

Εφαρμογές της Μαγνητικής Τομογραφίας στην Καρδιολογία

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΚΑΡΑΜΗΤΣΟΣ,
ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΟΥ ΝΙΚΟΛΑΪΔΟΥ,
ΜΑΡΙΑΝΝΑ ΜΠΑΖΜΠΑΝΗ,
ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΚΑΡΒΟΥΝΗΣ

1η Καρδιολογική Κλινική, Αριστοτέλειο
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Νοσοκομείο
ΑΧΕΠΑ, Θεσσαλονίκη

Η μαγνητική τομογραφία καρδιάς (cardiovascular magnetic resonance – CMR) είναι μία καθιερωμένη, μη επεμβατική, απεικονιστική τεχνική με πληθώρα εφαρμογών στη σύγχρονη κλινική Καρδιολογία (Πίνακας 1). Η ακρίβεια της για τον προσδιορισμό της καρδιακής μορφολογίας και λειτουργίας αλλά και η δυνατότητα ιστικού χαρακτηρισμού που προσφέρει, την έχουν καθιερώσει ως μία χρήσιμη απεικονιστική τεχνική για την αξιολόγηση ασθενών με φλεγμονώδη, ισχαιμική και μη ισχαιμική μυοκαρδιοπάθεια.¹ Ευρεία επίσης είναι η εφαρμογή της σε ασθενείς με συγγενείς καρδιοπάθειες, τόσο πριν όσο και μετά από χειρουργική διόρθωση.¹ Σταδιακά η χρήση της CMR διευρύνεται περαιτέρω με εφαρμογές στις βαλβιδοπάθειες, τις παθήσεις του περικαρδίου και την πνευμονική υπέρταση. Επιπροσθέτως, η δυναμική μαγνητική τομογραφία καρδιάς με τη χρήση φαρμακευτικού stress (stress CMR) βρίσκει εφαρμογή στην αξιολόγηση της μεγάλης κατηγορίας ασθενών με πιθανή στεφανιαία νόσο.

Ο σκοπός αυτού του άρθρου είναι η παρουσίαση των κλινικών εφαρμογών της μαγνητικής τομογραφίας στη σύγχρονη Καρδιολογία όπως αυτές αναφέρονται σε κατευθυντήριες οδηγίες και consensus statements της Ευρωπαϊκής και Αμερικανικής Καρδιολογικής Εταιρείας.

Στεφανιαία Νόσος

ΣΤΕΦΑΝΙΑΙΑ ΑΓΓΕΙΑ

Η μαγνητική τομογραφία καρδιάς (CMR) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διάγνωση ανωμαλιών της έκφυσης και της πορείας των στεφανιαίων αγγείων.² Ιδιαίτερα χρήσιμος είναι ο ρόλος της στην εκτίμηση και την παρακολούθηση ανευρυσμάτων των στεφανιαίων αρτηριών όπως π.χ. στη νόσο του Kawasaki.^{3,4} Όσον αφορά την ανεύρωση και ποσοτικοποίηση στενώσεων των στεφανιαίων αρτηριών, η CMR είναι τεχνικά δυσκολότερη από ό,τι σε άλλα αγγεία, κυρίως λόγω της μικρής διαμέτρου των στεφανιαίων αρτηριών, της συνεχούς κίνησής τους, της ελικοειδούς πορείας τους, αλλά και εξαιτίας του έντονου σήματος από το γειτονικό επικαρδιακό λίπος και το μυοκάρδιο. Ένας άλλος περιορισμός είναι τα stent των στεφανιαίων αρτηριών, που προκαλούν τοπική παραμόρφωση της εικόνας ή απώλεια σήματος.⁵ Παρά την ύπαρξη κάποιων μελετών με ενθαρρυντικά αποτελέσματα στη διάγνωση νόσου του στελέχους και πολυαγγειακής στεφανιαίας νόσου, κυρίως στα εγγύς και μεσαία τμήματα των στεφανιαίων, η CMR παραμένει κατώτερη από την αξονική στεφανιογραφία και φυσικά την κλασική επεμβατική στεφανιογραφία. Ως εκ τούτου η εφαρμογή της CMR στη διαπίστωση ανατομικών στενώσεων των στεφανιαίων αρτηριών περιορίζεται σε λίγα κέντρα παγκοσμίως και κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΙΣΧΑΙΜΙΑΣ

Η CMR συνδυάζοντας τις δυνατότητες της εκτίμησης της λειτουργικότητας της αριστερής κοιλίας, της αιμάτωσης (stress perfusion CMR), και της βιωσιμότητας του μυοκαρδίου μετά από χορήγηση

Λέξεις Ευρετηρίου:

Καρδιαγγειακή απεικόνιση,
μαγνητικός συντονισμός, μυοκαρδιοπάθεια,
στεφανιαία νόσος, βαλβιδοπάθειες,
συγγενείς καρδιοπάθειες

Θεόδωρος Καραμήτσος

Επ. Καθηγητής Καρδιολογίας ΑΠΘ

Διεύθυνση Επικοινωνίας:

Α' Καρδιολογική Κλινική ΑΠΘ, Νοσοκομείο ΑΧΕΠΑ,
Στίλπωνος Κυριακίδη 1, 54636, Θεσσαλονίκη
Τηλ.: +302310994830
Fax : +302310994673
Email: tkaramitsos@auth.gr

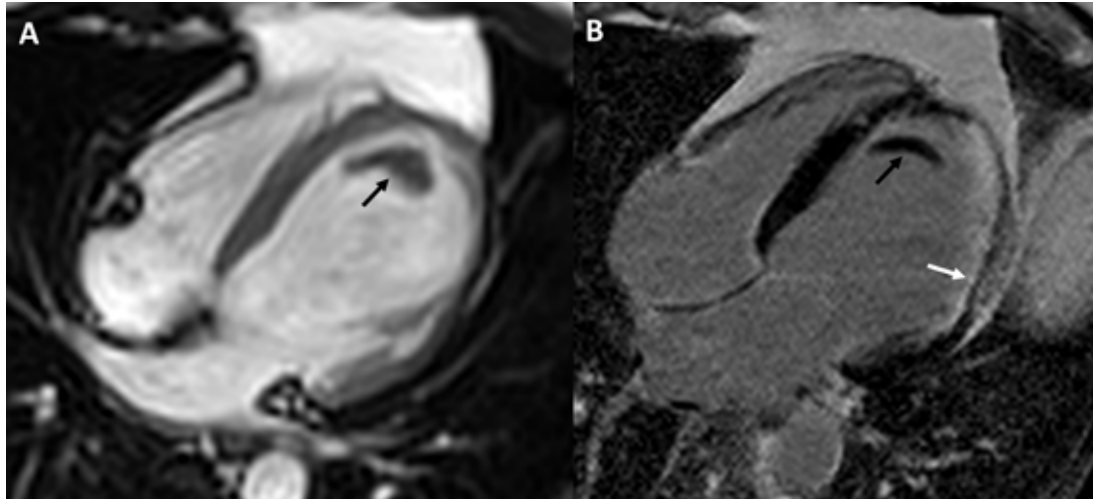
Πίνακας 1: Συνοπτική παρουσίαση των εφαρμογών της μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς

Ισχαιμική καρδιακή νόσος	Ισχαιμία και βιωσιμότητα μυοκαρδίου, μέγεθος & λειτουργικότητα αριστερής και δεξιάς κοιλίας, ανίχνευση θρόμβου, διάγνωση οξείας vs χρόνιας μυοκαρδιακής βλάβης και καθορισμός της περιοχής σε κίνδυνο (area at risk), καθορισμός ανωμαλιών της έκφυσης κι εγγύς πορείας των στεφανιαίων αγγείων, ανευρύσματα των στεφανιαίων
Μυοκαρδιοπάθειες	Μέγεθος & λειτουργικότητα αριστερής και δεξιάς κοιλίας, ανάδειξη της παρουσίας και έκτασης μυοκαρδιακής υπερτροφίας ή λέπτυνσης, εκτίμηση της σύστασης και δομής του μυοκαρδίου (πχ. ανάδειξη και ποσοτική εκτίμηση μυοκαρδιακής ίνωσης ή φλεγμονής-οιδήματος), διάγνωση ειδικών μυοκαρδιοπαθειών (πχ. καρδιακής αμυλοειδωσης ή υπερφόρτωσης του μυοκαρδίου από σίδηρο), διάγνωση και παρακολούθηση ασθενών με οξεία μυοκαρδίτιδα
Βαλβιδοπάθειες	Δομή των βαλβίδων, ποσοτική εκτίμηση της ανεπάρκειας μηννοειδών και κολποκοιλιακών βαλβίδων, πλανημέτρηση του στομίου διάνοιξης βαλβίδων (πιο ακριβής από τη μέτρηση της ταχύτητας ροής διά στενωμένων βαλβίδων), μέγεθος & λειτουργικότητα αριστερής και δεξιάς κοιλίας και των κόλπων, ανάδειξη μυοκαρδιακής ίνωσης (επί στένωσης αορτικής βαλβίδας), εκτίμηση τυχόν συνοδών ανατομικών βλαβών στο χώρο εξόδου των κοιλιών ή τα μεγάλα αγγεία. (πχ διάταση της ανιούσας αορτής επί δίπτυχης αορτικής βαλβίδας), σε ορισμένους ασθενείς με δυσλειτουργία προσθετικών βαλβίδων (κυρίως για βιολογικές βαλβίδες)
Νοσήματα του περικαρδίου	Οξεία φλεγμονή του περικαρδίου με ή χωρίς συμμετοχή του μυοκαρδίου, συμπιεστική περικαρδίτιδα, κύστες, όγκοι και συγγενείς διαταραχές του περικαρδίου
Καρδιακές μάζες - όγκοι	Διαφορική διάγνωση μεταξύ θρόμβων και ενδοκαρδιακών όγκων, βοηθάει στην διαφορική διάγνωση μεταξύ κακοήθων και καλοήθων όγκων και στον προγραμματισμό χειρουργικής επέμβασης (ανάδειξη της γύρω ανατομίας)
Πνευμονική υπέρταση	Μέγεθος & λειτουργικότητα της δεξιάς κοιλίας – εκτίμηση της αλληλεπίδρασης των κοιλιών, εκτίμηση της πνευμονικής αρτηρίας, ίνωση στα σημεία συμβολής αριστερής/δεξιάς κοιλίας
Συγγενείς καρδιοπάθειες	Εξέταση εκλογής για πληθώρα συγγενών καρδιοπαθειών είτε πριν είτε μετά από επεμβάσεις αποκατάστασης
Αορτή	Ακριβής εκτίμηση του εύρους της θωρακικής αορτής, εξέταση εκλογής για τη χρόνια παρακολούθηση σε ανεύρυσμα ή αορτικό διαχωρισμό

