

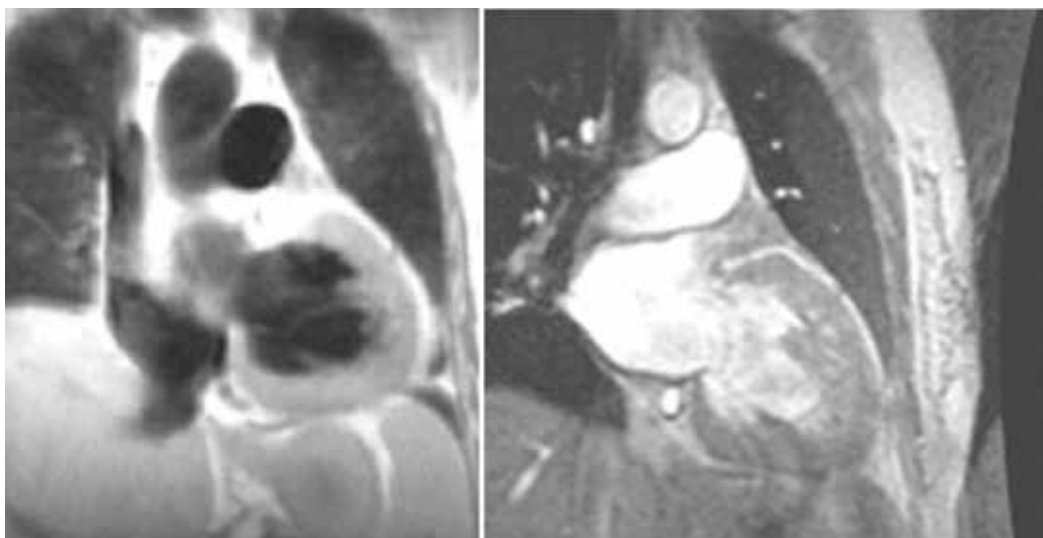
Ὁ ρόλος τῆς μαγνητικῆς τομογραφίας καρδιάς στὴν καρδιακὴ ἀνεπάρκεια

Χριστίνα Χ. Χρυσοχόου

Ἐπιμελήτρια Α' Καρδιολογίας, Α' Πανεπιστημιακὴ Καρδιολογικὴ Κλινικὴ, Ἱατρεῖο Καρδιακῆς Ἀνεπάρκειας, "Ἱπποκράτειο" Γ.Ν.Α.

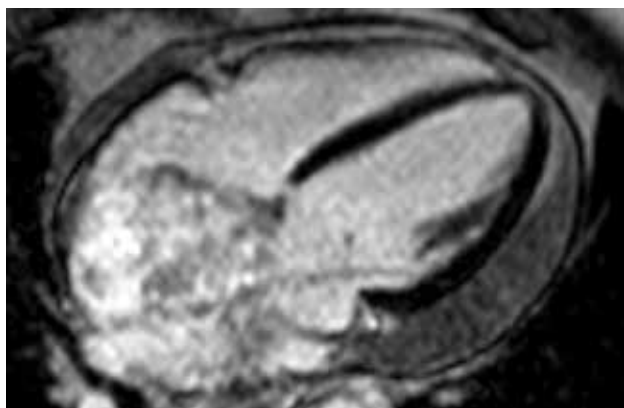
Η μαγνητικὴ ἀπεικόνιση ἔχει ἀποτελέσει τὰ τελευταῖα χρόνια μιὰ ταχύτατα ἐξελισσόμενη μέθοδο στὴν ἀποτύπωση τῆς ἀνατομίας καὶ τῆς λειτουργικότητος τῆς καρδιάς καὶ τῶν ἀγγείων καὶ τῆς μελέτης τῆς αἱμάτωσης τοῦ μυοκαρδίου.^{1,2} Ἡ μαγνητικὴ τομογραφία βασίζεται στὴν ἀνταπόκριση τοῦ ἀτόμου τοῦ ὕδρογόνου (πρωτονίου) τῶν κυττάρων στὴν ἐφαρμογὴ κυμάτων ραδιοσυχνότητος. Ὄταν ἐφαρμόζεται ἓνα μαγνητικὸ πεδίο, τὰ πρωτόνια συγχρονίζονται καὶ περιστρέφονται σὲ ἄξονα παράλληλο μὲ τὸ μαγνητικὸ πεδίο, ἀνάλογα μὲ τὴ δύναμη τοῦ πεδίου καὶ τὴν διάρκεια τῆς ἐκπομπῆς (Εἰκόνα 1). Μετὰ τὴν διέγερση, ξεκινᾷ ἡ χάλαση τοῦ πρωτονίου, ἡ ὁποία ἐκφράζεται μὲ δύο παραμέτρους γνωστὲς ὡς T1 καὶ T2 ἀκολουθίες. Οἱ μῦες καὶ ἄλλοι συμπαγεῖς ἴστοι ἔχουν μακρὸν χρόνο T1 καὶ βραχὺ

