Elastografia

Autor:
Data de publicació: 03-11-2022

Salta a l'article

Elastografia

</img>
Ecografia convencional (imatge inferior) i elastografia (imatge de cisalla supersònica; imatge superior) del carcinoma papil·lar de tiroides, un càncer maligne. El càncer (vermell) és molt més rígid que el teixit sa.

MeSH
D054459

L'elastografia és qualsevol d'una classe de modalitats d' imatge mèdica que mapegen les propietats elàstiques i la rigidesa dels teixits tous . [1] [2] La idea principal és que si el teixit és dur o tou donarà informació diagnòstica sobre la presència o l'estat de la malaltia . Per exemple, els tumors cancerosos sovint seran més durs que el teixit circumdant, i els fetges malalts són més rígids que els sans. [1] [2] [3] [4]

Les tècniques més destacades utilitzen ultrasons o imatges de ressonància magnètica (MRI) per fer tant el mapa de rigidesa com una imatge anatòmica per a la comparació.

Contingut

Aplicacions

Tot i que no és visible a l'ecografia convencional en escala de grisos (esquerra), una imatge d'elastografia de tensió (centre) de la glàndula pròstata detecta un càncer (zona vermella fosca a la part inferior esquerra). La troballa es confirma per la histologia .

L'elastografia s'utilitza per a la investigació de moltes malalties en molts òrgans. Es pot utilitzar per obtenir informació diagnòstica addicional en comparació amb una mera imatge anatòmica, i pot servir per guiar les biòpsies o, cada cop més, substituir-les completament. Les biòpsies són invasives i doloroses, presentant un risc d'hemorràgia o infecció, mentre que l'elastografia és completament no invasiva.

L'elastografia s'utilitza per investigar malalties del fetge. La rigidesa hepàtica sol ser indicativa de fibrosi o esteatosi (malaltia del fetge gras), que al seu torn són indicatives de nombroses malalties, incloses la cirrosi i l'hepatitis . L'elastografia és especialment avantatjosa en aquest cas perquè quan la fibrosi és difusa (escampada en grups en lloc de cicatrius contínues), una biòpsia pot perdre fàcilment el mostreig del teixit malalt, la qual cosa resulta en un fals diagnòstic negatiu .

Naturalment, l'elastografia s'utilitza per a òrgans i malalties on la palpació manual ja estava molt estesa. L'elastografia s'utilitza per a la detecció i el diagnòstic de càncer de mama, tiroide i pròstata . Alguns tipus d'elastografia també són adequats per a la imatge musculoesquelètica i poden determinar les propietats mecàniques i l'estat dels músculs i tendons .

Com que l'elastografia no té les mateixes limitacions que la palpació manual, s'està investigant en algunes zones per a les quals no hi ha antecedents de diagnòstic amb palpació manual. Per exemple, l'elastografia per ressonància magnètica és capaç d'avaluar la rigidesa del cervell, i hi ha un cos creixent de literatura científica sobre elastografia en cervells sans i malalts.

S'han publicat informes preliminars sobre l'elastografia utilitzada en ronyons trasplantats per avaluar la fibrosi cortical que mostren resultats prometedors. [5]

Antecedents històrics

La palpació s'ha utilitzat durant molt de temps per detectar malalties. En un autoexamen de mama, les dones busquen grumolls durs, ja que el càncer sol ser més rígid que el teixit sa.

La palpació és la pràctica de sentir la rigidesa dels teixits d'un pacient amb les mans del metge. La palpació manual es remunta almenys al 1500 aC, amb el papir egipci Ebers i el papir Edwin Smith donant instruccions sobre el diagnòstic amb la palpació. A l'antiga Grècia, Hipòcrates va donar instruccions sobre moltes formes de diagnòstic mitjançant la palpació, inclosa la palpació de pits, ferides, intestins, úlceres, úter, pell i tumors. Al món occidental modern, la palpació es va considerar un mètode de diagnòstic respectable als anys trenta. [1] Des de llavors, la pràctica de la palpació s'ha generalitzat, i es considera un mètode eficaç per detectar tumors i altres patologies.

La palpació manual, però, té diverses limitacions importants: es limita als teixits accessibles a la mà del metge, està distorsionada per qualsevol teixit intervingut i és qualitativa però no quantitativa . L'elastografia, la mesura de la rigidesa dels teixits, pretén abordar aquests reptes.

