriminative, and predictive validity in community-dwelling older adults. *Phys Ther.* 2010;90(5):761-773. doi:10.2522/ptj.20090069.
75. Dite W, Temple VA. A clinical test of stepping and change of direction to identify multiple falling older adults. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83(11):1566-1571. doi:10.1053/apmr.2002.35469.
76. Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc.* 1991;39(2):142-148. doi:http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=1991946.
77. Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, Studenski S. Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol.* 1990;45(6):M192-M197. doi:10.1093/geronj/45.6.M192.
78. Katz-Leurer M, Fisher I, Neeb M, Schwartz I, Carmeli E. Reliability and validity of the modified functional reach test at the sub-acute stage post-stroke. *Disabil Rehabil.* 2009;31(3):243-248. doi:10.1080/09638280801927830.
79. Tinetti ME. Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *J Am Geriatr Soc.* 1986;34(2):119-126. doi:N/A.
80. Berg K, Wood-Dauphinee S, Williams JI, Gayton D. Measuring balance in the elderly: Preliminary development of an instrument. *Physiother Canada.* 1989;41(6):304-311. doi:10.3138/ptc.41.6.304.
81. Dite W, Temple VA. Development of a clinical measure of turning for older adults. *Am J Phys Med Rehabil.* 2002;81(11):857-866; quiz 867-868. doi:10.1097/00002060-200211000-00010.
82. Frändin K, Sonn U, Svantesson U, Grimby G. Functional balance tests in 76-year-olds in relation to performance, activities of daily living and platform tests. *Scand J Rehabil Med.* 1995;27:231-241.

83. Springer BA, Marin R, Cyhan T, Roberts H, Gill NW. Normative values for the unipedal stance test with eyes open and closed. *J Geriatr Phys Ther.* 2007;30(1):8-15. doi:10.1519/00139143-200704000-00003.
84. Visser JE, Carpenter MG, van der Kooij H, Bloem BR. The clinical utility of posturography. *Clin Neurophysiol.* 2008;119(11):2424-2436. doi:10.1016/j.clinph.2008.07.220.
85. Fransson PA, Kristinsdottir EK, Hafström a., Magnusson M, Johansson R. Balance control and adaptation during vibratory perturbations in middle-aged and elderly humans. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91(5-6):595-603. doi:10.1007/s00421-003-1013-1.
86. Hughes MA, Duncan PW, Rose DK, Chandler JM, Studenski SA. The relationship of postural sway to sensorimotor function, functional performance, and disability in the elderly. *Arch Phys Med Rehabil.* 1996;77(6):567-572. doi:10.1016/S0003-9993(96)90296-8.
87. Prieto TE, Myklebust JB, Hoffmann RG, Lovett EG, Myklebust BM. Measures of postural steadiness: Differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1996;43(9):956-966. doi:10.1109/10.532130.
88. Baloh RW, Fife TD, Zwerling L, et al. Comparison of static and dynamic posturography in young and older normal people. *J Am Geriatr Soc.* 1994;42(4):405-412.
89. Wiesmeier IK, Dalin D, Maurer C. Elderly Use Proprioception Rather than Visual and Vestibular Cues for Postural Motor Control. *Front Aging Neurosci.* 2015;7:97. doi:10.3389/fnagi.2015.00097.
90. Tjernström F, Björklund M, Malmström E-M. Romberg ratio in quiet stance posturography-Test to retest reliability. *Gait Posture.* 2015;42(1):27-31. doi:10.1016/j.gaitpost.2014.12.007.
91. Piirtola M, Era P. Force platform measurements as predictors of falls among older people - A review. *Gerontology.* 2006;52(1):1-16. doi:10.1159/000089820.
92. Kaercher CW, Genro VK, Souza CA, Alfonsin M, Berton G, Filho JSC. Baropodometry on women suffering from chronic pelvic pain--a cross-sectional study. *BMC Womens Health.* 2011;11(1):51. doi:10.1186/1472-6874-11-51.
93. Giacomozi C. Appropriateness of plantar pressure measurement devices: a comparative technical assessment. *Gait Posture.* 2010;32(1):141-144. doi:10.1016/j.gaitpost.2010.03.014.

94. Eduardo Cofré Lizama L, Pijnappels M, Rispens SM, Reeves NP, Verschueren SM, van Dieën JH. Mediolateral balance and gait stability in older adults. *Gait Posture*. 2015;42(1):79-84. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.04.010.
95. Tucker MG, Kavanagh JJ, Morrison S, Barrett RS. Voluntary sway and rapid orthogonal transitions of voluntary sway in young adults, and low and high fall-risk older adults. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2009;24(8):597-605. doi:10.1016/j.clinbiomech.2009.06.002.
96. Scaglioni-Solano P, Aragón-Vargas LF. Gait characteristics and sensory abilities of older adults are modulated by gender. *Gait Posture*. 2015;6-11. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.04.002.
97. Yu E, Abe M, Masani K, et al. Evaluation of Postural Control in Quiet Standing Using Center of Mass Acceleration: Comparison Among the Young, the Elderly, and People With Stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008;89(June):1133-1139. doi:10.1016/j.apmr.2007.10.047.
98. Jbabdi M, Boissy P, Hamel M. Assessing control of postural stability in community-living older adults using performance-based limits of stability. *BMC Geriatr*. 2008;8:8. doi:10.1186/1471-2318-8-8.
99. Nayak US, Gabell A, Simons MA, Isaacs B. Measurement of gait and balance in the elderly. *J Am Geriatr Soc*. 1982;30(8):516-520.
100. Dean JC, Alexander NB, Kuo a. D. The effect of lateral stabilization on walking in young and old adults. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2007;54(11):1919-1926. doi:10.1109/TBME.2007.901031.
101. Mathiowetz V, Weber K, Volland G, Kashman N. Reliability and validity of grip and pinch strength evaluations. *J Hand Surg Am*. 1984;9(2):222-226. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0363-5023\(84\)80146-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0363-5023(84)80146-X).
102. Vellas BJ, Wayne SJ, Romero L, Baumgartner RN, Rubenstein LZ, Garry PJ. One-leg balance is an important predictor of injurious falls in older persons. *J Am Geriatr Soc*. 1997;45(6):735-738. doi:10.1111/j.1532-5415.1997.tb01479.x.
103. Mathias S, Nayak US, Isaacs B. Balance in elderly patients: the “get-up and go” test. *Arch Phys Med Rehabil*. 1986;67(6):387-389.
104. Shumway-Cook a, Brauer S, Woollacott M. Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Phys Ther*. 2000;80:896-903.
105. Bischoff H a., Stähelin HB, Monsch AU, et al. Identifying a cut-off point for normal mobility: A comparison of the timed “up and go” test in community-

- dwelling and institutionalised elderly women. *Age Ageing*. 2003;32(3):315-320. doi:10.1093/ageing/32.3.315.
106. Badia X, Roset M, Montserrat S, Herdman M, Segura A. The Spanish version of EuroQol: a description and its applications. European Quality of Life scale. *Med Clin (Barc)*. 1999;112 Suppl :79-85.
 107. Euroqol Group. EuroQol - a new facility for the measurement of health-related quality of life. *Health Policy (New York)*. 1990;16(3):199-208. doi:10.1016/0168-8510(90)90421-9.
 108. Mahoney FI, Barthel DW. Functional evaluation: The Barthel Index. *Md State Med J*. 1965;14:61-65.
 109. Cid-Ruzafa J, Damián-Moreno J. Valoración de la discapacidad física: el índice de Barthel. *Rev Esp Salud Pública*. 1997;71(2):127-137. doi:10.1590/S1135-57271997000200004.
 110. Bijlsma a. Y, Meskers CGM, Van Den Eshof N, et al. Diagnostic criteria for sarcopenia and physical performance. *Age (Omaha)*. 2014;36(1):275-285. doi:10.1007/s11357-013-9556-5.
 111. Rolland Y, Czerwinski S, Abellan Van Kan G, et al. Sarcopenia: its assessment, etiology, pathogenesis, consequences and future perspectives. *J Nutr Health Aging*. 2008;12(7):433-450. doi:10.1007/BF02982704.
 112. Westerterp KR, Meijer EP. Physical activity and parameters of aging: a physiological perspective. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2001;56 Spec No(l):7-12. doi:10.1093/gerona/56.suppl_2.7.
 113. Hughes VA, Frontera WR, Roubenoff R, Evans WJ, Singh MAF. Longitudinal changes in body composition in older men and women: role of body weight change and physical activity. *Am J Clin Nutr*. 2002;76:473-481.
 114. Jung H-W, Kim S-W, Lim J-Y, et al. Frailty status can predict further lean body mass decline in older adults. *J Am Geriatr Soc*. 2014;62(11):2110-2117. doi:10.1111/jgs.13107.
 115. Thibault R, Genton L, Pichard C. Body composition: why, when and for who? *Clin Nutr*. 2012;31(4):435-447. doi:10.1016/j.clnu.2011.12.011.
 116. Shah S, Vanclay F, Cooper B. Improving the sensitivity of the Barthel Index for stroke rehabilitation. *J Clin Epidemiol*. 1989;42(8):703-709. doi:10.1016/0895-4356(89)90065-6.
 117. Hsieh Y-W, Wang C-H, Wu S-C, Chen P-C, Sheu C-F, Hsieh C-L. Establishing the minimal clinically important difference of the Barthel Index in stroke patients. *Neurorehabil Neural Repair*. 2007;21(3):233-238. doi:10.1177/1545968306294729.

