

Análisis de los resultados de la fuerza de agarre manual para establecer el grado de fragilidad de la población anciana.

Alejandro Calbo Prats

Departamento de Resistencia de Materiales y
Estructuras de la Ingeniería
Escuela Politécnica Superior de Ingeniería
Vilanova i la Geltrú, 2020

La fuerza de agarre manual (HGS) se ha demostrado que es un indicador fiable de la fuerza muscular, por lo que se ha seleccionado para ayudar a evaluar el grado de fragilidad en la población anciana.

Esta investigación trata de analizar los resultados de las señales obtenidas de la fuerza de agarre en función del tiempo siguiendo un protocolo diseñado para ello. Para las pruebas, se han utilizado dinamómetros modificados Constant, calibrados previamente. La población que ha realizado las pruebas es de un grupo de 50 personas con edades entre 70 y 100 años.

Para analizar las señales, se estudiaron diferentes características de la curva para correlacionarlas con los siguientes ensayos clínicos: Índice de Barthel, Índice frágil VIG, Escala de Lawton y Brody y por último el criterio de fragilidad de Fried.

Los resultados obtenidos de las correlaciones refuerzan los datos ya reportados sobre la fuerza máxima y media, indicando que con una significancia importante cuanto mayor nivel de fragilidad presentan los sujetos, menor es el valor resultante de estas dos características.

Además, se encontró una relación nueva y estadísticamente significativa respecto a la pendiente de bajada. Este dato no se había reportado todavía y respalda la buena idea de analizar las características a partir de la curva fuerza-tiempo.

Debido a la realización de esta investigación inicial, se fortalece la necesidad de realizar la prueba con una muestra de mayor, pues la muestra analizada no es suficientemente extensa para un estudio como este.

INTRODUCCIÓN

La esperanza de vida de los ciudadanos se está incrementando exponencialmente. Según la información extraída de los indicadores de estructura de población en España publicados en junio de 2019 por el INE (Instituto Nacional de Estadística), la edad promedio de la población de España se sitúa en los 43,4 años en 2019, frente a los 33,5 años de hace 40 años. Actualmente las personas de 65 años o más edad representan el 19,4% de la población total de España [1].

La fragilidad es un estado psicopatológico relacionado directamente con la edad, ya que está se manifiesta hasta en un 30% de las personas con edad superior a 75 años.

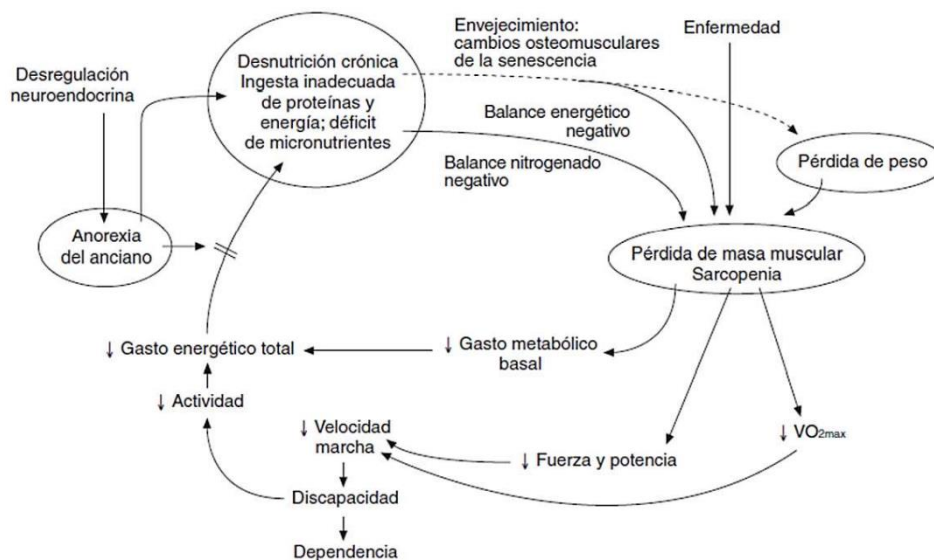
Existen estudios geriátricos que demuestran que la aparición de la fragilidad se puede anticipar y/o evitar y, así, mejorar los resultados clínicos y la calidad de vida de adultos frágiles. Linda P. Fried desarrolló una hipótesis considerando que podría existir un ciclo de fragilidad (ilu.1), donde todo giraba en torno a la sarcopenia, la disminución de fuerza, la malnutrición crónica, la tolerancia al ejercicio y el descenso del gasto energético total.