T2. Ἡ ἐνταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου, ποὺ συνήθως χρησιμοποιεῖται στὴν ἱατρικὴ πράξη, εἶναι 1.5 Tesla, ἐνῶ χρησιμοποιοῦνται δύο τύποι ἀκολουθιῶν, τὸ gradient echo, ὅπου τόσο τὸ αἷμα ὅσο καὶ τὸ λίπος ἀπεικονίζονται λευκὰ καὶ τὸ spin echo, ὅπου τὸ αἷμα ἀπεικονίζεται μαῦρο καὶ τὸ λίπος λευκὸ, καὶ αὐτὴ ἡ ἀκολουθία ἔχει ἐφαρμογὴ στὴ μελέτη τῆς ἀνατομίας τοῦ καρδιαγγειακοῦ συστήματος. Ἡ ἀπεικόνιση γίνεται μὲ συνεχῆ ἠλεκτροκαρδιογραφικὴ καταγραφὴ (ECG-gated), ὥστε νὰ μειώνονται οἱ παρεμβολές (artifacts) ἀπὸ τὴν κίνηση τῆς καρδιάς, ἐνῶ στὶς περισσότερες λήψεις ὁ ἐξεταζόμενος καλεῖται νὰ κρατήσῃ τὴν ἀναπνοή του στὸ τέλος τῆς ἐκπνοῆς, ὥστε νὰ μειωθοῦν οἱ παρεμβολές τοῦ διαφράγματος. Κατὰ τὴν διάρκεια τῆς ἐξέτασης χρησιμοποιοῦνται ἀκουστικά, μέσῳ τῶν ὁποίων οἱ ἐξεταζόμενοι ἀκοῦν τὶς ἐντο-



Εἰκόνα 1: Ἀπεικόνιση μὲ τεχνικὴ spin echo (μαῦρο αἷμα) καὶ gradient echo (λευκὸ αἷμα).

Πίνακας 1. Ένδειξεις Μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς στην στεφανιαία νόσο	
Ένδειξη	Τάξη
Έκτίμηση λειτουργίας και μάζας άριστερης και δεξιάς κοιλίας	I
Λειτουργία άριστερης κοιλίας σε ήρεμία και με χρήση δοβουταμίνης/ άδενοσίνης	II
Μυοκαρδιακή αϊμάτωση	II
Άπεικόνιση στεφανιαίων άγγείων	III
Άπεικόνιση άνωμαλιών στεφανιαίων άγγείων (μαγνητική άγγειογραφία)	I
Μαγνητική άγγειογραφία μοσχευμάτων στεφανιαίων άγγείων	II
Έκτίμηση ροών έντος στεφανιαίων άγγείων	-
Άπεικόνιση άγγειακού τοιχώματος	-
Άπεικόνιση και έκτίμηση έμφράγματος του μυοκαρδίου	I
Μυοκαρδιακή βιωσιμότητα	I
Ρήξη μεσοκοιλιακού διαφράγματος	III
Όξεία άνεπάρκεια μιτροειδοϋς	III
Άπεικόνιση θρόμβων καρδιακών κοιλοτήτων	II
Έπίπεδο ένδειξης I: Συμφωνία μελετών-έρευνητών Έπίπεδο ένδειξης II Μερικής συμφωνίας Έπίπεδο ένδειξης III Δέν χρησιμοποιείται	