118. Kim MJ, Yabushita N, Kim MK, Nemoto M, Seino S, Tanaka K. Mobility performance tests for discriminating high risk of frailty in community-dwelling older women. *Arch Gerontol Geriatr*. 2010;51(2):192-198. doi:10.1016/j.archger.2009.10.007.
119. Freire Junior R, Porto J, Rodrigues N, Brunelli R, Braga L, de Abreu D. Spatial and temporal gait characteristics in pre-frail community-dwelling older adults. *Geriatr Gerontol Int*. 2015;Sep. 3([Epub ahead of print]).
120. Langlois JA, Keyl PM, Guralnik JM, Foley DJ, Marottoli RA, Wallace RB. Characteristics of older pedestrians who have difficulty crossing the street. *Am J Public Health*. 1997;87(3):393-397. doi:10.2105/AJPH.87.3.393.
121. Steffen TM, Hacker T a, Mollinger L. Age- and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Phys Ther*. 2002;82(2):128-137.
122. Oh-Park M, Holtzer R, Xue X, Verghese J. Conventional and robust quantitative gait norms in community-dwelling older adults. *J Am Geriatr Soc*. 2010;58(8):1512-1518. doi:10.1111/j.1532-5415.2010.02962.x.
123. Himann JE, Cunningham DA, Rechnitzer PA, Paterson DH. Age-related changes in speed of walking. *Med Sci Sports Exerc*. 1988;20(2):161-166. doi:0195-9131/88/2002-0161.
124. Thapa PB, Gideon P, Fought RL, Kormicki M, Ray WA. Comparison of clinical and biomechanical measures of balance and mobility in elderly nursing home residents. *J Am Geriatr Soc*. 1994;42(5):493-500.
125. Ringsberg K, Gerdhem P, Johansson J, Obrant KJ. Is there a relationship between balance, gait performance and muscular strength in 75-year-old women? *Age Ageing*. 1999;28(3):289-293. doi:10.1093/ageing/28.3.289.
126. Saghazadeh M, Tsunoda K, Soma Y, Okura T. Static foot posture and mobility associated with postural sway in elderly women using a three-dimensional foot scanner. *J Am Pod Med Assoc*. 2015;105(5):412-417.
127. Baloh RW, Spain S, Socotch TM, Jacobson KM, Bell T. Posturography and balance problems in older people. *J Am Geriatr Soc*. 1995;43(0002-8614):638-644.
128. Baloh RW, Corona S, Jacobson KM, Enrietto JA, Bell T. A prospective study of posturography in normal older people. *J Am Geriatr Soc*. 1998;46(4):438-343. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9560065>.
129. Lin D, Seol H, Nussbaum M a., Madigan ML. Reliability of COP-based postural sway measures and age-related differences. *Gait Posture*. 2008;28(2):337-342. doi:10.1016/j.gaitpost.2008.01.005.

130. Moghadam M, Ashayeri H, Salavati M, et al. Reliability of center of pressure measures of postural stability in healthy older adults: Effects of postural task difficulty and cognitive load. *Gait Posture*. 2011;33(4):651-655. doi:10.1016/j.gaitpost.2011.02.016.
131. Matsumura B a., Ambrose AF. Balance in the Elderly. *Clin Geriatr Med*. 2006;22:395-412. doi:10.1016/j.cger.2005.12.007.
132. Michikawa T, Nishiwaki Y, Takebayashi T, Toyama Y. One-leg standing test for elderly populations. *J Orthop Sci*. 2009;14(5):675-685. doi:10.1007/s00776-009-1371-6.
133. Savva GM, Donoghue O a., Horgan F, O'Regan C, Cronin H, Kenny RA. Using timed up-and-go to identify frail members of the older population. *Journals Gerontol - Ser A Biol Sci Med Sci*. 2013;68(4):441-446. doi:10.1093/gerona/gls190.
134. Kressig RW, Gregor RJ, Oliver A, et al. Temporal and spatial features of gait in older adults transitioning to frailty. *Gait Posture*. 2004;20(1):30-35. doi:10.1016/S0966-6362(03)00089-4.
135. Heymsfield SB, Gonzalez MC, Lu J, Jia G, Zheng J. Skeletal muscle mass and quality: evolution of modern measurement concepts in the context of sarcopenia. *Proc Nutr Soc*. 2015;(December 2014):1-12. doi:10.1017/S0029665115000129.
136. Walston JD. Sarcopenia in older adults. *Curr Opin Rheumatol*. 2012;24(6):623-627. doi:10.1097/BOR.0b013e328358d59b.
137. Cesari M, Landi F, Vellas B. Sarcopenia and physical frailty: two sides of the same coin. *Front Aging Neurosci*. 2014;6:192.
138. Chien M-Y, Kuo H-K, Wu Y-T. Sarcopenia, cardiopulmonary fitness, and physical disability in community-dwelling elderly people. *Phys Ther*. 2010;90(9):1277-1287. doi:10.2522/ptj.20090322.
139. Roubenoff R. Sarcopenia and its implications for the elderly. *Eur J Clin Nutr*. 2000;54 Suppl 3:S40-S47. doi:10.1038/sj.ejcn.1601024.
140. Doherty TJ. Invited review: Aging and sarcopenia. *J Appl Physiol*. 2003;95(4):1717-1727. doi:10.1152/japplphysiol.00347.2003.
141. Filippin LI, Teixeira VNDO, da Silva MPM, Miraglia F, da Silva FS. Sarcopenia: a predictor of mortality and the need for early diagnosis and intervention. *Aging Clin Exp Res*. 2014. doi:10.1007/s40520-014-0281-4.
142. Maganaris CN, Baltzopoulos V, Ball D, Sargeant AJ. In vivo specific tension of human skeletal muscle. *J Appl Physiol*. 2001;90(3):865-872.

143. Wall BT, Dirks ML, Van Loon LJC. Skeletal muscle atrophy during short-term disuse: Implications for age-related sarcopenia. *Ageing Res Rev.* 2013;12(4):898-906. doi:10.1016/j.arr.2013.07.003.
144. Forbes GB. Longitudinal changes in adult fat-free mass: influence of body weight. *Am J Clin Nutr.* 1999;70(6):1025-1031.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10584047>.
145. Fukumoto Y, Ikezoe T, Yamada Y, et al. Skeletal muscle quality assessed from echo intensity is associated with muscle strength of middle-aged and elderly persons. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(4):1519-1525. doi:10.1007/s00421-011-2099-5.
146. Waters DL, Baumgartner RN, Garry PJ, Vellas B. Advantages of dietary, exercise-related, and therapeutic interventions to prevent and treat sarcopenia in adult patients: an update. *Clin Interv Aging.* 2010;5:259-270. doi:10.2147/CIA.S6920.
147. Narici M V., Maffulli N. Sarcopenia: Characteristics, mechanisms and functional significance. *Br Med Bull.* 2010;95(1):139-159. doi:10.1093/bmb/ldq008.
148. Csapo R, Malis V, Sinha U, Du J, Sinha S. Age-associated differences in triceps surae muscle composition and strength - an MRI-based cross-sectional comparison of contractile, adipose and connective tissue. *BMC Musculoskelet Disord.* 2014;15(1):209. doi:10.1186/1471-2474-15-209.
149. Lexell J, Taylor CC, Sjöström M. What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J Neurol Sci.* 1988;84(2-3):275-294. doi:10.1016/0022-510X(88)90132-3.
150. Kragstrup TW, Kjaer M, Mackey a L. Structural, biochemical, cellular, and functional changes in skeletal muscle extracellular matrix with aging. *Scand J Med Sci Sports.* 2011;21(6):749-757. doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01377.x.
151. Heymsfield SB, Adamek M, Gonzalez MC, Jia G, Thomas DM. Assessing skeletal muscle mass: Historical overview and state of the art. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2014;5(1):9-18. doi:10.1007/s13539-014-0130-5.
152. Silva AM, Shen W, Heo M, et al. Ethnicity-related skeletal muscle differences across the lifespan. *Am J Hum Biol.* 2010;22(1):76-82. doi:10.1002/ajhb.20956.
153. McNally EM. Powerful genes-myostatin regulation of human muscle mass. *N Engl J Med.* 2004;350:2642-2644.

