

**VALIDEZ DE UNA HERRAMIENTA DE
ANÁLISIS DE LA ECOGRAFÍA MUSCULAR
BASADA EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA
VALORACIÓN NUTRICIONAL EN EL PACIENTE
CON PATOLOGÍA NEURODEGENERATIVA**



TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Medicina 2019/2025

ALUMNA: ELENA SANTOS PASCUAL

TUTOR: JUAN JOSÉ LÓPEZ GÓMEZ

RESÚMEN.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS.....	5
a. Primarios.....	5
b. Secundarios.....	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
a. Diseño.....	5
b. Sujetos del estudio.....	6
c. Variables.....	6
d. Análisis de datos.....	8
e. Búsqueda bibliográfica.....	8
4. RESULTADOS.....	8
a. Descripción de la muestra.....	8
b. Relación entre parámetros ecográficos y parámetros de evaluación de composición y función corporal de uso clínico habitual.....	10
c. Diferencias en los parámetros ecográficos entre las distintas patologías neurológicas.....	12
d. Relación entre los distintos parámetros ecográficos y el grado de desnutrición y sarcopenia del paciente con patología neurológica	13
5. DISCUSIÓN.....	15
6. CONCLUSIÓN.....	18
7. BIBLIOGRAFÍA.....	19
ANEXOS.....	21

RESÚMEN

Introducción: Las enfermedades neurodegenerativas afectan a la funcionalidad y calidad de vida de los pacientes, causando un deterioro progresivo de su estado nutricional, con pérdida de masa corporal y sarcopenia. Esto aumenta la morbimortalidad y empeora su pronóstico. Por ello, cobra gran importancia la valoración nutricional precoz, aunque muchas de las herramientas de evaluación nutricional de la práctica clínica diaria presentan limitaciones, especialmente en patologías neurológicas.

Objetivos: El objetivo de este estudio es validar una herramienta de ecografía basada en inteligencia artificial que esquive las limitaciones de otras herramientas como la falta de accesibilidad o la variabilidad entre observadores. *Material y Métodos:* Para llevar a cabo el estudio, se han recogido datos de anamnesis, antropometría, bioimpedanciometria, dinamometría e imágenes de ecografía muscular valoradas por un observador y por un sistema de análisis de inteligencia artificial (PIIXMED®, DawakoMedtech, S.L). La inteligencia artificial genera índices de calidad, que se expresan como el porcentaje de masa muscular (MiT), de grasa (FATiT), o de tejido no graso no muscular (NMNFiT) de la región de interés analizada. También mide automáticamente las dimensiones (cm) de la grasa subcutánea (TAS) y del músculo (GRA y ARA)

Resultados: En el estudio han participado 125 pacientes con distintas patologías como: enfermedad de motoneurona, esclerosis múltiple, enfermedad de Parkinson, distrofia miotónica de Steinert, ictus, demencia o parálisis cerebral. Los datos revelan correlación entre los parámetros de la bioimpedanciometria y la dinamometría con aquellos calculados por el sistema de inteligencia artificial. Se observó una correlación significativa entre el ángulo de fase y el grosor muscular ($r = 0.53$; $p < 0.01$), así como con el área muscular ($r = 0.54$; $p < 0.01$). También se demostró correlación con la fuerza de prensión, el grosor y área muscular con coeficientes de $r = 0.51$ y $r=0.49$ respectivamente ($p < 0.01$ en ambos casos). En cuanto a las diferencias ecográficas entre patologías se vio que las neurodegenerativas presentan menor proporción de masa muscular (42,40% vs 47.23%; $p < 0.01$), pero mayor de tejido conjuntivo (15.65% vs 13.55%; $p = 0.04$) y graso (41.95% vs 39.22%; $p < 0.01$) que las no neurodegenerativas. *Conclusiones:* Los nuevos parámetros ecográficos obtenidos mediante inteligencia artificial muestran una correlación significativa con herramientas como la bioimpedancia y dinamometría. Además, se ha identificado que enfermedades neurológicas como la de motoneurona, el Parkinson y la distrofia de Steinert asocian pérdida de masa muscular, con aumento del tejido graso y conjuntivo.

1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades neurológicas afectan a la integridad del sistema nervioso, según la duración de las alteraciones pueden ser agudas o crónicas. Los trastornos crónicos son un grupo heterogéneo de patologías neurodegenerativas caracterizadas por occasionar disfunción progresiva con un impacto muy significativo en la calidad de vida de los pacientes(1). En España entre 21-23 millones de personas padecen algún trastorno neurológico. No solo en edades avanzadas, sino también en población joven (2). A nivel mundial, las patologías que afectan al sistema nervioso son la principal causa de perdida de años de vida saludables, afectando al 43,1% de la población mundial (3,40 mil millones de personas) (1).

Estas enfermedades, tienen un impacto significativo en el estado nutricional de los pacientes. Además de la parálisis, la debilidad muscular o el deterioro cognitivo, la disfagia juega un papel importante en el riesgo de desnutrición. La esclerosis lateral amiotrófica, el Parkinson o la esclerosis múltiple son algunas de las patologías neuronales con mayor prevalencia de disfagia(3). Este deterioro no solo conlleva problemas nutricionales, sino que también asocia complicaciones serias, como la broncoaspiración(4). Además, factores como el hipermetabolismo, la inflamación, alteraciones del estado de ánimo o la polifarmacia aceleran el deterioro nutricional de estos pacientes. Este deterioro conlleva la pérdida de masa corporal, la aparición de sarcopenia y deterioro funcional, lo que compromete la calidad de vida y agrava su pronóstico(5). Así mismo, se ha comprobado que aquellos pacientes con mejor estado nutricional presentan mayor tasa de supervivencia(6). Teniendo en cuenta la importancia del deterioro nutricional en la evolución de estas patologías, el desarrollo de complicaciones y la supervivencia, será necesario llevar a cabo un seguimiento nutricional exhaustivo de estos pacientes.

La antropometría clásica puede no ser suficiente en la evaluación de estos pacientes debido a sus características especiales. Por ejemplo, el índice de masa corporal solo establece una relación entre el peso y la talla, como no distingue entre músculo y grasa corporal se puede interpretar erróneamente en pacientes que tengan alteraciones en la composición corporal como pérdida de masa muscular o retención de líquidos (7). En consecuencia, se debe valorar tanto la composición corporal como el estado funcional de los pacientes. Esto se puede lograr mediante la evaluación morfológica, empleando técnicas como la bioimpedanciometria (BIA) o la dinamometría. La BIA estudia la composición corporal de forma indirecta midiendo la

capacidad que tienen los tejidos de conducir la electricidad, tejidos con alto contenido en agua son buenos conductores, por el contrario, la grasa o el hueso no son buenos conductores. El ángulo de fase tiene una relación positiva con la reactancia, pero es inversamente proporcional a la resistencia a la conducción. Este parámetro también sirve como marcador pronóstico y es indicador de riesgo de morbimortalidad, sin embargo, la ausencia de valores de referencia para distintas patologías limita su utilidad(8). La dinamometría evalúa la funcionalidad del músculo midiendo la fuerza de presión manual. Alguna de sus limitaciones son la necesidad de colaboración del paciente o la ausencia de protocolos de medida (9).

El deterioro funcional de los pacientes neurológicos puede limitar el acceso a las distintas técnicas de valoración nutricional. Por ello, es necesario desarrollar nuevas formas de diagnóstico o mejorar las técnicas existentes. La ecografía permite el estudio morfológico y estructural de la grasa o la masa muscular. Determina parámetros de la composición muscular, como pueden ser, el grosor muscular, la longitud de las fibras y los ángulos de penación. Es una herramienta asequible, accesible y que no emplea radiación ionizante, estas ventajas la convierten en una técnica en crecimiento (9).

Estudios demuestran que la ecografía de músculo recto femoral es una herramienta consistente y sencilla en la evaluación del estado nutricional de los pacientes (10) (11). Sin embargo, existen ciertas limitaciones, ya que es necesario establecer patrones de evaluación de los resultados. Además, se trata de una técnica observador dependiente, por lo que los resultados pueden variar de unos observadores a otros (9). En este contexto, las herramientas basadas en inteligencia artificial (IA) permiten automatizar el análisis de imágenes, estandarizar la interpretación de datos y mejorar la precisión diagnóstica. Estudios recientes han demostrado que la IA es capaz de detectar patrones musculares y cuantificar la calidad del tejido muscular con alta fiabilidad(12). La inteligencia artificial, a partir de datos preexistentes, puede reconocer automáticamente patrones musculares, estas evaluaciones automatizadas reducen la variabilidad diagnóstica y pueden permitir una monitorización nutricional continuada. Sin embargo, no hay estudios que evidencien la validez de estas herramientas específicamente en pacientes con patologías neurodegenerativas.