σκιαγραφικού παράγοντα (τεχνική καθυστερημένου εμπλουτισμού – late gadolinium enhancement, LGE), αποτελεί μία ιδιαίτερα ελκυστική μέθοδο στη διερεύνηση και διάγνωση ισχαιμικής καρδιακής νόσου. Πιο συγκεκριμένα συμβάλλει: 1) στην αναγνώριση ασθενών με ισχαιμική καρδιακή νόσο όταν υπάρχουν ανωμαλίες στο ηλεκτροκαρδιογράφημα ηρεμίας ή αδυναμία για άσκηση, 2) στον καθορισμό ασθενών με στεφανιαία νόσο, την έκταση κατανομής της στεφανιαίας νόσου, και 3) στην ανίχνευση βιωσιμότητας πριν από επεμβάσεις επαναιμάτωσης.⁵

Η διερεύνηση της ισχαιμίας γίνεται με τον εντοπισμό νέων διαταραχών στην τοιχωματική κινητικότητα μετά την ενδοφλέβια χορήγηση δοβουταμίνης σε αυξανόμενες δόσεις (stress dobutamine CMR) με πρωτόκολλο που είναι παρόμοιο με αυτό της stress ηχοκαρδιογραφίας.⁶ Η μέθοδος έχει καλή ευαισθη-

σία και ειδικότητα στη διάγνωση της στεφανιαίας νόσου, καθώς και υψηλή προγνωστική αξία⁷⁻¹⁰ αλλά η χρήση της περιορίζεται σε λίγα κέντρα παγκοσμίως λόγω της δυσκολίας διαχείρισης της δοβουταμίνης στο περιβάλλον του μαγνητικού τομογράφου. Αντίθετα, η τεχνική του stress perfusion CMR κατά την οποία εντοπίζονται ελλείμματα αιμάτωσης κατά τη φάση της πρώτης διόδου του γαδολίνιου μετά από χορήγηση αγγειοδιασταλτικών παραγόντων όπως η αδενοσίνη ή η διπυριδαμόλη, έχει ολοένα και μεγαλύτερη κλινική εφαρμογή.^{11,12} Πιο συγκεκριμένα, η CMR σύμφωνα με τα δημοσιευμένα κριτήρια καταλληλότητας και τις κατευθυντήριες οδηγίες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί καταρχήν για την ανίχνευση της στεφανιαίας νόσου σε συμπτωματικούς ασθενείς και ενδιάμεση πιθανότητα νόσου, οι οποίοι έχουν μη ερμηνεύσιμο ηλεκτροκαρδιογράφημα ή αδυναμία άσκησης, ενώ η χρησιμότητά της είναι ασαφής



Εικόνα 1. Μαγνητική τομογραφία καρδιάς σε ασθενή με έμφραγμα του μυοκαρδίου και θρόμβο στην αριστερή κοιλία.

A: Λήψη στον οριζόντιο μακρύ άξονα σε ασθενή με προηγούμενο έμφραγμα του πλαγίου και κορυφαίου-πλαγίου τοιχώματος, όπου διακρίνεται η λεπτύνση στην κορυφή και το πλάγιο τοίχωμα και η παρουσία θρόμβου στην κορυφή της αριστερής κοιλίας (μαύρο βέλος) B: εικόνα καθυστερημένου εμπλουτισμού με γαδολίνιο όπου φαίνεται η σχεδόν διατοιχωματική έκταση του εμφράγματος στα παραπάνω τοιχώματα με λευκό χρώμα (λευκό βέλος), και η παρουσία θρόμβου στην κορυφή (μαύρο βέλος), ο οποίος δεν προσλαμβάνει γαδολίνιο.

στην περίπτωση οξέος προκάρδιου άλγους και ενδιάμεση, προ της εξέτασης, πιθανότητα στεφανιαίας νόσου.³⁻⁵ Σύμφωνα με τα κριτήρια επαναιμάτωσης της Ευρωπαϊκής Καρδιολογικής Εταιρίας, η stress CMR έχει ισχυρή ένδειξη (IA) στη διερεύνηση ασθενών με σταθερά συμπτώματα στεφανιαίας νόσου και ενδιάμεση πιθανότητα νόσου (15-85%), ενώ δεν ενδείκνυται σε ασθενείς με χαμηλή ή υψηλή πιθανότητα νόσου.¹³ Επιπρόσθετα η CMR αποτελεί μία εξαιρετική τεχνική για την ανάδειξη μικροαγγειακής απόφραξης (no reflow) μετά από οξύ έμφραγμα μυοκαρδίου, εύρημα το οποίο συνοδεύεται από αρνητική πρόγνωση και δυσμενή αναδιαμόρφωση της αριστερής κοιλίας.¹⁴ Μία σημαντική εφαρμογή του stress CMR αφορά ασθενείς που έχουν ήδη διαγνωσθεί με στενώσεις των στεφανιαίων αγγείων στην κλασική στεφανιογραφία ή την αξονική τομογραφία, οι οποίες όμως δεν είναι σαφές αν προκαλούν μυοκαρδιακή ισχαιμία.² Ακόμα, ενδείκνυται στην περίπτωση μη ερμηνεύσιμων ή διφορούμενων αποτελεσμάτων από άλλες λειτουργικές διαγνωστικές μεθόδους (δοκιμασία κόπωσης, σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου, δυναμική ηχοκαρδιογραφία).³

ΕΜΦΡΑΓΜΑ ΜΥΟΚΑΡΔΙΟΥ – ΟΥΛΗ – ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ

Η CMR έχει υψηλή διαγνωστική αξία στην εκτίμηση της διατοιχωματικής έκτασης του ουλοποιημένου τμήματος του μυοκαρδίου μετά από έμφραγμα μυο-

καρδίου, και μπορεί να εκτιμήσει με ακρίβεια τη συστολική εφεδρεία και την πιθανότητα βιωσιμότητας καθοδηγώντας έτσι τη στρατηγική επαναιμάτωσης.¹³ Πιο συγκεκριμένα, η νέκρωση συνεπεία εμφράγματος μυοκαρδίου, απεικονίζεται με λευκό χρώμα στις περιοχές πρόσληψης του γαδολίνιου, ξεκινάει από την υπενδοκάρδια στοιβάδα και όσο καθυστερεί η επαναιμάτωση μπορεί να επεκταθεί σε όλο το πάχος του μυοκαρδιακού τοιχώματος (Εικόνα 1). Σε περίπτωση παλαιού εμφράγματος του μυοκαρδίου, η διατοιχωματική έκταση της πρόσληψης του γαδολίνιου (hyper-enhancement) στις εικόνες LGE συσχετίζεται με την πιθανότητα λειτουργικής ανάκαμψης του μυοκαρδίου μετά από επαναιμάτωση. Συγκεκριμένα, όταν η πρόσληψη του γαδολίνιου αφορά λιγότερο από 50% του πάχους του μυοκαρδίου, η πιθανότητα ανάκαμψης της λειτουργικότητας μετά την επαναιμάτωση είναι αυξημένη. Όταν το γαδολίνιο καταλαμβάνει >75% του πάχους του μυοκαρδίου η πιθανότητα ανάκαμψης είναι πρακτικά ελάχιστη.¹⁵ Επιπλέον, η παρουσία και η έκταση της μυοκαρδιακής ουλής έχει προγνωστική συσχέτιση με τη θνητότητα και με ανεπιθύμητα καρδιακά συμβάντα.⁶

Σε αμφίβολες περιπτώσεις, η εκτίμηση της βιωσιμότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί και με low dobutamine stress CMR, κατ'αναλογία με το ηχοκαρδιογραφικό πρωτόκολλο με χαμηλές δόσεις δοβουταμίνης, όπου η βελτίωση της τοιχωματικής κινητικότητας υποκινητικών ή ακινητικών τμημάτων

του τοιχώματος της αριστερής κοιλίας είναι ενδεικτική βιωσιμότητας, με ευαισθησία και ειδικότητα παρόμοια της ηχοκαρδιογραφίας.^{16,17} Ο συνδυασμός της έκτασης του εμπλουτισμού μετά από χορήγηση γαδολινίου και των τοιχωματικών διαταραχών μετά από χορήγηση δοβουταμίνης, βρέθηκε ότι προσφέρει ακόμη καλύτερη εκτίμηση της βιωσιμότητας απ' ό,τι η κάθε μέθοδος ξεχωριστά.¹⁸

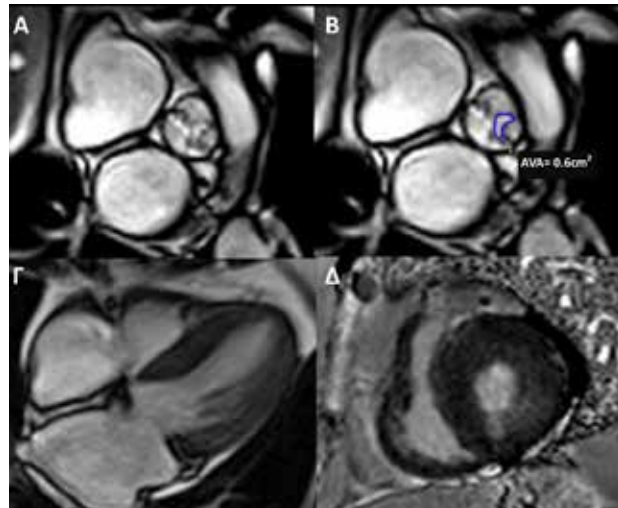
Σύμφωνα με τα δημοσιευμένα κριτήρια καταλληλότητας και τις κατευθυντήριες οδηγίες, η CMR ενδείκνυται για τον εντοπισμό και τον προσδιορισμό της έκτασης της νέκρωσης του μυοκαρδίου, συμπεριλαμβανομένου των περιοχών μη επαναιμάτωσης (no reflow), και για την εκτίμηση της βιωσιμότητας προ της επαναιμάτωσης. Μία άλλη ένδειξη διενέργειας CMR είναι όταν τα αποτελέσματα άλλων μεθόδων διερεύνησης της βιωσιμότητας, όπως το σπινθηρογράφημα ή το ηχοκαρδιογράφημα μετά από stress, είναι ασαφή. Ενδείκνυται επίσης για τον προσδιορισμό της πιθανότητας ανάκαμψης της καρδιακής λειτουργικότητας μετά από επαναιμάτωση με αγγειοπλαστική ή αορτοστεφανιαία παράκαμψη, ή με φαρμακευτική αγωγή. Η CMR έχει επίσης ένδειξη στην εκτίμηση της λειτουργίας της αριστερής κοιλίας μετά από έμφραγμα του μυοκαρδίου.^{2,3}