154. Heymsfield SB, Scherzer R, Pietrobelli a, Lewis CE, Grunfeld C. Body mass index as a phenotypic expression of adiposity: quantitative contribution of muscularity in a population-based sample. *Int J Obes (Lond)*. 2009;33(12):1363-1373. doi:10.1038/ijo.2009.184.
155. Bhasin S, Cunningham GR, Hayes FJ, et al. Testosterone Therapy in Adult Men with Androgen Deficiency Syndromes : An Endocrine Society Clinical Practice Guideline. *J Clin Endocrinol Metab*. 2010;95(6):2536-2559. doi:10.1210/jc.2005.
156. Houston DK, Nicklas BJ, Ding J, et al. Dietary protein intake is associated with lean mass change in older, community-dwelling adults: the Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) Study. *Am J Clin Nutr*. 2008;87(1):150-155. doi:87/1/150 [pii].
157. McGregor RA, Cameron-Smith D, Poppitt SD. It is not just muscle mass: a review of muscle quality, composition and metabolism during ageing as determinants of muscle function and mobility in later life. *Longev Heal*. 2014;3(1):9. doi:10.1186/2046-2395-3-9.
158. Watanabe Y, Yamada Y, Fukumoto Y, et al. Echo intensity obtained from ultrasonography images reflecting muscle strength in elderly men. *Clin Interv Aging*. 2013;8:993-998. doi:10.2147/CIA.S47263.
159. Janssen I, Heymsfield SB, Wang Z, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *J Appl Physiol*. 2000;89(1):81-88.
<http://jap.physiology.org/content/89/1/81>\n<http://jap.physiology.org/content/89/1/81.full.pdf>\n<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10904038>.
160. Delmonico MJ, Harris TB, Visser M, et al. Longitudinal study of muscle strength, quality, and adipose tissue infiltration. *Am J Clin Nutr*. 2009;90(6):1579-1585. doi:10.3945/ajcn.2009.28047.
161. Frontera WR, Hughes V a, Fielding R a, Fiatarone M a, Evans WJ, Roubenoff R. Aging of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study. *J Appl Physiol*. 2000;88(4):1321-1326.
162. Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, et al. Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol*. 2003;95(5):1851-1860. doi:10.1152/japplphysiol.00246.2003.
163. Rolland Y, Gallini A, Cristini C, et al. Body-composition predictors of mortality in women aged \geq 75 y: data from a large population-based cohort study with a 17-y follow-up. *Am J Clin Nutr*. 2014;100(5):1352-1360. doi:10.3945/ajcn.114.086728.

164. Brooks S V, Faulkner JA. Skeletal muscle weakness in old age: underlying mechanisms. *Med Sci Sport Exerc.* 1994;26:432-439.
165. Frontera WR, Hughes V a, Lutz KJ, Evans WJ. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J Appl Physiol.* 1991;71(2):644-650.
166. Mitchell WK, Williams J, Atherton P, Larvin M, Lund J, Narici M. Sarcopenia, dynapenia, and the impact of advancing age on human skeletal muscle size and strength; a quantitative review. *Front Physiol.* 2012;3 JUL(July):1-19. doi:10.3389/fphys.2012.00260.
167. Merriwether EN, Host HH, Sinacore DR. Sarcopenic indices in community-dwelling older adults. *J Geriatr Phys Ther.* 2012;35(3):118-125. doi:10.1519/JPT.0b013e31823c4bef.
168. Strasser EM, Draskovits T, Praschak M, Quittan M, Graf A. Association between ultrasound measurements of muscle thickness, pennation angle, echogenicity and skeletal muscle strength in the elderly. *Age (Omaha).* 2013;35(6):2377-2388. doi:10.1007/s11357-013-9517-z.
169. Young A, Stokes M, Crowe M. The size and strength of the quadriceps muscles of old and young men. *Clin Physiol.* 1985;5:145-154.
170. Kawakami Y, Abe T, Fukunaga T. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *J Appl Physiol.* 1993;74(6):2740-2744. doi:10.1017/s0007114507617206.
171. Manini TM, Clark BC, Nalls M a, Goodpaster BH, Ploutz-Snyder LL, Harris TB. Reduced physical activity increases intermuscular adipose tissue in healthy young adults. *Am J Clin Nutr.* 2007;85(2):377-384.
172. Herridge MS, Cheung AM, Tansey CM, et al. One-year outcomes in survivors of the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med.* 2003;348(8):683-693. doi:10.1056/NEJMoa022450.
173. Rantanen T, Harris T, Leveille SG, et al. Muscle strength and body mass index as long-term predictors of mortality in initially healthy men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2000;55(3):M168-M173. doi:10.1093/gerona/55.3.M168.
174. Cooper R, Kuh D, Hardy R. Objectively measured physical capability levels and mortality: systematic review and meta-analysis. *BMJ.* 2010;341:c4467. doi:10.1136/bmj.c4467.
175. Bean JF, Leveille SG, Kiely DK, Bandinelli S, Guralnik JM, Ferrucci L. A comparison of leg power and leg strength within the InCHIANTI study: which influences mobility more? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2003;58(8):728-733. doi:10.1093/gerona/58.8.M728.

176. Narici M V, Maganaris CN, Reeves ND, Capodaglio P. Effect of aging on human muscle architecture. *J Appl Physiol.* 2003;95(6):2229-2234. doi:10.1152/japplphysiol.00433.2003.
177. Rahmani N, Mohseni-Bandpei MA, Vameghi R, Salavati M, Abdollahi I. Application of Ultrasonography in the Assessment of Skeletal Muscles in Children with and without Neuromuscular Disorders: A Systematic Review. *Ultrasound Med Biol.* 2015;41(9):2275-2283. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2015.04.027.
178. Reeves ND, Maganaris CN, Narici M V. Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91(1):116-118. doi:10.1007/s00421-003-0961-9.
179. Harris-Love MO, Monfaredi R, Ismail C, Blackman MR, Cleary K. Quantitative ultrasound: measurement considerations for the assessment of muscular dystrophy and sarcopenia. *Front Aging Neurosci.* 2014;6(172):1-4.
180. Li J, Zhou Y, Zheng Y-P, Li G. An attempt to bridge muscle architecture dynamics and its instantaneous rate of force development using ultrasonography. *Ultrasonics.* 2015;61:71-78. doi:10.1016/j.ultras.2015.03.009.
181. Randhawa A, Wakeling JM. Associations between muscle structure and contractile performance in seniors. *Clin Biomech.* 2013;28(6):705-711. doi:10.1016/j.clinbiomech.2013.04.010.
182. Daley MJ, Spinks WL. Exercise, mobility and aging. *Sports Med.* 2000;29(1):1-12. doi:10.2165/00007256-200029010-00001.
183. Goodpaster BH, Kelley DE, Thaete FL, He J, Ross R. Skeletal muscle attenuation determined by computed tomography is associated with skeletal muscle lipid content. *J Appl Physiol.* 2000;89(1):104-110.
184. Kent-Braun JA, Ng A V, Young K. Skeletal muscle contractile and noncontractile components in young and older women and men. *J Appl Physiol.* 2000;88(2):662-668.
http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&opt=Citation&list_uids=10658035.
185. Rolland Y, Lauwers-Cances V, Cournot M, et al. Sarcopenia, calf circumference, and physical function of elderly women: A cross-sectional study. *J Am Geriatr Soc.* 2003;51(8):1120-1124. doi:10.1046/j.1532-5415.2003.51362.x.
186. Boutin RD, Yao L, Canter RJ, Lenchik L. Sarcopenia: Current Concepts and Imaging Implications. *Am J Roentgenol.* 2015;(September):W1-W12. doi:10.2214/AJR.15.14635.