El objetivo de este estudio fue evaluar la validez de una herramienta de análisis de ecografía muscular basada en inteligencia artificial para la valoración nutricional en pacientes con patologías neurodegenerativas.

2. OBJETIVOS

a. Primarios.

–Evaluar en el paciente con patología neurológica la relación entre los nuevos parámetros ecográficos basados en Inteligencia Artificial con pruebas de evaluación de la composición corporal y de la función de uso clínico habitual como la impedanciometría y la dinamometría.

–Valorar las diferencias en los parámetros ecográficos analizados por inteligencia artificial entre distintas patologías neurológicas.

b. Secundarios.

–Evaluar la relación entre los distintos parámetros ecográficos y el grado de desnutrición del paciente con patología neurológica.

–Evaluar la relación entre los distintos parámetros ecográficos y la sarcopenia del paciente con patología neurológica.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

a. Diseño.

Este es un estudio observacional transversal. Se evaluó la situación nutricional de los pacientes a partir de mediciones realizadas según la práctica clínica habitual y se evaluaron imágenes ecográficas obtenidas por un único investigador y mismo ecógrafo, y se compararon con el análisis de un sistema online (PIIXMED™, Dawako Medtech).

Tras la firma del consentimiento informado se realizó una anamnesis exhaustiva sobre datos de filiación, antecedentes personales, evolución de la enfermedad e historia nutricional. Se realizó una antropometría, bioimpedanciometria, dinamometría y evaluación mediante ecografía muscular utilizando parámetros clásicos determinados por el observador y parámetros obtenidos por un sistema online (PIIXMED™, Dawako Medtech, S.L). También se evaluó el diagnóstico de desnutrición y sarcopenia. Por último, con los datos obtenidos, se realizó un análisis estadístico descriptivo inicial de prevalencia y situación nutricional de los pacientes, del estado muscular (cantidad y calidad), comparando las distintas técnicas de evaluación de la composición corporal.

El Comité de Ética en la Investigación con Medicamentos (CEIm) de las áreas de Valladolid (código: PI-24-622-C) aprobó la realización de este estudio. Asimismo, todos los procedimientos cumplieron con los principios de la Declaración de Helsinki.

b. Sujetos del estudio.

Los criterios de inclusión fueron: pacientes ambulatorios en consulta por riesgo nutricional elevado, estar diagnosticado de enfermedad neurológica (esclerosis múltiple, esclerosis lateral amiotrófica, distrofia miotónica de Steinert, parálisis cerebral o atrofia multisistémica) y ser mayor de 18 años. Los criterios de exclusión que se tuvieron en cuenta fueron: padecer enfermedad hepática descompensada, enfermedad renal crónica en estadio IV o mayor y la ausencia de firma del consentimiento informado..

c. Variables.

Se han recogido variables clínicas, antropométricas, de bioimpedanciometria, ecografía y dinamometría que se recogen en el ANEXO 1.

Entre las enfermedades neurodegenerativas que se han estudiado se encuentran: enfermedad de motoneurona, esclerosis múltiple, enfermedad de Parkinson, distrofia miotónica de Steinert, y otras como ictus, demencia o parálisis cerebral(15).

Para la adquisición de imágenes por ecografía se ubicó el transductor a dos tercios de la longitud del fémur, entre la espina ilíaca anterior y el borde superior de la rótula. Se obtuvieron cortes transversales y longitudinales , de pierna dominante. Las imágenes obtenidas mediante ecografía se procesaron con un sistema de análisis de imágenes por ultrasonido basado en inteligencia artificial (PIIXMEDTM, DAWAKO MedTech; Valencia, España).

Este sistema permite extraer características de imágenes convencionales en modo B y calcular valores de características específicas dentro de una región de interés (ROI). A través del análisis de estas características y la aplicación de algoritmos, se evaluó la morfología de la ROI, la calidad muscular basada en la ecogenicidad y biomarcadores derivados de texturas (*Figuras 1 y 2*). La calidad del músculo fue analizada mediante el ángulo de penación, ángulo entre las fibras musculares y la aponeurosis inferior (mayor ángulo indica mejor capacidad de contracción muscular). Se desarrollaron índices de calidad muscular usando un algoritmo de umbralización basado en histogramas de ecogenicidad e intensidad de gris. Este algoritmo define valores límite para clasificar los píxeles de las imágenes en distintas categorías, permitiendo calcular tres índices de calidad en la imagen transversal: índice muscular (MiT), que indica el porcentaje de tejido muscular en la ROI; el índice de grasa (FATiT), que mide el porcentaje de grasa; y el índice Sin Músculo Sin Grasa (NMNFiT), que representa el

porcentaje de otras estructuras como tejido conectivo y fibrosis. Estos índices se expresan como porcentajes de la ROI.

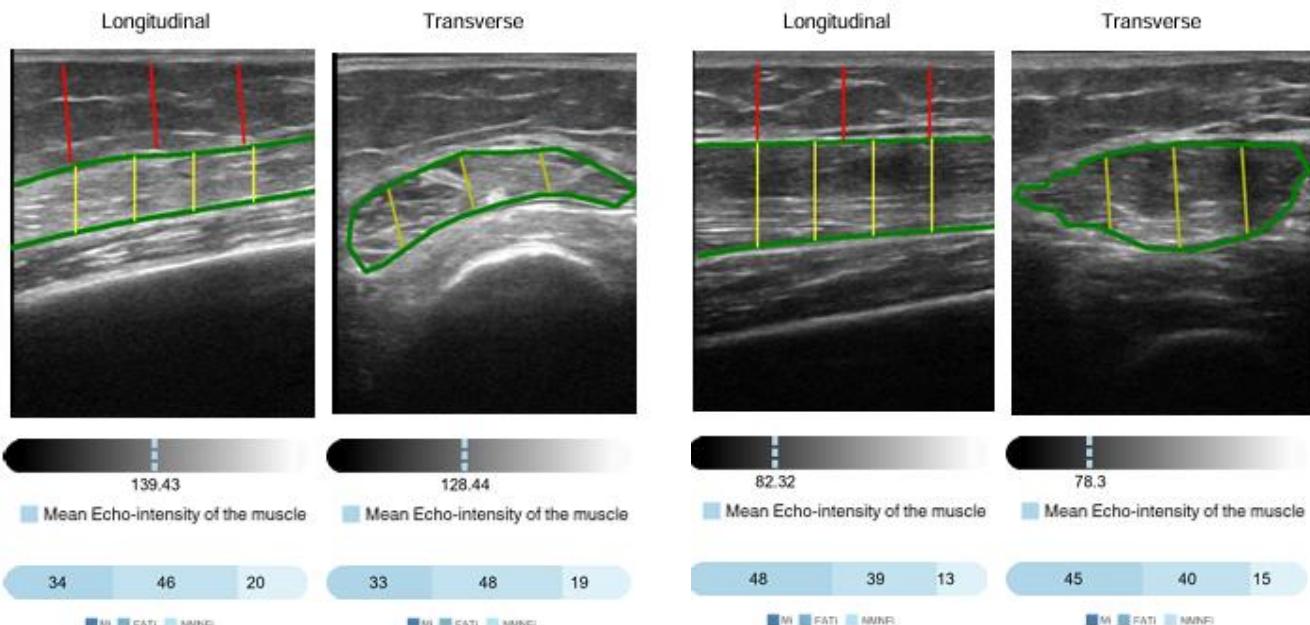


Figura 1. Análisis de imagen ecográfica mediante herramienta de IA en paciente con ELA con sarcopenia

Figura 2. Análisis de imagen ecográfica mediante herramienta de IA en paciente con ELA sin sarcopenia.

Existen muchos criterios de diagnóstico de desnutrición. En este estudio se han utilizado los criterios de Global Leadership Initiative on Malnutrition (GLIM) (13). Según estos, la desnutrición puede ser moderada o severa. La desnutrición es moderada si IMC <20 kg/m 2 en menor de 70 años, o IMC <22 kg/m 2 en mayor de 70 años y desnutrición severa cuando el IMC $<18,5$ kg/m 2 si es menor de 70 años, o IMC <20 kg/m 2 si es mayor de 70 años. La sarcopenia fue valorada según los criterios EWGSOP2 (14). Los puntos de corte que indican baja cantidad de músculo, medidos con BIA son: ASMI < 7 kg/m 2 en hombre y ASMI < 5.5 kg/m 2 en mujer. Y en función de la dinamometría son: <27 kg en hombre y <16 kg en mujer

d. Análisis de datos.

La base de datos es registrada en la Agencia Nacional de protección de datos (www.agpd.es). Los datos han sido almacenados en una base de datos del programa estadístico SPSS 15.0 (SPSS Inc. II, USA) con licencia oficial de la Universidad de Valladolid.