La reducción de la fuerza muscular se asocia con el envejecimiento, así como el deterioro físico. Por ello, es posible que el rendimiento de la función de la mano o del brazo se utilice para identificar a personas mayores con limitaciones funcionales, por lo tanto, estimar el riesgo de fragilidad.

El estudio forma parte del proyecto ENVELLINT asociado del PECT del Garraf que tiene como objetivo principal convertir la comarca en un entorno saludable para los ancianos gracias al análisis de datos y, así, diseñar un modelo de atención integral, funcional y

organizativo adaptado para personas frágiles. Mientras que el presente proyecto estudiará la forma de establecer una relación entre la fuerza de garre manual con la evolución de la fragilidad en una población anciana.

Ilustración 1: Ciclo de la fragilidad [1]



MÉTODO

Población del estudio

Los sujetos son 15 hombres y 9 mujeres que tienen desde 18 años hasta 60 años. La edad media es de 35,75 años. Ninguno de los sujetos tiene antecedentes de trastorno neurológico ni fractura de la extremidad superior, ni artritis diagnosticada, además de ninguna enfermedad degenerativa.

Ilustración 2: Dinamómetro 1 Constant modificado



Instrumentos

-Dinamómetro: de mano modificado: Registra la medida de la evolución temporal de la señal de la fuerza ejercida. El modelo es Constan EH101 90kg.

-Tarjetas USB: Adquieren las señales en crudo del dinamómetro.

-Aplicación Android: Permite el control del dinamómetro modificado y sincroniza el número asociado al paciente y la fecha/hora de la medida.

CALIBRACIÓN

La calibración fue necesaria para establecer una precisión aceptable de las medidas.

Este proceso consiste en sostener el dinamómetro mediante dos barras metálicas, empotradas a una

estructura de ensayos de fuerza, a una altura suficiente para permitir colgar de la maneta de agarre una plataforma metálica para acoger los pesos calibrados mediante correas. Se utilizaron una serie de pesos calibrados de 5 kg cada uno, el rango utilizado fue de 5 kg a 35 kg.

Ilustración 3: Método de calibración



- Dinamómetro 1:
 $x = 1,0123 y + 0,0207$

- Dinamómetro 2:
ERROR

- Dinamómetro 3:
 $x = 1,0391 y + 0,2317$

Protocolo

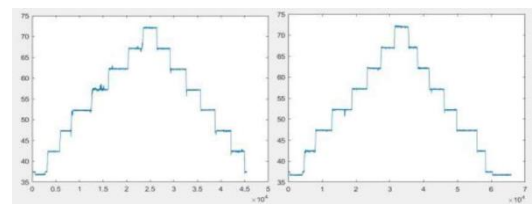
Cada sujeto se registró de forma numeral, el género, la edad, el peso y cualquier información necesaria respecto a su salud.

Ilustración 4: Ejemplo posición protocolo

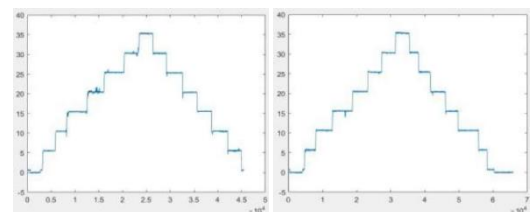


El sujeto se sentó en una silla con el antebrazo colocado en la pierna y en la mano dominante agarrando el dinamómetro perpendicular a la pierna, los pies firmes en el suelo a la distancia del ancho de los hombros y el hombro aducido rotado neutralmente.