Com funciona

Hi ha nombroses tècniques elastogràfiques, en fases de desenvolupament, des de la investigació primerenca fins a una àmplia aplicació clínica. Cadascuna d'aquestes tècniques funciona d'una manera diferent. El que tots els mètodes tenen en comú és que creen una distorsió en el teixit, observen i processen la resposta del teixit per inferir les propietats mecàniques del teixit i després mostren els resultats a l'operador, normalment com a imatge. Cada mètode elastogràfic es caracteritza per la manera com fa cadascuna d'aquestes coses.

Inducció de distorsió

Per imaginar les propietats mecàniques del teixit, hem de veure com es comporta quan es deforma. Hi ha tres maneres principals d'induir una distorsió per observar. Aquests són:

Empènyer/deformar o fer vibrar la superfície del cos (pell) o òrgan (pròstata) amb una sonda o una eina,
Utilitzar imatges d' impuls de força de radiació acústica utilitzant ultrasons per crear de forma remota una "empenta" dins del teixit i
Utilitzant distorsions creades per processos fisiològics normals, per exemple, pols o batecs cardíacs

Observació de la resposta

La manera principal de classificar les tècniques elastogràfiques és per quina modalitat (tipus) d'imatge utilitzen per observar la resposta. Les tècniques elastogràfiques utilitzen ultrasons, ressonància magnètica (MRI) i sensors de pressió/estrès en imatges tàctils (TI) mitjançant sensors tàctils . També hi ha un grapat d'altres mètodes.

L'observació de la resposta dels teixits pot adoptar moltes formes. Pel que fa a la imatge obtinguda, pot ser 1-D (és a dir, una línia), 2-D (un pla), 3-D (un volum) o 0-D (un sol valor), i pot ser un vídeo o una sola imatge. En la majoria dels casos, el resultat es mostra a l'operador juntament amb una imatge convencional del teixit, que mostra on del teixit es produeixen els diferents valors de rigidesa.

Tramitació i presentació

Un cop observada la resposta, es pot calcular la rigidesa a partir d'ella. La majoria de les tècniques d'elastografia troben la rigidesa del teixit basant-se en un dels dos principis principals:

Per a una força aplicada determinada (estrès), el teixit més rígid es deforma (deformació) menys que el teixit més tou.
Les ones mecàniques (específicament les ones de cisalla) viatgen més ràpidament a través del teixit més rígid que a través del teixit més tou.

Algunes tècniques simplement mostraran la distorsió i/o resposta, o la velocitat de l'ona a l'operador, mentre que altres calcularan la rigidesa (específicament el mòdul de Young o un mòdul de cisalla similar) i ho mostraran. Algunes tècniques presenten resultats quantitativament, mentre que altres només presenten resultats qualitatius (relatius).

Elastografia per ultrasons

Hi ha moltes tècniques elastogràfiques per ultrasons. Els més destacats es destaquen a continuació.

Elastografia quasistàtica / imatge de tensió

Elastografia de compressió manual (quasiestàtica) del carcinoma ductal invasiu, un càncer de mama .

L'elastografia quasistàtica (de vegades anomenada simplement "elastografia" per raons històriques) és una de les primeres tècniques d'elastografia. En aquesta tècnica, s'aplica una compressió externa al teixit i es comparen les imatges d'ecografia abans i després de la compressió. Les zones de la imatge que estan menys deformades són les que són més rígides, mentre que les zones més deformades són les menys rígides. [3] En general, el que es mostra a l'operador és una imatge de les distorsions relatives (deformacions), que sovint és d'utilitat clínica. [1]

Tanmateix, a partir de la imatge de distorsió relativa, sovint es desitja fer un mapa quantitatiu de rigidesa. Per fer-ho, cal que es facin suposicions sobre la naturalesa del teixit tou que s'imatge i sobre el teixit fora de la imatge. A més, sota compressió, els objectes poden entrar o sortir de la imatge o al voltant de la imatge, causant problemes d'interpretació. Un altre límit d'aquesta tècnica és que, com la palpació manual, té dificultats amb òrgans o teixits que no estan a prop de la superfície o que es comprimeixen fàcilment. [4]

Imatge d'impuls de força de radiació acústica (ARFI)

Una imatge ARFI d'un nòdul tiroide al lòbul de la tiroide dret. La velocitat de l'ona de cisalla dins de la caixa és de 6,24 m/s, cosa que reflecteix una alta rigidesa. La histologia va revelar un carcinoma papil·lar .

