

Ressonància Magnètica en Osteomuscular

Dr. Joan Carles Vilanova Busquets
Clínica Girona

Conceptes de la tècnica

El principi bàsic del senyal de ressonància magnètica és situar el pacient en un potent camp magnètic extern (imant). Per mitjà del camp magnètic extern els nuclis de hidrogen dels teixits, que es poden considerar petits imants teòrics orientats a l'atzar, s'orienten de forma paral·lela al eix longitudinal del camp magnètic extern. En aquesta situació es produeixen polsos de radiofreqüència sobre els teixits (polsos de 90°) de manera que la duració dels polsos determini la variació en la orientació dels camps magnètics dels àtoms de hidrogen. El procés d'absorció d'aquesta energia de radiofreqüència és conegut com fenomen de "ressonància magnètica". Quan es desconnecten els polsos de radiofreqüència els camps magnètics dels àtoms de hidrogen tornen a situar-se paral·lels al camp magnètic extern. El fenomen on s'allibera aquesta energia per els teixits es coneix com "relaxació nuclear". La relaxació nuclear en el pla transversal induïx una corrent elèctrica que es captada per una antena receptora en forma d'una sinusoïde amortiguada decreixent denominada FID (caiguda lliure de la inducció o *Free Induction Decay*), que es processada i transformada en una imatge per mètodes matemàtics conegut com les transformacions de Fourier. L'espai de temps que mesura la magnetització transversal depèn de la homogeneïtzació del camp magnètic extern i del tipus de teixit; es denomina temps efectiu T2 o T2 * (estrella). En aquesta situació es produeix un nou pols en el teixit (pols de 180°), de manera que es produeix una nova senyal (eco de l'espín o *spí eco* [SE]). Per la disminució de la intensitat dels senyals SE els espais de temps característics es denominen espín-espín o temps de relaxació T2. L'espai de temps que s'aconsegueix la relaxació en el pla longitudinal es denomina temps de relaxació T1. EL T1 ve determinat per el temps que els nuclis transfereixen l'energia en el *teixit* de veïnatge i tornar a l'estat energètic inicial. El T2 ve determinat per el temps que els nuclis poden intercanviar l'energia amb els *nuclis* de veïnatge.

Per la representació de la imatge s'apliquen diferents radiofreqüències que es registren amb diferent intensitat segons el plantejament dels temps de relaxació o també la densitat de protons. Per tant, una seqüència de RM sensible per demostrar diferents temps de relaxació T1 es denomina seqüència potenciada en T1 o en contrast T1 de la imatge resultant.

El valor del temps que separa els diferents polsos de radiofreqüència és el "temps de repetició" o TR. El temps entre que s'envia un pols de radiofreqüència i es recull el senyal dels àtoms quan es relaxen és el "temps d'eco" o TE.

La imatge representa el resultat del senyal de RM. La intensitat del senyal RM depèn de:

- A) Les característiques del teixit : densitat de protons, T1 i T2.
- B) Els paràmetres de l'equip (operador): el tipus de seqüència, temps d'eco (TE), temps de repetició (TR), temps d'inversió (TI)...

Imatge potenciada en T1:	TR curt/TE curt
Imatge potenciada en densitat de protons:	TR llarg/TE curt
Imatge potenciada en T2:	TR llarg/TE llarg

Seqüències

Existeixen múltiples tipus de seqüències i cadascuna proporciona diferent contrast i qualitat en la imatge.

- A) Seqüència eco d'espín (SE):
 - a. Convencional : permet la diferenciació entre senyal de greix i aigua
 - b. Fast (turbo) eco del espín (FSE/TSE): menor temps, NO diferenciació entre greix i aigua
- B) Seqüència Inversió recuperació: Utilitzen un temps d'inversió (TI) abans del pols de radiofreqüència de 90°. Es classifiquen en STIR i FLAIR
- C) Seqüència gradient eco (GRE): ràpides. Més susceptibilitat magnètica (artefacte)
- D) Seqüència fast (turbo) gradient eco (FGRE/TGRE): més ràpides. Estudis 3D
- E) Seqüències ecoplanar (EPI): molt ràpides, més artefactes. Difusió, perfussió
- F) Angio RM :
 - a. Convencionals sense contrast : TOF (time of flight), PC (contrast de fase, *phase contrast*)
 - b. Contrastada: amb contrast endovascular, utilitza seqüències FGRE en T1 3D

Per un correcte estudi de la patologia osteomuscular és imprescindible incloure seqüències eco d'espín, gradient eco i seqüències en supressió greix en T2 en qualsevol protocol.

