

DINÁMICA DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR. SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE DIFERENTES MECANISMOS DE ACTIVACIÓN

Ángel Heras Sádaba¹, Javier Miana Mena², Laura Moreno Martínez³, Begoña Calvo^{1,4}, Jorge Grasa^{1,4}

¹ Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain. Tel. +34-976762707, e-mail: aheras@unizar.es

² Departamento de Farmacología, Fisiología y Medicina Legal y Forense, Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2, Universidad de Zaragoza-CITA, Spain

³ Centro de Investigación Biomédica en Red de Enfermedades Neurodegenerativas (CIBERNED), Universidad de Zaragoza, Agroalimentary Institute of Aragon (IA2), Institute of Health Research of Aragon (IIS), Spain

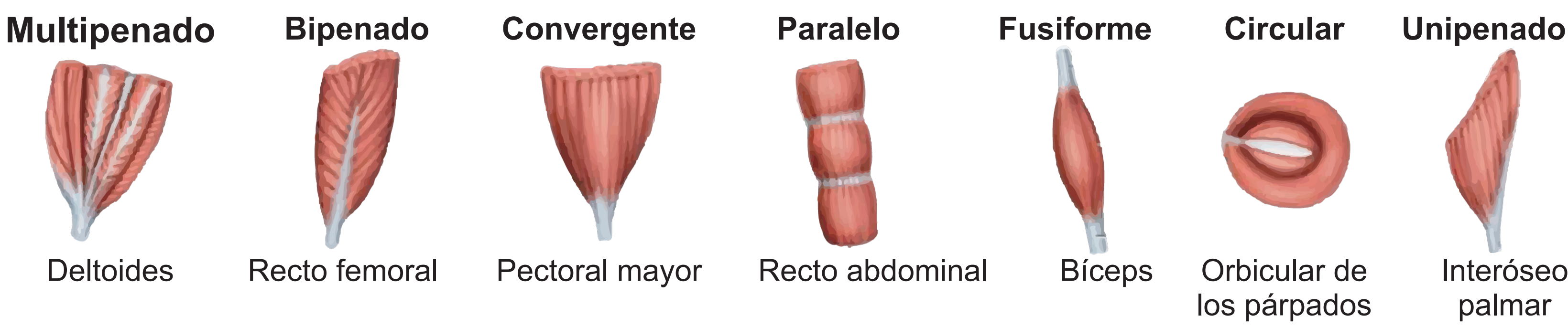
⁴ Bioengineering, Biomaterials and Nanomedicine Networking Biomedical Research Centre (CIBER-BBN), Spain

INTRODUCCIÓN

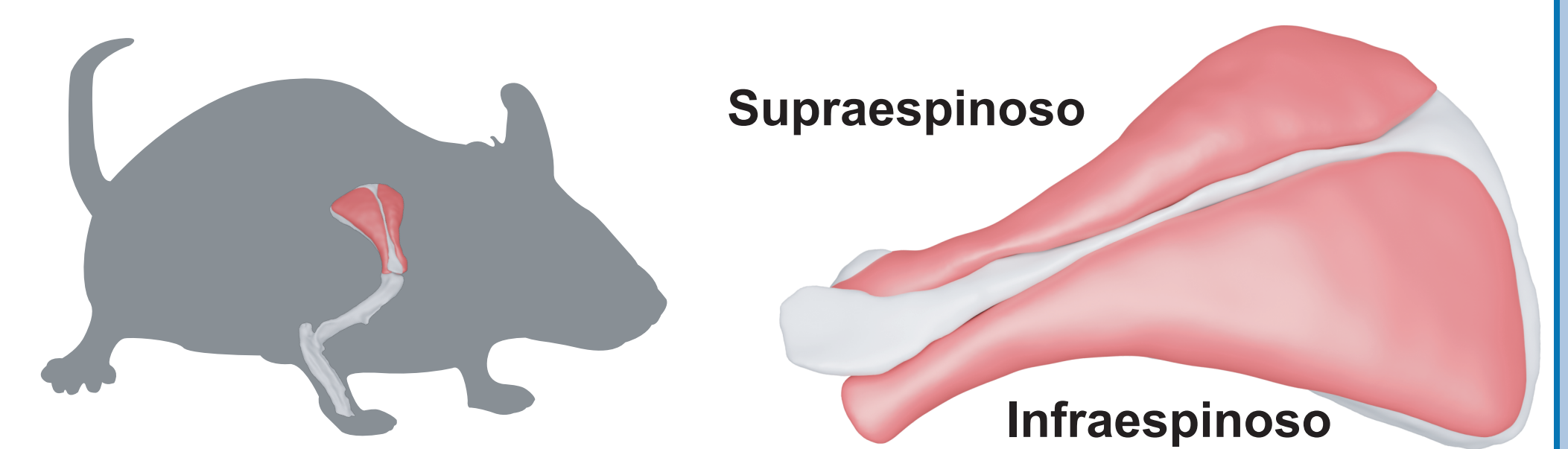
La simulación computacional de la respuesta activa y pasiva del músculo esquelético, mediante elementos finitos, requiere definir con exactitud la orientación de las fibras musculares, ya que la disposición de éstas se relaciona directamente con la fuerza desarrollada por el tejido [1]. En este trabajo se presenta una metodología que permite determinar la orientación de las fibras musculares a partir de imágenes de alta resolución de los músculos infraespinoso y supraespinoso del manguito rotador de ratón y su posterior implementación en modelos computacionales, para simular diferentes respuestas de contracción muscular mediante Elementos Finitos. En primer lugar, se aisló el manguito rotador de tres muestras de ratón. Después se observó bajo microscopio confocal para obtener imágenes de alta calidad de las orientaciones de las fibras. Dichas imágenes se procesaron para poder parametrizar las orientaciones de las fibras y se importaron en los modelos computacionales de los músculos, para simular la contracción activa isométrica y la respuesta pasiva del infraespinoso y el supraespinoso [2]. Por otro lado, se caracterizó experimentalmente el comportamiento activo y pasivo de los músculos en estudio para validar el modelo computacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Músculos penados