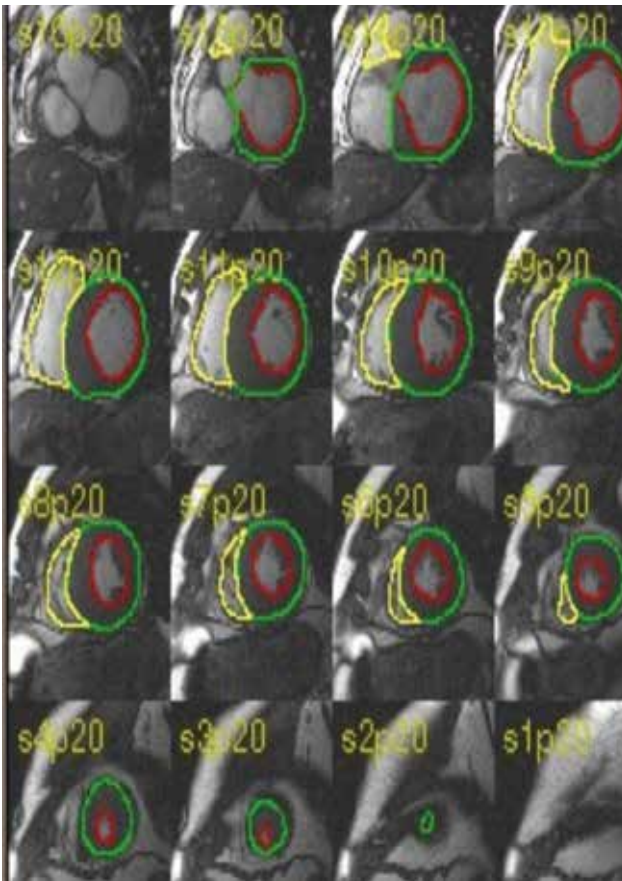


Εικόνα 6: Μάζα έξορμώμενη από τὸ μεσοκοιλιακὸ διάφραγμα με εικόνα από την ιστική αξιολόγηση τοῦ σήματος στις T1 και T2 ακολουθίες, ὅτι πρόκειται γιὰ παραγαγγλίωμα. Ὁ νεαρὸς ἄσθενής ἐμφάνιζε καρδιακὲς ἀρρυθμίες ὡς ἀρχικὸ σύμπτωμα.

Πίνακας 2. Ένδειξεις μαγνητικῆς τομογραφίας καρδιάς σὲ περικαρδιακὴ νόσο, καρδιακούς ὄγκους, μυοκαρδιοπάθειες καὶ καρδιακὰ μοσχεύματα.	
Ένδειξεις	Έπίπεδο ένδειξης
Περικαρδιακὴ συλλογὴ	III
Συμπιεστικὴ περικαρδίτιδα	II
Χαρακτηρισμὸς καρδιακῶν ὄγκων-μαζῶν	I
Κοιλιακὸς θρόμβος	II
Ύπερτροφικὴ μυοκαρδιοπάθεια I κυρίως γιὰ τὴν κορυφαία)	I
Διατατικὴ μυοκαρδιοπάθεια	I
Άρρυθμιόγνος δυσπλασία δεξιάς κοιλίας	I
Μη-συμπαγῆς μυοκαρδιοπάθεια	II
Αἰμοσιδήρωση-έναπόθεση σιδήρου στὸ μυοκάρδιο	I
Άπόρριψη μοσχεύματος	-

Πίνακας 3. Ένδειξεις μαγνητικῆς τομογραφίας καρδιάς σὲ ἄσθενείς με βαλβιδικὴ νόσο	
Δίπτυχη ἀορτικὴ βαλβίδα	II
Μορφολογία ἄλλων βαλβίδων	III
Άπεικόνιση ἐκβλαστῆσεων	-
Μέγεθος καρδιακῶν κοιλοτήτων καὶ λειτουργικότητα	I
Ποσοτικοποίηση άνεπαρκειῶν	I
Ποσοτικοποίηση στενώσεων	III
Άπεικόνιση παραβαλβιδικῶν ἀποστημάτων	-
Έκτίμηση προσθετικῶν βαλβίδων	-