La imatge d'impuls de força de radiació acústica (ARFI) [6] utilitza ultrasons per crear un mapa qualitatiu en 2D de la rigidesa dels teixits. Ho fa creant una "empenta" dins del teixit utilitzant la força de radiació acústica d'un feix d'ultrasons enfocat. La quantitat que el teixit al llarg de l'eix de la biga és empès cap avall reflecteix la rigidesa del teixit; el teixit més tou s'empeny més fàcilment que el teixit més rígid. ARFI mostra un valor qualitatiu de rigidesa al llarg de l'eix de la biga d'empenta. En empènyer en molts llocs diferents, es crea un mapa de la rigidesa del teixit. La quantificació d'imatges Virtual Touch (VTIQ) s'ha utilitzat amb èxit per identificar ganglis limfàtics cervicals malignes. [7]

Imatge d'elasticitat d'ona de cisalla (SWEI)

En la imatge d'elasticitat d'ona de cisalla (SWEI), [8] similar a l'ARFI, una "empenta" s'indueix profundament al teixit per la força de radiació acústica . La pertorbació creada per aquesta empenta viatja lateralment a través del teixit com una ona de cisalla . Mitjançant l'ús d'una modalitat d'imatge com l'ecografia o la ressonància magnètica per veure la rapidesa amb què l'ona arriba a diferents posicions laterals, es dedueix la rigidesa del teixit intervingut. Com que els termes "imatge d'elasticitat" i "elastografia" són sinònims, el terme original SWEI que denota la tecnologia per al mapeig d'elasticitat mitjançant ones de cisalla sovint es substitueix per SWE. La diferència principal entre SWEI i ARFI és que SWEI es basa en l'ús d'ones de cisalla que es propaguen lateralment des de l'eix del feix i creant un mapa d'elasticitat mesurant els paràmetres de propagació de les ones de cisalla, mentre que ARFI obté informació d'elasticitat de l'eix del feix d'empenta i utilitza múltiples empentes. per crear un mapa de rigidesa en 2D. No hi ha ones de cisalla en ARFI i no hi ha cap avaluació de l'elasticitat axial implicada en SWEI. SWEI s'implementa en imatges de cisalla supersònica (SSI).

Imatge de cisalla supersònica (SSI)

Imatge de cisalla supersònica de la rigidesa durant la contracció dels músculs de la mà abductor digiti minimi (A) i primer interossis dorsal (B). L'escala està en kPa de mòdul de cisalla.

La imatge de cisalla supersònica (SSI) [9] [10] ofereix un mapa bidimensional quantitatiu en temps real de la rigidesa dels teixits. SSI es basa en SWEI: utilitza la força de radiació acústica per induir una "empenta" dins del teixit d'interès generant ones de cisalla i la rigidesa del teixit es calcula a partir de la rapidesa amb què l'ona de cisalla resultant viatja a través del teixit. Els mapes de velocitat local del teixit s'obtenen amb una tècnica de seguiment de speckle convencional i proporcionen una pel·lícula completa de la propagació de l'ona de cisalla a través del teixit. Hi ha dues innovacions principals implementades a SSI. En primer lloc, utilitzant moltes empentes gairebé simultànies, SSI crea una font d'ones de cisalla que es mou a través del medi a una velocitat supersònica. En segon lloc, l'ona de cisalla generada es visualitza mitjançant la tècnica d'imatge ultraràpida. Utilitzant algorismes d'inversió, l'elasticitat de cisalla del medi es mapeja quantitativament a partir de la pel·lícula de propagació de l'ona. SSI és la primera tecnologia d'imatge ultrasònica capaç d'arribar a més de 10.000 fotogrames per segon d'òrgans profunds. SSI proporciona un conjunt de paràmetres quantitatius i in vivo que descriuen les propietats mecàniques del teixit: mòdul de Young, viscositat, anisotropia.

Aquest enfocament va demostrar beneficis clínics en imatges de mama, tiroides, fetge, pròstata i músculs esquelètics . SSI s'utilitza per a l'examen de mama amb una sèrie de transductors lineals d'alta resolució. [11] Un gran estudi multicèntric d'imatge mamària ha demostrat tant la reproductibilitat [12] com la millora significativa en la classificació [13] de les lesions mamàries quan s'afegeixen imatges d'elastografia d'ona de cisalla a la interpretació d'imatges d'ecografia estàndard en mode B i en mode Color.