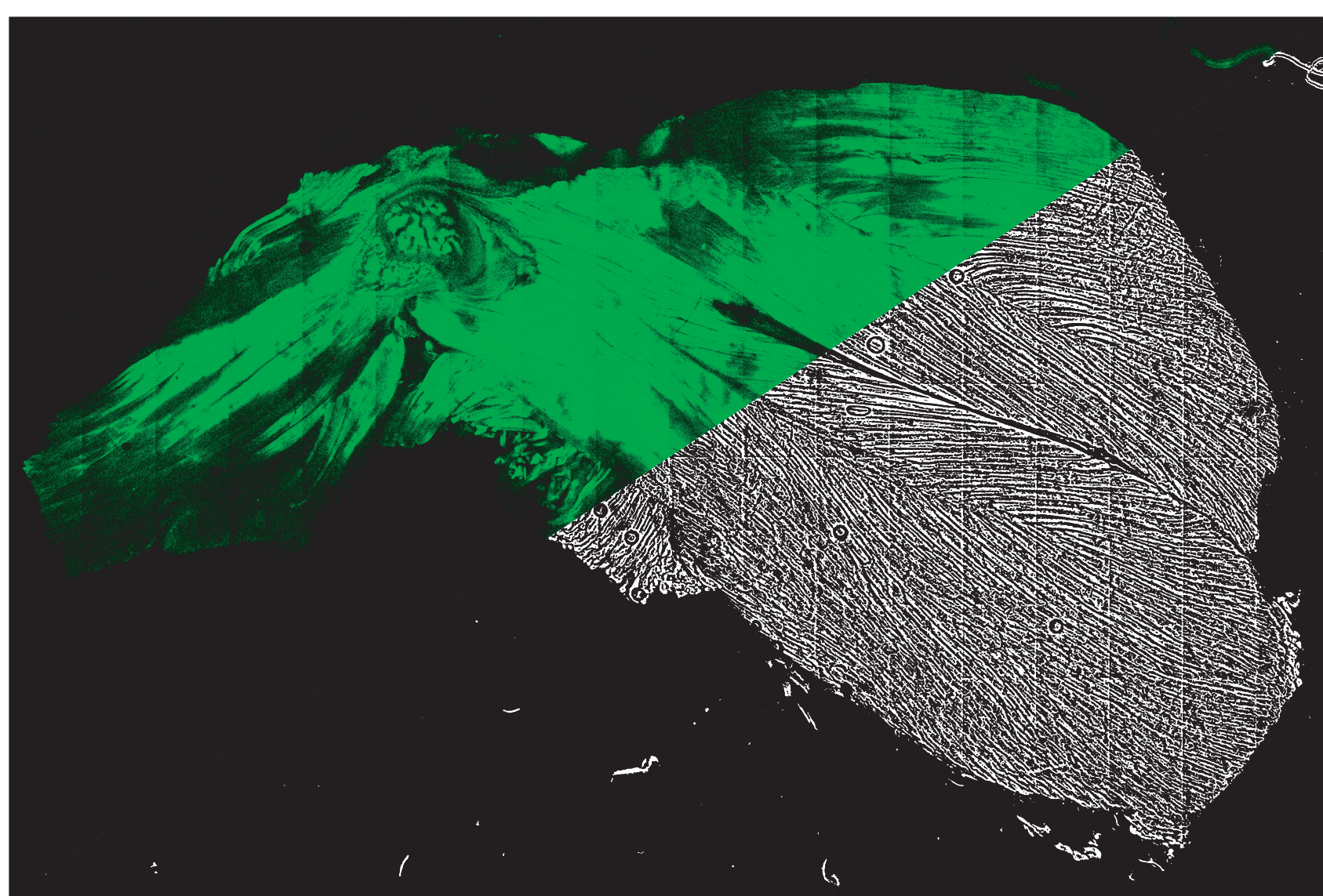


Músculos a estudiar