Βαλβιδοπάθειες

Το ηχοκαρδιογράφημα (διαθωρακικό και διοισοφάγειο) αποτελεί την κύρια μέθοδο εκτίμησης ασθενών με βαλβιδοπάθειες. Η CMR παρέχει μεγαλύτερη αναπαραγωγιμότητα των μετρήσεων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως σε ασθενείς με κακό ακουστικό παράθυρο και γενικά δύσκολη ηχοκαρδιογραφική απεικόνιση. Παρά τη μικρότερη διακριτική ικανότητα στο χρόνο σε σχέση με το ηχοκαρδιογράφημα, η CMR παρέχει χρήσιμες πληροφορίες όσον αφορά τη σοβαρότητα της βαλβιδικής νόσου κάτι που αντανακλάται όλο και περισσότερο στις τελευταίες κατευθυντήριες οδηγίες των βαλβιδοπαθειών.¹⁹

Με τη CMR απεικονίζονται όλα τα μέρη του βαλβιδικού μηχανισμού, μπορεί να γίνει σαφής απεικόνιση σε περιπτώσεις βαλβίδων που είναι δύσκολο να απεικονιστούν με τον ηχοκαρδιογράφημα όπως π.χ. η πνευμονική βαλβίδα, και μπορεί να τεθεί η οριστική διάγνωση μιας δίπτυχης αορτικής βαλβίδας, καθώς και πιθανής συνοδού αορτικής διάτασης.²⁰ Η CMR είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην ακριβή εκτίμηση της μάζας και των διαστάσεων των καρδιακών κοιλοτήτων, καθώς και στην παρακολούθηση των μεταβολών τους λόγω της βαλβιδικής νόσου ή μετά από χειρουργική επέμβαση. Ειδικότερα, αποτελεί τη

«χρυσή» μέθοδο παρακολούθησης των μεταβολών του μεγέθους και του κλάσματος εξώθησης της δεξιάς κοιλίας στηρίζομενη στη μέτρηση του τελοδιαστολικού και τελοσυστολικού της όγκου.²¹



Εικόνα 2. Μαγνητική τομογραφία καρδιάς σε ασθενή με στένωση της αορτικής βαλβίδας.

A-B: Ακριβής πλανημέτρηση του στομίου διάνοιξης της αορτικής βαλβίδας (AVA) σε ασθενή με σοβαρή στένωση τρίπτυχης αορτικής βαλβίδας λόγω επασβέστωσης των πτυχών (η επασβέστωση απεικονίζεται με μαύρο χρώμα), Γ: συγκεντρική υπερτροφία των τοιχωμάτων της αριστερής κοιλίας στη λήψη στον οριζόντιο μακρύ άξονα, Δ: παρουσία διάχυτης μυοκαρδιακής ίνωσης σε εικόνα καθυστερημένου εμπλουτισμού με γαδολίνιο στο βραχύ άξονα.

Η εκτίμηση της σοβαρότητας της στένωσης μιας βαλβίδας γίνεται με ακριβή πλανημέτρηση του στομίου της στα tips της βαλβίδας (Εικόνα 2). Η μέτρηση της μέγιστης συστολικής ταχύτητας στην αορτική και την πνευμονική βαλβίδα επιτυγχάνεται με ειδικές ακολουθίες ροής (phase-contrast sequences) αλλά είναι γνωστό ότι, για τεχνικούς λόγους, η μέγιστη κλίση πίεσης μπορεί να υποεκτιμηθεί με τη CMR σε σύγκριση με τη Doppler ηχοκαρδιογραφία. Αντίθετα, η εκτίμηση της ανεπάρκειας των μνοειδών βαλβίδων είναι ιδιαίτερα ακριβής με τη CMR, καθώς γίνεται άμεση ποσοτικοποίηση του παλινδρομού του όγκου και του παλινδρομού κλάσματος στις εικόνες ροής. Η εκτίμηση της ανεπάρκειας των κολποκοιλιακών βαλβίδων πραγματοποιείται με έμμεση μέτρηση του παλινδρομού όγκου, αφαιρώντας τον όγκο ροής από τη μνοειδή βαλβίδα από τον όγκο παλμού της αντίστοιχης κοιλίας.¹⁵

Όλοι οι ασθενείς με προσθετικές βαλβίδες μπορούν με ασφάλεια να υποβληθούν σε CMR σε μαγνητικό πεδίο των 1,5 Tesla, και οι περισσότερες

βαλβίδες και στα 3 Tesla. Η ποιότητα της απεικόνισης επηρεάζεται καθώς δημιουργούνται παράσιτα από τα μεταλλικά μέρη των βαλβίδων, κάτι που παρατηρείται πολύ λιγότερο ή και καθόλου με τις βιοπροσθετικές βαλβίδες. Η ηχοκαρδιογραφία αποτελεί βασική και αναντικατάστατη μέθοδο απεικόνισης σε ασθενείς με προσθετικές βαλβίδες. Παρόλ' αυτά σε επιλεγμένες περιπτώσεις, η CMR μπορεί να παρέχει σημαντικές πληροφορίες όπως π.χ. σε ασθενείς με ανεπάρκεια των προσθετικών βαλβίδων, όπως ο παλινδρομούν όγκος και το παλινδρομούν κλάσμα αλλά και οι όγκοι/λειτουργικότητα των καρδιακών κοιλοτήτων. Στις περισσότερες περιπτώσεις μετά από κατάλληλη τοποθέτηση του απεικονιστικού πεδίου με τη χρήση ειδικών ακολουθιών, είναι εφικτή η εκτίμηση της κινητικότητας των βαλβίδων, καθώς και η ανίχνευση παραβαλβιδικής ανεπάρκειας.²²

Η CMR συνδυάζοντας τις δυνατότητες εκτίμησης της λειτουργικότητας της αριστερής κοιλίας, της αιμάτωσης και της βιωσιμότητας του μυοκαρδίου αποτελεί μία ιδιαίτερα ελκυστική μέθοδο στη διάγνωση και παρακολούθηση ασθενών με ισχαιμική καρδιακή νόσο. Επιπρόσθετα, μέσω του ιστικού χαρακτηρισμού, προσφέρει πολύτιμες διαγνωστικές και προγνωστικές πληροφορίες και σε ασθενείς με μη ισχαιμική μυοκαρδιοπάθεια. Τέλος, σε επιλεγμένες περιπτώσεις μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη στην εκτίμηση βαλβιδοπαθειών.

Σύμφωνα με τα δημοσιευμένα κριτήρια καταλληλότητας και τις κατευθυντήριες οδηγίες, η CMR ενδείκνυται για τον χαρακτηρισμό των φυσικών ή προσθετικών βαλβίδων, για πλανημέτρηση του στενωτικού στομίου (φυσικές ή βιοπροσθετικές βαλβίδες) και ποσοτικοποίηση της ανεπάρκειας, κυρίως σε ασθενείς με δύσκολη απεικόνιση στο διαθωρακικό ή διαιοσφάγειο ηχοκαρδιογράφημα, καθώς και για την ακριβή μέτρηση και παρακολούθηση των καρδιακών όγκων.²⁴ Ειδικότερα, στα πρόσφατα δημοσιευμένα κριτήρια καταλληλότητας για την απεικόνιση στις βαλβιδοπάθειες, η CMR συστήνεται στην περίπτωση χαμηλής κλίσης-χαμηλής ροής (low flow-low gradient) σοβαρής στένωσης της αορτικής βαλβίδας με βάση το υπολογιζόμενο στόμιο της βαλβίδας από το ηχοκαρδιογράφημα, και είτε χαμηλό κλάσμα εξώθησης, είτε διατηρημένο

κλάσμα εξώθησης για εκτίμηση της σοβαρότητας της στένωσης. Στην ανεπάρκεια της αορτικής βαλβίδας συστήνεται όταν υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ των κλινικών ευρημάτων και των ευρημάτων από το διαθωρακικό ηχοκαρδιογράφημα, ενώ βρίσκεται ολοένα και μεγαλύτερη εφαρμογή σε περίπτωση δίπτυχης αορτικής βαλβίδας με ή χωρίς διάταση της ανιούσας αορτής για την ποσοτική εκτίμηση της σοβαρότητας της ανεπάρκειας της βαλβίδας, παρά τυχόν ικανοποιητική ηχοκαρδιογραφική απεικόνιση. Συστήνεται επίσης για την παρακολούθηση του όγκου και της λειτουργικότητας της αριστερής κοιλίας.^{23,24} Στην περίπτωση ανεπάρκειας της μιτροειδούς βαλβίδας, η απεικόνιση με CMR θεωρείται κατάλληλη όταν υπάρχει κλινική υποψία σοβαρής ανεπάρκειας και πιθανή υποεκτίμηση από το διαθωρακικό ηχοκαρδιογράφημα, όταν απαιτείται καλύτερη απεικόνιση του jet ανεπάρκειας, για καθορισμό της σοβαρότητας σε χρόνιο ασυμπτωματικό ασθενή με πρωτοπαθή ανεπάρκεια, καθώς και σε δευτεροπαθή, σοβαρού βαθμού, χρόνια ανεπάρκεια για προσδιορισμό της αιτιολογίας ή της καρδιακής βιωσιμότητας σε περίπτωση ισχαιμικής καρδιακής ανεπάρκειας. Στην περίπτωση σοβαρής ανεπάρκειας της τριγλώχινας βαλβίδας, η CMR συστήνεται όταν υπάρχει κακής ποιότητας ηχοκαρδιογραφική απεικόνιση, για την εκτίμηση της λειτουργικότητας και των όγκων της δεξιάς κοιλίας. Στη μακροχρόνια παρακολούθηση των ασθενών, η CMR θεωρείται κατάλληλη σε ασθενείς με δίπτυχη αορτική βαλβίδα και διάταση της αορτής, όταν αυτή έχει διάμετρο μεγαλύτερη των 4,5 εκατοστών, παρατηρείται ταχεία αύξηση των διαστάσεών της, ή υπάρχει οικογενειακό ιστορικό διαχωρισμού της αορτής.²⁴