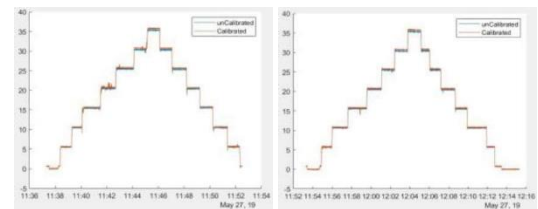
Se realizaron 2 repeticiones de la prueba descansando al menos un minuto entre ellas, que consiste en ejercer el máximo de fuerza posible y mantenerla durante 6 segundos, mientras el paciente realizaba la prueba el investigador no paró de animarlo para que su fuerza fuera la máxima. Todo el procedimiento fue supervisado por un investigador o persona a cargo de las pruebas



Gráfica 1: Señales de calibración del dinamómetro 1



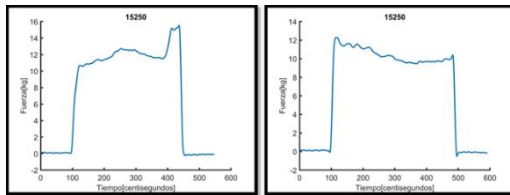
Gráfica 2: Señales de calibración del Dinamómetro 1 valorando el offset



Gráfica 3: Señales sin calibrar y calibradas del dinamómetro 1

Recogida de datos

Para poder adquirir una señal adecuada, es necesario seguir correctamente el protocolo, haciendo entender cuidadosamente a los pacientes y corrigiéndolos si es oportuno. Los datos fueron volcados con una base de datos diseñada con Matlab. La señal es adquirida por el script, filtrada y se comprueba que es válida para analizar.



Gráfica 4: Señales filtradas del paciente 15250

En la gráfica 4, se exponen dos ejemplos de señales calibradas adquiridas por el dinamómetro.

Se pueden definir tres fases: apriete, mantenimiento y decaimiento de la fuerza.

Para encontrar cada uno de los puntos de división de sección se creó otro script en Matlab. En estas divisiones se estudiarán características y, así, estudiar la correlación de éstas con la fragilidad.

Las características estudiadas en la fase de apriete y en la de decaimiento son las pendientes de subida y de bajada, mientras que en la fase de mantenimiento se ha analizado el tiempo total de la fase, la fuerza media, la desviación y el rango de la fuerza, la fuerza máxima y su posición, además del área total de esta gráfica para determinar la energía gastada por el sujeto al realizar la prueba. También se aplica la transformada rápida de Fourier para obtener la amplitud de la fase de apriete y decaimiento de forma frecuencial, así como, los valores de Kurtosis y Skewness

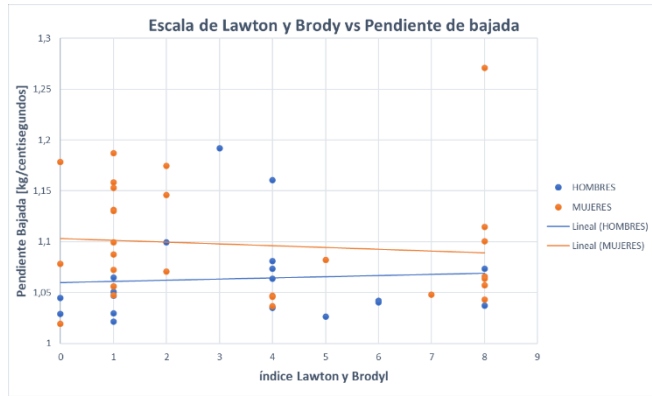
RESULTADOS

Al extraer todas las características de cada una de las señales, se calculó la correlación de ellas con los resultados de las escalas de los ensayos clínicos realizados a los pacientes diferenciando dos grupos que consistían en los sujetos masculinos y femeninos.

Se utilizaron tres métodos de correlación que fueron Spearman, Kendall y por último Pearson. Tras analizar los datos se observó que los resultados que mas se adecuaban eran los de Pearson.

Tabla 1: Tabla resumen de coeficientes de correlación de Pearson con los más interesantes subrayados con un naranja más oscuro.