Bobines – Antenes

Les antenes o bobines són els elements responsables de captar l'energia generada durant la relaxació nuclear. Les bobines es poden classificar en:

- a) Bobines transmissores-receptores: poden rebre però també transmetre senyals de radiofreqüència.
 - a. Antena de cos. Es troba fixa en el imant, en la pròpia llitera d'exploració. S'utilitza per explorar zones extenses: Angio RM, RM cos sencer (Whole body), Cuixes-cames
 - b. Antenes de volum: engloben la zona a explorar. Per explorar crani, articulacions (genoll, turmell, ma-canell)
- b) Bobines receptores: únicament reben el senyal.
 - a. Antenes de superfície: Es troben en contacte amb la regió a explorar. Zones anatòmiques petites: canell, mà, dits, òrbita, ATM
 - b. Antenes phased-array: són grups d'antenes conjugades. Per exploracions de columna, tòrax, abdomen, pelvis, cames, cuixes.

Tècniques RM en el sistema osteomuscular

- a) Seqüències eco de l'espín: En les exploracions del sistema osteomuscular és important utilitzar seqüències fast (turbo) eco de l'espín (FSE-TSE) potenciades en T1 per realitzar una valoració anatòmica i caracteritzar especialment el teixit adipós. Al mateix temps s'han de realitzar seqüències potenciades en T2 per valoració d'estructures lligamentoses, meniscos, tendons o fibrosis. És important obtenir seqüències potenciades en T2 o densitat de protons en supressió greix degut a que les seqüències FSE no permeten discriminar el senyal de greix del senyal líquid. Les seqüències supressió greix en T2 permeten discriminar el líquid dels teixits, com pot ser l'edema ossi, muscular, tumors, cartílag. Les seqüències FSE T1 en supressió greix s'utilitzen després d'administrar contrast endovenós.
- b) Seqüències gradient eco: és imprescindible utilitzar les seqüències GRE en tots els protocols d'estudi. La tècnica GRE potenciada en T2 (o T2*) permeten valorar l'os cortical, lligaments, tendons, fibrosis i sang. La seqüència GRE mostra elevada susceptibilitat magnètica pel que és mostra útil en la valoració de lesions hemorràgiques. La possibilitat d'obtenir imatges en segons o pocs minuts utilitzant seqüències GRE permeten fer estudis cinemàtics. La seva utilitat es troba en les articulacions i resulta imprescindible en l'articulació temporo-mandibular (ATM) per la valoració en tota l'excursió de l'obertura bucal. Les seqüències GRE en supressió de greix s'utilitzen per avaluar el cartílag. La tècnica GRE potenciada en T1 3D amb o sense supressió greix permeten realitzar estudis d'AngioRM i quan es realitzen amb una adquisició de pocs segons permet fer un estudi de perfusió al mateix temps.
- c) Seqüències EPI: La seva utilitat és per realitzar estudis de difusió. Generalment s'utilitza un factor de la potència de la seqüència (factor b) de 300-700 s/mm². És útil per realitzar estudis de tot el cos en difusió.
- d) Seqüències de supressió greix: existeixen tres mètodes principals.
 - a. Saturació selectiva de la grassa. (Fat-sat, chem-sat, CHESS, fase-fora de fase, Dixon, rodeo).
 - b. Seqüència inversió-recuperació: STIR. Elimina el senyal de les estructures amb T1 curt (sang, greix...). No elimina específicament el senyal de greix.
 - c. Altres.
 - i. Sostracció: mètode indirecte de suprimir el greix de fons. Es realitza una sostracció de la sèrie amb contrast endovenós de la sèrie adquirida sense contrast endovenós. S'utilitza per estudis d'angio RM.
 - ii. Transferència de magnetització: augmenta l'efecte post-contrast al suprimir el senyal de fons.
- e) Seqüències d'Angio RM: Es poden utilitzar els tres tipus de seqüències: TOF, PC (sense contrast) o Fast GRE 3D T1 després d'administrar contrast. Cadascuna proporciona informació diferent. La més utilitzada és la FGRE + Contrast per ser més ràpida, permet avaluar grans volums anatòmics, millor resolució espacial i temporal.
- f) Tècnica Artro RM: 2 mètodes. Es requereixen seqüències FSE T1 amb supressió greix
 - a. Artro RM directa: injecció intrarticular de una solució de gadolini diluït sota guia fluoroscòpica o ecografia. La més eficaç i utilitzada per diagnòstic.
 - b. Artro RM indirecta: injecció endovenosa del contrast amb captació del teixit sinovial