Στην περίπτωση των προσθετικών βαλβίδων η CMR θεωρείται κατάλληλη όταν υπάρχει υποψία κλινικά σημαντικής δυσλειτουργίας της βιοπροσθετικής βαλβίδας και μη ικανοποιητική ηχοκαρδιογραφική απεικόνιση, και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε αντίστοιχη περίπτωση μηχανικής προσθετικής βαλβίδας σε κέντρα με ανάλογη εμπειρία. Τέλος, η CMR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ακριβή εκτίμηση των διαστάσεων και του σχήματος του δακτυλίου της αορτικής βαλβίδας, καθώς και των διαστάσεων της αορτής προ της διακαθετηριακής αντικατάστασης της βαλβίδας (TAVR) αν και θεωρείται υποδεέστερη της αξονικής τομογραφίας.²⁴

Μη Ισχαιμικές Μυοκαρδιοπάθειες

Η διάγνωση των μη ισχαιμικής αιτιολογίας μυοκαρ-

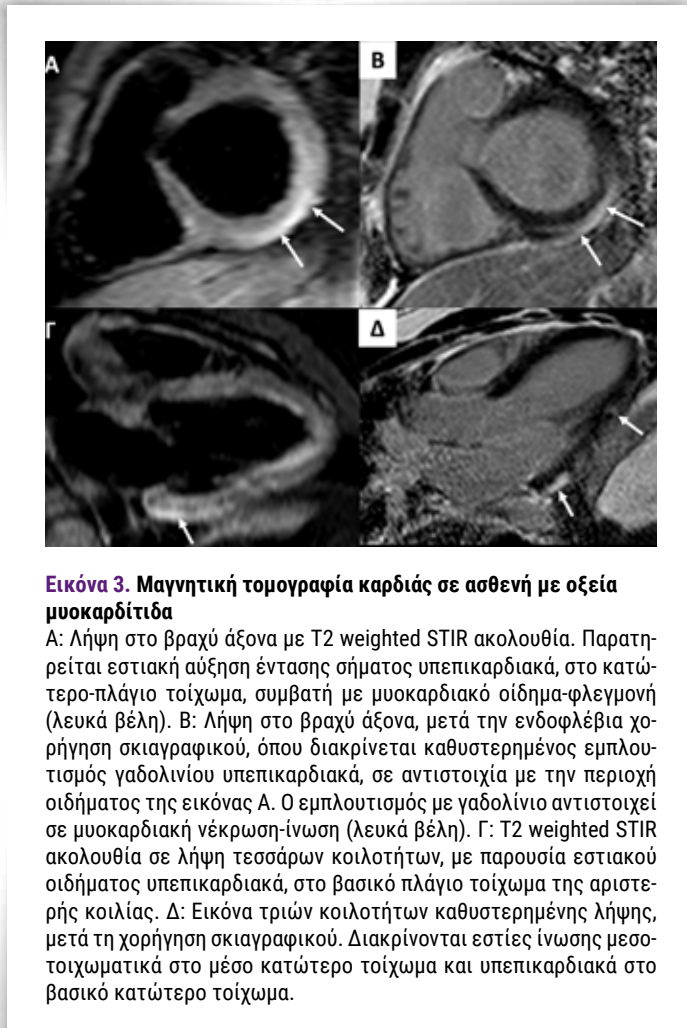
διοπαθειών είναι από τις κυριότερες ενδείξεις διε-
νέργειας μαγνητικής τομογραφίας καρδιάς.

ΔΙΑΤΑΤΙΚΗ ΜΥΟΚΑΡΔΙΟΠΑΘΕΙΑ

Η CMR χρησιμεύει στη διάγνωση της διατατικής μυοκαρδιοπάθειας καθώς μπορεί να ανιχνεύσει την προοδευτική διάταση και συστολική δυσλειτουργία της αριστερής κοιλίας αλλά και τυχόν παρουσία ίνωσης η οποία κλασικά παρουσιάζεται με μεσοτοιχωματική κατανομή στο μεσοκοιλιακό διάφραγμα⁵ αλλά και υπεπικαρδιακά σε άλλα τμήματα της αριστερής κοιλίας, και φαίνεται να επηρεάζει δυσμενώς την πρόγνωση.²⁵ Η Ευρωπαϊκή Καρδιολογική Εταιρεία το 2016 πρότεινε την αναθεώρηση του ορισμού της διατατικής μυοκαρδιοπάθειας και τη δημιουργία μιας νέας κατηγορίας, αυτής της υποκινητικής-μη διατατικής μυοκαρδιοπάθειας. Η CMR έχει θέση και σε αυτή την περίπτωση και μάλιστα, η παρουσία καθυστερημένου εμπλουτισμού γαδολίνιου με κατανομή μη ισχαιμικής αιτιολογίας αποτελεί, μεταξύ άλλων, έλασσον διαγνωστικό κριτήριο για τη διάγνωση διατατικής ή υποκινητικής-μη διατατικής μυοκαρδιοπάθειας σε συγγενείς ασθενών με γνωστή διατατική μυοκαρδιοπάθεια.²⁶ Επιπρόσθετα, έχει βρεθεί ότι η εκτεταμένη ίνωση αποτελεί ανεξάρτητο παράγοντα κινδύνου για ελαττωμένη ανταπόκριση στη φαρμακευτική αγωγή ασθενών με νεοδιαγνωσθείσα διατατική μυοκαρδιοπάθεια.²⁷ Συνεπώς, η μαγνητική τομογραφία καρδιάς ενδείκνυται για τη διαστρωμάτωση του κινδύνου και τη λήψη στοχευμένων αποφάσεων για την αντιμετώπιση αυτής της κατηγορίας ασθενών.

ΜΥΟΚΑΡΔΙΤΙΔΑ

Η μαγνητική τομογραφία καρδιάς έχει ένδειξη σε ασθενείς με 1) νεοεμφανιζόμενα συμπτώματα ή επιμονή συμπτωμάτων τυπικών για μυοκαρδίτιδα, 2) μυοκαρδιακή βλάβη, όπως προκύπτει από την παρουσία πλεκτροκαρδιογραφικών αλλοιώσεων, δυσλειτουργίας της αριστερής κοιλίας ή αυξημένων καρδιακών ενζύμων, και 3) πιθανή ιογενή αιτιολογία.²⁸ Υπερέχει άλλων απεικονιστικών τεχνικών στη διάγνωση της οξείας μυοκαρδίτιδας (Εικόνα 3) λόγω της δυνατότητας ιστικού χαρακτηρισμού, η οποία επιτρέπει την ανίχνευση ενεργού μυοκαρδιακής φλεγμονής και νέκρωσης.^{29,30} Συγκεκριμένα, μπορεί να ανιχνεύσει ακόμα και πολύ μικρές λειτουργικές διαταραχές της αριστερής κοιλίας, τυχόν περικαρδιακή συμμετοχή (μυοπερικαρδίτιδα) την παρουσία εστιακού οιδήματος -υπεραιμίας στη φάση της οξείας φλεγμονής (T1-T2 ακολουθίες) αλλά και μυοκαρδιακής νέκρωσης μετά τη χορήγηση γαδολίνιου. Ιδιαίτερη εφαρμογή σε ασθενείς με πιθανή οξεία μυοκαρδίτιδα γνωρίζουν οι νεότερες τεχνικές



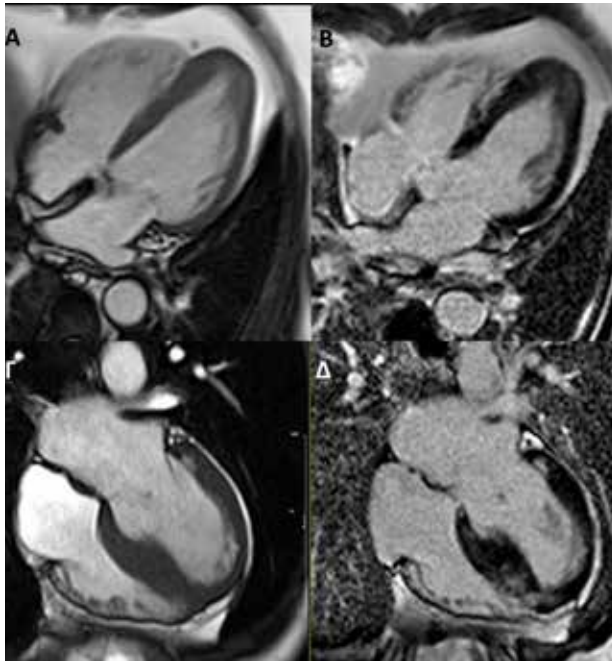
Εικόνα 3. Μαγνητική τομογραφία καρδιάς σε ασθενή με οξεία μυοκαρδίτιδα

A: Λήψη στο βραχύ άξονα με T2 weighted STIR ακολουθία. Παρατηρείται εστιακή αύξηση έντασης σήματος υπεπικαρδιακά, στο κατώτερο-πλάγιο τοίχωμα, συμβατή με μυοκαρδιακό οίδημα-φλεγμονή (λευκά βέλη). B: Λήψη στο βραχύ άξονα, μετά την ενδοφλέβια χορήγηση σκιαγραφικού, όπου διακρίνεται καθυστερημένος εμπλουτισμός γαδολίνιου υπεπικαρδιακά, σε αντιστοιχία με την περιοχή οιδήματος της εικόνας A. Ο εμπλουτισμός με γαδολίνιο αντιστοιχεί σε μυοκαρδιακή νέκρωση-ίνωση (λευκά βέλη). Γ: T2 weighted STIR ακολουθία σε λήψη τεσσάρων κοιλοτήτων, με παρουσία εστιακού οιδήματος υπεπικαρδιακά, στο βασικό πλάγιο τοίχωμα της αριστερής κοιλίας. Δ: Εικόνα τριών κοιλοτήτων καθυστερημένης λήψης, μετά τη χορήγηση σκιαγραφικού. Διακρίνονται εστίες ίνωσης μεσοτοιχωματικά στο μέσο κατώτερο τοίχωμα και υπεπικαρδιακά στο βασικό κατώτερο τοίχωμα.