Elastografia transitòria

L'elastografia transitòria proporciona una imatge quantitativa unidimensional (és a dir, una línia) de la rigidesa del teixit.

Funciona fent vibrar la pell amb un motor per crear una distorsió passatgera en el teixit (una ona de cisalla) i imaginant el moviment d'aquesta distorsió a mesura que s'endinsa més en el cos mitjançant un feix d'ultrasons 1D. A continuació, mostra una línia quantitativa de dades de rigidesa del teixit (el mòdul de Young). [14] [15] Aquesta tècnica l'utilitza principalment el sistema Fibroscan, que s'utilitza per a l'avaluació del fetge, [16] per exemple, per diagnosticar la cirrosi . [17]

Mapes de propagació d'ones de cisalla obtinguts mitjançant la tècnica VCTE d'elastografia transitòria en un fetge normal (superior) i un fetge cirròtic (inferior). La rigidesa hepàtica és significativament més alta en el fetge cirròtic.

L'elastografia transitòria es va anomenar inicialment elastografia de pols resolt en el temps [18] quan es va introduir a finals de la dècada de 1990. La tècnica es basa en una vibració mecànica transitòria que s'utilitza per induir una ona de cisalla al teixit. Es fa un seguiment de la propagació de l'ona de cisalla mitjançant ultrasons per tal d'avaluar la velocitat de l'ona de cisalla a partir de la qual es dedueix el mòdul de Young sota hipòtesi d'homogeneïtat, isotropia i elasticitat pura ($E=3?V^2$). Un avantatge important de l'elastografia transitòria en comparació amb les tècniques d'elastografia harmònica és la separació de les ones de cisalla i les ones de compressió. [19] La tècnica es pot implementar en 1D [20] i 2D que va requerir el desenvolupament d'un escàner d'ecografia ultraràpida. [21] S'ha desenvolupat una implementació específica d'elastografia transitòria 1D anomenada VCTE per avaluar la rigidesa hepàtica mitjana que es correlaciona amb la fibrosi hepàtica avaluada per biòpsia hepàtica. [22] [23] Aquesta tècnica s'implementa en un dispositiu que també pot avaluar el paràmetre d'atenuació controlada (CAP) que és un bon marcador substitut de l'esteatosi hepàtica. [24]

Elastografia per ressonància magnètica (MRE)

Una imatge anatòmica de ressonància magnètica d'un cervell (a dalt) i un elastograma MRE del mateix cervell (a baix). La rigidesa és en kPa de mòdul de cisalla .

L'elastografia per ressonància magnètica (MRE) [25] es va introduir a mitjans de la dècada de 1990 i s'han investigat múltiples aplicacions clíniques. En MRE, s'utilitza un vibrador mecànic a la superfície del cos del pacient; això crea ones de cisalla que viatgen als teixits més profunds del pacient. S'utilitza una seqüència d'adquisició d'imatges que mesura la velocitat de les ones, i aquesta s'utilitza per inferir la rigidesa del teixit (el mòdul de cisalla). [26] [27] El resultat d'una exploració MRE és un mapa quantitatiu en 3D de la rigidesa del teixit, així com una imatge de MRI en 3D convencional.

Un dels punts forts de l'MRE és el mapa d'elasticitat 3D resultant, que pot cobrir tot un òrgan. [2] Com que la ressonància magnètica no està limitada per l'aire o l'os, pot accedir a alguns teixits que l'ecografia no pot, sobretot el cervell. També té l'avantatge de ser més uniforme entre els operadors i de dependre menys de l'habilitat de l'operador que la majoria dels mètodes d'elastografia per ultrasons.

L'elastografia MR ha fet avenços significatius durant els últims anys amb temps d'adquisició de fins a un minut o menys i s'ha utilitzat en una varietat d'aplicacions mèdiques, inclosa la investigació de cardiologia sobre cors humans vius. El curt temps d'adquisició de l'elastografia RM també la fa competitiva amb altres tècniques d'elastografia.

Altres tècniques
Aquests inclouen elastografia amb tomografia de coherència òptica [28] (és a dir, llum).