λὲς ἀπὸ τὸν χειριστὴ καθὼς καὶ μουσικὴ, ὥστε νὰ μετριάζεται ὁ έντονος ἦχος τῆς καταγραφῆς, ποὺ δημιουργεῖται ἀπὸ τὰ coils τοῦ μαγνήτη. Ἡ ἐξέταση ὀλοκληρώνεται με τὴν χορήγηση τῆς παραμαγνητικῆς οὐσίας γανδολίνιο, τὸ ὁποῖο κατανέμεται στὸν ἐξωκυττάριο χῶρο. Τὸ γανδολίνιο ἀρθροῖζεται στὴν παθολογικὴ διακυτταρικὴ περιόχη τοῦ μυοκαρδίου, τόσο στὴν ὀξεία ὅσο καὶ στὴν χρονία φάση τοῦ έμφράγματος μυοκαρδίου, μειώνοντας τὸν χρόνο στὴν T1 ἀκολουθία, ὅπου

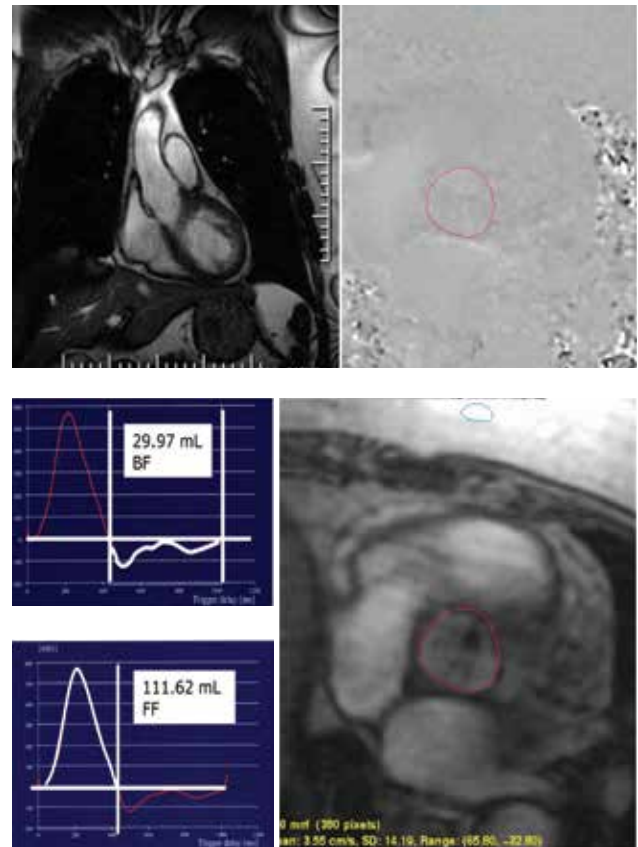


Εικόνα 2: Μέτρηση όγκου άριστερης και δεξιάς κοιλίας και μάζας άριστερης κοιλίας από τις τομές βραχύν άξονα της καρδιάς.

τò φυσιολογικό μυοκάρδιο απεικονίζεται μαύρου χρώματος και τò παθολογικό (νεκρωμένο) λευκού χρώματος (Εικόνα 4).

Οί ένδειξεις χρήσης τής μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς σè στεφανιαία νόσο, περικαρδίτιδα και βαλβιδική νόσο αναφέρονται στους Πίνακες 1-3.³⁻¹⁰