187. Janssen I, Heymsfield SB, Baumgartner RN, Ross R. Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis. *J Appl Physiol*. 2000;89(2):465-471.
188. Kyle UG, Genton L, Karsegard L, Slosman DO, Pichard C. Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20-94 years. *Nutrition*. 2001;17(3):248-253. doi:10.1016/S0899-9007(00)00553-0.
189. Kyle UG, Genton L, Slosman DO, Pichard C. Fat-free and fat mass percentiles in 5225 healthy subjects aged 15 to 98 years. *Nutrition*. 2001;17(7-8):534-541. doi:10.1016/S0899-9007(01)00555-X.
190. Pillen S, Scholten R, Zwarts M, Verrips A. Quantitative skeletal muscle ultrasonography in children with suspected neuromuscular disease. *Muscle and Nerve*. 2003;27(6):699-705. doi:10.1002/mus.10385.
191. Maurits NM, Beenakker EAC, Van Schaik DEC, et al. Muscle ultrasound in children normal values and application to neuromuscular disorders. *Ultrasound Med Biol*. 2004;30(8):1017-1027. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2004.05.013.
192. Dussik KT. The ultrasonic field as a medical tool. *Am J Phys Med*. 1954;33:5-20.
193. Dussik KT, Fritch DJ, Kyriazidou M, Sear RS. Measurements of articular tissues with ultrasound. *Am J Phys Med*. 1958;37(3):160-165. doi:10.1097/00002060-195806000-00013.
194. Kamala D, Suresh S, Githa K. Real-time ultrasonography in neuromuscular problems in children. *J Clin Ultrasound*. 1985;13:465-468.
195. Lamminen a, Jääskeläinen J, Rapola J, Suramo I. High-frequency ultrasonography of skeletal muscle in children with neuromuscular disease. *J Ultrasound Med*. 1988;7(9):505-509.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3054144>.
196. Maurits NM, Bollen AE, Windhausen A, De Jager AEJ, Van Der Hoeven JH. Muscle ultrasound analysis: Normal values and differentiation between myopathies and neuropathies. *Ultrasound Med Biol*. 2003;29(2):215-225. doi:10.1016/S0301-5629(02)00758-5.
197. Ghamkhar L, Emami M, Mohseni-Bandpei M a, Behtash H. Application of rehabilitative ultrasound in the assessment of low back pain: a literature review. *J Bodyw Mov Ther*. 2011;15(4):465-477. doi:10.1016/j.jbmt.2010.07.003.
198. Javanshir K, Amiri M, Mohseni-Bandpei MA, Rezasoltani A, Fernández-de-las-Peñas C. Ultrasonography of the cervical muscles: a critical review of the

literature. *J Manipulative Physiol Ther.* 2010;33(8):630-637. doi:10.1016/j.jmpt.2010.08.016.

199. Mohseni-Bandpei MA, Nakhaee M, Mousavi ME, Shakourirad A, Safari MR, Vahab Kashani R. Application of ultrasound in the assessment of plantar fascia in patients with plantar fasciitis: a systematic review. *Ultrasound Med Biol.* 2014;40(8):1737-1754. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2014.03.001.
200. Hides J a, Miokovic T, Belavý DL, Stanton WR, Richardson C a. Ultrasound imaging assessment of abdominal muscle function during drawing-in of the abdominal wall: an intrarater reliability study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007;37(8):480-486. doi:10.2519/jospt.2007.2416.
201. Thomaes T, Thomis M, Onkelinx S, Coudyzer W, Cornelissen V, Vanhees L. Reliability and validity of the ultrasound technique to measure the rectus femoris muscle diameter in older CAD-patients. *BMC Med Imaging.* 2012;12:7. doi:10.1186/1471-2342-12-7.
202. Zaidman CM, Wu JS, Wilder S, Darras BT, Rutkove SB. Minimal training is required to reliably perform quantitative ultrasound of muscle. *Muscle and Nerve.* 2014;50(July):124-128. doi:10.1002/mus.24117.
203. Minetto MA, Caresio C, Menapace T, et al. Ultrasound-based detection of low muscle mass for diagnosis of sarcopenia in older adults. *PM R.*
204. Tillquist M, Kutsogiannis DJ, Wischmeyer PE, et al. Bedside ultrasound is a practical and reliable measurement tool for assessing quadriceps muscle layer thickness. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2014;38(7):886-890. doi:10.1177/0148607113501327.
205. Berger J, Bunout D, Barrera G, et al. Rectus femoris (RF) ultrasound for the assessment of muscle mass in older people. *Arch Gerontol Geriatr.* 2015;61:33-38. doi:10.1016/j.archger.2015.03.006.
206. Hodges PW, Pengel LHM, Herbert RD, Gandevia SC. Measurement of muscle contraction with ultrasound imaging. *Muscle and Nerve.* 2003;27(6):682-692. doi:10.1002/mus.10375.
207. Li J, Zhou Y, Lu Y, Zhou G, Wang L, Zheng YP. The sensitive and efficient detection of quadriceps muscle thickness changes in cross-sectional plane using ultrasonography: A feasibility investigation. *IEEE J Biomed Heal Informatics.* 2014;18(2):628-635. doi:10.1109/JBHI.2013.2275002.
208. Mademli L, Arampatzis A. Behaviour of the human gastrocnemius muscle architecture during submaximal isometric fatigue. *Eur J Appl Physiol.* 2005;94(5-6):611-617. doi:10.1007/s00421-005-1366-8.

209. Zhou Y, Li J-Z, Zhou G, Zheng Y-P. Dynamic measurement of pennation angle of gastrocnemius muscles during contractions based on ultrasound imaging. *Biomed Eng Online*. 2012;11(1):63. doi:10.1186/1475-925X-11-63.
210. Rana M, Hamarneh G, Wakeling JM. Automated tracking of muscle fascicle orientation in B-mode ultrasound images. *J Biomech*. 2009;42(13):2068-2073. doi:10.1016/j.jbiomech.2009.06.003.
211. Darby J, Li B, Costen N, Loram I, Hodson-Tole E. Estimating skeletal muscle fascicle curvature from B-mode ultrasound image sequences. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2013;60(7):1935-1945. doi:10.1109/TBME.2013.2245328.
212. Maganaris CN, Baltzopoulos V, Sargeant AJ. Human calf muscle responses during repeated isometric plantarflexions. *J Biomech*. 2006;39(7):1249-1255. doi:10.1016/j.jbiomech.2005.03.011.
213. Li J, Zhou Y, Ivanov K, Zheng YP. Estimation and visualization of longitudinal muscle motion using ultrasonography: A feasibility study. *Ultrasonics*. 2014;54(3):779-788. doi:10.1016/j.ultras.2013.09.024.
214. Ikai M, Fukunaga T. Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Int Zeitschrift für Angew Physiol Einschließlich Arbeitsphysiologie*. 1968;26(1):26-32. doi:10.1007/BF00696087.
215. Sanada K, Kearns CF, Midorikawa T, Abe T. Prediction and validation of total and regional skeletal muscle mass by ultrasound in Japanese adults. *Eur J Appl Physiol*. 2006;96(1):24-31. doi:10.1007/s00421-005-0061-0.
216. Abe T, Loenneke JP, Young KC, et al. Validity of ultrasound precision equations for total and regional muscularity in middle-aged and older men and women. *Ultrasound Med Biol*. 2015;41(2):557-564.
217. Narici M V, Binzoni T, Hiltbrand E, Fasel J, Terrier F, Cerretelli P. In vivo human gastrocnemius architecture with changing joint angle at rest and during graded isometric contraction. *J Physiol*. 1996;496 (Pt 1):287-297. doi:10.1113/jphysiol.1996.sp021685.
218. Heckmatt JZ, Leeman S, Dubowitz V. Ultrasound imaging in the diagnosis of muscle disease. *J Pediatr*. 1982;101(5):656-660.
219. Reimers CD, Fleckenstein JL, Witt TN, Müller-Felber W, Pongratz DE. Muscular ultrasound in idiopathic inflammatory myopathies of adults. *J Neurol Sci*. 1993;116(1):82-92. doi:10.1016/0022-510X(93)90093-E.
220. Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T. Estimating site-specific muscle loss: a valuable tool for early sarcopenia detection? *Rejuvenation Res*. 2014;17(6):496-498. doi:10.1089/rej.2014.1611.