- g) Espectroscòpia: representació gràfica del espectre de metabòlits per mètode de desplaçament químic. Es poden utilitzar diferents àtoms: hidrogen (^1H), fòsfor(^{31}P) i carboni(^{13}C).

Indicacions Ressonància Magnètica Osteomuscular

Les principals indicacions de la ressonància magnètica com a tècnica de primera elecció poden agrupar-se en :

- a) Patologia intrarticular: La seva indicació principal en les diferents articulacions del cos: genoll, espatlla, turmell, maluc, colze, mà/canell i ATM serien:
- Lesió meniscal (fibrocartílag), lligaments, cartílag, lesió osteocondral, valoració postquirúrgica i patologia sinovial.
- b) Patologia múscul-tendinosa: la seva utilitat és poder valorar lesions extenses com poden ser lesions del bíceps braquial, crural, tendons isquiotibials, aquiles o patologia extensa muscular.
- c) Patologia òssia:
- Malaltia hematològica: limfoma, Gaucher, mieloma múltiple, hemoglobinopaties, leucèmia
 - Patologia del raquis: afectació òssia per espondilitis-espondilodiscitis
 - Diagnòstic diferencial entre fractura òssia benigna i maligna
 - Patologia esportiva: edema ossi (contusió, fractura), fractures d'estrès
 - Estadiatge: extensió local tumor ossi, metàstasi òssia
 - Osteonecrosis
- d) Parts toves:
- Caracterització tumoral: lipoma, hemangioma, fibroma, sinovitis villonodular pigmentada
 - Estadiatge tumoral o extensió de lesions malformatives vasculares
- e) Patologia vascular: la utilitat de realitzar estudis Angio RM en el sistema osteomuscular poden ser:
- Síndromes de compromís neurovascular: síndrome de la sortida del tòrax (Outlet) o síndrome d'atrapament de l'artèria poplítea
 - Patologia de l'esport: endofibrosis artèria poplítea, quistos adventicials...
 - Malformacions vasculares: hemangiomes, malformacions arteriovenoses.
 - Traumatismes: laceracions, disseccions, pseudoaneurismes
 - Tumors: estudis combinats al mateix temps per informació angiogràfica i de perfusió.
- f) Artrografia – RM: les seves indicacions generals són:
- Fibrocartílag triangular del canell
 - Inestabilitat de l'espalla
 - Valoració postquirúrgica genoll (re-ruptura meniscal), espatlla
 - Lesions lligamentoses del turmell
 - Patologia sinovial : cossos lliures, osteocondromatossi
 - Síndromes d'atrapaments
 - Lesions osteocondrals, cartílag

Ressonància Magnètica de cos sencer (“*whole body*”)