ιστικού χαρακτηρισμού, όπως η T1 και T2 χαρτογράφηση (T1 – T2 mapping) οι οποίες παρέχουν τη δυνατότητα ποσοτικής εκτίμησης της μυοκαρδιακής φλεγμονής με αποτέλεσμα να είναι πολύ χρήσιμες σε ασθενείς με γενικευμένο οίδημα του μυοκαρδίου ή και πολυσυστηματική φλεγμονή.^{1,31}

ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΚΗ ΜΥΟΚΑΡΔΙΟΠΑΘΕΙΑ

Η CMR μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την αρχική διάγνωση ασθενών με πιθανή υπερτροφική μυοκαρδιοπάθεια (Εικόνα 4), αν και στις περισσότερες περιπτώσεις, η διάγνωση έχει ήδη τεθεί με την ηχοκαρδιογραφία. Οι κύριες ενδείξεις της διενέργειας CMR είναι: i) η ανάδειξη ίνωσης/καθυστερημένου εμπλουτισμού, ii) η εκτίμηση της ανατομίας και του μηχανισμού απόφραξης του χώρου εξόδου της αριστερής κοιλίας, ειδικά όταν πρόκειται να ακολουθήσει παρέμβαση όπως η χειρουργική μυεκτομή ή κατάλυση του μεσοκοιλιακού διαφράγματος με αλκοόλη, iii) η διαφορική διάγνωση μεταξύ των



Εικόνα 4. Μαγνητική τομογραφία καρδιάς σε ασθενή με υπερτροφική μυοκαρδιοπάθεια

A-B: Εικόνα τεσσάρων κοιλοτήτων στην οποία απεικονίζεται υπερτροφία κορυφής (A) ενώ στη λήψη μετά τη χορήγηση ενδοφλέβιου σκιαγραφικού (B) παρατηρείται καθυστερημένος εμπλουτισμός γαδολινίου μεσοτοιχωματικά, με διάστικτη κατανομή, στην περιοχή μέγιστου πάχους του τοιχώματος. ΓΔ: Παρουσία εστιακής ασύμμετρης υπερτροφίας που εντοπίζεται στο μεσοκοιλιακό διάφραγμα. Στην εικόνα καθυστερημένου εμπλουτισμού με γαδολίνιο, διακρίνεται πρόσληψη γαδολινίου με μεσοτοιχωματική κατανομή στις περιοχές με υπερτροφία.

φαινοτύπων της υπερτροφικής μυοκαρδιοπάθειας (πχ. ανάδειξη υπερτροφικής μυοκαρδιοπάθειας κορυφής) ή η διαφοροδιάγνωσή της από παθήσεις που προκαλούν υπερτροφία της αριστερής κοιλίας, όπως η υπέρταση ή η αμυλοείδωση, και τέλος iv) η παροχή πληροφοριών συμπληρωματικών του διαθωρακικού ηχοκαρδιογραφήματος, ειδικά σε ασθενείς με κακό ακουστικό παράθυρο.³² Αποτελεί τη μέθοδο εκλογής για την αξιολόγηση της ανατομίας, με τη μέτρηση των όγκων των κοιλιών και του πάχους των τοιχωμάτων,^{33,34} καθώς και της έκτασης της υπερτροφίας.³⁵ Η παρουσία και έκταση της μυοκαρδιακής ίνωσης σχετίζεται με προοδευτική διάταση της αριστερής κοιλίας και έκπτωση της συστολικής λειτουργίας αυτής.³⁶ Τέλος, η CMR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο συγγενών πρώτου βαθμού ασθενών με υπερτροφική μυοκαρδιοπάθεια σε περιπτώσεις κακού ηχοκαρδιογραφικού παραθύρου, αμφίβλων ευρημάτων από το ηχοκαρδι-

ογράφημα ή όταν το ηλεκτροκαρδιογράφημα είναι παθολογικό παρά το γεγονός ότι το διαθωρακικό ηχοκαρδιογράφημα είναι φυσιολογικό.³⁷

ΑΡΡΥΘΜΙΟΓΟΝΟΣ ΜΥΟΚΑΡΔΙΟΠΑΘΕΙΑ ΤΗΣ ΔΕΞΙΑΣ ΚΟΙΛΙΑΣ

Η διάγνωση της αρρυθμιογόνου μυοκαρδιοπάθειας της δεξιάς κοιλίας βασίζεται σε γενετικά, ηλεκτροκαρδιογραφικά, αρρυθμιολογικά, ιστολογικά, λειτουργικά και δομικά κριτήρια.^{38,39} Η ακρίβεια της CMR στην ανίχνευση μόλις υποσημαινόμενων τμηματικών υποκινήσεων και δομικών διαταραχών της δεξιάς κοιλίας την καθιστούν χρήσιμο εργαλείο στη διάγνωση ασθενών με πιθανή αρρυθμιογόνο μυοκαρδιοπάθεια. Οι τμηματικές υποκινήσεις, το ελαττωμένο κλάσμα εξώθησης, ο αυξημένος τελοδιαστολικός όγκος της δεξιάς κοιλίας, καθώς και περιοχές λέπτυνσης και μικροανευρυσμάτων της δεξιάς κοιλίας συμπεριλαμβάνονται στα διαγνωστικά κριτήρια της αρρυθμιογόνου μυοκαρδιοπάθειας.³⁹ Με τη δυνατότητα ιστικού χαρακτηρισμού, η CMR μπορεί να εντοπίσει την αντικατάσταση μυοκαρδιακού ιστού από ινολιπώδη ιστό και χρησιμεύει στη διαφορική διάγνωση μεταξύ καταστάσεων οι οποίες μπορούν να μιμηθούν την αρρυθμιογόνο μυοκαρδιοπάθεια, όπως η υπερφόρτωση όγκου της δεξιάς κοιλίας ή η παρουσία ισχαιμικής ουλής της δεξιάς κοιλίας.⁴⁰ Τα τελευταία χρόνια η CMR έχει βοηθήσει στη διαπίστωση μορφών αρρυθμιογόνου μυοκαρδιοπάθειας στις οποίες προσβάλλεται και η αριστερή κοιλία είτε καθ' υπεροχήν είτε σε συνδυασμό με τη δεξιά κοιλία, συμβάλλοντας έτσι στην καλύτερη αντιμετώπιση ασθενών στους οποίους ελλοχεύει ο κίνδυνος αιφνίδιου θανάτου.

ΜΗ ΣΥΜΠΑΓΕΣ ΜΥΟΚΑΡΔΙΟ-ΣΠΟΓΓΩΔΗΣ ΜΥΟΚΑΡΔΙΟΠΑΘΕΙΑ

Η CMR θεωρείται η μέθοδος επιλογής για τη διάγνωση ή τον αποκλεισμό του μη συμπαγούς μυοκαρδίου (non compaction), ιδιαίτερα σε περιπτώσεις δυσχερούς απεικόνισης της κορυφής με το ηχοκαρδιογράφημα.⁴¹ Για τη διάγνωση πρέπει ο λόγος μη συμπαγούς προς το συμπαγές μυοκάρδιο κατά τη διαστολή να είναι μεγαλύτερος από 2.3.⁴²

ΆΛΛΕΣ ΜΥΟΚΑΡΔΙΟΠΑΘΕΙΣ (ΣΑΡΚΟΕΙΔΩΣΗ, ΑΜΥΛΟΕΙΔΩΣΗ, ΑΙΜΟΧΡΩΜΑΤΩΣΗ)

Η CMR βοηθά στην ανίχνευση καρδιακής συμμετοχής σε ασθενείς με σαρκοείδωση, καθώς με τη χρήση γαδολινίου ανιχνεύονται περιοχές φλεγμονής ή/και ίνωσης.⁴³ Η μυοκαρδιακή αμυλοείδωση διαγιγνώσκεται με υψηλή ακρίβεια από τη CMR. Τυπικά και ειδικά ευρήματα αμυλοείδωσης είναι η σημαντική συσσώρευση γαδολινίου (διάχυτη υπεν-

δοκάρδια ή διατοικωματική) σε περιοχές οι οποίες έχουν διηθηθεί από αμυλοειδές, σε συνδυασμό με σκοτεινή αιματική δεξαμενή λόγω της ταχείας απομάκρυνσης του γαδολίνιου από την κυκλοφορία.⁴⁴ Η τεχνική του native T1 mapping έχει συμβάλλει στην περαιτέρω τεκμηρίωση της διάγνωσης με την ανεύρεση υψηλών τιμών T1 χρόνου. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμβολή της μαγνητικής τομογραφίας στην παρακολούθηση αλλά και την πρόγνωση πολυμεταγγιζόμενων ασθενών οι οποίοι υποβάλλονται σε θεραπεία αποσιδήρωσης, καθώς ανιχνεύει και ποσοτικοποιεί την εναπόθεση σιδήρου τόσο μυοκάρδιο όσο και στο ήπαρ.⁴⁵

Περικαρδιακή Νόσος

Το πάχος του φυσιολογικού περικαρδίου στη CMR είναι μικρότερο από 4 χιλιοστά.^{15,46} Η CMR αποτελεί μια χρήσιμη διαγνωστική εξέταση όσον αφορά τις νόσους του περικαρδίου, ιδιαίτερα αν δεν είναι ικανοποιητικά ή είναι ασαφή τα αποτελέσματα της ηχωκαρδιογραφικής απεικόνισης, αν υπάρχει υποψία εντοπισμένης νόσου ή άλλης συνοδού παθολογίας (πχ, μυοπερικαρδίτιδας). Με την απεικόνιση πραγματικού χρόνου (real-time cine CMR) μπορούν να εκτιμηθούν οι δυναμικές επιπτώσεις της περικαρδιακής νόσου, όπως η αλληλεπίδραση μεταξύ των κοιλιών (ventricular interdependence) και η επιπέδωση του μεσοκοιλιακού διαφράγματος κατά την εισπνοή σε περιπτώσεις συμπίεστικής περικαρδίτιδας.⁴⁶ Σε σύγκριση με την αξονική τομογραφία, η CMR θεωρείται υποδεέστερη τεχνική στην απεικόνιση επαβεστώσεων στο περικάρδιο.