221. Pillen S, van Alfen N. Skeletal muscle ultrasound. *Neurol Res.* 2011;33(10):1016-1024.
222. Studenski SA, Peters KW, Alley DE, et al. The FNIH sarcopenia project: rationale, study description, conference recommendations, and final estimates. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2014;69(5):547-558. doi:10.1093/gerona/glu010.
223. Takeshima N, Shimada K, Islam MM, Kanehisa H, Ishida Y, Brechue WF. Progressive, Site-specific Loss of Muscle Mass in Older Frail Nursing Home Residents. *J Aging Phys Act.* 2014. doi:10.1123/japa.2014-0055.
224. Scherbakov N, Sandek A, Doehner W. Stroke-Related Sarcopenia: Specific Characteristics. *J Am Med Dir Assoc.* 2015;16(4):272-276. doi:10.1016/j.jamda.2014.12.007.
225. Puthucheary Z a, Rawal J, McPhail M, et al. Acute skeletal muscle wasting in critical illness. *JAMA.* 2013;310(15):1591-1600. doi:10.1001/jama.2013.278481.
226. Scanlon TC, Fragala MS, Stout JR, et al. Muscle architecture and strength: Adaptations to short-term resistance training in older adults. *Muscle and Nerve.* 2014;49(4):584-592. doi:10.1002/mus.23969.
227. Abe T, Thiebaud RS, Loenneke JP, Loftin M, Fukunaga T. Prevalence of site-specific thigh sarcopenia in Japanese men and women. *Age (Omaha).* 2014;36(1):417-426. doi:10.1007/s11357-013-9539-6.
228. Rosenberg JG, Ryan ED, Sobolewski EJ, Scharville MJ, Thompson BJ, King GE. Reliability of panoramic ultrasound imaging to simultaneously examine muscle size and quality of the medial gastrocnemius. *Muscle and Nerve.* 2014;49(May):736-740. doi:10.1002/mus.24061.
229. Nishihara K, Kawai H, Hayashi H, et al. Frequency analysis of ultrasonic echo intensities of the skeletal muscle in elderly and young individuals. *Clin Interv Aging.* 2014;(9):1471-1478. doi:10.2147/CIA.S67820.
230. Ryan ED, Rosenberg JG, Scharville MJ, Sobolewski EJ, Tweedell AJ, Kleinberg CR. Pennation Angle Does Not Influence the Age-Related Differences in Echo Intensity of the Medial Gastrocnemius. *Ultrasound Med Biol.* 2015;41(2):618-621. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2014.08.004.
231. Pillen S, Tak RO, Zwarts MJ, et al. Skeletal Muscle Ultrasound: Correlation Between Fibrous Tissue and Echo Intensity. *Ultrasound Med Biol.* 2009;35(3):443-446. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2008.09.016.
232. Cadore EL, Izquierdo M, Conceição M, et al. Echo intensity is associated with skeletal muscle power and cardiovascular performance in elderly men. *Exp Gerontol.* 2012;47(6):473-478. doi:10.1016/j.exger.2012.04.002.

233. Zaidman CM, Malkus EC, Siener C, Florence J, Pestronk A, Al-Lozi M. Qualitative and quantitative skeletal muscle ultrasound in late-onset acid maltase deficiency. *Muscle Nerve*. 2011;44(3):418-423. doi:10.1002/mus.22088.
234. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33(1):159-174. doi:10.2307/2529310.
235. Pillen S, van Keimpema M, Nievelstein R a J, Verrips A, van Kruijsbergen-Raijmann W, Zwarts MJ. Skeletal muscle ultrasonography: Visual versus quantitative evaluation. *Ultrasound Med Biol*. 2006;32(9):1315-1321. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2006.05.028.
236. Drakonaki EE, Allen GM, Wilson DJ. Ultrasound elastography for musculoskeletal applications. *Br J Radiol*. 2012;85(1019):1435-1445. doi:10.1259/bjr/93042867.
237. Ophir J. Elastography: A quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues. *Ultrason Imaging*. 1991;13(2):111-134. doi:10.1016/0161-7346(91)90079-W.
238. Garra BS. Imaging and estimation of tissue elasticity by ultrasound. *Ultrasound Q*. 2007;23(4):255-268. doi:10.1097/ruq.0b013e31815b7ed6.
239. Garra BS. Elastography: current status, future prospects, and making it work for you. *Ultrasound Q*. 2011;27(3):177-186. doi:10.1097/RUQ.0b013e31822a2138.
240. Botar-Jid C, Vasilescu D, Damian L, Dumitriu D, Ciurea A, Dudea SM. Musculoskeletal sonoelastography. Pictorial essay. *Med Ultrason*. 2012;14(3):239-245.
241. Drakonaki EE, Allen GM, Wilson DJ. Real-time ultrasound elastography of the normal Achilles tendon: reproducibility and pattern description. *Clin Radiol*. 2009;64:1196-1202. doi:10.1016/j.crad.2009.08.006.
242. De Zordo T, Fink C, Feuchtnner GM, Smekal V, Reindl M, Klauser AS. Real-time sonoelastography findings in healthy Achilles tendons. *Am J Roentgenol*. 2009;193(August):134-138. doi:10.2214/AJR.08.1843.
243. Klauser AS, Faschingbauer R, Jaschke WR. Is sonoelastography of value in assessing tendons? *Semin Musculoskelet Radiol*. 2010;14(3):323-333. doi:10.1055/s-0030-1254521.
244. Botar-Jid C, Damian L, Dudea SM, Vasilescu D, Rednic S, Badea R. The contribution of ultrasonography and sonoelastography in assessment of myositis. *Med Ultrason*. 2010;12(2):120-126.

245. Cosgrove D, Piscaglia F, Bamber J, et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 2: Clinical applications. *Ultraschall Med.* 2013;34:238-253. doi:10.1055/s-0033-1335375.
246. Bamber J, Cosgrove D, Dietrich CF, et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 1: Basic principles and technology. *Ultraschall Med.* 2013;34(2):169-184. doi:10.1055/s-0033-1335205.
247. Bhatia KSS, Rasalkar DD, Lee YP, et al. Real-Time Qualitative Ultrasound Elastography of Miscellaneous Non-Nodal Neck Masses: Applications and Limitations. *Ultrasound Med Biol.* 2010;36:1644-1652. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2010.07.010.
248. Niitsu M, Michizaki A, Endo A, Takei H, Yanagisawa O. Muscle hardness measurement by using ultrasound elastography: a feasibility study. *Acta radiol.* 2011;52:99-105. doi:10.1258/ar.2010.100190.
249. Sarvazyan AP, Urban MW, Greenleaf JF. Acoustic Waves in Medical Imaging and Diagnostics. *Ultrasound Med Biol.* 2013;39(7):1133-1146. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2013.02.006.
250. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, et al. Physical activity and public health: Updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(8):1423-1434. doi:10.1249/mss.0b013e3180616b27.
251. Charlson ME, Pompei P, Ales KL, MacKenzie R. A new method of classifying prognostic in longitudinal studies: development and validation. *J Chronic Dis.* 1987;40:373-383. doi:0021-9681/87.
252. Martínez Velilla NI, Gaminde Inda I De. Índices De Comorbilidad Y Multimorbilidad En El Paciente Anciano. *Med Clin (Barc).* 2011;136(10):441-446. doi:10.1016/j.medcli.2010.01.018.
253. Narici M V., Roi GS, Landoni L, Minetti a. E, Cerretelli P. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1989;59(4):310-319. doi:10.1007/BF02388334.
254. Tok F, Ozçakar L, Safaz I, Alaca R. Effects of botulinum toxin-A on the muscle architecture of stroke patients: the first ultrasonographic study. *J Rehabil Med.* 2011;43(11):1016-1019.
255. Park GY, Kwon DR. Sonoelastographic evaluation of medial gastrocnemius muscles intrinsic stiffness after rehabilitation therapy with botulinum toxin a injection in spastic cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012;93(11):2085-2089. doi:10.1016/j.apmr.2012.06.024.