L'avenç de la tecnologia de la RM en els darrers anys ha fet possible d'obtenir una millora en els equips, al augmentar la potència dels gradients magnètics i fer possible utilitzar seqüències ràpides. També s'ha millorat la tecnologia en les bobines d'exploració. Aquestes avantatges juntament amb la possibilitat d'utilitzar llitera d'exploració mòbil de forma automàtica permet fer avui en dia un estudi complet de tot el cos per RM en menys de 30 minuts. La tècnica d'exploració varia depenent dels equips i de les indicacions. No existeix una estandarització en la tècnica o en les indicacions per realitzar un estudi en RM de cos sencer. La tècnica òptima per estudi d'extensió de metàstasi òssia inclouria:

- FSE T1 en el pla coronal: 3-5 series per cobrir des de calota cranial fins a cames.
- STIR en el pla coronal: 3-5 series per cobrir des de calota cranial fins a cames.
- FSE T1 en el pla sagital: 2-3 series per cobrir tot el raquis
- STIR en el pla axial: tòrax (seqüència opcional)

La possibilitat de realitzar estudis de difusió (EPI) de tot el cos fa possible d'obtenir informació addicional que pot ser de molta utilitat si es confirmen els resultats dels estudis inicials. La tècnica consisteix en

adquisició de 5-7 series en el pla axial des de la calota cranial fins a les cames en seqüència EPI solapant els talls entre les estacions per la reconstrucció posterior de tot el cos. La reconstrucció de les series i la combinació de les mateixes donen com a resultat una imatge completa de tot el cos que invertint el contrast de grisos dona una imatge d'aspecte similar a la gammagrafia o al PET, d'aquí que se la coneix com a imatge de "PET virtual".

Les indicacions principals de la tècnica de RM de cos sencer són:

- A. Detecció de metàstasi òssies
- B. Extensió tumoral de neoplàsia primària
- C. Valoració global del pacient amb mieloma múltiple o hematològiques
- D. Avaluar el pacient amb metàstasi i neoplàsia primària desconeguda
- E. Patologia benigne: infecció multifocal, osteonecrosi múltiple, malalties hematològiques
- F. Avaluació del nen maltractat
- G. Necròpsies virtuals

Altres possibles indicacions de la RM de cos sencer en el futur, amb la millora de la tecnologia, poden ser: estudis globals d'angio RM des de troncs supra-aòrtics fins a les cames, extensió de metàstasi cerebrals o hepàtiques en un mateix estudi