Se realiza un análisis de normalidad de las variables continuas con el test de Kolmogorov-Smirnov. Las variables continuas con distribución normal se expresan como media (desviación estándar), las variables continuas con distribución no normal se expresan como Mediana (percentil 25- percentil 75) y las variables cualitativas se expresan en número total o porcentajes. Las variables paramétricas se analizan con la t-Student no pareada y pareada, y las no paramétricas con los test de Friedman, Wilcoxon, K Kruskal y U-Mann. Para aquellas variables en más de dos grupos se utiliza el test de ANOVAU (con test post-hoc de Bonferroni). Las variables cualitativas se expresarán como porcentajes (%) y se analizarán con la prueba de Chi-cuadrado (con correcciones de Fisher y Yates cuando sea necesario).

e. Búsqueda bibliográfica.

Se han utilizado diferentes fuentes de búsqueda, principalmente, UpToDate, Cochrane y PubMed. En la búsqueda, se han empleado palabras clave como *malnutrición, patología neurodegenerativa, ecografía, o inteligencia artificial*. Algunas de las estrategias de búsqueda han sido: (“malnutrition” AND “neurodegenerative disease”), (“ultrasound” AND “artificial intelligence”) y (“nutritional assesment” AND “neurodegenerative”), a partir de estas se ha ampliado la búsqueda con artículos recomendados y otros citados en publicaciones revisadas.

4. RESULTADOS

a. Descripción de la muestra.

Se han analizado un total de 125 pacientes. De ellos 66 (52,8%) eran mujeres y 59 (47,2%) hombres y la edad media fue de 63,28 (16,04) años.

Los pacientes estudiados padecían diversas patologías neurológicas, la distribución de estas se muestra en la *Figura 3*. Del total, 82 (65,6%) pacientes padecían una enfermedad neurodegenerativa y 43 (34,4%) una enfermedad neurológica no neurodegenerativa.

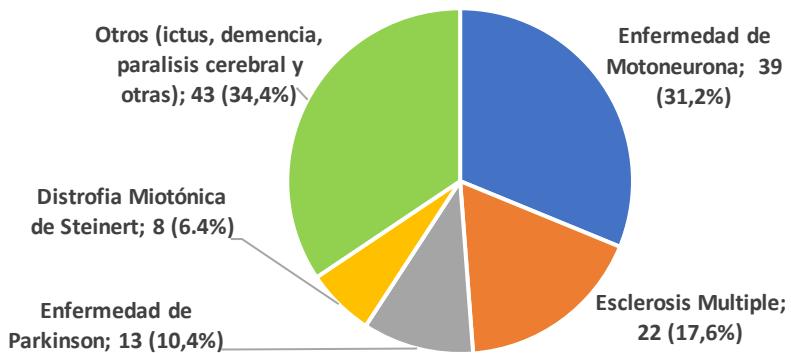


Figura 3. Distribución de las patologías neurológicas de los pacientes a estudio.
Número de pacientes(%)

Teniendo en cuenta la valoración nutricional, la distribución es la siguiente:

- 79 (63,2%) padecían desnutrición, de los cuales 34 (27,2% del total) padecían desnutrición severa (*figura 4*)
- 73 (58,4%) padecían dinapenia, de los cuales 43 (34,4% del total) padecían sarcopenia (*figura 5*)

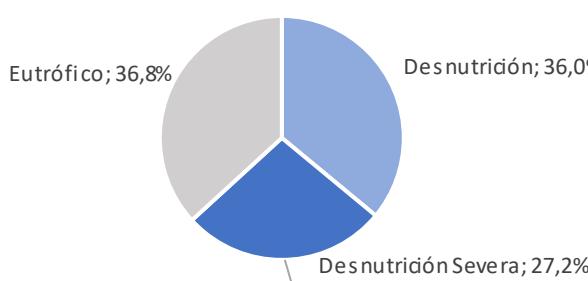


Figura 4. Distribución de pacientes según diagnóstico nutricional.

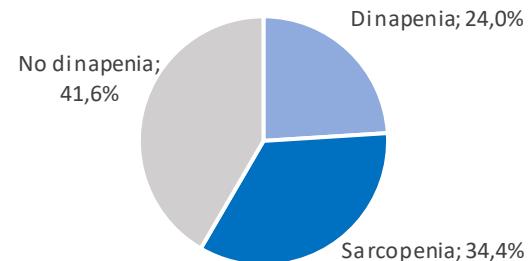


Figura 5. Distribución de pacientes según diagnóstico de sarcopenia.

En todos los pacientes se estudiaron variables antropométricas, de bioimpedanciometría, dinamometría y ecografía del músculo recto femoral. Estas variables se comparan entre sexos en el ANEXO II. Los parámetros con valores absolutos como el IMC, la circunferencia braquial, la resistencia y reactancia de la bioimpedanciometría, la fuerza de agarre o las dimensiones ecográficas TAS, GRA y ARA si muestran diferencias entre sexos. Sin embargo, los porcentajes o proporciones no muestran diferencias significativas entre sexos.

b. Relación entre parámetros ecográficos y parámetros de evaluación de composición y función corporal de uso clínico habitual.

Evaluamos la correlación entre los parámetros ecográficos medidos por una herramienta de Inteligencia Artificial con aquellos de composición corporal medidos con bioimpedanciometria (*figura 6 y 7*) y de función muscular medidos mediante dinamometría (*figura 8 y 9*). Para comparar las variables de la bioimpedanciometria se ha empleado el ángulo de fase, ya que este integra los valores de resistencia y reactancia.

VARIABLES ECOGRÁFICAS Y ÁNGULO DE FASE EN IMPEDANCIOMETRÍA

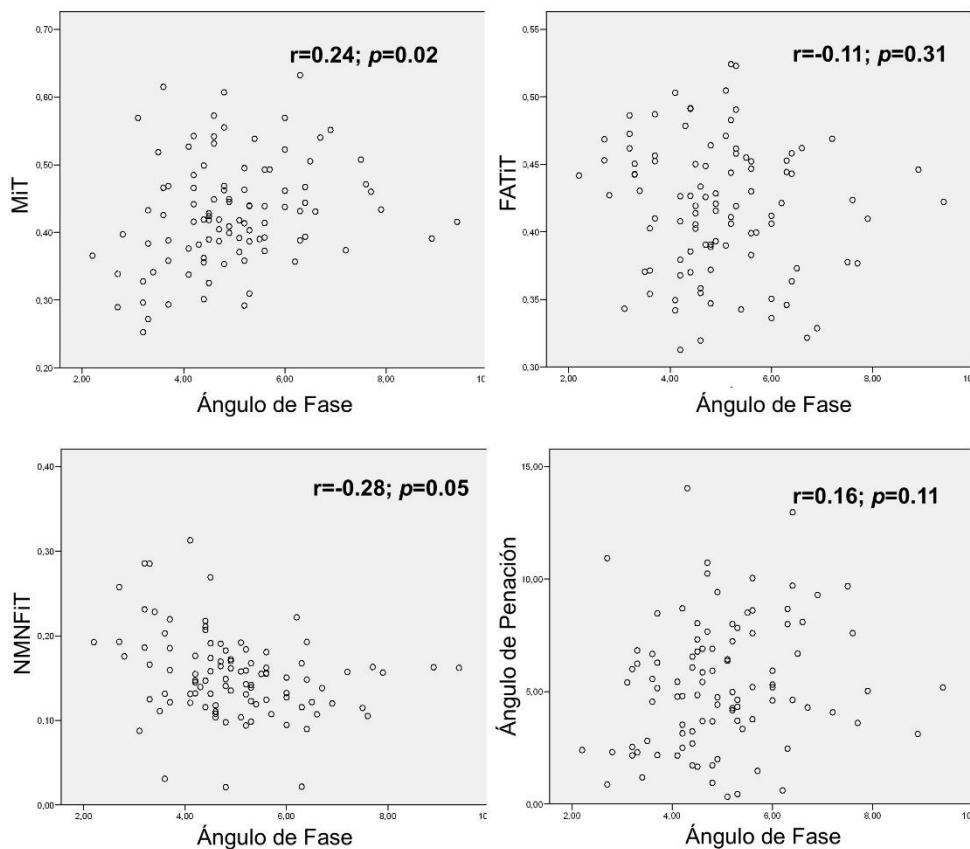


Figura 6. Gráficos de dispersión de puntos que muestran la correlación entre variables ecográficas cualitativas (MiT, FaTiT, NMNFiT, ángulo de penación) y el ángulo de fase en impedanciometría. MiT: Porcentaje masa muscular; FaTiT: Porcentaje de Masa Grasa; NMNFiT Porcentaje de Masa No Muscular No Grasa.