La imatge tàctil consisteix a traduir els resultats d'un "tacte" digital a una imatge. S'han explorat molts principis físics per a la realització de sensors tàctils : principis resistius, inductius, capacitius, optoelèctrics, magnètics, piezoelèctrics i electroacústics, en una varietat de configuracions. [29]

Estudis de població
A l'estudi Children of the 90s de la Universitat de Bristol, el 2,5% de les 4.000 persones nascudes el 1991 i el 1992 es va trobar mitjançant ecografia als 18 anys que tenien una malaltia hepàtica grasa no alcohòlica; cinc anys més tard, l'elastografia transitòria va trobar que més del 20% presentava dipòsits de greix al fetge d'esteatosi, cosa que indicava una malaltia hepàtica grasa no alcohòlica; la meitat d'aquests van ser classificats com a greus. Les exploracions també van trobar que el 2,4% tenia cicatrius hepàtiques de fibrosi, que pot provocar cirrosi . [30]

Notes
Referències

Amplia

Imatge mèdica

[[Categoria:Imatge mèdica]] [[Categoria:Pàgines amb traduccions sense revisar]]

? Anar a :1,0 1,1 1,2 1,3 Wells, P. N. T. Journal of the Royal Society, Interface, 8, 64, June 2011, pàg. 1521–1549. DOI: 10.1098/rsif.2011.0054. PMC: 3177611. PMID: 21680780.
? Anar a :2,0 2,1 2,2 Sarvazyan A, Hall TJ, Urban MW, Fatemi M, Aglyamov SR, Garra BS. Overview of elastography–an emerging branch of medical imaging. Current Medical Imaging Reviews, 2011, 7(4):255-282.
? Anar a :3,0 3,1 Ophir, J.; Céspides, I.; Ponnekanti, H.; Li, X. Ultrasonic Imaging, 13, 2, April 1991, pàg. 111–134. DOI: 10.1016/0161-7346(91)90079-W. PMID: 1858217.
? Anar a :4,0 4,1 Parker, K J; Doyley, M M; Rubens, D J Physics in Medicine and Biology, 56, 2, February 2011, pàg. R1–R29. Bibcode: 2012PMB....57.5359P. DOI: 10.1088/0031-9155/57/16/5359. PMID: 21119234 [Consulta: free].
? Content initially copied from: Hansen, Kristoffer; Nielsen, Michael; Ewertsen, Caroline Diagnostics, 6, 1, 2015, pàg. 2. DOI: 10.3390/diagnostics6010002. ISSN: 2075-4418. PMC: 4808817. PMID: 26838799 [Consulta: free]. (CC-BY 4.0)
? Nightingale KR, Palmeri ML, Nightingale RW, and Trahey GE, On the feasibility of remote palpation using acoustic radiation force. J. Acoust. Soc. Am. 2001; 110: 625-34
? Rüger, Holger; Psychogios, Georgios; Jering, Monika; Zenk, Johannes (en anglès) Ultrasound in Medicine & Biology, 46, 10, October 2020, pàg. 2677–2682. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2020.06.005. PMID: 32651021.
? Sarvazyan AP, Rudenko OV, Swanson SD, Fowlkes JB, Emelianov SY. Shear wave elasticity imaging: a new ultrasonic technology of medical diagnostics. Ultrasound Med Biol. 1998; 24(9): 1419-35.
? Supersonic Shear Imaging: A New Technique for Soft Tissue Elasticity Mapping. Bercoff J. et al., IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 51, No. 4, April 2004.
? Acoustoelasticity in soft solids: Assessment of the nonlinear shear modulus with the acoustic radiation force, J.-L. Gennisson,a M. Rénier, S. Catheline, C. Barrière, J. Bercoff, M. Tanter, and M. Fink, J. Acoust. Soc. Am. 122 [1]6, December 2007
? Mendelson EB, Chen J, Karstaedt P. Assessing tissue stiffness may boost breast imaging specificity. Diagnostic Imaging. 2009;31(12):15-17.
? Shear wave elastography for breast masses is highly reproducible. Cosgrove DO, Berg WA, Doré CJ, Skyba DM,