TAULA SEQÜÈNCIES EN RM

Pulse Sequence	Siemens	GE	Hitachi	Phillips	Picker
Spin Echo	Spin Echo, SE	Spin Echo	Spin Echo, SE	Spin Echo, SE	Spin Echo, SE
Gradient Echo	Gradient Echo, GRE	GRE, GRASS	GE	Fast Field Echo, FFE	Field Echo, FAST
Spolled Gradient Echo	FLASH	SPGR		T1FFE	T1fast, NOSE
Steady State Free Process	TrueFISP	FIESTA	SARGE	Balanced-FFE	CE Fast
Ultra Fast Gradient Echo	Turbo Flash	Fast GRE, Fast SPGR		Turbo Field Echo, TFE	RF Fast
3D Ultra Fast	MP Rage	3DFGRE, 3D Fast SPGR		3D TFE	RF Fast
Inversion Recovery	IR, TurboIR, TIR	IR, MPR	IR	IR-TFE (or TSE)	IR
Short tau IR	STIR	STIR	STIR	STIR	STIR
RARE Sequence	Turbo Spin Echo, TSE	Fast Spin Echo	Fast Spin Echo, FSE	Turbo Spin Echo, TSE	FSE
Rapid Acquisition Relaxation Enhancement					
Gradient and Spin echo	Turbo GSE, TGSE	GRASE		Grase	GSE
Parallel Imaging	IPAT	ASSET		SENSE	
Flow Velocity Encoding	Phase Contrast	Phase Contrast	VENC	PC Velocity, Phase contrast, Quantitative Flow	VENC
Half Fourier Single Shot Turbo (Fast) Spin Echo	HASTE	SSFSE		Single shot TSE	EXPRESS
Cine Study (cardiac)	CINE FLASH	Cine, FASTCARD	Cine	Cine	Cine
Spin echo black blood (cardiac)	dark-blood prepared TSE, HASTE, FLASH	Double IR FSE, FSE-XL with Blood suppression		Black Blood pre pulse	
Spin echo black blood null fat (cardiac)	TRIM	Triple IR FSE, FSE-XL IR with blood suppression		Black Blood pre pulse plus SPIR	
Viability Imaging (cardiac)	Segmented 2D TurboFLASH	Myocardial Delayed enhancement (MDE) IR Prep Gated FGRE		Delayed Hyper-enhancement IR TFE	
Myocardial perfusion (cardiac)	2D TurboFLASH, SS TrueFisp sat or Ir, gre-epl	FGR-ET multiphase		Multislice perfusion, Saturation TFE/EPI, B-FFE, TFE	
Scan Parameters					
Echo Time, Repetition Time	TE, TR in msec	TE, TR in msec	TE, TR in msec	TE, TR in msec	TE, TR in msec
Inversion Time	TI in msec	TI in msec	TI in msec	TI in msec	TI msec
# of echos per TR	Echo Train Length, ETL, Turbo Factor	ETL	ETL	TSE Factor, Turbo Spin Factor	ETL
Time between echos	Echo Spacing	Echo Spacing	Echo Train Interval, ETI	Echo Spacing	IES
Repeated Measurements	Acquisitions, Number of Averages	NEX	NSA	NSA	NSA
RF Pulse in Gradient Echo	Flip Angle	Flip Angle	Flip Angle, FA	Flip Angle, FA	RF
Scan Measurement Time	Acquisition Time, TA	Acquisition Time	Scan Time	Acquisition Time	Acquisition Time
Spacing between Slices	Distance Factor, in%	Spacing	Slice Interval	Slice gap	Gap
Shifting Slices Off Center	Off Center Shift	Off center FOV	Off center FOV	Offcenter (AP, LR, FH)	
Field of View	FOV	FOV	FOV	FOV	FOV
Non-square Field to View	Rec FOV	Rectangular FOV PFOV	Rectangular FOV	RFOV	Rec FOV
Bandwidth		Receive Bandwidth	Bandwidth	Fat/Water shift (opposite of BW)	BW (KHz)
Variable Bandwidth	Optimized Bandwidth	VB	Variable Bandwidth	Optimized Bandwidth	Variable Bw
Oversampling in Frequency	Oversampling	Always On	Freq. Oversampling	Always On	Anti-alias
Oversampling in Phase	Phase Oversampling	No Phase Wrap	Anti-wrap	Fold Over Suppression	Anti-alias
Segmented K-space	Lines, Segments	Views per segment		Views, Segments	PEG
Time Delay/Block K-space	Time Delay, TD	Intersegment Delay		TD	
Patient Orientation Scan	Localizer, Scout	Localizer	Scanogram	Plan Scan	SCOUT
Half Fourier Imaging	Half Fourier	1/2 Nex, Fractional NEX	Half Scan	Half Scan, HS	PCS
Partial Echo	Assymetric Echo	Fractional Echo	Half Echo	Partial Echo	RCS
Gradient moment nulling	GMR	Flow Comp	GR	Flow Comp, FC, Flag	Mast
Prep Pulse - Chemically	FAT SAT	FAT SAT, CHEM SAT	FAT SAT	SPIR	FAT SAT
Prep Pulse - Spatially	Presat	SAT	Pre Sat	REST	PSAT
Moving Sat Pulse	Travel Sat	Walking Sat		Travel REST	Walking PSAT
Image Sync. With ECG	ECG Triggered	Cardiac Gated, Triggering	ECG, FPG Gated	ECG Triggered, VCG	ECG
Delay after R Wave	Trigger Delay, TD	Trigger Delay, TD	Delay Time	Trigger Delay, TD	Trigger Window
Respiratory Gating	Respiratory Gated	Respiratory Comp, RC, Respiratory Triggered	MAR	trigger, PEAR	REC GATE