Στὴν στεφανιαία νόσο ἡ μαγνητικὴ τομογραφία καρδιάς ἐκτιμᾷ τὴν συνολικὴ καὶ τμηματικὴ ἀπόδοση τοῦ μυοκαρδίου, τὸ μέγεθος κοιλοτήτων, τὸ πάχος τοιχωμάτων καὶ τὴν συσπαστικότητα (Εἰκόνες 2 καὶ 3). Μὲ τὴ χορήγηση τοῦ γανδολινίου ἐκτιμᾶται ἡ αἱμάτωση ἡρεμίας τοῦ μυοκαρδίου, ἐνῶ γιὰ τὴν δοκιμασία φόρτισης (stress-MRI) χορηγείται ἀδενοσίνη ἢ δοβουταμίνη καὶ ἐπαναλαμβάνεται ἡ χορήγηση γανδολινίου σὲ ἡρεμία καὶ φόρτιση. Μὲ τὶς ὄψεις λήψεις, μετὰ τὴν χορήγηση γανδολινίου, ἀπεικονίζεται ἡ παρουσία θρόμβων ἐντὸς τῶν καρδιακῶν κοιλοτήτων καὶ ἡ παρουσία οὐλῆς¹¹⁻¹⁷ (Εἰκόνες 4, 5).



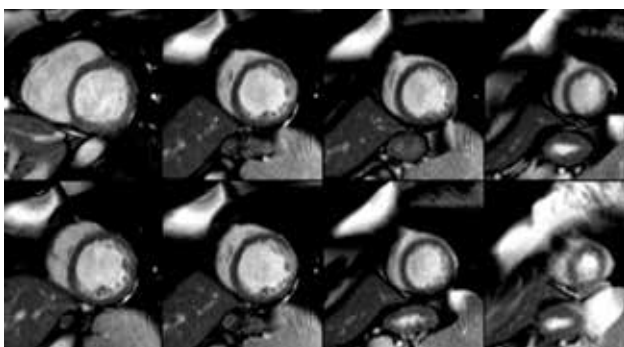
Εικόνα 3: Τεχνικὴ phased contrast γιὰ τὴν ποσοτικοποίηση τῶν ροῶν. Στὴν προκειμένη περίπτωση τῆς ἀνεπάρκειας τῆς ἀορτικῆς βαλβίδας, ὅπου ὁ ἀνεπαρκoῦν ὄγκος αἵματος ὑπολογίστηκε σὲ 62 ml.

Σὲ ὑποψία μυοκαρδίτιδας, ἰδίως ἂν συνοδεύεται ἀπὸ σημεῖα καρδιακῆς ἀνεπάρκειας, ὁ ἄσθενὴς πρέπει νὰ ὑποβληθεῖ σὲ μαγνητικὴ τομογραφία καρδιάς ἐντὸς τῆς πρώτης ἐβδομάδας ἀπὸ τὴν πιθανὴ διάγνωση. Σύμφωνα μὲ τὰ Lake Louise κριτήρια, ἡ διάγνωση τῆς μυοκαρδίτιδας ἐπιβεβαιώνεται σὲ παρουσία 2 ἀπὸ τὰ 3 ἐπόμενα κριτήρια.

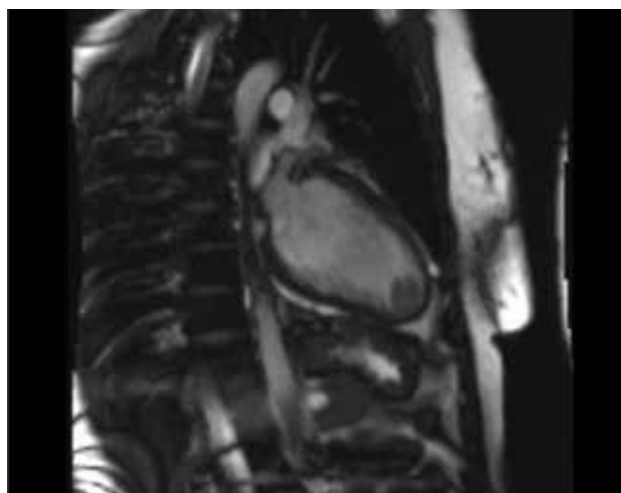
1. Περιοχικὴ ἢ ὀλικὴ (σχέση >2 σὲ σύγκριση μὲ τὸν σκελετικὸ μῦ) αὔξηση τῆς πρόσληψης γανδολινίου στὴν T2-weighted.

2. Αὐξημένη πρώιμη πρόσληψη γανδολινίου μεταξὺ μυοκαρδίου καὶ σκελετικοῦ μυός (>4) ἢ ἀπόλυτὴ αὔξηση πρόσληψης γανδολινίου (>45%) στὴν T1-weighted ἀκολουθία- Early Gadolinium Enhancement.