Σύμφωνα με τα δημοσιευμένα κριτήρια καταλληλότητας και τις κατευθυντήριες οδηγίες,^{2,4} η CMR ενδείκνυται ως δεύτερης γραμμής διαγνωστική μέθοδος, που παρέχει επιπρόσθετες πληροφορίες στην περίπτωση της οξείας και υποτροπιάζουσας περικαρδίτιδας, κυρίως όταν οι πρώτης γραμμής διαγνωστικές μέθοδοι δεν επαρκούν. Επίσης, ενδείκνυται για την επιβεβαίωση συμμετοχής του μυοκαρδίου σε πιθανή μυοπερικαρδίτιδα. Η CMR συστήνεται με ένδειξη IIa στη διάγνωση εντοπισμένης περικαρδιακής συλλογής, πάχυνσης του περικαρδίου και περικαρδιακών μαζών, καθώς και στην περίπτωση συνοδών ανωμαλιών του θώρακα. Στην περίπτωση της συμπίεστικής περικαρδίτιδας, ενδείκνυται ως δεύτερης γραμμής διαγνωστική μέθοδος, αλλά είναι ιδιαίτερα σημαντικός ο ρόλος της στην αναγνώριση αναστρέψιμης φλεγμονής του περικαρδίου που θα επιτρέψει μια δοκιμαστική φαρμακευτική θεραπεία με αντιφλεγμονώδη φάρμακα πριν τη

χειρουργική αντιμετώπιση.⁴⁷ Συστήνεται επίσης στον προγραμματισμό της περικαρδιοεκτομής, και την παρακολούθηση των ασθενών.⁴⁶

Η CMR ενδείκνυται επίσης στο διαγνωστικό έλεγχο των περικαρδιακών κύστεων, εκκολπωμάτων, όγκων, και συγγενών διαταραχών όπως η μερική ή πλήρης έλλειψη του περικαρδίου.

Καρδιακές Μάζες - Όγκοι

Οι καρδιακές μάζες παρότι σπάνιες, απαιτούν άμεση διερεύνηση και κατάλληλη αντιμετώπιση. Χωρίζονται στους θρόμβους (Εικόνα 1), τους καλοήθεις όγκους με συχνότερους το μύξωμα, το θηλώδες ελάστωμα, το λίπωμα, και το αιμαγγείωμα, καθώς και στους κακοήθεις όγκους, πρωτοπαθείς και μεταστατικούς. Οι μεταστατικοί όγκοι προέρχονται συνήθως από τους πνεύμονες, το μαστό, τα λεμφώματα ή το πρωτοπαθές μελάνωμα κι είναι 20-40 φορές πιο συχνόι από τους πρωτοπαθείς όγκους. Είναι σημαντικό επίσης να γίνεται διαφορική διάγνωση από φυσιολογικές δομές που μπορεί να θεωρηθούν ως όγκοι, όπως η ευστασιανή βαλβίδα, το δίκτυο Chiari, και η λιπωματώδης υπερτροφία του μεσοκοιλιακού διαφράγματος.⁴⁸

Η CMR αποτελεί μια εξαιρετική τεχνική απεικόνισης και διαφορικής διάγνωσης των καρδιακών μαζών, λόγω της άριστης αντίθεσης μεταξύ των ιστών, της απεικόνισης σε διάφορα επιθυμητά επίπεδα, της ικανότητας χαρακτηρισμού των ιστών και της αιμάτωσης των μαζών, και μάλιστα χωρίς ακτινοβολία.⁴⁹ Με τη CMR παρέχεται επιπλέον η δυνατότητα απεικόνισης του μεσοθωρακίου, του υπεζωκότα, και γενικότερα των δομών γύρω από την καρδιά. Έτσι, η CMR μπορεί με μεγάλη ακρίβεια, συνήθως ανώτερη της ηχωκαρδιογραφικής απεικόνισης, να ανιχνεύσει τις καρδιακές μάζες και να βοηθήσει στη διάκριση μεταξύ καλοήθων και κακοήθων όγκων.^{50,51}

Σύμφωνα με τα δημοσιευμένα κριτήρια καταλληλότητας, η CMR θεωρείται κατάλληλη στην εκτίμηση ένδο- και εξωκαρδιακών μαζών, όπως σε υποψία όγκου ή θρόμβου,^{2,4} και ίσως έχει ένδειξη στην αρχική εκτίμηση ασθενών με υποψία καρδιακής μάζας, όγκου ή θρόμβου, ή της πιθανής καρδιακής αιτίας εμβόλων.²⁴ Στις κλινικές ενδείξεις συστήνεται με ένδειξη κλάσης I για τη διάγνωση και το χαρακτηρισμό των καρδιακών και περικαρδιακών όγκων.¹⁴

Πνευμονική Υπέρταση

Η CMR συμβάλλει στο διαγνωστικό workup ασθενών

νών με πνευμονική υπέρταση και αποτελεί τη μέθοδο εκλογής για την απεικόνιση της δεξιάς κοιλίας. Η χρήση της επιτρέπει την ακριβή και αναπαραγωγίμη μέτρηση του τελοδιαστολικού και τελοσυστολικού όγκου, της μορφολογίας, της λειτουργίας και της μάζας της δεξιάς κοιλίας, όπως επίσης και την εκτίμηση του όγκου παλμού, της καρδιακής παροχής και της διατασιμότητας της πνευμονικής αρτηρίας.⁵² Η παρουσία γαδολινίου στα σημεία συμβολής της αριστερής και δεξιάς κοιλίας είναι συχνό εύρημα σε ασθενείς με πνευμονική υπέρταση.⁵³ Η CMR χρησιμεύει επίσης στην πρόγνωση ασθενών με πνευμονική υπέρταση, με την ακριβή εκτίμηση του μεγέθους του δεξιού κόλπου και την παρουσία περικαρδιακής συλλογής. Υπάρχουν δεδομένα που υποστηρίζουν ότι η παρακολούθηση σε βάθος χρόνου με τη CMR συμβάλλει στην έγκαιρη διάγνωση δεξιάς καρδιακής ανεπάρκειας, προ της εμφάνισης συμπτωμάτων.⁵⁴

Συγγενείς Καρδιοπάθειες

Η λεπτομερής περιγραφή των εφαρμογών της CMR στις συγγενείς καρδιοπάθειες ξεφεύγει του σκοπού του παρόντος άρθρου και μπορεί να αποτελέσει το αντικείμενο μίας ειδικής ανασκόπησης.

Με τη CMR μπορεί να γίνει λεπτομερής χαρακτηρισμός της ανατομίας των καρδιακών κοιλοτήτων και των μεγάλων αγγείων, καθώς και των συνδέσεων αυτών, και της λειτουργίας των κοιλιών, τόσο πριν όσο και μετά από χειρουργική αποκατάσταση συγγενούς καρδιοπάθειας.⁵⁵ Επιπλέον, η CMR επιτρέπει την ακριβή εκτίμηση των ροών, του μεγέθους και της σοβαρότητας των ενδοκαρδιακών επικοινωνιών και της λειτουργίας των εξωκαρδιακών conduit.⁵⁶ Σύμφωνα με τα κριτήρια καταλληλότητας και τις κατευθυντήριες οδηγίες της Αμερικανικής Καρδιολογικής Εταιρείας,² η CMR ενδείκνυται για την εκτίμηση και διαχείριση ασθενών με σύμπλοκες συγγενείς καρδιοπάθειες συμπεριλαμβανομένων των ανωμαλιών των στεφανιαίων, των μεγάλων αγγείων, των καρδιακών κοιλοτήτων και των καρδιακών βαλβίδων. Συγκεκριμένα, συστήνεται για την αρχική εκτίμηση της στένωσης του ισθμού της αορτής και για την παρακολούθηση μετά από χειρουργική αποκατάσταση αυτής, όπως επίσης για την αρχική εκτίμηση ασθενών με στένωση της πνευμονικής αρτηρίας ή πιθανές συγγενείς ανωμαλίες των στεφανιαίων αρτηριών. Τονίζεται ιδιαίτερα η εφαρμογή της CMR στην παρακολούθηση ασθενών με διορθωμένη τετραλογία Fallot, ιδιαίτερα για την ποσοτική εκτίμηση της ανεπάρκειας της πνευμονικής βαλβίδας και την λήψη αποφάσεων σχετικά με το χρόνο και τον τρό-

πο αντικατάστασης της βαλβίδας, καθώς και ασθενών με μετάθεση των μεγάλων αγγείων διορθωμένη είτε συγγενώς είτε χειρουργικά.

Παθήσεις Αορτής

Η CMR προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την αιτιολογία και τους μηχανισμούς βλάβης της αορτής.⁵ Σε παρουσία ανευρύσματος, χρησιμεύει στον προεγχειρητικό σχεδιασμό και τη μετεγχειρητική παρακολούθηση.⁵⁷ Σε περιπτώσεις αορτικού διαχωρισμού, έχει θέση κυρίως στην παρακολούθηση των ασθενών μετά από χειρουργική διόρθωση (διαχωρισμός τύπου A κατά Stanford) ή συντηρητική στρατηγική (διαχωρισμός τύπου B κατά Stanford), παρά στην οξεία φάση όπου προέχουσα θέση στην διάγνωση έχει η αξονική τομογραφία.⁵⁸ Τέλος, σε αορτίτιδα η CMR ανιχνεύει την τοιχωματική φλεγμονή, το πάχος του τοιχώματος, και βοηθάει στην αξιολόγηση της ανταπόκρισης στη θεραπεία.⁵⁹

Κολπική Μαρμαρυγή

Στα κριτήρια καταλληλότητας για την αξονική και τη μαγνητική τομογραφία καρδιάς που δημοσιεύτηκαν το 2006, αναφέρεται ότι η CMR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ανατομίας των πνευμονικών φλεβών και του αριστερού κόλπου προ της διενέργειας κατάλυσης με ραδιοσυχνότητες.^{2,60} Η δυνατότητα ανίχνευσης ίωσης στα κολπικά τοιχώματα σε ασθενείς με κολπικές ταχυαρρυθμίες ή μετά από επεμβάσεις κατάλυσης έχει περιγραφεί από λίγα μεμονωμένα κέντρα, και δύσκολα μπορούν να ληφθούν ασφαλή συμπεράσματα για την γενικευμένη εφαρμογή τέτοιων μεθόδων.