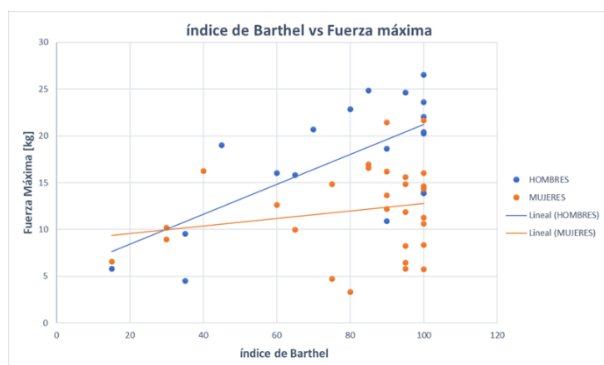
Características de la señal	BARTHEL		LAWTON Y BRODY		FRIED		VALORACIÓN INTEGRAL GERIÁTRICA					
	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2	
Tiempo Fase Mante nimiento	-0,25	0,16	-0,27	-0,01	-0,04	-0,10	0,30	-0,32	0,37	-0,22	0,20	-0,40
Fuerza Media	0,66	0,18	0,69	0,16	-0,13	-0,18	-0,51	-0,11	-0,69	-0,14	-0,29	-0,06
Amplitud Fuerza	0,42	0,19	0,10	0,11	-0,29	0,11	-0,47	0,00	-0,49	-0,05	-0,38	0,04
Desviación Fuerza	0,34	0,12	0,03	0,04	-0,28	0,14	-0,42	0,05	-0,44	0,01	-0,34	0,09
Fuerza Máxima	0,68	0,21	0,67	0,21	-0,16	-0,18	-0,54	-0,13	-0,71	-0,16	-0,32	-0,06
Instante de Fuerza Máxima	0,41	-0,32	0,42	-0,28	-0,29	0,11	-0,45	0,34	-0,46	0,35	-0,38	0,28
Área	0,26	-0,12	0,29	0,10	-0,02	-0,12	-0,23	0,03	-0,33	0,07	-0,09	-0,02
Pendiente de Subida	0,20	-0,12	0,07	-0,10	0,07	-0,16	-0,18	0,18	-0,28	0,18	-0,05	0,18
Pendiente de Bajada	0,51	0,20	0,59	0,16	-0,10	-0,24	-0,33	-0,19	-0,50	-0,19	-0,13	-0,15
FdfitAmp	0,46	-0,04	0,54	0,15	-0,08	-0,17	-0,33	0,02	-0,46	-0,01	-0,17	0,05
FdfitAmp	0,39	0,04	0,30	0,01	-0,02	-0,28	-0,35	-0,02	-0,48	-0,02	-0,18	0,01
SignalKurtosis	0,04	0,22	0,15	-0,01	0,09	-0,01	0,22	-0,27	0,17	-0,21	0,25	-0,29
SignalSkewness	-0,16	-0,20	-0,34	0,07	-0,22	-0,02	-0,15	0,20	0,02	0,18	-0,30	0,18
FftKurtosis	0,16	-0,35	0,26	-0,03	0,06	-0,02	-0,10	0,26	-0,21	0,23	0,02	0,25
FftSkewness	0,11	-0,30	0,24	0,02	0,13	-0,01	-0,04	0,24	-0,16	0,19	0,08	0,25



Gráfica 5: Líneas de regresión del índice de Lawton Brody y la Pendiente de bajada

En la gráfica 5 a pesar de que las pendientes son muy suaves, se puede apreciar que el resultado es inverso entre ambos grupos. En el caso de los hombres se observa una pendiente ascendente, mientras que las mujeres muestran una tendencia descendente.