3. Ὑπαρξη τουλάχιστον μιᾶς περιοχικῆς βλάβης μὲ μὴ-ἰσχαμικὴ κατανομὴ γανδολινίου (τυπικὰ χωρὶς συμμετοχὴ τῆς ὑπενδοκάρδιας στοιβάδας) στὶς καθυστερημένες λήψεις πρόσληψης γανδο-



Εικόνα 4: Άσθενής με διατοιχωματική ούλη (καθυστερημένη παραμονή γανδολινίου) στο πλάγιο μέσο και κορυφαίο τοίχωμα της άριστερης κοιλίας.



Εικόνα 5: Εικόνα θρόμβου στην κορυφή της άριστερης κοιλίας (ο θρόμβος απεικονίζεται με μαύρο χρώμα).

Πίνακας 4. Αντενδείξεις στην χρήση της μαγνητικής τομογραφίας
Δεν υπάρχουν οι αντενδείξεις της ιονίζουσας ακτινοβολίας, καθώς δεν χρησιμοποιείται ιονίζουσα ακτινοβολία
Ή χρήση γανδολινίου έχει χαμηλή νεφροτοξικότητα, αλλά μπορεί να προκαλέσει συστηματική ίνωση και νεφρική ανεπάρκεια
Δεν υπάρχει αντένδειξη χρήσης σε ασθενείς με ένδοστεφαναϊές προσθέσεις, μεταλλικές (έξαιρείται η μορφή κλωβού σφαίρας) οι βιολογικές βαλβίδες, τα σύματα στερνοτομής και συσκευές σύγκλισης έλλειμμάτων και mitral clips.
Δεν υπάρχει αντένδειξη χρήσης σε έγκυμοσύνη (προσοχή ίσως κατά το πρώτο τρίμηνο), ενώ στη λοχεία συνιστάται αποφυγή θηλασμού για 24 ώρες μετά την χορήγηση γανδολινίου.
Άποτελεί πλήρη αντένδειξη ή χρήση της σε ασθενείς με μεταλλικά clip έγκεφάλου.
Έχουν αναφερθεί 6 θάνατοι σε ασθενείς με βηματοδότη, που πιθανό να σχετίζονται με την μαγνητική απεικόνιση. Ο κίνδυνος έγκειται στο γεγονός ότι το μαγνητικό πεδίο οδηγεί την λειτουργία του βηματοδότη σε μη ελεγχόμενη κατάσταση, όποτε αποτελεί κίνδυνο για ασθενείς βηματοδοεξαρτώμενους
Επίσης προκαλείται υπερθέρμανση των καλωδίων, που οδηγεί σε απώλεια αίσθησης. Υπάρχουν βηματοδότες στην αγορά (οι νεότερης γενιάς) ασφαλείς για μαγνητική απεικόνιση. Μετά το πέρας της εξέτασης πρέπει πάντα να γίνεται έλεγχος της μπαταρίας και της λειτουργικότητας της συσκευής

Πίνακας 5. Ένδείξεις χρήσης μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς σε ασθενείς με ύποψια ή γνωστή διάγνωση καρδιακής ανεπάρκειας
Μορφολογία καρδιακών και αγγειακών δομών
Μελέτη αϊμάτωσης δομών
Μελέτη ισχαμίας /βιωσιμότητας
Ή πιδ κατάλληλη απεικονιστική μέθοδος για τις συγγενείς καρδιοπάθειες
Ίστολογική αναγνώριση όγκων
Μέθοδος έκλογής για άρρυθμιόγνο δεξιά κοιλία, Takatsubo, μυοκαρδιοπάθειες
Άνιχνευση και ποσοτικοποίηση ίνωσης στον ηλεκτροφυσιολογικό έλεγχο και πριν την τοποθέτηση καλωδίων άμφικοιλιακής βηματοδότησης
Ποσοτικοποίηση ανεπάρκειας βαλβίδων και shunt
Καλύτερη μέθοδος για την εκτίμηση της δεξιάς κοιλίας κυρίως του όγκου της και κλάσματος έξωθησης αυτής.