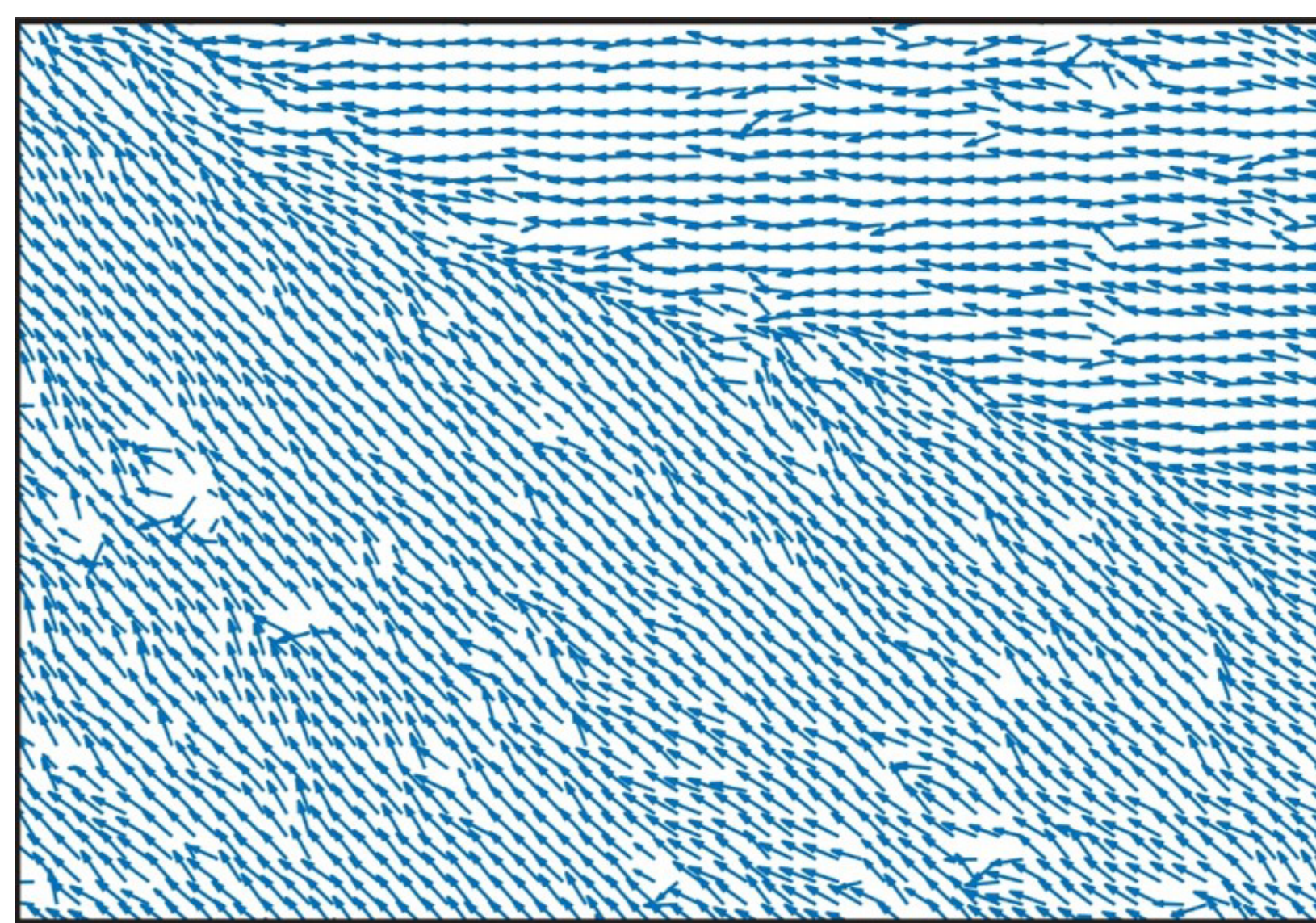
Obtención de las orientaciones de fibras musculares