256. Kwon DR, Park GY, Lee SU, Chung I. Spastic Cerebral Palsy in Children: Dynamic Sonoelastographic Findings of Medial Gastrocnemius. *Radiology*. 2012;263(3):794-801. doi:10.1148/radiol.12102478.
257. Sayer AA, Kirkwood T. Grip strength and mortality: a biomarker of ageing? *Lancet*. 2015;386(9990):226-227.
258. Leong DP, Teo KK, Rangarajan S, et al. Prognostic value of grip strength: findings from the Prospective Urban Rural Epidemiology (PURE) study. *Lancet*. 2015;386(9990):266-273. doi:10.1016/S0140-6736(14)62000-6.
259. Stone C a., Nolan B, Lawlor PG, Kenny RA. Hand-held dynamometry: Tester strength is paramount, even in frail populations. *J Rehabil Med*. 2011;43(9):808-811. doi:10.2340/16501977-0860.
260. Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, et al. A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J Gerontol*. 1994;49(2):M85-M94. doi:10.1093/geronj/49.2.M85.
261. Meretta BM, Whitney SL, Marchetti GF, Sparto PJ, Muirhead RJ. The five times sit to stand test: responsiveness to change and concurrent validity in adults undergoing vestibular rehabilitation. *J Vestib Res*. 2006;16(2006):233-243. doi:Article.
262. Schaubert KL, Bohannon RW. Reliability and validity of three strength measures obtained from community-dwelling elderly persons. *J Strength Cond Res*. 2005;19(3):717-720. doi:10.1519/R-15954.1.
263. Friden J, Lieber RL. Spastic muscle cells are shorter and stiffer than normal cells. *Muscle Nerve*. 2003;27(2):157-164. doi:10.1002/mus.10247.
264. Kirchengast S, Huber J. Gender and age differences in lean soft tissue mass and sarcopenia among healthy elderly. *Anthropol Anz*. 2009;67(2):139-151. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19739465>.
265. Sirola J, Kröger H. Similarities in acquired factors related to postmenopausal osteoporosis and sarcopenia. *J Osteoporos*. 2011;2011:536735. doi:10.4061/2011/536735.
266. Callahan DM, Bedrin NG, Subramanian M, et al. Age-related structural alterations in human skeletal muscle fibers and mitochondria are sex specific: relationship to single-fiber function. *J Appl Physiol*. 2014;116(12):1582-1592. doi:10.1152/japplphysiol.01362.2013.
267. Strugnell C, Dunstan DW, Magliano DJ, Zimmet PZ, Shaw JE, Daly RM. Influence of age and gender on fat mass, fat-free mass and skeletal muscle mass among Australian adults: the Australian diabetes, obesity and lifestyle

study (AusDiab). *J Nutr Health Aging*. 2014;18(5):540-546.
doi:10.1007/s12603-014-0464-x.

268. Seymour JM, Ward K, Sidhu PS, et al. Ultrasound measurement of rectus femoris cross-sectional area and the relationship with quadriceps strength in COPD. *Thorax*. 2009;64(5):418-423. doi:10.1136/thx.2008.103986.
269. Rech A, Radaelli R, Goltz FR, da Rosa LHT, Schneider CD, Pinto RS. Echo intensity is negatively associated with functional capacity in older women. *Age (Omaha)*. 2014;36(5). doi:10.1007/s11357-014-9708-2.

10 Ilustraciones

Ilustración 1. Fuerza de garra. Posición para la realización del test isométrico de fuerza de garra o handgrip.....	72
Ilustración 2. Plataforma de fuerzas. Imagen de la plataforma de fuerzas incluida en la pista de marcha. El individuo debe colocarse sobre la plataforma y mantener la bipedestación estática para la realización de la posturografía estática.....	73
Ilustración 3. Plataforma baropodométrica. Imagen de la cinta sin fin utilizada en nuestro estudio, dispone de una plataforma baropodométrica incluida en su base bajo el tapiz rodante.....	75
Ilustración 4. Baropodometría estática. Ejemplo de la visualización en pantalla durante el registro.....	75
Ilustración 5. Test de apoyo monopodal. Para la realización del test de apoyo monopodal el individuo debe mantener la bipedestación con el apoyo de un solo pie sin ayudas.....	77
Ilustración 6. Timed Up and Go Test. Para la realización del TUG el paciente debe comenzar sentado en una silla, deberá levantarse, recorrer una distancia de 3 metros, dar la vuelta y recorrer de nuevo los 3 metros hasta sentarse en la silla de inicio.....	79
Ilustración 7. Four Square Step Test. Disposición de los bastones sobre el suelo y numeración de los cuadrados. La secuencia a realizar será “2, 3, 4, 1, 4, 3, 2, 1”	80
Ilustración 8. Ejemplo de estudio por DEXA de cuerpo completo y de los resultados de análisis de composición corporal.....	135
Ilustración 9. Ejemplo de estudio por TC a nivel de muslo. (A) Se observa aumento de grasa intramuscular más evidente en compartimentos posteriores. (B) Imagen de músculo normal.....	136

- Ilustración 10.** Estudio de RM muscular. Ejemplo de estudio por RM T1-weighted spin-echo axial de muslo. (A) Imagen con disminución de la masa muscular relativa. (B) Imagen de segmentación muscular, permite calcular la fracción grasa..... 137
- Ilustración 11.** Características histológicas del músculo esquelético. (A) Ilustración de las fibras musculares rodeadas por tejido conjuntivo: endomisio, agrupadas en fascículos rodeados por el perimisio para conformar el músculo rodeado por el epimisio. Sección transversal (B) y longitudinal (C) de músculo esquelético..... 139
- Ilustración 12.** Imagen ecográfica de un músculo en corte longitudinal. Encuadrado en azul, imagen ecográfica correspondiente a un corte longitudinal de un músculo "en pluma de ave". Se observa un fondo hipoecogénico (correspondiente a las fibras musculares con alto contenido en agua) sobre el que destacan bandas hiperecogénicas alineadas (correspondiente al tejido conectivo que rodea los haces musculares)..... 141
- Ilustración 13.** Imagen ecográfica de un músculo en corte transversal. Encuadrado en amarillo, imagen correspondiente a un corte transversal de un músculo, imagen "en cielo estrellado" con fondo hipoecogénico (correspondiente a fibras musculares con alto contenido en agua) sobre el que destaca un punteado hiperecogénico (correspondiente a la sección transversal del tejido conectivo que rodea los haces musculares)..... 141
- Ilustración 14.** Músculo normal y sarcopénico. Imágenes ecográficas de cara anterior de muslo, corte transversal. (A) La flecha azul marca el grosor muscular correspondiente a recto anterior y vasto intermedio. (B) La flecha amarilla marca el grosor muscular correspondiente a recto anterior y vasto intermedio en un individuo sarcopénico. (C) El sombreado azul marca el área transversal de recto anterior. (D) El sombreado amarillo marca el área transversal de recto anterior en un individuo sarcopénico..... 145

- Ilustración 15.** Ecogenicidad en músculo joven y anciano. (A) Imagen ecográfica muscular transversal de un individuo joven, músculo de predominio hipoecogénico y patrón característico en cielo estrellado. (B) Imagen ecográfica muscular transversal de un individuo anciano, se observan cambios en el patrón y un aumento global de la ecogenicidad muscular..... 146
- Ilustración 16.** Valoración cualitativa de la ecogenicidad muscular utilizando la escala de Heckmatt. Grados: (1) normal, (2) discreto aumento de la ecogenicidad muscular con reflexión normal del hueso, (3) moderado aumento de ecogenicidad muscular con disminución de la reflexión del hueso, (4) aumento severo de la ecogenicidad muscular con ausencia de reflexión ósea..... 147
- Ilustración 17.** Ejemplo de estudio sonoelastográfico a la izquierda e imagen ecográfica modo - B a la derecha. Las flechas indican la misma área en ambos modos. En el estudio elastográfico se evidencia la presencia de una zona redondeada de color azul frente al color predominantemente verde circundante, y que corresponde a un área que se comporta de forma diferente al tejido que le rodea cuando se aplica una compresión manual con la sonda..... 150
- Ilustración 18.** Sonoelastografía. Ejemplo de realización de un estudio muscular por sonoelastografía en recto anterior, la imagen muestra la metodología utilizada en nuestro estudio..... 151
- Ilustración 19.** Imagen correspondiente a recto anterior en individuo joven y sano en reposo. A la izquierda la imagen en Modo – B, a la derecha elastograma del músculo en forma de mosaico no homogéneo de dureza intermedia o alta (verde/azul), áreas parcheadas de áreas más blandas y más duras (rojas) en la zona más periférica del elastograma..... 153
- Ilustración 20.** Imagen ecográfica de cara anterior de muslo. A la derecha se marcan: cortical de fémur en amarillo, grosor del vasto intermedio en azul, grosor de recto anterior en morado..... 160