Ογκολογία - Αξιολόγηση ασθενών κατά τη διάρκεια και μετά την ολοκλήρωση χημειοθεραπείας

Η καρδιακή δυσλειτουργία ως αποτέλεσμα της έκθεσης σε αντικαρκινικούς φαρμακευτικούς παράγοντες είναι γνωστή από δεκαετίες. Διακρίνονται δύο τύποι καρδιοτοξικότητας σχετιζόμενης με χημειοθεραπεία, ο τύπος I με κύριο εκπρόσωπο τη δοξορουβικίνη, που χαρακτηρίζεται από δόσοεξαρτώμενη και συχνά μη αναστρέψιμη μυοκαρδιακή βλάβη και

ο τύπος II, με κύριο εκπρόσωπο την τραστουζουμάμπη, που χαρακτηρίζεται από υψηλή πιθανότητα επανόδου στην αρχική μυοκαρδιακή λειτουργία, 2-4 μήνες μετά τη διακοπή της. Αν και η μέθοδος εκλογής για την εκτίμηση της καρδιακής λειτουργίας ασθενών πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά από χημειοθεραπεία είναι η διαθωρακική ηχοκαρδιογραφία, φαίνεται ότι και η CMR έχει ένα ταχέως αυξανόμενο ρόλο σε αυτή την κατηγορία ασθενών.⁶¹ Εκτός από τον ακριβή υπολογισμό του μεγέθους και της λειτουργικότητας της αριστερής και της δεξιάς κοιλίας, η CMR υπερέχει του ηχοκαρδιογραφήματος στην ανίχνευση μυοκαρδιακών μεταστάσεων. Με τη χορήγηση γαδολίνιου λαμβάνονται χρήσιμες πληροφορίες για τη δομή του μυοκαρδίου και την παρουσία ίνωσης. Ενδεικτικά, η απουσία καθυστερημένου εμπλουτισμού με γαδολίνιο αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά της καρδιοτοξικότητας από ανθρακυκλίνη.⁶² Η Αμερικανική Εταιρεία Ηχοκαρδιογραφίας και η Ευρωπαϊκή Εταιρεία Καρδιαγγειακής Απεικόνισης κρίνουν κατάλληλη τη χρήση της CMR στις παρακάτω περιπτώσεις: i) όταν επιχειρείται διακοπή του χημειοθεραπευτικού σχήματος λόγω μυοκαρδιακής βλάβης προκαλούμενης από αυτό, ii) σε περίπτωση πτωχής ποιότητας εικόνων από το ηχοκαρδιογράφημα που δεν επιτρέπουν τον ασφαλή και ακριβή υπολογισμό του κλάσματος εξώθησης, iii) σε ασθενείς με καρκίνο του μαστού, για τους οποίους η ευκρινής απεικόνιση με το ηχοκαρδιογράφημα είναι δύσκολη λόγω προηγούμενης ακτινοθεραπείας ή παρουσίας εμφυτευμάτων.

Μελλοντικές Προοπτικές

Τα τελευταία 10 χρόνια οι ενδείξεις διενέργειας CMR αυξάνονται διαρκώς με αποτέλεσμα να θεωρείται πλέον απαραίτητη απεικονιστική εξέταση σε καρδιολογικά κέντρα τριτοβάθμιων νοσοκομείων. Οι προοπτικές περαιτέρω εξέλιξης της CMR είναι λαμπρές, λόγω της βελτίωσης της τεχνολογίας τόσο σε επίπεδο hardware (καλύτεροι τομογράφοι με μεγαλύτερο εύρος και μικρότερο μήκος που είναι 'πιο φιλικό' για τον εξεταζόμενο και παρέχουν τη δυνατότητα ταχύτερης απεικόνισης) αλλά και software (βελτιωμένες ακολουθίες απεικόνισης που παρέχουν τη δυνατότητα ποσοτικής εκτίμησης βελτιώνοντας ακόμη περισσότερο την αντικειμενικότητα των αποτελεσμάτων). Η μεγαλύτερη πρόκληση για το μέλλον είναι η εκπαίδευση ιατρών, είτε ακτινολόγων με εξειδίκευση στο καρδιαγγειακό σύστημα, είτε καρδιολόγων με εξειδίκευση στην προηγμένη καρδιαγγειακή απεικόνιση, που θα έχουν καλή γνώση

των τεχνικών και των εφαρμογών της CMR και θα βοηθήσουν στην περαιτέρω διάδοση και καθιέρωση αυτής της απεικονιστικής τεχνικής. Προς αυτή την κατεύθυνση οφείλει να κινηθεί η επιστημονική κοινότητα, ειδικά στη χώρα μας, όπου για διάφορους λόγους, η χρήση της CMR είναι σχετικά περιορισμένη και δυστυχώς εμφανίζονται και φαινόμενα απαξίωσης της μεθόδου όταν αυτή χρησιμοποιείται από ιατρούς με ελλιπή ή καθόλου εκπαίδευση. Για το λόγο αυτό η Ευρωπαϊκή Καρδιολογική Εταιρεία έχει θεσπίσει συγκεκριμένα κριτήρια αξιολόγησης, όπως οι εξετάσεις για τη πιστοποίηση της υποειδίκευσης στη CMR σε συνδυασμό με την καταγραφή περιστατικών (logbook) στο κέντρο εκπαίδευσης.

Βιβλιογραφία

1. Ferreira VM, Piechnik SK, Robson MD, Neubauer S, Karamitsos TD. Myocardial tissue characterization by magnetic resonance imaging: novel applications of T1 and T2 mapping. *J Thorac Imaging*. 2014;29(3):147-54.
2. Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, et al. ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. *Jacc*. 2006;48(7):1475-97.
3. Asci CCT, Group CMRGW, Kitagawa K, et al. ASCI 2010 appropriateness criteria for cardiac magnetic resonance imaging: a report of the Asian Society of Cardiovascular Imaging cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging guideline working group. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2010;26(Suppl 2):173-86.
4. Yoon YE, Hong YJ, Kim HK, et al. 2014 korean guidelines for appropriate utilization of cardiovascular magnetic resonance imaging: a joint report of the korean society of cardiology and the korean society of radiology. *Korean Circ J*. 2014;44(6):359-85.
5. American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus D, Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP, Flamm SD, Fogel MA, et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *JACC*. 2010;55(23):2614-62.

6. Arai AE. The cardiac magnetic resonance (CMR) approach to assessing myocardial viability. *Journal of nuclear cardiology* : official publication of the American Society of Nuclear Cardiology. 2011;18(6):1095-102.
7. Gebker R, Jahnke C, Manka R, et al. The role of dobutamine stress cardiovascular magnetic resonance in the clinical management of patients with suspected and known coronary artery disease. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2011;13:46.
8. Kelle S, Chiribiri A, Vierecke J, et al. Long-term prognostic value of dobutamine stress CMR. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2011;4(2):161-72.
9. Nanni S, Lovato L, Gheti G, et al. Utility of stress perfusion-cardiac magnetic resonance in follow-up of patients undergoing percutaneous coronary interventions of the left main coronary artery. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2017.
10. Vincenti G, Masci PG, Monney P, et al. Stress Perfusion CMR in Patients With Known and Suspected CAD: Prognostic Value and Optimal Ischemic Threshold for Revascularization. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2017;10(5):526-37.
11. Hamirani YS, Kramer CM. Cardiac MRI assessment of myocardial perfusion. *Future Cardiol*. 2014;10(3):349-58.
12. Schwitter J, Wacker CM, Wilke N, et al. Superior diagnostic performance of perfusion-cardiovascular magnetic resonance versus SPECT to detect coronary artery disease: The secondary endpoints of the multicenter multivendor MR-IMPACT II (Magnetic Resonance Imaging for Myocardial Perfusion Assessment in Coronary Artery Disease Trial). *J Cardiovasc Magn Reson*. 2012;14:61.
13. Kolh P, Windecker S, Alfonso F, et al. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: the Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *Eur J Cardiothorac Surg*. 2014;46(4):517-92.
14. Pennell DJ, Sechtem UP, Higgins CB, et al. Clinical indications for cardiovascular magnetic resonance (CMR): Consensus Panel report. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2004;6(4):727-65.
15. Myerson SG, Francis J, Neubauer S. *Cardiovascular magnetic resonance*. Oxford: Oxford University Press; 2010.
16. Baer FM, Theissen P, Schneider CA, et al. Dobutamine magnetic resonance imaging predicts contractile recovery of chronically dysfunctional myocardium after successful revascularization. *JACC*. 1998;31(5):1040-8.
17. Baer FM, Voth E, LaRosee K, et al. Comparison of dobutamine transesophageal echocardiography and dobutamine magnetic resonance imaging for detection of residual myocardial viability. *Am J Cardiol*. 1996;78(4):415-9.
18. Baer FM, Voth E, Schneider CA, Theissen P, Schicha H, Sechtem U. Comparison of low-dose dobutamine-gradient-echo magnetic resonance imaging and positron emission tomography with [18F]fluorodeoxyglucose in patients with chronic coronary artery disease. A functional and morphological approach to the detection of residual myocardial viability. *Circulation*. 1995;91(4):1006-15.
19. Lopez-Mattei JC, Shah DJ. The role of cardiac magnetic resonance in valvular heart disease. *Methodist DeBakey Cardiovascular J*. 2013;9(3):142-8.
20. Shenoy C, Maron MS, Pandian NG. Cardiovascular magnetic resonance imaging for bicuspid aortic valve syndrome: the time is now. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2014;15(6):612-4.
21. Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of C, European Association for Cardio-Thoracic S, Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F, Antunes MJ, et al. Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012). *Eur Heart J*. 2012;33(19):2451-96.
22. Myerson SG. Heart valve disease: investigation by cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2012;14:7.
23. Bonow RO, Carabello BA, Kanu C, et al. ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (writing committee to revise the 1998 Guidelines for the Management of Patients With Valvular Heart Disease): developed in collaboration with the Society of Cardiovascular Anesthesiologists: endorsed by the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions and the Society of Thoracic Surgeons. *Circulation*. 2006;114(5):e84-231.
24. Doherty JU, Kort S, Mehran R, Schoenhagen P, Soman P. ACC/AATS/AHA/ASE/ASNC/HRS/SCAI/SCCT/SCMR/STS 2017 Appropriate Use Criteria for Multimodality Imaging in Valvular Heart Disease: A Report of the American College of Cardiology Appropriate Use Criteria Task Force, American Association for Thoracic Surgery, American Heart Association, American Society of Echocardiography, American Society of Nuclear Cardiology, Heart Rhythm Society, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and Society of Thoracic Surgeons. *JACC*. 2017.
25. Gulati A, Jabbour A, Ismail TF, et al. Association of fibrosis with mortality and sudden cardiac death in patients with nonischemic dilated cardiomyopathy. *JAMA*. 2013;309(9):896-908.
26. Pinto YM, Elliott PM, Arbustini E, et al. Proposal for a revised definition of dilated cardiomyopathy, hypokinetic non-dilated cardiomyopathy, and its implications for clinical practice: a position statement of the ESC working group on myocardial and pericardial diseases. *Eur Heart J*. 2016;37(23):1850-8.