Esto significa que mientras que para los hombres un aumento de los índices de Lawton y Brody conlleva un aumento de la pendiente de bajada, para las mujeres significa lo contrario, es decir, a medida que aumenta el valor de los índices, el valor de la pendiente disminuye. No obstante, el resultado de las mujeres no es el esperado, y viendo el coeficiente de correlación obtenido anteriormente podríamos decir que no es un resultado estadísticamente significativo



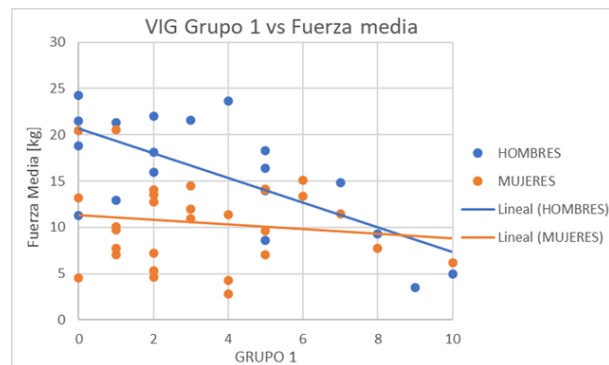
Gráfica 6: líneas de regresión del índice de Barthel y la Fuerza máxima

En la gráfica 6 podemos observar dos resultados muy diferentes a primera vista. El grupo de mujeres mantiene su bajo nivel de correlación mientras que el grupo de los hombres presenta una pendiente

positiva y una línea de tendencia muy interesantes.

Según la línea de tendencia del grupo de los hombres, cuanto mayor sea la fuerza máxima ejercida, mayor será el índice de Barthel obtenido por el paciente. Es decir, a mayor movilidad/funcionalidad mayor fuerza máxima.

Cabe recordar que el índice de Barthel cuanto mayor sea el coeficiente mayor será el nivel de movilidad/funcionalidad del paciente.



Gráfica 7: líneas de regresión entre el índice fragil VIG Grupo 1 y la fuerza media

En la gráfica 7 los resultados que se pueden observar en la gráfica son buenos ya que la dispersión de los puntos no es muy elevada y se puede apreciar a simple vista que en el grupo de hombres guarda una gran relación con respecto al valor de la fuerza media. La pendiente de la línea de tendencia es bastante pronunciada lo cual indica que en función del aumento del índice de fragilidad del paciente en el grupo 1, prácticamente en la misma proporción tiende a disminuir la fuerza resultante como bien indica el sentido de la pendiente que en este caso es negativa. Podemos afirmar que cuanto mayor sea el índice VIG del grupo 1, la fuerza media tiene la tendencia a disminuir.

Sin embargo, en el grupo de las mujeres se presenta la misma tendencia, pero con un grado de dependencia mucho menor. Los cambios en los coeficientes de las escalas en el grupo de mujeres no alteran tanto el resultado de la fuerza media como en el de hombres.

Esto puede deberse a que la muestra dispone de un número de pacientes muy limitado, ya que para estudios de esta índole se precisa de una muestra mucho más extensa.

ESTUDIO ECONÓMICO

La financiación de la que consta el proyecto Envellint es de 328.536,52€, esta ha sido concedida por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, el Consell Comarcal, los ayuntamientos y los centros impulsores de cada actuación.

Coste total

El coste total de la realización de este ensayo se observa en la siguiente tabla.

Esto suma un 4,96% de la financiación total, por lo que el resto estaría disponible para continuar con el desarrollo del proyecto *Envellint*.

PARTIDA PRESUPUESTADA	IMPORTE TOTAL (€)
INGENIERÍA	13.270,00
COMPRAS	1.492,08
SUBTOTAL	14.762,08
IMPREVISTOS (10%)	1.476,21
COSTE TOTAL	16.238,29

Tabla 2: Partida presupuestaria del proyecto

Partida de Ingeniería

Debido al desarrollo del proyecto, se ha alcanzado la siguiente tabla presupuestaria teniendo en cuenta el sueldo de cada uno de los colaboradores

Tabla 3: Costes de ingeniería

CONCEPTO IMPUTABLE	PROFESIONAL	HORAS	TARIFA (€/h)	TOTAL (€)
Protocolo estudio clínico	Investigador	40	60	2400
	Genetra x2	2	90	360
Desarrollo del CRD	Investigador	40	60	2400
	Genetra	2	90	180
Creación de la aplicación Android	Programador	50	60	3000
Adaptación y puesta a punto de los dinamómetros a partir de un dibujo preexistente	Ingeniero	10	60	600
	Técnico	20	40	800
Preparación de la documentación para C-EI	Investigador	16	60	960
	Técnico	20	40	800
Programación Matlab	Investigador	10	60	600
Recogida de datos	Genetra	3	90	270
Análisis de datos	Investigador	15	60	900
TOTAL (€)				13.270,00