Ilustración 21. La línea verde marca el perímetro del recto femoral y permite el cálculo del área seleccionada. El valor se expresa en cm ² en el ángulo superior derecho de la imagen.....	161
Ilustración 22. La flecha verde en la imagen de la derecha marca el grosor del tejido celular subcutáneo.....	162
Ilustración 23. La flecha azul en la imagen de la derecha marca el grosor muscular que incluye vasto intermedio y recto anterior.....	162
Ilustración 24. Imagen ecográfica de cara anterior de muslo. (A) Ecografía recogida ejerciendo mínima presión sobre el transductor. (B) Ecografía recogida ejerciendo máxima presión sobre el transductor.....	163
Ilustración 25. Fuerza de garra. Posición para la realización del test isométrico de fuerza de garra o handgrip.....	167
Ilustración 26. Test isométrico de extensión de rodilla. Posición y colocación del dinamómetro manual para la valoración de la fuerza isométrica de extensión de rodilla.....	168
Ilustración 27. Timed Up and Go Test. Para la realización del TUG el paciente debe comenzar sentado en una silla, deberá levantarse, recorrer una distancia de 3 metros, dar la vuelta y recorrer de nuevo los 3 metros hasta sentarse en la silla de inicio.....	170
Ilustración 28. Five Times Sit-to-stand test. El individuo debe pasar de estar sentado a estar completamente en pie cinco veces seguidas sin ayudarse de las extremidades superiores.....	172

11 Figuras

Figura 1. Representación de una zancada o ciclo de la marcha.....	42
Figura 2. Representación del ciclo de la marcha y sus fases.....	43
Figura 3. Representación de las subfases del ciclo de la marcha.....	45
Figura 4. Informe de baropodometría estática. 4.a: Registro de las presiones plantares diferenciando antepié y retropié. 4.b: Registro de la distribución del peso corporal en porcentaje sobre cada una de las extremidades inferiores. 4.c: Información sobre el registro del CoP (área de confianza 95% y velocidad media).....	75
Figura 5. Parámetros temporoespaciales de la marcha. Ejemplo de un informe del estudio de los parámetros temporoespaciales de la marcha a velocidad autoseleccionada.....	83
Figura 6. En la imagen se observa la presión axial cíclica ejercida con el transductor sobre la superficie (línea punteada). Se muestra la variación de los tejidos en función de la presión ejercida, produciéndose mayor cambio o deformabilidad cuanto mayor es la presión ejercida y cuanto más blandos son los tejidos (en la figura, representados en color azul), y menor deformabilidad cuanto más rígidas son las estructuras (representada en color verde)	151
Figura 7. Disposición de los bastones sobre el suelo y numeración de los cuadrados. La secuencia a realizar será “2, 3, 4, 1, 4, 3, 2, 1”.....	171

12 Tablas

Tabla 1. Técnicas de medición de la masa muscular, fuerza muscular y rendimiento físico propuestas por el EWOSP.....	20
Tabla 2. Test de fragilidad. En esta tabla se recogen algunos de los test descritos para la identificación de individuos con fragilidad física.....	28
Tabla 3. Criterios de fragilidad de Fried et al.....	29
Tabla 4. Criterios de fragilidad de Fried et al.....	69
Tabla 5. Características generales de la muestra.....	91
Tabla 6. Análisis de las diferencias en los criterios de fragilidad de Fried entre individuos frágiles y robustos.....	92
Tabla 7. Análisis de las diferencias en los criterios de fragilidad de Fried entre individuos frágiles y prefrágiles.....	93
Tabla 8. Análisis de las diferencias en los criterios de fragilidad de Fried entre individuos prefrágiles y robustos.....	94
Tabla 9. Resultados de bioimpedanciometría en función del sexo y fenotipo de fragilidad.....	95
Tabla 10. Análisis de los resultados del estudio de bioimpedanciometría entre individuos frágiles y robustos.....	96
Tabla 11. Análisis de los resultados del estudio de bioimpedanciometría entre individuos frágiles y prefrágiles.....	97
Tabla 12. Análisis de los resultados del estudio de bioimpedanciometría entre individuos prefrágiles y robustos.....	98
Tabla 13. Resultados de la valoración del equilibrio.....	99

Tabla 14. Resultados y análisis de la diferencias entre los fenotipos de frágil y robusto.....	100
Tabla 15. Resultados y análisis de la diferencias entre los fenotipos de frágil y prefrágil.....	101
Tabla 16. Resultados y análisis de la diferencias entre los fenotipos de prefrágil y robusto.....	102
Tabla 17. Resultados del estudio de los parámetros temporoespaciales de la marcha.....	103
Tabla 18. Comparación de los resultados de los parámetros temporoespaciales de la marcha entre los fenotipos frágil y robusto.....	104
Tabla 19. Comparación de los resultados de los parámetros temporoespaciales de la marcha entre los fenotipos frágil y prefrágil.....	105
Tabla 20. Comparación de los resultados de los parámetros temporoespaciales de la marcha entre los fenotipos prefrágil y robusto.....	106
Tabla 21. Resultados del Cuestionario EuroQol en los tres grupos.....	107
Tabla 22. Resultados del Cuestionario EuroQol, comparación entre individuos frágiles y robustos.....	108
Tabla 23. Resultados del Cuestionario EuroQol, comparación entre individuos frágiles y prefrágiles.....	109
Tabla 24. Resultados del Cuestionario EuroQol, comparación entre individuos prefrágiles y robustos.....	110
Tabla 25. Valoración de Sarcopenia por imagen propuesta por Boutin.....	143
Tabla 26. Criterios de fragilidad de Fried et al.....	158
Tabla 27. Características de la muestra de adultos mayores según fenotipo de fragilidad.....	185
Tabla 28. Características de la muestra de individuos jóvenes y comparación con la muestra de adultos mayores.....	186

Tabla 29. Análisis de la composición corporal por bioimpedanciometría en ancianos por fenotipo de fragilidad.....	187
Tabla 30. Análisis de la composición corporal por bioimpedanciometría en ancianos por fenotipo de fragilidad.....	188
Tabla 31. Validación de la técnica ecográfica intra- e inter – observador.....	189
Tabla 32. Resultados del estudio de la fuerza muscular y test funcionales.....	190
Tabla 33. Resultados de la valoración de la estructura muscular y compresibilidad con ecografía de cara anterior de muslo según fenotipo de fragilidad.....	191
Tabla 34. Grosor muscular de cara anterior de muslo en ancianos según el fenotipo de fragilidad descrito por Fried.....	192
Tabla 35. Resultados de la valoración de la estructura muscular y compresibilidad con ecografía de cara anterior de muslo por grupos de edad (jóvenes y mayores).....	193
Tabla 36. Grosor muscular de cara anterior de muslo en individuos jóvenes y mayores.....	194
Tabla 37. Resultados de la valoración de la estructura muscular y compresibilidad con ecografía de cara anterior de muslo según fenotipo de fragilidad.....	195
Tabla 38. Resultados de la valoración de la estructura muscular y compresibilidad con ecografía de cara anterior de muslo por grupos de edad (jóvenes y mayores) y sexo.....	196
Tabla 39. Resultados de ecogenicidad y sonoelastografía del recto anterior según fenotipo de fragilidad.....	197
Tabla 40. Ecogenicidad muscular de recto anterior en individuos ancianos según el fenotipo de fragilidad de Fried.....	198
Tabla 41. Resultados de ecogenicidad y sonoelastografía del recto anterior según fenotipo de fragilidad y sexo.....	199

Tabla 42. Resultados de ecogenicidad y sonoelastografía del recto anterior por edad.....	200
Tabla 43. Ecogenicidad muscular de recto anterior en individuos jóvenes y ancianos.....	201
Tabla 44. Resultados de ecogenicidad y sonoelastografía del Recto Anterior por edad y sexo.....	202
Tabla 45. Resultados de coeficientes de correlación entre los parámetros ecográficos cuantitativos y cualitativos musculares en ancianos.....	203
Tabla 46. Tabla de correlación entre ecogenicidad y grosor muscular. Correlación entre ecogenicidad muscular de recto anterior y grosor muscular de cara anterior de en ancianos (Tabla superior) y en individuos jóvenes (Tabla inferior).....	204
Tabla 47. Resultados de coeficientes de correlación entre los parámetros ecográficos cuantitativos y cualitativos musculares en ancianos.....	205
Tabla 48. Correlación entre grosor muscular y capacidad funcional. Como capacidad funcional se incluye la velocidad de marcha y los test clínicos: TUG, FSST y FTSTS.....	206
Tabla 49. Correlación entre grosor muscular y valoración de la fuerza en ancianos. Para el estudio de la fuerza se han incluido la fuerza de garra y la fuerza isométrica de extensión de rodilla.....	207
Tabla 50. Resultados de coeficientes de correlación entre los parámetros ecográficos musculares, fuerza y test de capacidad funcional en ancianos según el fenotipo de fragilidad.....	208
Tabla 51. Resultados de coeficientes de correlación entre los parámetros ecográficos musculares, fuerza y test de capacidad funcional en ancianos según el fenotipo de fragilidad.....	209
Tabla 52. Resultados de coeficientes de correlación entre los parámetros ecográficos musculares y fuerza de garra en la población joven.....	210

13 ANEXOS

13.1 Anexo 1: EuroQoL¹⁰⁶

CUESTIONARIO GENÉRICO DE CALIDAD DE VIDA: EUROQoL-5D

Marque con una cruz la respuesta de cada apartado que mejor describa su estado de salud en el día de HOY.