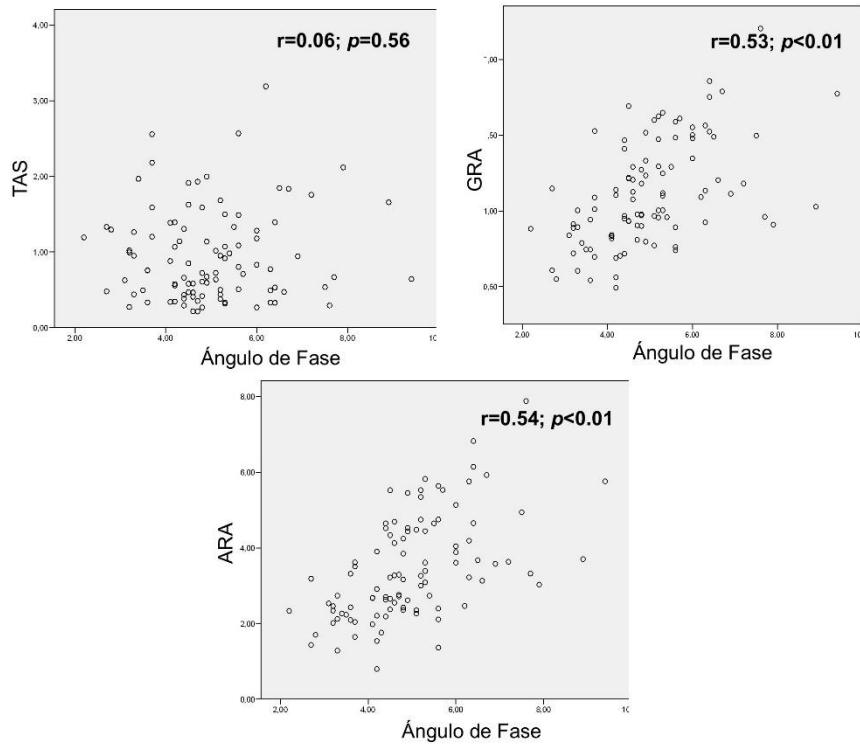


Figura 7. Gráficos de dispersión que muestran la correlación entre variables ecográficas cuantitativas (TAS, GRA, ARA) y ángulo de fase en impedanciometría. TAS: tejido adiposo subcutáneo; GRA: Grosor músculo recto anterior; ARA: Área Recto Anterior

VARIABLES ECOGRÁFICAS Y DINAMOMETRÍA

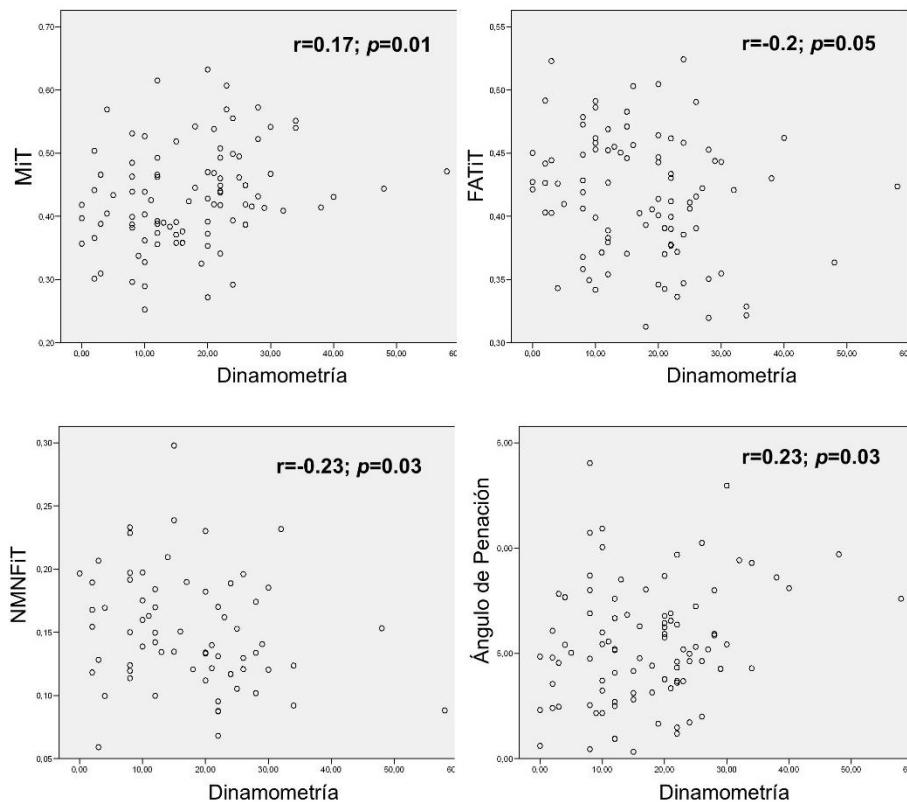


Figura 8. Gráficos de dispersión de puntos que muestran la correlación entre variables ecográficas cualitativas (MiT, FaTiT, NMNFiT, ángulo de penación) y la fuerza de prensión de la dinamometría. MiT: Porcentaje masa muscular; FaTiT: Porcentaje de Masa Grasa; NMNFiT Porcentaje de Masa No Muscular No Grasa.

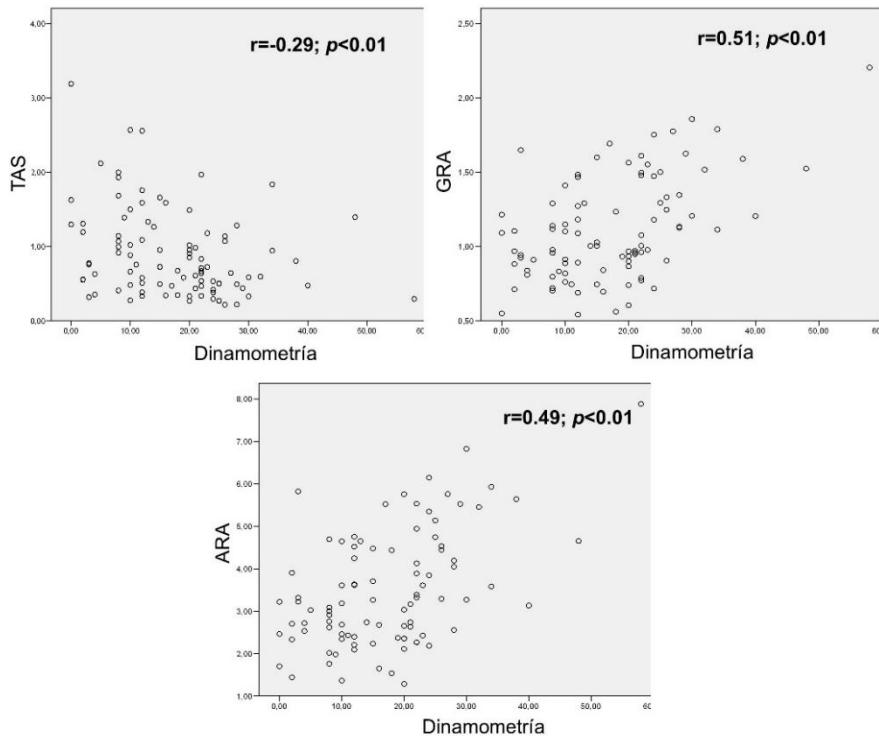


Figura 9. Gráficos de dispersión de puntos que muestran la correlación entre variables ecográficas cuantitativas (TAS, GRA, ARA) y la fuerza de prensión en la dinamometría. TAS: tejido adiposo subcutáneo; GRA: Grosor músculo recto anterior; ARA: Área Recto Anterior

c. Diferencias en los parámetros ecográficos entre las distintas patologías neurológicas.

A continuación, se comparan los parámetros ecográficos medidos con la herramienta de Inteligencia artificial según sean pacientes con patología neurodegenerativa o no neurodegenerativa. Hemos aplicado una T de Student. En primer lugar, se observan las relaciones entre los valores de cantidad (figura 10) y en segundo lugar aquellos de calidad (figura 11). No existen diferencias asociadas a la edad o al género.