λινίου στην T1 άκολουθία (Delayed Gadolinium Enhancement-DGE).

Ή διαγνωστική ακρίβεια σε παρουσία 2 εκ των 3 κριτηρίων είναι 78%, ενώ είναι 68% σε παρουσία μόνο του κριτηρίου της DGE.

Συνιστάται να επαναληφθεί ή εξέταση, αν είναι θετικό το ένα εκ των 3 κριτηρίων ή ύπαρχει ισχυρή κλινική ύποψια παρά την άρνητική άρχική εκτίμηση της μαγνητικής τομογραφίας.¹⁸⁻²⁷

Βιβλιογραφία

- Kawel-Boehm N, Maceira A, Valsangiacomo-Buechel ER, Vogel-Claussen J, Turkbey EB, Williams R, Plein S, Tee M, Eng J, Bluemke A. Normal values for cardiovascular magnetic resonance in adults and children. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2015 Apr 18;17(1):29.
- Manisty C, Ripley DP, Herrey AS, Captur G, Wong TC, Petersen SE, Plein S, Peebles C, Schelbert EB, Greenwood JP, Moon JC. Splenic Switch-off: A Tool to Assess Stress Adequacy in Adenosine Perfusion Cardiac MR Imaging. *Radiology*. 2015 Apr 29.
- Liguori C, Pitocco F, Di Giampietro I, De Vivo AE, Schena E, Giurazza F, Sorrentino F, Zobel BB. Magnetic resonance comparison of left-right heart volumetric and functional parameters in thalassemia major and thalassemia intermedia patients. *Biomed Res Int*. 2015;2015:857642.
- Lu W, Zheng J, Pan XD, Zhang MD, Zhu TY, Li B, Sun LZ. Diagnostic performance of cardiac magnetic resonance for the detection of acute cardiac allograft rejection: a systematic review and meta-analysis. *J Thorac Dis*. 2015 Mar;7(3):252-63.
- Magne J, Habib G, Cosyns B, Donal E, Miller O, Neglia D, Petersen SE, Lancellotti P. *EuroEcho-Imaging 2014: highlights*. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015 Apr 28.
- Al-Wakeel N, Fernandes JF, Amiri A, Siniawski H, Goubergrits L, Berger F, Kuehne T. Hemodynamic and energetic aspects of the left ventricle in patients with mitral regurgitation before and after mitral valve surgery. *J Magn Reson Imaging*. 2015 Apr 27.
- Maskatia A, Morris A, Spinner A, Krishnamurthy R, Altman A. Echocardiographic Parameters of Right Ventricular Diastolic Function in Repaired Tetralogy of Fallot Are Associated with Important Findings on Magnetic Resonance Imaging. *Congenit Heart Dis*. 2015 Apr 27.
- Song KD, Kim SM, Choe YH, Jung W, Lee SC, Chang A, Choi YH, Sung J. Integrated cardiac magnetic resonance imaging with coronary magnetic resonance angiography, stress-perfusion, and delayed-enhancement imaging for the detection of occult coronary artery disease in asymptomatic individuals. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2015 Apr 28.
- Roifman I, Connelly KA, Wright A, Wijeyesundera HC. Echocardiography vs Cardiac Magnetic Resonance Imaging for the Diagnosis of Left Ventricular Thrombus: A Systematic Review. *Can J Cardiol*. 2015 Jan 24.
- Broberg CS, Burchill LJ. Myocardial factor revisited: The importance of myocardial fibrosis in adults with congenital heart disease. *Int J Cardiol*. 2015 Apr 10;189:204-210.
- Dastidar AG, Frontera A, Palazzuoli A, Bucciarelli-Ducci C. TakoTsubo cardiomyopathy: unravelling the malignant consequences of a benign disease with cardiac magnetic resonance. *Heart Fail Rev*. 2015 Apr 21.
- Bainey KR, Patel MR, Armstrong PW. Evaluation of Cardiac Magnetic Resonance as a Surrogate in ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *Am J Cardiol*. 2015 Mar 13.