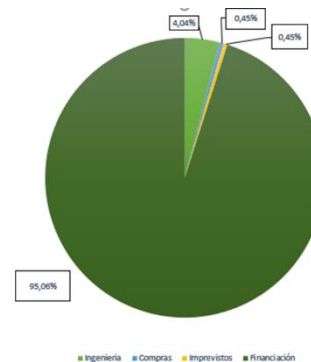
Partida de compras comerciales

Los costes derivados de la adquisición de elementos comerciales necesarios para el desarrollo del proyecto son los siguientes:

Tabla 4: Presupuesto de elementos del proyecto

ELEMENTO	€ / UD.	UDS	TOTAL (€)
Dinamómetro de mano (Constant)	24	3	72
Tarjeta microSD (Transcend 2GB)	12,58	3	37,74
Sensor inercial MoMoPa	450	3	1350
Amplificador instrumentación	2,28	3	6,84
Placa de prototipado	1,5	3	4,5
Conectores varios e interruptor	3	3	9
Material diverso laboratorio	4	3	12
TOTAL	1492,08		

Finalmente se muestra a continuación en la gráfica 5 la distribución de los gastos del proyecto dentro de la financiación total que recibe. Por ello, se puede destacar que el total de la financiación es mucho más grande que los gastos, todavía se dispone del 95,06% de la financiación.



Gráfica 8: Distribución de los gastos del proyecto

CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto es encontrar parámetros estadísticos que nos permitan mejorar los sistemas de evaluación de la fragilidad. En concreto, se buscan variables relacionadas directa o indirectamente con el nivel de fragilidad o funcionalidad/movilidad del sujeto.

En este sentido, el estudio quiere mejorar la evaluación existente. Hasta el momento el diagnóstico del nivel de fragilidad se lleva a cabo

mediante el HGS, siendo esta una prueba subjetiva que solo tiene en cuenta el punto máximo de fuerza del sujeto. Este proyecto tiene como objetivo introducir en un futuro la inteligencia artificial como herramienta para evaluar este nivel de fragilidad y mejorar la eficacia y validez de los diagnósticos.

Para ello se ha propuesto hacer una medida de la fuerza de la HGS con un dinamómetro para

objetivar los resultados, midiendo, en lugar de la fuerza pico instantánea, la fuerza en el tiempo durante 6 segundos para analizar la evolución de la señal. De esta señal se extraen las características matemáticas de la pendiente de subida y bajada, el tiempo de mantenimiento de la fuerza, la amplitud, la desviación, la fuerza máxima, la fuerza media, el instante de la fuerza máxima, el área, la amplitud de las fases de apriete y decaimiento, la Kurtosis y Skewness. Posteriormente, se correlacionan con los datos clínicos de las escalas de fragilidad de 50 pacientes obtenidos en geriátricos. Finalmente, los valores estadísticamente significativos se han analizado mediante diagramas de dispersión de los que se han extraído correlaciones lineales.

Después del tratamiento y depuración de la BBDD se han hallado las correlaciones estadísticamente significativas (+0.65) con la fuerza máxima y media. Aunque en contra de nuestra lógica ha sido básicamente el grupo de los hombres el que ha mostrado resultados estadísticamente importantes. Las características de fuerza máxima y media no aportan información nueva, ya que han sido reportadas en estudios anteriores en los que se relaciona directamente la fuerza muscular con el nivel de fragilidad.

El segundo grupo de características con una significancia menor (+0.50), pero a tener en cuenta, es la pendiente de bajada cuando se relaciona con los ensayos de Barthel y Lawton Brody. Este dato no se ha reportado en estudios anteriores, se ha observado que a medida que la pendiente de bajada aumenta el nivel de movilidad/ funcionalidad aumenta y el de fragilidad disminuye porque cuando el paciente presenta una movilidad/funcionalidad buena, tiene la capacidad de sostener mejor la fuerza en el tiempo y por lo tanto generar al final una pendiente de bajada muy pronunciada.