Movilidad

- No tengo problemas para caminar
- Tengo algunos problemas para caminar
- Tengo que estar en la cama

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

Cuidado Personal

- No tengo problemas con el cuidado personal
- Tengo algunos problemas para lavarme o vestirme
- Soy incapaz de lavarme o vestirme

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

Actividades cotidianas (ej: trabajar, estudiar, hacer las tareas domésticas, actividades familiares o actividades durante el tiempo libre)

- No tengo problemas para realizar mis actividades cotidianas
- Tengo algunos problemas para realizar mis actividades cotidianas
- Soy incapaz de realizar mis actividades cotidianas

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

Dolor / Malestar

- No tengo dolor ni malestar
- Tengo moderado dolor o malestar
- Tengo mucho dolor o malestar

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

Ansiedad / Depresión

- No estoy ansioso ni deprimido
- Estoy moderadamente ansioso o deprimido
- Estoy muy ansioso o deprimido

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

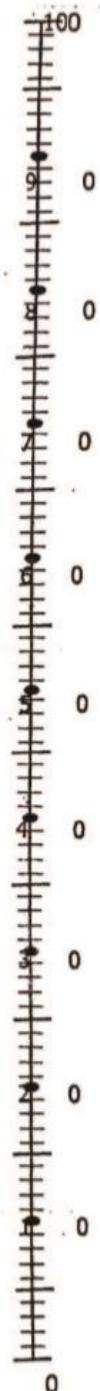
TERMÓMETRO EUROQoL DE AUTOVALORACIÓN DEL ESTADO DE SALUD

El mejor estado
de salud
imaginable

Para ayudar a la gente a describir lo bueno o malo que es su estado de salud hemos dibujado una escala parecida a un termómetro en el cual se marca con un 100 el mejor estado de salud que pueda imaginarse y con un 0 el peor estado de salud que pueda imaginarse.

Nos gustaría que nos indicara en esta escala, en su opinión, lo bueno o malo que es su estado de salud en el día de HOY. Por favor, dibuje una línea desde el casillero donde dice "Su estado de salud hoy" hasta el punto del termómetro que en su opinión indique lo bueno o malo que es su estado de salud en el día de HOY.

SU ESTADO DE
SALUD HOY



El peor estado
de salud
imaginable

FIN DEL CUESTIONARIO, MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

13.2 Anexo 2: Índice de Barthel¹⁰⁹

COMER 0 = incapaz

5 = necesita ayuda para cortar, extender mantequilla, usar condimentos, etc.

10 = independiente (la comida esta al alcance de la mano)

TRASLADARSE ENTRE LA SILLA Y LA CAMA

0 = incapaz, no se mantiene sentado

5 = necesita ayuda importante (una persona o dos personas), puede estar sentado

10 = necesita algo de ayuda (una pequeña ayuda física o ayuda verbal)

15 = independiente

ASEO PERSONAL

0 = necesita ayuda con el aseo personal

5 = independiente para lavarse la cara, manos y dientes, peinarse y afeitarse

USO DEL RETRETE

0 = dependiente

5 = necesita alguna ayuda, pero puede hacer algo sólo

10 = independiente (entrar y salir, limpiarse y vestirse)

BAÑO / DUCHA

0 = dependiente

5 = independiente para bañarse o ducharse

DESPLAZARSE

0 = inmóvil

5 = independiente en silla de ruedas en 50 m

10 = anda con pequeña ayuda de una persona (física o verbal)

15 = independiente al menos 50 m con cualquier tipo de muleta, excepto andador

SUBIR Y BAJAR ESCALERAS

0 = incapaz

5 = necesita ayuda física o verbal, puede llevar cualquier tipo de muleta

10 = independiente para subir y bajar

VESTIRSE Y DESVERTIRSE

0 = dependiente

5 = necesita ayuda, pero puede hacer la mitad aproximadamente sin ayuda

10 = independiente, incluyendo botones, cremalleras, cordones, etc

CONTROL DE HECES

0 = incontinente (o necesita que le suministren enema)

5 = accidente excepcional (uno por semana)

10 = continente

CONTROL ORINA

0 = incontinente o sondado incapaz de cambiarse la bolsa

5 = accidente excepcional (máximo uno al día).

10 = continente durante al menos 7 días

Total = 0 -100 puntos (0 - 90 puntos si usa silla de ruedas)

13.3 Anexo 3: Índice de comorbilidad de Charlson²⁵¹

Infarto de miocardio: debe existir evidencia en la historia clínica de que el paciente fue hospitalizado por ello, o bien evidencias de que existieron cambios en enzimas y/o en ECG.	1
Insuficiencia cardiaca: debe existir historia de disnea de esfuerzo y/o signos de insuficiencia cardiaca en exploración física que respondieron favorablemente a tratamiento con digital, diuréticos o vasodilatadores. Los pacientes que estén tomando estos tratamientos pero no podamos constatar que mejoría clínica de síntomas y/o signos, no se incluirán como tales.	1
Enfermedad arterial periférica: incluye claudicación intermitente, intervenidos de by-pass arterial periférico, isquemia arterial aguda y aquellos con aneurisma de aorta (torácica o abdominal) de ≥ 6 cm de diámetro.	1
Enfermedad cerebrovascular: pacientes con AVC con mínimas secuelas o AVC transitorio.	1
Demencia: pacientes con evidencia en la historia clínica de deterioro cognitivo crónico.	1
Enfermedad respiratoria crónica: debe existir evidencia en la historia clínica, en la exploración física y en la exploración complementaria de cualquier enfermedad respiratoria crónica, incluyendo EPOC y asma.	1
Enfermedad del tejido conectivo: incluye lupus, polimiositis, enfermedad mixta, polimialgia reumática, arteritis células gigantes y artritis reumatoide.	1
Úlcera gastroduodenal: incluye a aquellos que han recibido tratamiento por un ulcus y aquellos que tuvieron sangrado por úlceras.	1
Hepatopatía crónica leve: sin evidencia de hipertensión portal, incluye pacientes con hepatitis crónica.	1
Diabetes: incluye los tratados con insulina o hipoglicemiantes, pero sin complicaciones tardías, no se incluirán los tratados únicamente con dieta.	1
Hemiplejia: evidencia de hemiplejia o paraplejia consecuencia de un AVC u otra condición.	2
Insuficiencia renal crónica moderada/severa: incluye pacientes en diálisis o bien con creatininas > 3mg/dl objetivadas de forma repetida y mantenida.	2
Diabetes con lesión en órganos diana: evidencia de retinopatía, neuropatía o nefropatía, se incluyen también antecedentes de cetoacidosis o descompensación hiperosmolar.	2
Tumor o neoplasia sólida: incluye pacientes con cáncer pero sin metástasis documentadas.	2
Leucemia: incluye leucemia mieloide crónica, leucemia linfática crónica, policitemia vera, otras leucemias crónicas y todas las leucemias agudas.	2
Linfoma: incluye todos los linfomas, Waldestrom y mieloma.	2
Hepatopatía crónica moderada / severa: con evidencia de hipertensión portal (ascitis, varices esofágicas o encefalopatía).	3
Tumor o neoplasia sólida con metástasis	6
Sida definido: no incluye portadores asintomáticos	6
Indice de comorbilidad (suma de puntuación total) =	