- Ntusi NA, Piechnik SK, Francis JM, Ferreira VM, Matthews PM, Robson MD, Wordsworth PB, Neubauer S, Karamitsos TD. Diffuse Myocardial Fibrosis and Inflammation in Rheumatoid Arthritis: Insights From CMR T1 Mapping. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2015 Apr 8.
- Mordi I, Bezerra H, Carrick D, Tzemos N. The Combined Incremental Prognostic Value of LVEF, Late Gadolinium Enhancement, and Global Circumferential Strain Assessed by CMR. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2015 Apr 7.
- Andre F, Steen H, Matheis P, Westkott M, Breuninger K, Sander Y, Kammerer R, Galuschky C, Giannitsis E, Korosoglou G, Katus HA, Buss SJ. Age- and gender-related normal left ventricular deformation assessed by cardiovascular magnetic resonance feature tracking. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2015 Mar 10;17(1):25.
- Palazzuoli A, Beltrami M, Gennari L, Dastidar AG, Nuti R, McAlindon E, Angelini GD, Bucciarelli-Ducci C. The impact of infarct size on regional and global left ventricular systolic function: a cardiac magnetic resonance imaging study. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2015 Apr 12.
- Sohns JM, Rosenberg C, Zapf A, Unterberg-Buchwald C, Staab W, Schuster A, Kowallick JT, Hosch O, Nguyen TT, Fasshauer M, Paul T, Lotz J, Steinmetz M. Right Atrial Volume is Increased in Corrected Tetralogy of Fallot and Correlates with the Incidence of Supraventricular Arrhythmia: A CMR Study. *Pediatr Cardiol*. 2015 Apr 11.
- Koch J, Arya A, Hindricks G, Eitel C. Cardiac magnetic resonance imaging reveals extensive biventricular fibrosis and inflammation challenging the diagnosis of ARVC. *Clin Res Cardiol*. 2015 Apr 9.
- Jbeli AH, Anuwatworn A, Petrasko MS. Myocarditis mimicking acute coronary syndrome: the role of cardiac magnetic resonance imaging and immunoglobulin therapy. *Am J Emerg Med*. 2015 Mar 25.
- Hartlage GR, Babaliaros VC, Thourani VH, Hayek S, Chrysohoou C, Ghasemzadeh N, Stillman AE, Clements SD, Oshinski JN, Lerakis S. The role of cardiovascular magnetic resonance in stratifying paravalvular leak severity after transcatheter aortic valve replacement: an observational outcome study. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2014 Dec 5;16:93.
- Chrysohoou C, Tsiamis E, Brili S, Barbetseas J, Stefanadis C. Acute myocarditis from coxsackie infection, mimicking subendocardial ischaemia. *Hellenic J Cardiol*. 2009 Mar-Apr;50(2):147-50.
- Hamlin A, Henry TS, Little BP, Lerakis S, Stillman AE. Mapping the future of cardiac MR imaging: case-based review of T1 and T2 mapping techniques. *Radiographics*. 2014 Oct;34(6):1594-611.
- Lerakis S, Hayek S, Arepalli CD, Thourani V, Babaliaros V. Cardiac magnetic resonance for paravalvular leaks in post-transcatheter aortic valve replacement. *Circulation*. 2014 Apr 8;129(14):e430-1.
- Mavrogeni S, Markousis-Mavrogenis G, Kolovou G. Contribution of cardiovascular magnetic resonance in the evaluation of coronary arteries. *World J Cardiol*. 2014 Oct 26;6(10):1060-6.
- Mavrogeni S, Bratis K, Papadopoulos G, Terrovitis J, Kitsiou A, Kattamis A, Papavassiliou A, Ageli K, Kolovou G. The Greek cardiac magnetic resonance experience: a comparison with the EuroCMR Registry. *Hellenic J Cardiol*. 2013 Sep-Oct;54(5):355-61.
- Varghese A, Pennell DJ. *Cardiovascular Magnetic Resonance made easy*, Churchill Livingstone Elsevier 2008.
- Biederman RWW, Doyle M, Yamrozil. *Cardiovascular MRI tutorial* Wolters-Kluwer/ Lippincott Williams & Wilkins 2007.