Microscopio multifotón Zeiss LSM 880 NLO

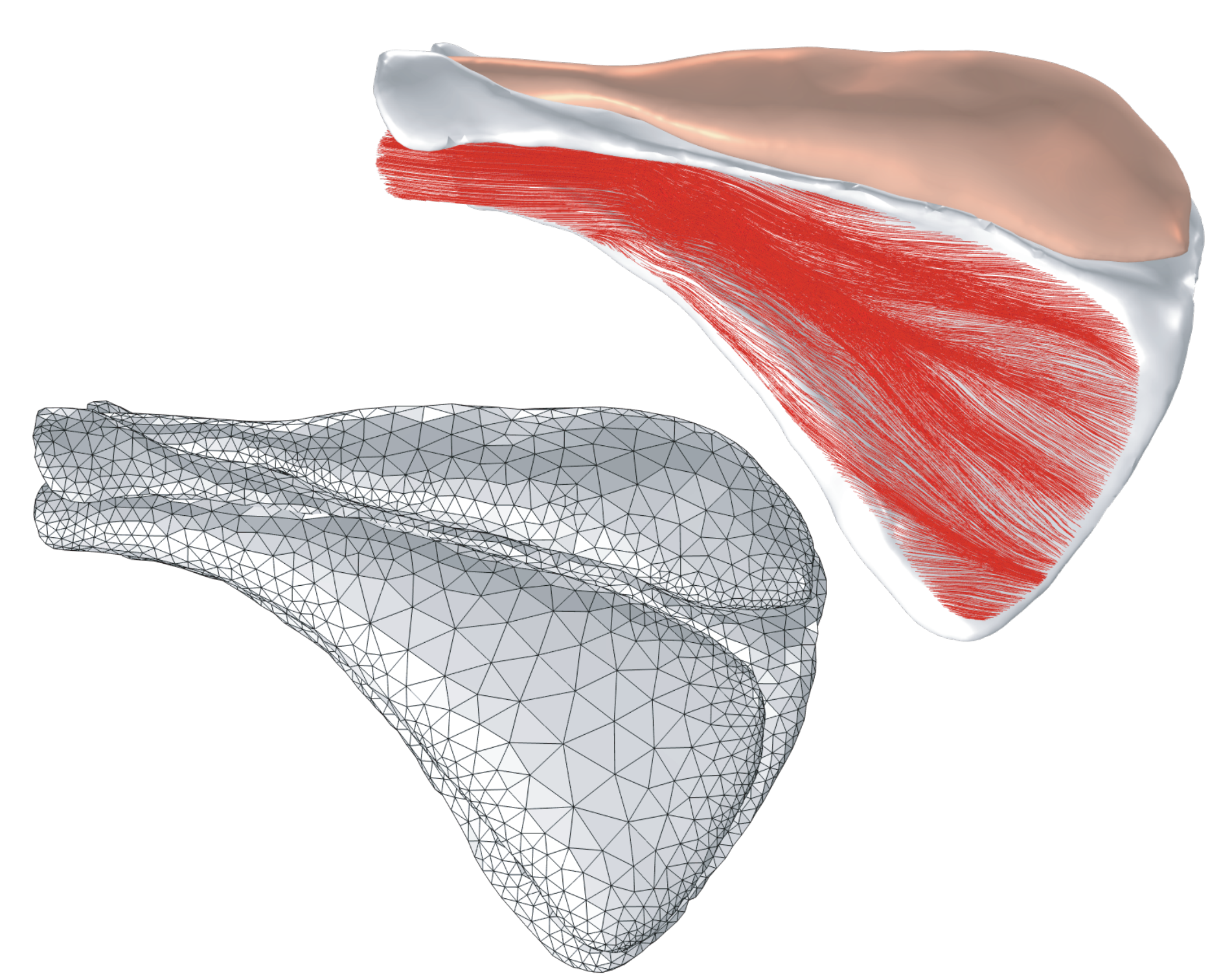


Obtención de las orientaciones de fibras con Fiji