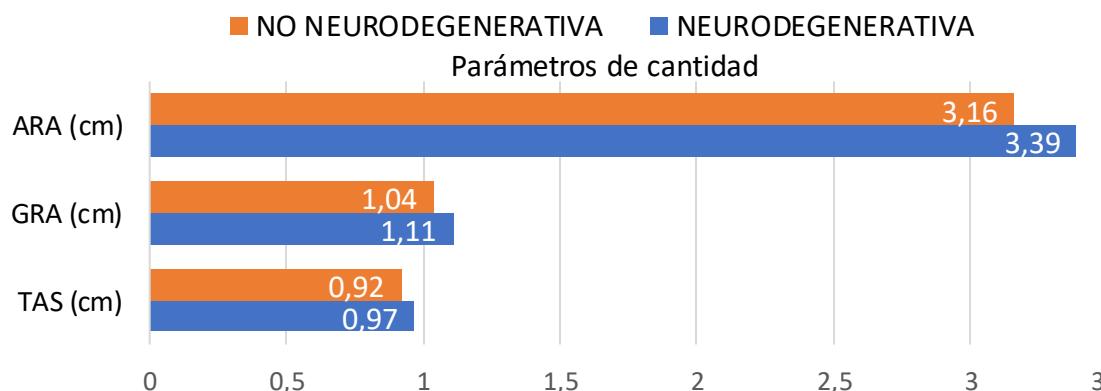


Figura 10. Comparación variables ecográficas según los pacientes padeczan una enfermedad neurodegenerativa o no neurodegenerativa. TAS: tejido adiposo subcutáneo; GRA: Grosor músculo recto anterior; ARA: Área Recto Anterior;

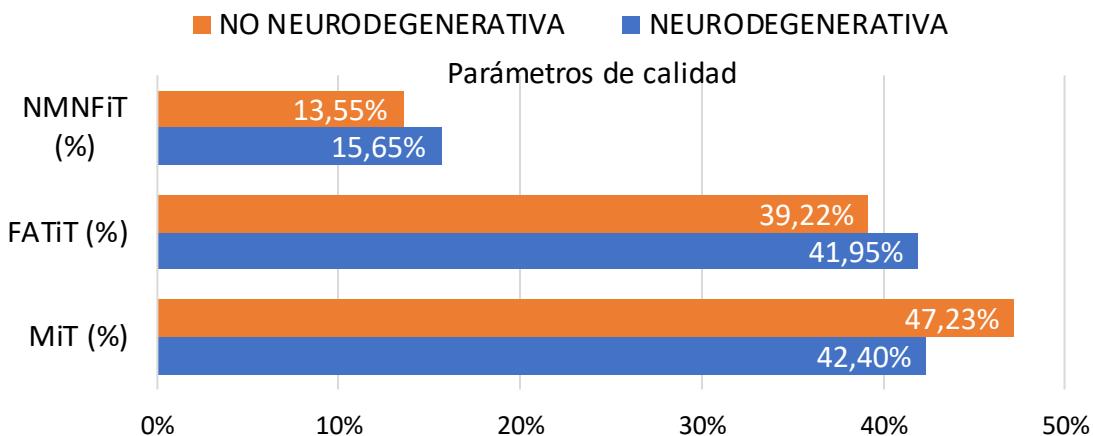


Figura 11. Comparación variables ecográficas según los pacientes padeczan una enfermedad neurodegenerativa o no neurodegenerativa. MiT: Porcentaje masa muscular; FATiT: Porcentaje de Masa Grasa; NMNFiT Porcentaje de Masa No Muscular No Grasa

Por último, estudiamos las diferencias que existen entre los distintos valores ecográficos según la enfermedad neurológica del paciente. Aquí se han comparado las medias de las variables de calidad (figura 12) y se ha utilizado un test de ANOVA.

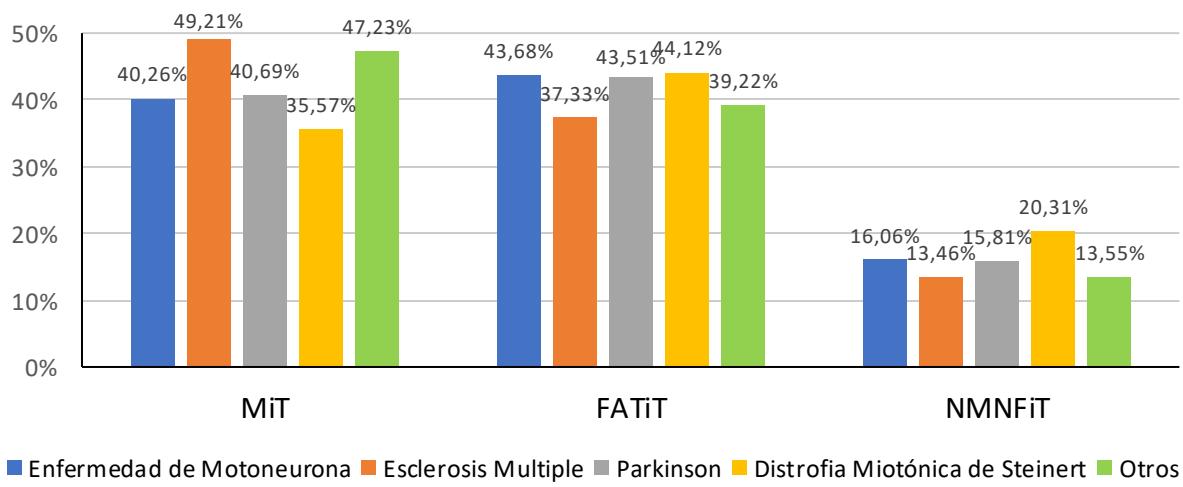


Figura 12. Diferencias entre parámetros ecográficos en función de la patología neurológica. MiT: Porcentaje masa muscular; FATiT: Porcentaje de Masa Grasa; NMNFiT Porcentaje de Masa No Muscular No Grasa

d. Relación entre los distintos parámetros ecográficos y el grado de desnutrición y sarcopenia del paciente con patología neurológica.

En primer lugar, clasificamos a los pacientes en desnutridos o no desnutridos siguiendo los criterios GLIM (13). No se observan diferencias significativas en la distribución de sexos de ambos grupos, pero si en edad, siendo la edad media en el grupo de desnutrición de 66,76 (16,35) y de 57,05 (13,53) en el grupo de no desnutridos ($p<0,01$). En la ecografía solo encontramos diferencias significativas entre los dos

grupos en el grosor del músculo GRA (cm) y el porcentaje de grasa FATiT (%) como muestra la Tabla 1. El grupo desnutrido presenta porcentajes de grasa mayores, pero menos músculo.

	DESNUTRICIÓN (n=79)	NO DESNUTRICIÓN (n=44)	p-value
TAS (cm)	0,91 (0,58)	1,03 (0,63)	0,33
GRA (cm)	1,03 (0,29)	1,18 (0,42)	0,04
ARA (cm)	3,17 (1,19)	3,56 (1,67)	0,16
MiT (%)	43,01 (7,61)	46,08 (11,09)	0,09
FATiT (%)	42,02 (4,88)	39,09 (6,49)	<0,01
NMNFiT (%)	14,97 (4,42)	14,83 (6,40)	0,89

Tabla 1. Diferencias en los parámetros ecográficos en función de la presencia de desnutrición. TAS: tejido adiposo subcutáneo; GRA: Grosor músculo recto anterior; ARA: Área Recto Anterior; MiT: Porcentaje masa muscular; FATiT: Porcentaje de Masa Grasa; NMNFiT Porcentaje de Masa No Muscular No Grasa.

También clasificamos a los pacientes en pacientes con sarcopenia y sin sarcopenia siguiendo los criterios diagnósticos de las guías EWGSOP2 (14). Tampoco hay diferencias asociadas al sexo, pero si a la edad (p<0,01), siendo las medias de edad 71,79 (11,29) en sarcopénicos y 59,48 (15,46) en no sarcopénicos. En la ecografía encontramos diferencias significativas en los parámetros de cantidad como, grosor muscular GRA y en el área muscular ARA como se muestra en la Tabla 2.

	SARCOPENIA (n=43)	NO SARCOPENIA (n=50)	p-value
TAS (cm)	0,95 (0,61)	1,25 (0,59)	0,73
GRA (cm)	0,97 (0,26)	1,25 (0,35)	<0,01
ARA (cm)	3,02 (0,99)	3,92 (1,47)	<0,01
MiT (%)	42,33 (7,75)	43,81 (8,18)	0,39
FATiT (%)	42,15 (5,03)	41,18 (4,90)	0,36
NMNFiT (%)	15,52 (4,01)	15,01 (5,90)	0,64

Tabla 2. Diferencias en los parámetros ecográficos en función de la presencia o no de sarcopenia. TAS: tejido adiposo subcutáneo; GRA: Grosor músculo recto anterior; ARA: Área Recto Anterior; MiT: Porcentaje masa muscular; FATiT: Porcentaje de Masa Grasa; NMNFiT Porcentaje de Masa No Muscular No Grasa.

5. DISCUSIÓN.

El estudio realizado tenía como primer objetivo evaluar, en paciente con patología neurológica, la relación entre los parámetros ecográficos basados en inteligencia artificial con pruebas de uso clínico habitual que evalúan la composición y función corporal. Se ha demostrado correlación entre las medidas tomadas con impedanciometría y dinamometría y aquellas calculadas por la IA, tanto en las variables de cantidad (TAS, GRA Y ARA) como en las de calidad (MiT, FATiT, NMNFiT y ángulo de penación). El ángulo de fase guarda una relación significativa directa con el aumento del grosor y área muscular y porcentaje de músculo (MiT). Sin embargo, NMNFiT presenta una correlación inversa. A menor ángulo de fase, menor porcentaje de masa muscular y mayor de tejido no graso ni muscular. La fuerza de prensión también guarda una relación directa significativa con el grosor, área muscular y porcentaje muscular (MiT), valores bajos en la dinamometría se correlacionan con menos músculo en la composición. Por el contrario, a mayor espesor y porcentaje de grasa subcutánea (FATiT) y tejido conectivo (NMNFiT) menor es el valor de la dinamometría.