27. Leong DP, Chakrabarty A, Shipp N, et al. Effects of myocardial fibrosis and ventricular dyssynchrony on response to therapy in new-presentation idiopathic dilated cardiomyopathy: insights from cardiovascular magnetic resonance and echocardiography. *Eur Heart J*. 2012;33(5):640-8.
28. Friedrich MG, Sechtem U, Schulz-Menger J, Holmvang G, Alakija P, Cooper LT, et al. Cardiovascular magnetic resonance in myocarditis: A JACC White Paper. *JACC*. 2009;53(17):1475-87.
29. Mahrholdt H, Goedecke C, Wagner A, et al. Cardiovascular magnetic resonance assessment of human myocarditis: a comparison to histology and molecular pathology. *Circulation*. 2004;109(10):1250-8.
30. Abdel-Aty H, Boye P, Zagrosek A, et al. Diagnostic performance of cardiovascular magnetic resonance in patients with suspected acute myocarditis: comparison of different approaches. *JACC*. 2005;45(11):1815-22.
31. Ferreira VM, Piechnik SK, Dall'Armellina E, et al. Native T1-mapping detects the location, extent and patterns of acute myocarditis without the need for gadolinium contrast agents. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2014;16:36.
32. Cardim N, Galderisi M, Edvardsen T, Plein S, Popescu BA, D'Andrea A, et al. Role of multimodality cardiac imaging in the management of patients with hypertrophic cardiomyopathy: an expert consensus of the European Association of Cardiovascular Imaging Endorsed by the Saudi Heart Association. *European heart journal cardiovascular Imaging*. 2015;16(3):280.
33. Moon JC, Fisher NG, McKenna WJ, Pennell DJ. Detection of apical hypertrophic cardiomyopathy by cardiovascular magnetic resonance in patients with non-diagnostic echocardiography. *Heart*. 2004;90(6):645-9.
34. Rickers C, Wilke NM, Jerosch-Herold M, et al. Utility of cardiac magnetic resonance imaging in the diagnosis of hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation*. 2005;112(6):855-61.
35. Maron MS, Maron BJ, Harrigan C, et al. Hypertrophic cardiomyopathy phenotype revisited after 50 years with cardiovascular magnetic resonance. *JACC*. 2009;54(3):220-8.
36. Moon JC, McKenna WJ, McCrohon JA, Elliott PM, Smith GC, Pennell DJ. Toward clinical risk assessment in hypertrophic cardiomyopathy with gadolinium cardiovascular magnetic resonance. *Journal of the American College of Cardiology*. 2003;41(9):1561-7.
37. Nagueh SF, Bierig SM, Budoff MJ, et al. American Society of Echocardiography clinical recommendations for multimodality cardiovascular imaging of patients with hypertrophic cardiomyopathy: Endorsed by the American Society of Nuclear Cardiology, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2011;24(5):473-98.
38. Borgquist R, Haugaa KH, Gilljam T, et al. The diagnostic performance of imaging methods in ARVC using the 2010 Task Force criteria. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2014;15(11):1219-25.
39. Marcus FI, McKenna WJ, Sherrill D, et al. Diagnosis of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy/dysplasia: proposed modification of the task force criteria. *Circulation*. 2010;121(13):1533-41.
40. Haugaa KH, Basso C, Badano LP, et al. Comprehensive multi-modality imaging approach in arrhythmogenic cardiomyopathy-an expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2017;18(3):237-53.
41. Weir-McCall JR, Yeap PM, Papagiorcopulo C, et al. Left Ventricular Noncompaction: Anatomical Phenotype or Distinct Cardiomyopathy? *JACC*. 2016;68(20):2157-65.
42. Petersen SE, Selvanayagam JB, Wiesmann F, et al. Left ventricular non-compaction: insights from cardiovascular magnetic resonance imaging. *JACC*. 2005;46(1):101-5.
43. Schulz-Menger J, Wassmuth R, Abdel-Aty H, et al. Patterns of myocardial inflammation and scarring in sarcoidosis as assessed by cardiovascular magnetic resonance. *Heart*. 2006;92(3):399-400.
44. Maceira AM, Joshi J, Prasad SK, et al. Cardiovascular magnetic resonance in cardiac amyloidosis. *Circulation*. 2005;111(2):186-93.
45. Pennell DJ. T2* magnetic resonance and myocardial iron in thalassemia. *Ann N Y Acad Sci*. 2005;1054:373-8.
46. Cosyns B, Plein S, Nihoyanopoulos P, et al. European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) position paper: Multimodality imaging in pericardial disease. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015;16(1):12-31.
47. Adler Y, Charron P, Imazio M, et al. 2015 ESC Guidelines for the diagnosis and management of pericardial diseases: The Task Force for the Diagnosis and Management of Pericardial Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by: The European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J*. 2015;36(42):2921-64.
48. Motwani M, Kidambi A, Herzog BA, Uddin A, Greenwood JP, Plein S. MR imaging of cardiac tumors and masses: a review of methods and clinical applications. *Radiology*. 2013;268(1):26-43.
49. Hoey ET, Shahid M, Ganeshan A, Bajjal S, Simpson H, Watkin RW. MRI assessment of cardiac tumours: part 2, spectrum of appearances of histologically malignant lesions and tumour mimics. *Quant Imaging Med Surg*. 2014;4(6):489-97.
50. Gulati G, Sharma S, Kothari SS, Juneja R, Saxena A, Talwar KK. Comparison of echo and MRI in the imaging evaluation of intracardiac masses. *J Vasc Interv Radiol*. 2004;27(5):459-69.
51. Pazos-Lopez P, Pozo E, Siqueira ME, et al. Value of CMR for the differential diagnosis of cardiac masses. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2014;7(9):896-905.
52. Bradlow WM, Gibbs JS, Mohiaddin RH.

- Cardiovascular magnetic resonance in pulmonary hypertension. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2012;14:6.
53. Sanz J, Dellegrottaglie S, Kariisa M, et al. Prevalence and correlates of septal delayed contrast enhancement in patients with pulmonary hypertension. *Am J Cardiol*. 2007;100(4):731-5.
54. Galie N, Humbert M, Vachiery JL, et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS): Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur Heart J*. 2015;46(4):903-75.
55. Nienaber CA, Rehders TC, Fratz S. Detection and assessment of congenital heart disease with magnetic resonance techniques. *J Cardiovasc Magn Reson*. 1999;1(2):169-84.
56. Weber OM, Higgins CB. MR evaluation of cardiovascular physiology in congenital heart disease: flow and function. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2006;8(4):607-17.
57. Russo V, Renzulli M, Buttazzi K, Fattori R. Acquired diseases of the thoracic aorta: role of MRI and MRA. *European radiology*. 2006;16(4):852-65.
58. Weigel S, Tombach B, Maintz D, et al. Thoracic aortic stent graft: comparison of contrast-enhanced MR angiography and CT angiography in the follow-up: initial results. *Eur J Radiol*. 2003;13(7):1628-34.
59. Murray JG, Manisali M, Flamm SD, et al. Intramural hematoma of the thoracic aorta: MR image findings and their prognostic implications. *Radiology*. 1997;204(2):349-55.
60. Kato R, Lickfett L, Meininger G, et al. Pulmonary vein anatomy in patients undergoing catheter ablation of atrial fibrillation: lessons learned by use of magnetic resonance imaging. *Circulation*. 2003;107(15):2004-10.
61. Plana JC, Galderisi M, Barac A, et al. Expert consensus for multimodality imaging evaluation of adult patients during and after cancer therapy: a report from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2014;15(10):1063-93.
62. Neilan TG, Coelho-Filho OR, Pena-Herrera D, et al. Left ventricular mass in patients with a cardiomyopathy after treatment with anthracyclines. *Am J Cardiol*. 2012;110(11):1679-86.

Clinical applications of cardiovascular magnetic resonance

Theodoros D Karamitsos, Chrysovalantou Nikolaidou, Maria Anna Bazmpani, Haralambos Karvounis

First Department of Cardiology, AHEPA Hospital, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece

Cardiovascular magnetic resonance (CMR) has a rapidly evolving role in Cardiology. The unsurpassed accuracy of CMR in the assessment of cardiac morphology and function and the ability to perform tissue characterization are unique features of this imaging modality. The aim of this review is to discuss major current applications of CMR in clinical practice based on guidelines and consensus statements of the European Society of Cardiology and the American Heart Association.

Keywords: cardiovascular imaging; magnetic resonance; cardiomyopathy; coronary artery disease; valvular heart disease; congenital heart disease