Parametrización de las fibras musculares



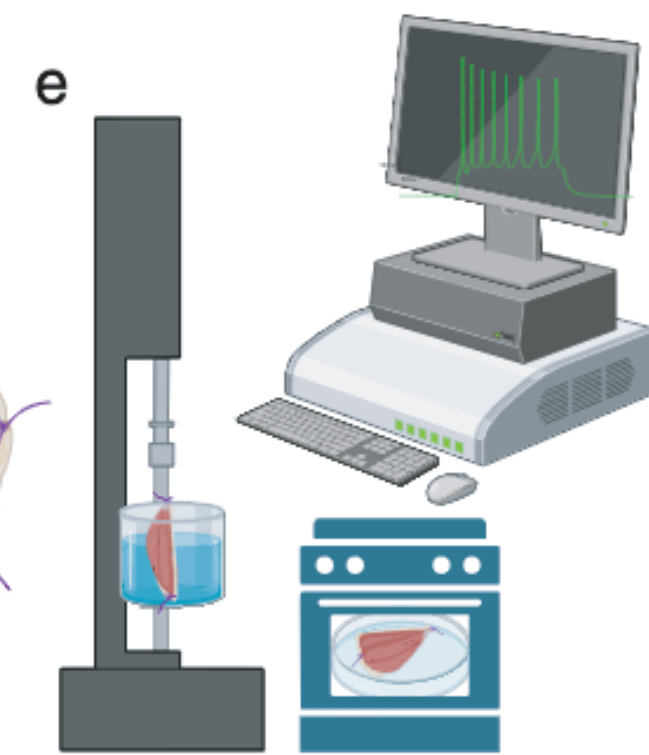
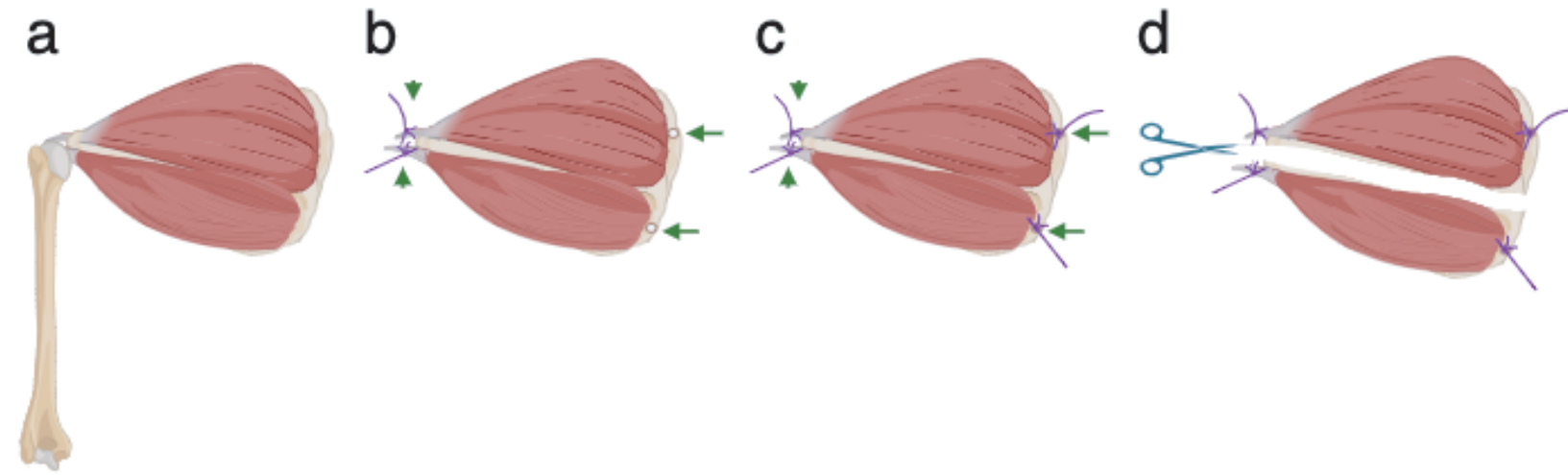
Fibras importadas en el modelo computacional