Debemos tener en cuenta que la pérdida de peso, músculo y grasa es una característica común en el curso de las enfermedades neurológicas. Un estudio en pacientes con ELA demostró que la pérdida de peso se correlacionaba con la progresión de la enfermedad. Asimismo, la pérdida muscular asociaba peor pronóstico, mientras que el aumento de grasa ejercía un papel protector en estos pacientes (16). Otro estudio en pacientes con Parkinson demuestra que comienzan a perder peso años antes del diagnóstico, haciéndose más significativo 5 años después de este. La pérdida de masa se debió a expensas de masa grasa y la masa magra se mantuvo estable durante el seguimiento (17). El hecho de que exista asociación entre el pronóstico, la evolución de la enfermedad y la composición corporal hace que la valoración nutricional cobre mayor importancia en estos pacientes. Siendo la ecografía basada en IA una alternativa a las técnicas de la práctica clínica habitual al existir gran correlación entre sus parámetros.

En este estudio, también se han valorado las diferencias ecográficas entre pacientes con enfermedades neurodegenerativas y no neurodegenerativas. Hemos comprobado que los valores absolutos de cantidad (TAS, GRA Y ARA) no muestran diferencias significativas entre ambos grupos. Por el contrario, sí que existen diferencias significativas en los parámetros de calidad (MiT, FATiT, NMNFiT). Los pacientes con patología neurodegenerativa tienen menos proporción muscular y más de tejido no graso no muscular y más grasa que aquellos pacientes con patología no

neurodegenerativa (18). Igualmente, evaluamos las diferencias que existen entre las diversas patologías, de la misma manera, las diferencias significativas las encontramos en los parámetros de calidad. En enfermedad de motoneurona, Parkinson o distrofias miotónica de Steinert presentan menos porcentaje de músculo y más de tejido conectivo y grasa que aquellos con esclerosis múltiple u otras. Esto coincide con los datos expuestos previamente, ya que las enfermedades con mayor pérdida de músculo y aumento de tejido no muscular son aquellas que se clasifican como neurodegenerativas. Conocer qué patologías asocian mayor pérdida de masa muscular ayuda en el manejo terapéutico y seguimiento de estos pacientes de forma más precisa y específica (19).

Por último, valoramos la relación que hay entre la desnutrición y la sarcopenia y los parámetros de composición corporal medidos con ecografía. Observamos que el grupo de pacientes con desnutrición y con sarcopenia son de mayor edad que los del grupo no desnutrición y no sarcopenia respectivamente. Un mayor tiempo de evolución de su patología neurológica, las comorbilidades, la polimedición, las alteraciones en el aparato digestivo, una mayor dependencia en las actividades de la vida diaria o la inactividad física son condiciones predisponentes a que exista mayor prevalencia de sarcopenia y desnutrición en población de edad avanzada (20) .

La desnutrición secundaria a enfermedad supone un aumento de la morbimortalidad en las patologías neurológicas. Por ello, es fundamental la detección precoz del riesgo de desnutrición y su seguimiento. La ASPEN recomienda, con un grado de evidencia B, la realización de este cribado a todos los pacientes neurológicos (3) y la ESPEN propone el uso de herramientas de screening como el MUST (21). En el seguimiento cobra importancia la valoración de la composición corporal por ser más objetiva y precisa que la antropometría clásica. El TC o la RM, han demostrado ser válidos para ello, sin embargo, el uso de radiaciones, coste elevado o baja accesibilidad hacen que no sean técnicas útiles en el seguimiento(22). Por el contrario, la ecografía es un método rápido, accesible y reproducible a pie de cama. Sin embargo, la necesidad de personal entrenado para su interpretación limita su uso, de ahí que, implementar la ecografía basada en inteligencia artificial podría esquivar esta limitación (12). En este estudio se ha visto con ecografía basada en un programa de Inteligencia Artificial que aquellos pacientes diagnosticados de desnutrición tienen mayor porcentaje de grasa (FATiT) y menor grosor muscular (GRA) que los normo nutridos. También se ha visto que los pacientes diagnosticados de sarcopenia tienen una disminución significativa de las dimensiones musculares respecto a los que no lo padecían, es esto lo que define la

sarcopenia. Existen estudios que integran la IA en la valoración de la sarcopenia en pacientes con otras patologías, como es el carcinoma hepatocelular (23) o en pacientes con cáncer, donde se aplicó la inteligencia artificial (IA) en el análisis de imágenes de TC, donde la IA demostró una alta precisión, con una sensibilidad del 82.3% y una especificidad del 98.1% (24). Sin embargo, no son muchos los estudios que validan la Inteligencia artificial como herramienta en la valoración nutricional. Existe un estudio en pacientes con malnutrición relacionada con la enfermedad que demuestra que el análisis de ecografías por inteligencia artificial tiene la misma validez que por un ecografista (12). También hay estudios que apoyan el uso de IA en pacientes con obesidad con el fin de superar las limitaciones del IMC (25). Por ello, una de las fortalezas de este trabajo es que es uno de los primeros en hacer uso de la IA en el análisis de ecografías de pacientes neurológicos. La evaluación de la composición corporal mediante ecografía guiada por IA ofrece información más precisa y objetiva y puede facilitar el seguimiento nutricional en pacientes con movilidad reducida, como son los pacientes neurológicos.

Es importante tener en cuenta las limitaciones que presenta este estudio. En primer lugar, la edad avanzada y la situación neurológica del paciente han dificultado la exploración del paciente. Además, al existir una gran variedad de patologías neurológicas se ha requerido un tamaño muestral grande. Por último, la ecografía muscular es un método innovador que requiere que el personal que la lleva a cabo este formado y entrenado para ello.

Las futuras líneas de investigación se podrían orientar a desarrollar guías con parámetros integrados para la valoración nutricional de pacientes neurológicos, estas pueden ser específicas para cada patología ya que las circunstancias particulares de estos pacientes requieren un abordaje clínico más individualizado y sensible a su estado general, porque como hemos visto, no todas las patologías asocian las mismas proporciones de composición corporal. Además, se podría estudiar la relación de los parámetros ecográficos con la calidad de vida del paciente, por ejemplo, la relación entre la composición corporal y la disfagia, la pérdida de capacidad para hablar u otras complicaciones propias de estos pacientes. La inteligencia artificial nos podría ayudar en este sentido reduciendo los tiempos de análisis y ayudándonos a integrar todos los datos para la detección de variables diagnósticas y pronósticas de desnutrición y de monitorización del tratamiento nutricional.