Henry JP, Gay J, Cohen-Bacrie C; the BE1 Study Group. Eur Radiol. 2011 Dec 31.
? Shear-wave Elastography Improves the Specificity of Breast US: The BE1 Multinational Study of 939 Masses. Berg WA, Cosgrove DO, Doré CJ, Schäfer FKW, Svensson WE, Hooley RJ, Ohlinger R, Mendelson EB, Balu-Maestro C, Locatelli M, Tourasse C, Cavanaugh BC, Juhan V, Stavros AT, Tardivon A, Gay J, Henry JP, Cohen-Bacrie C, and the BE1 Investigators. Radiology 2012;262:435-449
? Catheline, Stefan; Wu, Francois; Fink, Mathias Journal of the Acoustical Society of America, 105, 5, 1999, pàg. 2941–2950. Bibcode: 1999ASAJ..105.2941C. DOI: 10.1109/58.996561. PMID: 11989699.
? Sandrin, Laurent; Tanter, Mickaël; Gennisson, Jean-Luc; Catheline, Stefan; Fink, Mathias IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 49, 4, April 2002, pàg. 436–446. DOI: 10.1109/58.996561. PMID: 11989699.
? Ganne-Carrié N; Ziol M; de Ledinghen V; Douvin, Catherine; Marcellin, Patrick; 3 Hepatology, 44, 6, 2006, pàg. 1511–7. DOI: 10.1002/hep.21420. PMID: 17133503 [Consulta: free].
? Jung, Kyu Sik; Kim, Seung Up Clinical and Molecular Hepatology, 18, 2, 2012, pàg. 163–73. DOI: 10.3350/cmh.2012.18.2.163. PMC: 3415879. PMID: 22893866.
? Sandrin, Laurent; Catheline, Stefan; Tanter, Michael; Hennequin, Xavier; Fink, Mathias Ultrasonic Imaging, 21, 4, 1999, pàg. 259–272. DOI: 10.1177/016173469902100402. PMID: 10801211.
? Catheline, Stefan; Wu, Francois; Fink, Mathias Journal of the Acoustical Society of America, 105, 5, 1999, pàg. 2941–2950. Bibcode: 1999ASAJ..105.2941C. DOI: 10.1121/1.426907. PMID: 10335643.
? Sandrin, Laurent; Tanter, Michael; Gennisson, Jean-Luc; Catheline, Stefan; Fink, Mathias IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 49, 4, 2002, pàg. 436–446. DOI: 10.1109/58.996561. PMID: 11989699.
? Sandrin, Laurent; Tanter, Michael; Catheline, Stefan; Fink, Mathias IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 49, 4, 2002, pàg. 426–435. DOI: 10.1109/58.996560. PMID: 11989698.
? Sandrin, Laurent; Fourquet, Bertrand; Hasquenoph, Jean-Michel; Yon, Sylvain; Fournier, Céline Ultrasound in Medicine and Biology, 29, 12, 2003, pàg. 1705–1713. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2003.07.001. PMID: 14698338.
? Ziol, Marianne; Handra-Luca, Adriana; Kettaneh, Adrien; Christidis, Christos; Mal, Frédéric Hepatology, 41, 1, 2005, pàg. 48–54. DOI: 10.1002/hep.20506. PMID: 15690481.
? Sasso, Magali; Beaugrand, Michel; de Ledinghen, Victor; Douvin, Catherine; Marcellin, Patrick Ultrasound in Medicine and Biology, 36, 11, 2010, pàg. 1825–1835. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2010.07.005. PMID: 20870345.
? Sarvazyan, A. P.. «Biophysical Bases of Elasticity Imaging». A: Acoustical Imaging. 21, 1995, p. 223–240. DOI 10.1007/978-1-4615-1943-0_23. ISBN 978-1-4613-5797-1.
? Muthupillai R, Lomas DJ, Rossman PJ, et al. Magnetic resonance elastography by direct visualization of propagating acoustic strain waves. Science 1995; 269: 1854-7.[49, 219, 220].
? Manduca A, Oliphant TE, Dresner MA, et al. Magnetic resonance elastography: Non-invasive mapping of tissue elasticity. Med Image Anal 2001; 5: 237-54.
? Kennedy BF, Kennedy KM, Sampson DD. A Review of Optical Coherence Elastography: Fundamentals, Techniques and Prospects. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 2014; 20(2):7101217.
? Tegin, J; Wikander, J Industrial Robot, 32, 1, 2005, pàg. 64–70. DOI: 10.1108/01439910510573318.
? Sarah Boseley. «Experts warn of fatty liver disease 'epidemic' in young people», 12-04-2019.