Caracterización experimental

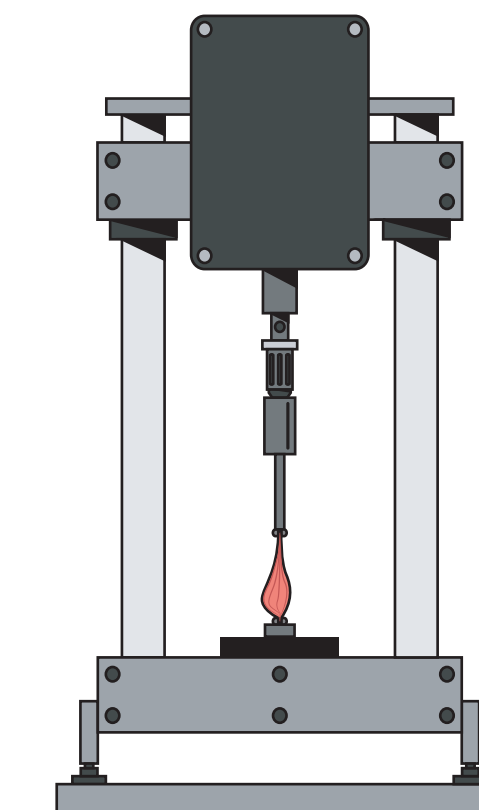
Comportamiento activo isométrico

$$\Psi = \Psi_{vol} + \overline{\Psi}_p + \overline{\Psi}_a \quad [3]$$



- Dispositivo utilizado:
1200A system (Aurora Scientific Inc. ON, Canada)
Se siguió el protocolo establecido por Moorwood et al. (2013)
Condiciones del ensayo:
Solución de Ringer calentada y saturada con gas carbógeno a 27°C
Longitud óptima de cada muestra: Pulsos isométricos individuales (1ms, 100V, 2min/5 min)
Estimulación para inducir la tetanización isométrica (10Hz, 80Hz, 100Hz, 120Hz y 140 Hz)
tº estimulación = 0,5 s, pulsos 100 V aplicados durante 1 ms
Frecuencia adquisición datos: 10 kHz