6. CONCLUSIÓN

- Los nuevos parámetros ecográficos medidos con una herramienta de inteligencia artificial presentan una correlación significativa con los parámetros de uso diario en la práctica clínica, de bioimpedancia y dinamometría.
- En aquellos pacientes que presentan valores más altos de ángulos de fase y de fuerza de presión, encontramos mayor porcentaje de músculo, grosor y área muscular al medirlo con la ecografía basada en IA. Por el contrario, a mayor ángulo de fase y dinamometría se evidencia menor porcentaje de grasa y tejido no muscular.
- Los pacientes con patología neurodegenerativa presentan menor proporción de masa muscular, pero mayor proporción de tejido graso y conjuntivo que aquellos pacientes con patología no neurodegenerativa.
- La enfermedad de motoneurona, el Parkinson o la distrofia de Steinert son las patologías neurológicas que asocian mayor pérdida de masa muscular, y aumento de los componentes grados y conjuntivos.
- Pacientes diagnosticados de desnutrición tienen mayor porcentaje de grasa y menor grosor muscular que los normo nutridos.
- Los pacientes diagnosticados de sarcopenia presentan un área y grosor muscular medido por ecografía basada en IA más pequeño que aquellos no diagnosticados de sarcopenia.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Steinmetz JD, Seeher KM, Schiess N, Nichols E, Cao B, Servili C, et al. Global, regional, and national burden of disorders affecting the nervous system, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Neurology*. 1 de abril de 2024;23(4):344-81.
2. Grau O, Azkargorta MA, Arriaza EZ, Fernández JCL, Sánchez JRP, Revuelta AF, et al. CAPÍTULO 2. ENTIDADES ESPECÍFICAS.
3. Luis DA de, Izaola O, Fuente B de la, Muñoz-Calero P, Franco-Lopez A. Enfermedades neurodegenerativas: aspectos nutricionales. *Nutrición Hospitalaria*. agosto de 2015;32(2):946-51.
4. Burgos R, Bretón I, Cereda E, Desport JC, Dziewas R, Genton L, et al. ESPEN guideline clinical nutrition in neurology. *Clinical Nutrition*. 1 de febrero de 2018;37(1):354-96.
5. Greenwood DI. Nutrition Management of Amyotrophic Lateral Sclerosis. *Nutrition in Clinical Practice*. 2013;28(3):392-9.
6. López-Gómez JJ, Ballesteros-Pomar MD, Torres-Torres B, Maza BPD la, Penacho-Lázaro MÁ, Palacio-Mures JM, et al. Malnutrition at diagnosis in amyotrophic lateral sclerosis (als) and its influence on survival: Using glim criteria. *Clinical Nutrition*. 1 de enero de 2021;40(1):237-44.
7. Rubino F, Cummings DE, Eckel RH, Cohen RV, Wilding JPH, Brown WA, et al. Definition and diagnostic criteria of clinical obesity. *The Lancet Diabetes & Endocrinology* [Internet]. 14 de enero de 2025 [citado 23 de febrero de 2025];0(0). Disponible en: [https://www.thelancet.com/journals/landia/article/PIIS2213-8587\(24\)00316-4/abstract](https://www.thelancet.com/journals/landia/article/PIIS2213-8587(24)00316-4/abstract)
8. García-Almeida JM, García-García C, Ballesteros-Pomar MD, Olveira G, Lopez-Gomez JJ, Bellido V, et al. Expert Consensus on Morphofunctional Assessment in Disease-Related Malnutrition. Grade Review and Delphi Study. *Nutrients*. 25 de enero de 2023;15(3):612.
9. García-Almeida JM, García-García C, Vegas Aguilar IM, Bellido Castañeda V, Bellido Guerrero D. Morphofunctional assessment of patient nutritional status: a global approach. *Nutr Hosp* [Internet]. 2021 [citado 9 de febrero de 2025]; Disponible en: <https://www.nutricionhospitalaria.org/articles/03378/show>
10. 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*. 2 de abril de 2012;12:7.
11. Herrick I, Brown S, Agyapong-Badu S, Warner M, Ewings S, Samuel D, et al. Anterior Thigh Tissue Thickness Measured Using Ultrasound Imaging in Older Recreational Female Golfers and Sedentary Controls. *Geriatrics (Basel)*. 7 de febrero de 2017;2(1):10.
12. García-Herreros S, López Gómez JJ, Cebria A, Izaola O, Salvador Coloma P, Nozal S, et al. Validation of an Artificial Intelligence-Based Ultrasound Imaging System for Quantifying Muscle Architecture Parameters of the Rectus Femoris in Disease-Related Malnutrition (DRM). *Nutrients*. 8 de junio de 2024;16(12):1806.

13. Cederholm T, Jensen GL, Correia MITD, Gonzalez MC, Fukushima R, Higashiguchi T, et al. GLIM criteria for the diagnosis of malnutrition – A consensus report from the global clinical nutrition community. *Clinical Nutrition*. febrero de 2019;38(1):1-9.
14. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyère O, Cederholm T, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*. 24 de septiembre de 2018;48(1):16.
15. Alqahtani T, Deore SL, Kide AA, Shende BA, Sharma R, Dadarao Chakole R, et al. Mitochondrial dysfunction and oxidative stress in Alzheimer's disease, and Parkinson's disease, Huntington's disease and Amyotrophic Lateral Sclerosis -An updated review. *Mitochondrion*. 1 de julio de 2023;71:83-92.
16. Li JY, Sun XH, Cai ZY, Shen D chao, Yang XZ, Liu MS, et al. Correlation of weight and body composition with disease progression rate in patients with amyotrophic lateral sclerosis. *Sci Rep*. 2 de agosto de 2022;12:13292.
17. Song S, Luo Z, Li C, Huang X, Shiroma EJ, Simonsick EM, et al. Changes in Body Composition Before and After Parkinson's Disease Diagnosis. *Mov Disord*. julio de 2021;36(7):1617-23.
18. de Luis DA. ENFERMEDADES NEURODEGENERATIVAS; ASPECTOS NUTRICIONALES. *NUTRICION HOSPITALARIA*. 1 de agosto de 2015;(2):946-51.
19. López-Gómez JJ, Primo-Martín D, Cebria A, Izaola-Jauregui O, Godoy EJ, Pérez-López P, et al. Effectiveness of High-Protein Energy-Dense Oral Supplements on Patients with Malnutrition Using Morphofunctional Assessment with AI-Assisted Muscle Ultrasonography: A Real-World One-Arm Study. *Nutrients*. 17 de septiembre de 2024;16(18):3136.
20. Luis-Pérez C, Hernández-Ruiz Á, Merino-López C, Niño-Martín V. Factores de riesgo asociados a desnutrición en personas mayores que viven en la comunidad: una revisión rápida. *Revista Española de Geriatría y Gerontología*. mayo de 2021;56(3):166-76.
21. Kondrup J, Allison SP, Elia M, Vellas B, Plauth M. ESPEN Guidelines for Nutrition Screening 2002. *Clinical Nutrition*. 1 de agosto de 2003;22(4):415-21.
22. Serón-Arbeloa C, Labarta-Monzón L, Puzo-Foncillas J, Mallor-Bonet T, Lafita-López A, Bueno-Vidales N, et al. Malnutrition Screening and Assessment. *Nutrients*. 9 de junio de 2022;14(12):2392.
23. Z L, Y W, Aa K, Lu L, J W, J C, et al. Deep learning-based radiomics allows for a more accurate assessment of sarcopenia as a prognostic factor in hepatocellular carcinoma. *Journal of Zhejiang University Science B [Internet]*. 15 de enero de 2024 [citado 19 de abril de 2025];25(1). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38163668/>
24. Onishi S, Kuwahara T, Tajika M, Tanaka T, Yamada K, Shimizu M, et al. Artificial intelligence for body composition assessment focusing on sarcopenia. *Sci Rep*. 8 de enero de 2025;15:1324.
25. Nashwan AJ, Abdi Hassan M, AlBarakat MM. Rethinking BMI and Obesity Management: The Transformative Role of Artificial Intelligence. *Cureus*. 16(2):e54995.

ANEXOS

ANEXO I:

Datos de filiación		<ul style="list-style-type: none"> - Edad - Sexo (hombre/mujer) - Enfermedad neurodegenerativa 	
		<ul style="list-style-type: none"> - Peso(kg) - Talla (m) - Índice de masa corporal (kg/m²) - Porcentaje de pérdida de peso (%) - Circunferencia brazo (cm) - Circunferencia pantorrilla (cm) 	
		<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia (ohm) - Reactancia (ohm) - Ángulo de fase (°) - Índice de masa muscular apendicular (kg/m²) (IMMAE) 	
Antropometría	Parámetros de cantidad	<ul style="list-style-type: none"> - Área muscular (cm²) (ARA) - Grosor muscular (cm) (GRA) - Tejido adiposo subcutáneo (TAS) 	
		<ul style="list-style-type: none"> - Porcentaje de músculo del ROI (región of interest) (MiT) - Porcentaje de grasa del ROI (FATiT) - Porcentaje de tejido No músculo y no grasa (NMNFiT), 	
		- Ángulo de penación	
	Parámetros de calidad	- Fuerza de agarre de la mano (kg)	
		<ul style="list-style-type: none"> - Diagnóstico de desnutrición (según criterios GLIM)(13) - Diagnóstico de sarcopenia (según criterios EWGSOP2).(14) 	
Dinamometría JAMAR® (Basel, Switzerland)			
Otros Diagnósticos			

Tabla de las variables analizadas en el estudio.

ANEXO II:

	TOTAL (n=125)	HOMBRE (n=59)	MUJER (n=66)	p-value
ANTROPOMETRÍA				
PPP (%)	5,27 (1,30-12,24)	4,09 (1,30-11,50)	6,06 (0,18-13,14)	0,80
IMC (kg/m ²)	24,21 (5,38)	25,24 (5,21)	23,19 (5,39)	0,05
Circunferencia Braquial (cm)	26,36 (3,88)	27,36 (3,24)	25,38 (4,22)	<0,01
Circunferencia Pantorrilla (cm)	32,61 (5,27)	33,11 (5,85)	32,11 (4,64)	0,33
BIOIMPEDANCIOMETRÍA				
Resistencia (ohm)	580,55 (134,32)	515,10 (101,79)	646,01 (131,69)	<0,01
Reactancia (ohm)	49,48 (13,44)	45,42 (10,19)	53,55 (15,08)	<0,01
Ángulo de Fase (°)	4,94 (1,33)	5,04 (1,36)	4,83 (1,31)	0,43
IMMAE (kg/m ²)	6,22 (2,34)	7,52 (2,24)	4,93 (1,59)	<0,01
ECOGRAFÍA DEL MÚSCULO RECTO FEMORAL				
TAS (cm)	0,95 (0,59)	0,61 (0,30)	1,27 (0,63)	<0,01
GRA (cm)	1,08 (0,35)	1,23 (0,36)	0,94 (0,28)	<0,01
ARA (cm)	3,31 (1,38)	3,93 (1,43)	2,72 (1,05)	<0,01
MiT (%)	44,14 (8,93)	45,28 (9,97)	42,96 (8,02)	0,18
FATiT (%)	40,92 (5,58)	40,75 (6,38)	41,23 (4,89)	0,65
NMNFiT (%)	14,95 (5,13)	13,97 (5,42)	15,81 (4,81)	0,06
Ángulo de Penación (°)	4,92 (3,12-6,82)	5,61 (4,13-7,87)	4,12 (2,33-5,93)	<0,01
DINAMOMETRÍA				
Fuerza de agarre (kg)	17,08 (10,45)	20,98 (10,89)	12,85 (8,13)	<0,01

Comparación de variables entre hombres y mujeres (media (desviación estándar) y mediana (p25-p75)). PPP: Porcentaje Pérdida de Peso; IMC: Índice Masa Corporal; IMMAE: Índice de Masa Muscular Apendicular Esquelética; TAS: tejido adiposo subcutáneo; GRA: Grosor músculo recto anterior; ARA: Área Recto Anterior; MiT: Porcentaje masa muscular; FATiT: Porcentaje de Masa Grasa; NMNFiT Porcentaje de Masa No Muscular No Grasa.