En tercer lugar, encontramos correlaciones con coeficientes más bajos. Sin embargo, cuando realizamos los diagramas de dispersión de estos, se encontraron tendencias muy interesantes. Cabe añadir que en muchas de estas presentaban tendencias en las líneas de regresión satisfactorias. La razón de estos resultados un tanto desconcertantes puede deberse al poco número de pacientes, pues en los diagramas muchos de ellos presentan una dispersión de los puntos elevada, encontrándose valores extremos que influyen en los

resultados. Las características de nuestra curva-fuerza tiempo que presentan estas condiciones son las siguientes:

Amplitud de la fuerza en la fase de apriete (FAffAmp): En el grupo de los hombres a mayor nivel de movilidad/funcionalidad hay tendencia a aumentar la amplitud.

Amplitud de la fuerza: En el grupo de hombres para para niveles de fragilidad mayores, tiende a disminuir la amplitud de la fuerza en la fase de mantenimiento.

Instante de la fuerza máxima: En el grupo de hombres se observa que a mayor nivel de fragilidad presenta un intervalo de tiempo para ejercer la fuerza máxima más corto. En el grupo de las mujeres es la acción contraria a esta.

Los resultados de las mujeres que van en contra de nuestro sentido común pueden explicarse por la presencia de variables extrañas que no han sido controladas, estas deberán evaluarse para futuras investigaciones. Una de ellas puede ser el momento del día en el que se han llevado a cabo los ensayos, ya que en estudios psicológicos se ha demostrado que las personas están más cansadas por la tarde, encontrándose mejor rendimiento por la mañana. Por otro lado, el número reducido de participantes es otro factor que afecta a la fiabilidad y validez de este estudio. Para poder obtener resultados generalizables al resto de la población es necesario que se replique el estudio con un número más grande de sujetos, tanto en el grupo de hombre como en el de mujeres.

Este estudio fue interrumpido por la pandemia, y se espera triplicar el número de ensayos de un futuro próximo. Por último, otro aspecto que habrá que ver, es si este nuevo protocolo de ensayo de fuerza-tiempo es bien asumido en consulta.

BIBLIOGRAFIA

[1] Xue, Q.L. The Frailty Syndrome: Definition and Natural History. *Clinics of Geriatric Medicine* (2011) 27 (1): 1-15

[2] Fried, L.P., Tangen C.M., Walston, J., Newman, A.B., Hirsch, C., Gottdiener, J., et al. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *Journal of Gerontology: Medical Sciences* (2001) 56(3): 146-156

[3] Bortz, W.M. A conceptual framework of frailty: a review. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological sciences and Medical sciences* (2002) 57 (5): 283-288

[4] Rockwood, K., Song, X., MacKnight, C., Bergman, H., Hogan, D. B., McDowell, I., and Mitnitski, M. A global clinical measure of fitness and frailty in elderly people (2005) 173(5): 489-495

[5] Walston, J., Hadley, E.C., Ferrucci, L., Guralnik, J.M., Newman, A.B., Studenski, S.A., et al. Research Agenda for Frailty in Older Adults: Toward a Better Understanding of Physiology and Etiology: Summary from the American Geriatrics Society/National Institute on Aging Research Conference on Frailty in Older Adults. *Journal of the American Geriatrics Society* (2006) 54 (6): 991-1001

[6] Sousa-Santos, A.R., Amaral, T.F. Differences in handgrip strength protocols to identify sarcopenia and frailty - a systematic review, *BMC Geriatrics* (2017) 17: 238

[7] García, A. A., García, A. A., & Rodríguez, R. P. (2019). Un perfil de las personas mayores en España, 2019. Indicadores estadísticos básicos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS). Envejecimiento en red. ISSN: INFORMES envejecimiento

[8] Redacción National Geographic. (2018). España será el país con mayor esperanza de vida en 2040. diciembre 3, 2019, de National Geographic Sitio web: https://www.nationalgeographic.com.es/mundong/actualidad/espana-sera-pais-mayor-esperanza-vida-2040_13356