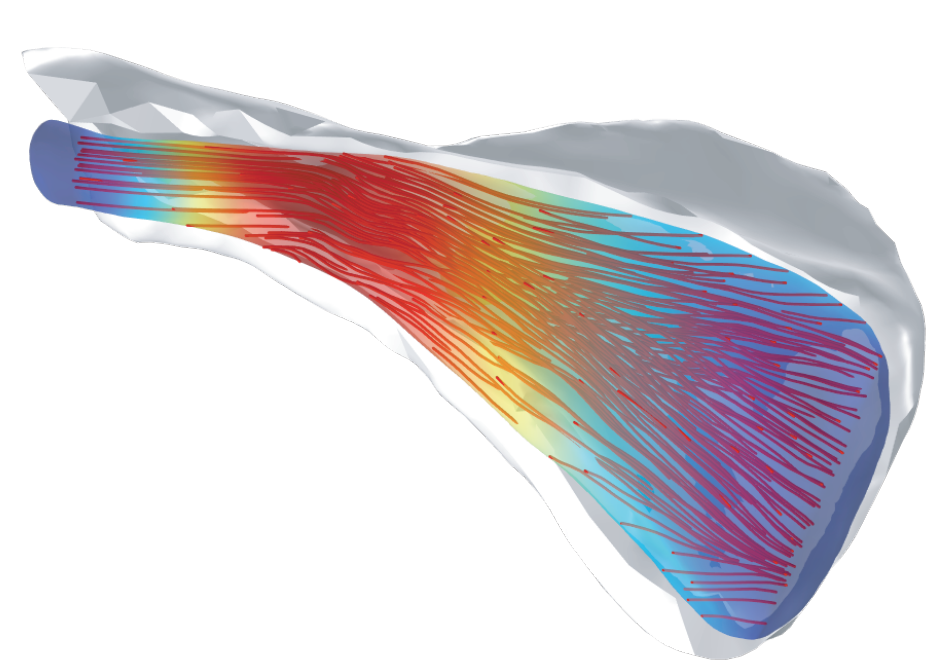
Comportamiento pasivo



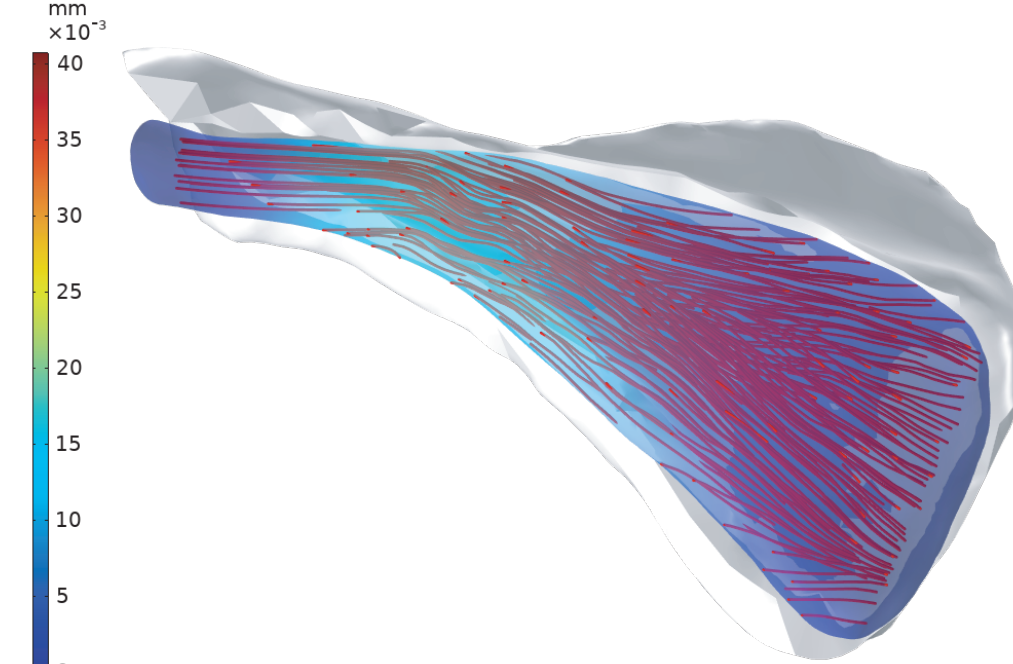
- Dispositivo utilizado:
Electromechanical Instron Microtester 5248 (Illinois Tool Works Inc., Glenview, IL, USA)
Célula de carga 5 N, resolución mínima de 0.001 N
Condiciones del ensayo:
Desplazamiento de 3 mm/min hasta rotura
Frecuencia de adquisición de los datos de Fuerza [N] y desplazamiento [mm]: 10 Hz