Elena Santos Pascual; Juan José López Gómez

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades neurodegenerativas causan disfunción progresiva, afectando a la calidad de vida y estado nutricional de estos pacientes. Esto conlleva desnutrición y sarcopenia, causando mayor deterioro funcional y agravando su pronóstico. Por ello, cobra importancia su valoración nutricional, incluyendo composición corporal y estado funcional. El uso de nuevas herramientas adaptadas a estos pacientes, como la ecografía, con ayuda de sistemas de asistencia mediante inteligencia artificial puede permitir llevar a cabo valoraciones nutricionales más objetivas y precisas.

OBJETIVOS

- Evaluar en paciente con patología neurológica la relación de nuevos parámetros ecográficos basados en Inteligencia Artificial con pruebas de evaluación de la composición corporal y de la función de uso clínico habitual como la impedanciometría y la dinamometría.
- Valorar las diferencias en los parámetros ecográficos analizados por inteligencia artificial entre distintas patologías neurológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio observacional transversal. Se han recogido datos de anamnesis, antropometría, bioimpedanciometría, dinamometría y ecografía muscular utilizando parámetros determinados por un observador y por un sistema de análisis de imágenes basado en inteligencia artificial (PIIXMED™, Dawako Medtech, S.L) (Figura 1). Los parámetros analizados con esta herramienta son de cantidad(cm); TAS: tejido adiposo subcutáneo; GRA: Grosor músculo recto anterior; ARA: Área Recto Anterior; y de calidad (porcentaje de la región de interés) MiT: Porcentaje masa muscular; FATT: Porcentaje de Masa Grasa; NMNFIT Porcentaje de Masa No Muscular No Grasa. También se evaluó el diagnóstico de desnutrición (criterios GLIM) y sarcopenia (criterios EWGSOP2).

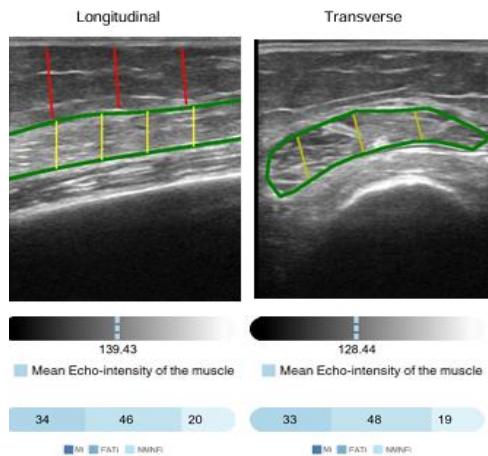


Figura 1. Análisis de imagen ecográfica mediante herramienta de IA en paciente con ELA y sarcopenia

CONCLUSIONES

- Los nuevos parámetros ecográficos medidos con inteligencia artificial presentan una relación significativa con los parámetros de bioimpedancia y dinamometría.
- Pacientes con valores más altos de ángulo de fase y de fuerza de presión tienen mayor porcentaje de músculo, grosor y área muscular, y menor porcentaje de grasa y tejido no muscular.
- Las patologías neurodegenerativas presentan menor proporción de masa muscular, pero mayor de tejido graso y conjuntivo que aquellos con patología no neurodegenerativa. Siendo más significativo en enfermedad de motoneurona, el Parkinson o la distrofia de Steinert.
- Aquellos pacientes diagnosticados de sarcopenia presentan valores de área y grosor muscular más pequeños.

BIBLIOGRAFÍA



RESULTADOS

De los 125 pacientes del estudio, 66 (52,8%) eran mujeres y 59 (47,2%) hombres. 82 (65,6%) padecían enfermedad neurodegenerativa y 43 (34,4%) no neurodegenerativa.

Los parámetros ecográficos de cantidad (TAS (cm); GRA (cm); ARA (cm) y de calidad (MiT (%); FATT (%); NMNFIT no muscular (%); Ángulo de Penación (%)) y aquellos de composición corporal medidos con bioimpedanciometría, mediante el ángulo de fase, y de función muscular medido con dinamometría muestran correlación entre ellos. El ángulo de fase y la dinamometría guardan una relación significativa directa con el aumento del grosor y área muscular e inversa al espesor de tejido graso subcutáneo (figura 2).

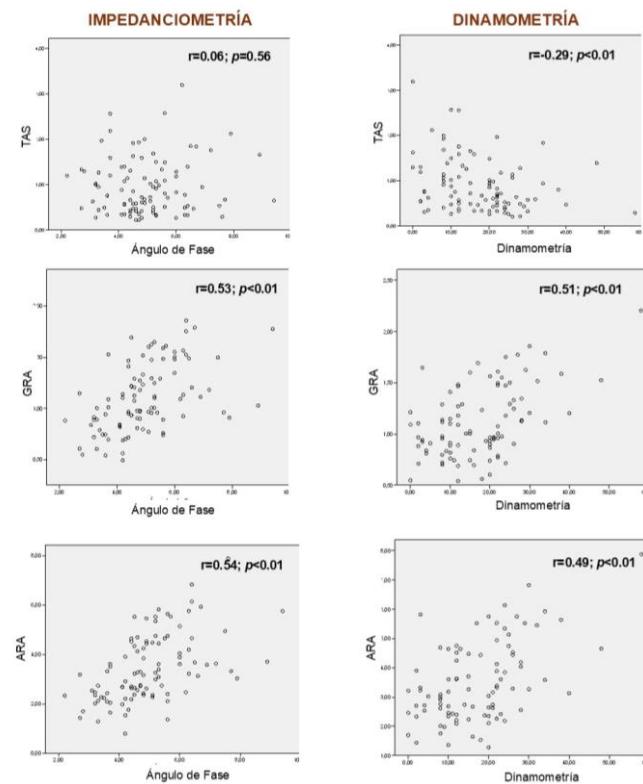


Figura 2. Correlación entre variables ecográficas cuantitativas (TAS, GRA, ARA), el ángulo de fase en impedanciometría y la dinamometría . TAS: tejido adiposo subcutáneo; GRA: Grosor músculo recto anterior; ARA: Área Recto Anterior

Los pacientes con patología neurodegenerativa tienen menor proporción de masa muscular (42,40% vs 47.23%; $p<0.01$), pero más de tejido no muscular (15.65% vs 13.55%; $p=0.04$) y más grasa (41.95% vs 39.22%; $p<0.01$) que aquellos pacientes con patología no neurodegenerativa (figura 3).

El grupo de pacientes con desnutrición (63%) presenta porcentajes de grasa mayores (42.02% vs 39.09% $p<0.01$), pero menos grosor muscular o GRA (1.03cm vs 1.18cm $p=0.04$) que los normo nutridos. Los pacientes con sarcopenia (34,4%) presentan menor cantidad muscular, medida por el grosor o GRA (0.97cm vs 1.25cm; $p<0.01$) y área muscular o ARA (3.02cm vs 3.92cm ; $p<0.01$)

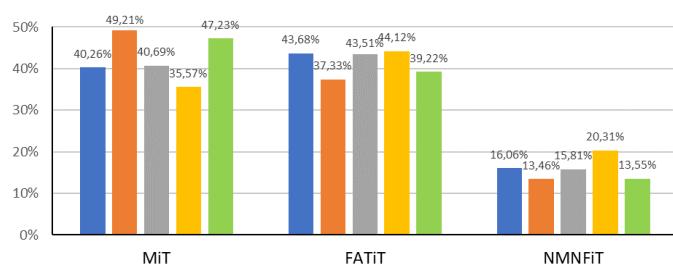


Figura 3. Diferencias entre los parámetros ecográficos de distintas patologías neurológicas. MiT: Porcentaje masa muscular; FATT: Porcentaje de Masa Grasa; NMNFIT Porcentaje de Masa No Muscular No Grasa