RESULTADOS

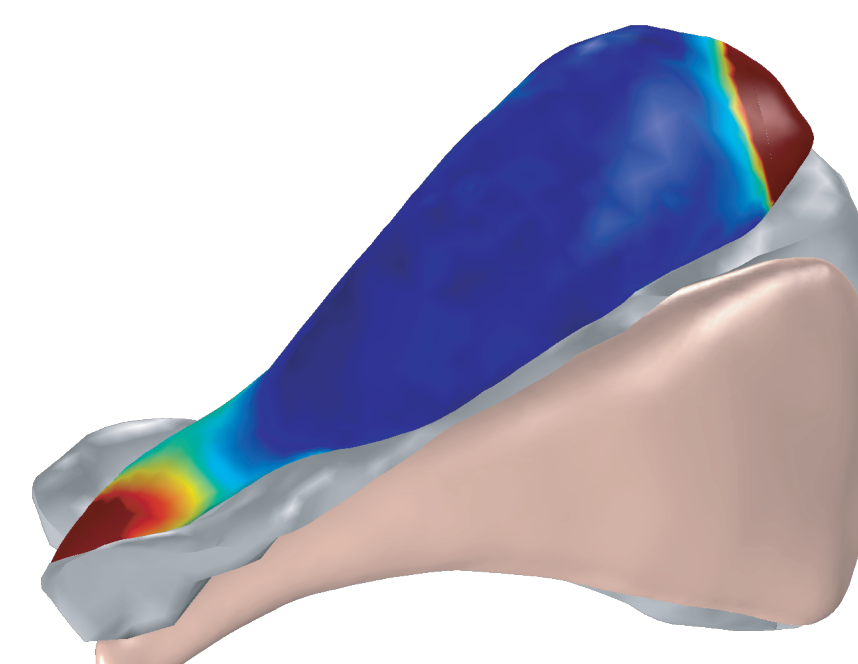
Contracción isométrica



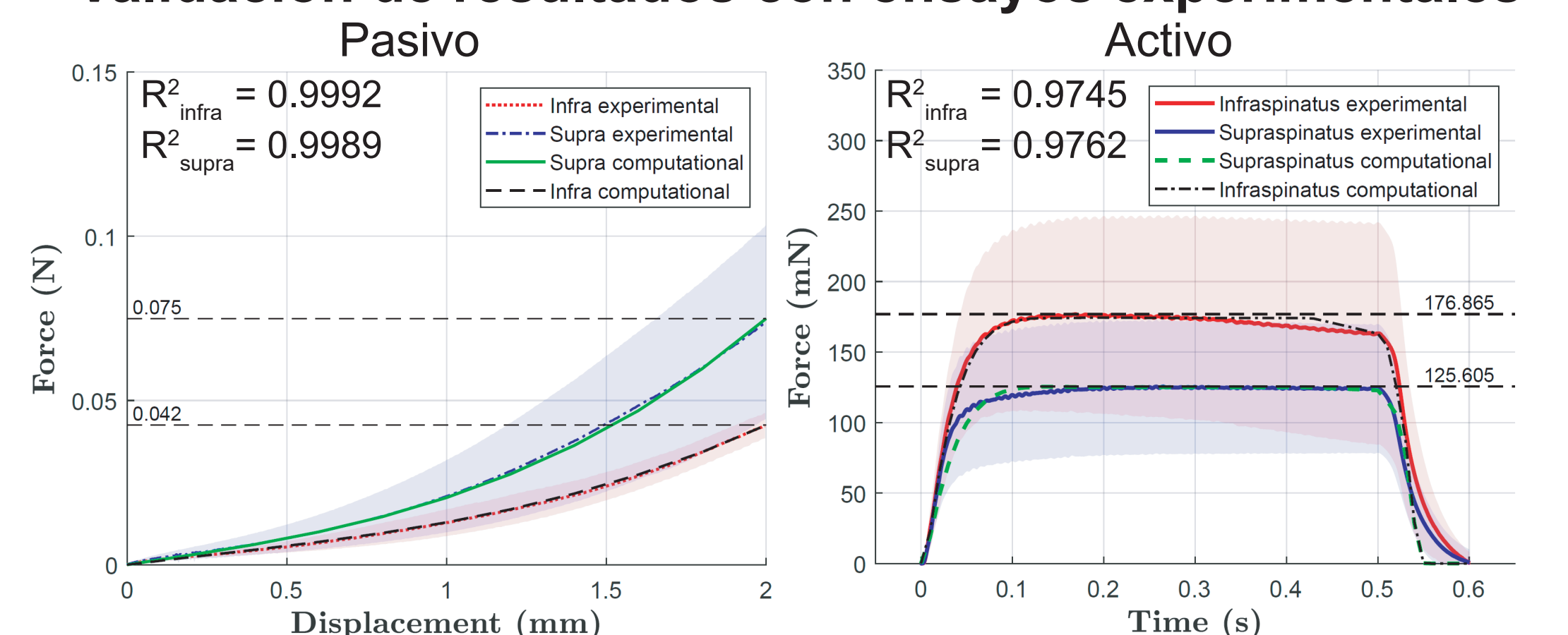
Desplazamiento de fibras Infraespinoso



Primer esfuerzo principal [MPa] Supraespinoso



Validación de resultados con ensayos experimentales



REFERENCIAS

- [1]. [1]. KUMAGAI, K., et al. ISSN 8750-7587. 2000. Sprint Performance is Related to Muscle Fascicle Length in Male 100-M Sprinters. Journal of Applied Physiology. 88(3), pp 811-816.
- [2]. Heras-Sádaba A, Pérez-Ruiz A, Martins P, Ederra C, de Solórzano CO, Abizanda G, Pons-Villanueva J, Calvo B, Grasa J. Exploring the muscle architecture effect on the mechanical behaviour of mouse rotator cuff muscles. Comput Biol Med. 2024 May; 174:108401. doi: 10.1016/j.combiomed.2024.108401. Epub 2024 Apr 2. PMID: 38603897.
- [3]. B. Hernández-Gascón, J. Grasa, B. Calvo, J.F. Rodríguez, A 3D electro-mechanical continuum model for simulating skeletal muscle contraction, Journal of Theoretical Biology, Volume 335, 2013, Pages 108-118, ISSN 0022-5193, https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2013.06.029.

CONCLUSIONES

- Metodología para obtener orientaciones de fibras a partir de imágenes de alta resolución
- Validación del modelo computacional con ensayos experimentales
- Caracterización automatizada de la variación de la arquitectura muscular de la región distal a la proximal
- Nueva perspectiva en los modelos computacionales al tener en cuenta la orientación de fibras
- Simulación computacional del comportamiento activo y pasivo mediante Elementos Finitos
- Aplicación a otros grupos musculares

AGRADECIMIENTOS

Ayuda PRE2021-100677 financiada por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por el FSE+



✉ aheras@unizar.es

🆔 0000-0003-3256-1446

📧 @angelherasad_

🏠 Ángel Heras Sádaba



¡Para más detalles, consulta el siguiente enlace!